



**Министерство образования и науки  
Российской Федерации  
Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ДОСТИЖЕНИЯ – ОСНОВА  
ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

Материалы IV Всероссийской научно-технической  
конференции 27-28 ноября 2014 г.

Рубцовск 2014

УДК 62  
С 56

Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития: Материалы IV Всероссийской научно-технической конференции 27-28 ноября 2014 г. / Под ред. к.ф.-м.н., доцента Е.А. Дудник / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск, 2014. – 450 с.

В сборник материалов научно-практической конференции «Инженерные исследования и достижения – основа инновационного развития», проходившей в Рубцовском индустриальном институте 27-28 ноября 2014 года, вошли статьи ученых, аспирантов и студентов вузов России и зарубежья, посвященные различным направлениям естественных и технических наук.

**Материалы конференции могут быть интересны студентам, аспирантам, преподавателям школ, среднеспециальных и высших учебных заведений, широкому кругу читателей.**

Стилистика текстов сохранена в авторской редакции.  
Точка зрения редакции не всегда совпадает с точкой зрения авторов.

**ISBN 978-5-9906075-2-1**

**Научные редакторы:**

**Апполонов А.А.** – зам.директора по социальной работе и науке РИИ АлтГТУ, к.т.н., доцент

**Дудник Е.А.** - к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Прикладная математика», председатель секции «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ»

**Гриценко В.В.** - к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии машиностроения и пищевых производств», председатель секции «Прогрессивные технологические процессы и оборудование»

**Площаднов А.Н.** - к.т.н., профессор кафедры «Наземные транспортные системы», председатель секции «Наземные транспортные системы»

**Денисенко А.А.** - к.т.н., зав. кафедрой «Строительство и механика», председатель секции «Строительные технологии, машины, механизмы»

**Черкасова Н.И.** - к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Электроэнергетика и электротехника», председатель секции «Энергосбережение и повышение энергоэффективности»

**Чернецкая Н.А.** - к.т.н., доцент кафедры «Наземные транспортные системы», председатель секции «Проблемы экологической безопасности»

**Обухова Г.А.** - к.ф.-м.н., доцент, зав. кафедрой «Высшая математика, физика и химия», председатель секции «Физико-математические науки»

**ISBN 978-5-9906075-2-1**

© Рубцовский индустриальный институт, 2014

## Содержание

### Секция 1. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

|  |     |
|--|-----|
| <b>Артамонов Д.В., Литвинов А.Н.</b> Моделирование динамических процессов в многослойной структуре методом автономных блоков   | 8   |
| <b>Богачева О.Н.</b> Оптимизация распределения средств на предприятии  | 14  |
| <b>Виноградов А.И., Шibaков В.Г.</b> Превентивная защита инструмента и автоматизированная система повышения производительности прессового оборудования   | 16  |
| <b>Гавриленко Т.В., Докалина Н.В., Турбин А.А., Крынцова Д.Е.</b> Информационные технологии в проектировании объектов улично-дорожной сети г. Красноярска  | 22  |
| <b>Дудник Е.А., Гвоздев К.В., Красноперова В.О.</b> Проблемы компьютерного моделирования структурных процессов в кристалле на атомном уровне   | 28  |
| <b>Дудник Е.А., Селиванова А.В., Китаев А.Н.</b> Автоматизированная система электронного администратора мэрии города   | 38  |
| <b>Карпеченко А.О., Драчёв Д.Ю.</b> Модель когортного анализа платежеспособности пользователей мобильных приложений  | 46  |
| <b>Коробко А.В., Прокуров М.Ю., Черняев А.А.</b> Программные комплексы по расчету плоских элементов конструкций из условия жесткости путем геометрического моделирования их формы на основе метода интерполяции по коэффициенту формы с использованием конформных радиусов | 52  |
| <b>Лёзин И.А., Маркелов Д.Е.</b> Автоматизированная система извлечения знаний  | 61  |
| <b>Мирошниченко И.П.</b> Научно-методический аппарат и программное обеспечение для определения напряженно- деформированного состояния в слоистых анизотропных цилиндрических и эллиптических конструкциях при импульсных воздействиях                                      | 67  |
| <b>Мирошниченко И.П.</b> Математические модели и программное обеспечение для определения распределений интенсивности оптических полей интерференционных картин, создаваемых лазерным интерферометром   | 71  |
| <b>Обухович Т.М.</b> Планирование загрузки оборудования мелкосерийного производства  | 75  |
| <b>Пышнограй Г.В., Мерзликина Д.А., Толстых М.Ю., Цыганков А.Н., Аветисян Н.М., Кошелев К.Б.</b> Математическое моделирование расплавов полимеров на основе новой многомодовой реологической модели  | 79  |
| <b>Серебряник И.А., Дружинина А.В.</b> Развитие методологии моделирования процессов измельчения и классификации  | 85  |
| <b>Хади О.Ш., Литвинов А.Н.</b> Исследование НДС микросборок при технологической опрессовке в программном комплексе ANSYS  | 87  |
| <b>Цыганков А.Н., Ситник О.С.</b> Реализация на GPGPU/CUDA алгоритма Дейкстры (SSSP) и сравнение с расчетом на CPU   | 94  |
| <b>Чаплыгина А.А., Чаплыгин П.А., Попова Л.А.</b> Энергия образования антифазных границ в направлении $\langle 100 \rangle$ в сплавах системы Cu-Pt  | 101 |
| <b>Шкарин А.Н.</b> Аппроксимация поверхности горячекатаной полосы полиномами 4-й степени в задаче оценки качества прокатки   | 105 |
| <b>Юрова Г.К., Шипилова К.А., Сараева А.Н., Прошкина Л.А., Пышнограй Г.В.</b> Применение компьютерных технологий при дистанционном обучении математическим дисциплинам студентов технического вуза   | 109 |

## Секция 2. Прогрессивные технологические процессы и оборудование

|  |     |
|--|-----|
| <b>Алексеев Н.С., Капорин В.А., Иванов С.В.</b> Влияние СОЖ при шлифовании микропористых покрытий  | 117 |
| <b>Балашов А.В., Верховская А.А., Светлова Т.Г., Потапов И.С.</b> Совершенствование подводимых домкратов для изготовления нежестких корпусных деталей                                | 123 |
| <b>Басова Е.М., Герман С.В., Поксеваткин М.И.</b> Определение единичных (частных) обжатый металла в монолитной волоке  | 133 |
| <b>Буканова И.С., Григорян А.С., Ятло И.И.</b> Экспериментальное исследование шероховатости поверхности отверстий корпусов неподвижных соединений при дорновании                     | 136 |
| <b>Герман С.В., Басова Е.М., Поксеваткин М.И.</b> Алгоритмизация термомеханических параметров процесса сборки составных поковок  | 141 |
| <b>Гребеньков Р.В., Иконников А.М.</b> Магнитно-абразивное полирование широкого спектра поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов                              | 145 |
| <b>Гриценко В.В.</b> Экспериментальная установка для исследования процесса теплоотдачи в канале кольцевого сечения в условиях турбулизации горячего теплоносителя пузырьками воздуха | 152 |
| <b>Дубинина Н.В.</b> Получение экстрактов из плодового сырья в вибрационном аппарате   | 157 |
| <b>Катусов Д.Н.</b> Совершенствование технологического процесса производства колбасных изделий   | 164 |
| <b>Королев А.В., Захаров О. В., Усынин С. М.</b> Минимизация припуска на основе оптимального центрирования заготовок   | 169 |
| <b>Минин М.И., Стась И.Е.</b> Реологические свойства растворов желатина, приготовленных на облученной электромагнитным полем воде  | 175 |
| <b>Мустафаев Р.Ф., Алексеев Н.С., Капорин В.А., Иванов С.В.</b> Повышение эффективности процесса шлифования микропористых покрытий импрегнированными кругами                         | 180 |
| <b>Некрасов В.Н., Сукаева Ф.М.</b> Исследование процесса формирования микрогеометрии при точении   | 186 |
| <b>Нечаева Е.С.</b> Роторный распылительный пылеуловитель  | 188 |
| <b>Пестов С.П.</b> Проектирование компоновок малогабаритных реконфигурируемых станков  | 197 |
| <b>Тузова Т.С., Ковалев В.В.</b> Разработка пульта дистанционного управления радиоприемными устройствами   | 200 |
| <b>Федорова С.В., Шустова Ю.С.</b> Электронная мобильная торговля  | 205 |
| <b>Шашок А.В.</b> Об одном способе расчета надежности технологических процессов металлообработки по параметрам качества продукции  | 211 |
| <b>Шрайнер Т.А., Татаркин Е.Ю.</b> Математическое моделирование процесса формообразования при магнитно-абразивной обработке  | 216 |
| <b>Штокаленко В.П.</b> Выбивка литейных песчано-глинистых форм   | 223 |

## Секция 3. Наземные транспортные системы

|   |     |
|---|-----|
| <b>Ван Е.В., Карабцев В.С., Муллахметов А.Н.</b> Разработка математической модели грузового автомобиля с комбинированной энергоустановкой для проведения расчетных исследований | 229 |
| <b>Войнаш А.С.</b> Режимы нагружения навесного толкателя машины для сортиментной заготовки древесины  | 232 |
| <b>Войнаш С.А.</b> Лабораторные исследования “поезда” вспомогательных грузовых тележек  | 237 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Войнаш С.А., Площаднов А.Н.</b> Методика полевых испытаний “поезда” вспомогательных грузовых тележек   | 240 |
| <b>Галышев Ю.В., Григорьев А.П., Добрецов Р.Ю., Лозин А.В.</b> Перспективные системы управления поворотом гусеничных машин                            | 243 |
| <b>Добрецов Р.Ю.</b> Об учете воздействия гусеничного движителя на основание в модели оценки энергоэффективности шасси транспортной машины            | 252 |
| <b>Добрецов Р.Ю., Матросов С.И., Борисов Е.Г.</b> О проекте рекогносцировочной машины на основе колесно-шагающего шасси                               | 258 |
| <b>Ле Суан Хонг.</b> Повышение энергоэффективности электропоездов метрополитена с альтернативными системами тягового электропривода                   | 267 |
| <b>Лузгин С.В.</b> Влияние жесткости дополнительных корректирующих упругих элементов системы поддрессоривания на динамическую устойчивость автомобиля | 275 |
| <b>Ляпин С.А., Клявин В.Э., Ситников В.В.</b> Совершенствование методики накопления и анализа информации о дорожно-транспортных происшествиях         | 280 |
| <b>Мамин Л.Р.</b> Сравнительная оценка потребительских свойств грузовых автомобилей с аналогами конкурентов   | 283 |
| <b>Песков С.Г., Столяров М.А., Площаднов А.Н.</b> Усовершенствование фронтальной навески. Поворот культиватора гидроцилиндрами                        | 287 |
| <b>Пустоветов М.Ю.</b> Помехи <i>common mode</i> в частотно-регулируемом электроприводе электровозов  | 290 |
| <b>Рыбак Т.И., Попович П.В., Мыць В.И., Бортник И.М.</b> Оценка несущей способности сложно нагруженных металлоконструкций                             | 296 |
| <b>Столяров М.А., Песков С.Г., Площаднов А.Н.</b> Модернизация фронтальной навески. Управление опорными колесами при помощи электромоторов            | 300 |
| <b>Трегубов С.М., Острецов А.В.</b> Оценочные параметры профильной проходимости полноприводных автомобилей  | 302 |
| <b>Третьяков А.М., Глёмин А.М., Резанов К.Р., Плешаков М.А., Шубин М.Е.</b> Инновационные аспекты развития современной автомобильной промышленности   | 306 |
| <b>Третьяков А.М., Глёмин А.М., Мельников Ф.П., Строкин С.О., Калашников А.Д.</b> Школа автомобилестроения Юго-Восточной Азии                         | 308 |
| <b>Шишанов С.М.</b> Статистическая линеаризация нелинейной системы поддрессоривания быстроходных гусеничных машин                                     | 311 |
| <b>Яковлев П.Ю.</b> Критерий оценки управляемости   | 317 |
| <b>Яковлев П.Ю., Зейгерман А.С.</b> Особенности движения фронтально навешенного орудия с упругим элементом в системе навески                          | 318 |
| <b>Яковлев П.Ю., Курсов И.В.</b> Уравнение движения механизма фронтальной навески   | 320 |
| <b>Яковлев П.Ю., Маршалов Э.С.</b> Управляемость машинно-тракторного агрегата с различным типом присоединения фронтально навешенного орудия           | 323 |
| <b>Яковлев П.Ю., Площаднов А.Н.</b> Устойчивость движения машинно-тракторного агрегата с фронтально навешенным орудием при его прямолинейном движении | 324 |

#### **Секция 4. Строительные технологии, машины, механизмы**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А.</b> Методологические основы расчета расхода воздуха пневмоударного механизма                    | 327 |
| <b>Абраменков Э.А., Гендэн Баттулга, Чоен Олзийбаяр.</b> Пневмоударные механизмы многоцелевого применения                           | 328 |
| <b>Абраменков Д.Э., Грузин А.В., Куликов А.В.</b> Переменные местные сопротивления канала впуска в корпусе пневмоударного механизма | 329 |
| <b>Базылева В.С., Павлюченков Д.С.</b> Оптимизация обоснования мощности отопительных систем тепличных сооружений                    | 331 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Коробкова М.В., Корнеев А.Н.</b> Использование демпфирующих добавок в бетонных смесях                    | 333 |
| <b>Коробкова М.В., Корнеев А.Н.</b> Метод структурно-имитационного моделирования процесса разрушения бетона | 337 |
| <b>Кутумов А.А., Корнеев А.Н.</b> Бародинамика процесса перепуска между камерами пневмоударного механизма   | 342 |
| <b>Кутумов А.А., Заикин А.Ю.</b> Термодинамика процесса перепуска между камерами пневмоударного механизма   | 343 |
| <b>Фокин С.В.</b> Структура программного комплекса системы мониторинга путевой машины                       | 345 |

## **Секция 5. Энергосбережение и повышение энергоэффективности**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Быковский Ю.В.</b> Новейшие разработки электроэнергетики  | 351 |
| <b>Варфоломеев Ю.А.</b> О создании инновационного законодательства по строительству энергоэффективных малоэтажных домов в Арктической зоне                   | 355 |
| <b>Грибков Е.И., Силич М.П.</b> Оценка факторов энергетической эффективности на основе анализа гибридной когнитивной карты                                   | 359 |
| <b>Гринченко В.А., Лагута И.И.</b> Особенности составления баланса потребления электрической энергии при проведении обязательных энергетических обследований | 364 |
| <b>Козюков Д.А.</b> Фотоэлектрические станции для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей   | 367 |
| <b>Паль Ю.В., Тарская М.Е.</b> Безмуфтовое соединение высоковольтных кабелей   | 372 |
| <b>Перевознова Ю.А.</b> Электротехнологии на примере процесса флюсования   | 375 |
| <b>Трофимов О.С.</b> Мероприятия по повышению качества электроэнергии  | 388 |
| <b>Шоков И.А.</b> Установки для переработки биомассы в электроэнергию  | 385 |

## **Секция 6. Проблемы экологической безопасности**

|  |     |
|--|-----|
| <b>Войнаш А.С.</b> Повышение экологичности техники для леса  | 391 |
| <b>Карташева Е.В., Забержинский Б.Э.</b> Пагубное влияние экологической обстановки на здоровье трудоспособного населения в Поволжском регионе                          | 394 |
| <b>Максимейко Ю.Г., Мельберт А.А., Медведев Г.В.</b> Снижение вредных выбросов в период предпусковой подготовки дизельного двигателя                                   | 398 |
| <b>Максимейко Ю.Г., Свистула А.Е., Горлова Н.Н.</b> Влияние температуры окружающей среды на состав отработавших газов дизельного двигателя                             | 403 |
| <b>Мосин В.П.</b> Синергетические процессы и экологическая безопасность в социозкосистемах   | 407 |
| <b>Новоселов А.Л., Медведев Г.В., Горлова Н.Н., Печеникова Д.С.</b> Применение сложных оксидов при очистке отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах | 412 |
| <b>Чернецкая Н.А.</b> К вопросу о ресурсосберегающих критериях процесса растворения в гетерогенных средах  | 416 |
| <b>Четвериков С.Ф.</b> Аналитический вид распределения среднего числа выбросов огибающей естественного радишума  | 421 |

## Секция 7. Физико-математические науки

|   |     |
|---|-----|
| <b>Бахмат В.И.</b> Применение кратных интегралов для расчета механического момента сил  | 430 |
| <b>Борисовский В.В.</b> Напряженность симметричных гравитационных полей   | 433 |
| <b>Виноградова А.В., Кулешова И.И.</b> Некоторые подходы к решению задачи оптимизации депозитной политики коммерческого банка | 436 |
| <b>Глушкова Е.С.</b> О корректности решения одной обратной задачи   | 440 |
| <b>Ефременкова О.В.</b> К вопросу о разрешимости параболической обратной задачи нахождения коэффициентов поглощения           | 441 |
| <b>Кулешова И.И.</b> О разрешимости начально-краевой задачи для одного класса вырождающихся уравнений соболевского типа       | 443 |
| <b>Обухова Г.А.</b> Обратные задачи для некоторых аналогов итерированного уравнения теплопроводности                          | 445 |
| <b>Сыяпова Л.К.</b> Различные способы нахождения площади трапеции   | 447 |

## СЕКЦИЯ 1. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ И КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

**Председатель секции:** кандидат физико-математических наук, доцент, зав. кафедрой «Прикладная математика» Дудник Евгения Александровна

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В МНОГОСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЕ МЕТОДОМ АВТОНОМНЫХ БЛОКОВ

Д.В. Артамонов, А.Н. Литвинов

*Пензенский государственный университет*

**Аннотация:** Рассмотрено моделирование динамических процессов в многослойной структуре методом автономных блоков. Дана структура пакета моделирующих программ. Исследован динамический процесс в многослойном дорожном полотне при движении автомобиля.

**Ключевые слова:** моделирование, динамический процесс, многослойная структура, автономный блок, дорожное полотно, коэффициент отражения, давление.

### SIMULATION OF DYNAMIC PROCESSES IN MULTILAYER STRUCTURES BY SELF-CONTAINED UNITS

D.V. Artamonov, A.N. Litvinov

*Penza State University*

**Abstract:** The article deals with the simulation of dynamic processes in a multilayer structure by applying self-contained units. It presents a structure of a simulation software package as well as. Research findings regarding a dynamic process in a multilayered roadbed during the motion of a vehicle are duly represented too.

**Key words:** simulation, dynamic process, a multilayer structure, self-contained units, a roadbed, reflection factor, pressure.

Системный анализ изделий и конструкций различного назначения показывает, что они, как правило, представляют собой многослойные системы, состоящие из слоев различной жесткости. Это относится к конструкциям силовых элементов авиационных и ракетно-космических комплексов, конструктивных элементов автомобилей, блоков радиоэлектронной и датчиковой аппаратуры, многослойным дорожным покрытиям, а также к изделиям специального назначения. Для исследования динамических процессов, происходящих в слоистых структурах, необходима разработка математических моделей и комплексов проблемно ориентированных программ для проведения вычислительных экспериментов, позволяющих описывать их напряженно-деформированное состояние (НДС) при действии внешних эксплуатационных нагрузок.

Анализ существующих методов теоретического исследования слоистых структур показывает, что в большинстве случаев они основываются на

дискретных и простейших слоистых моделях, содержащих небольшое число слоев [1]. Это не позволяет адекватно моделировать динамику реальных многослойных структур, поэтому разработка математических моделей и комплексов, адекватно описывающих динамические процессы в слоистых структурах, является актуальной.

Для практической реализации декомпозиционного подхода метода автономных блоков [2] и математического моделирования динамических процессов в многослойных структурах создан пакет моделирующих программ. Функциональная схема пакета показана на рис. 1.

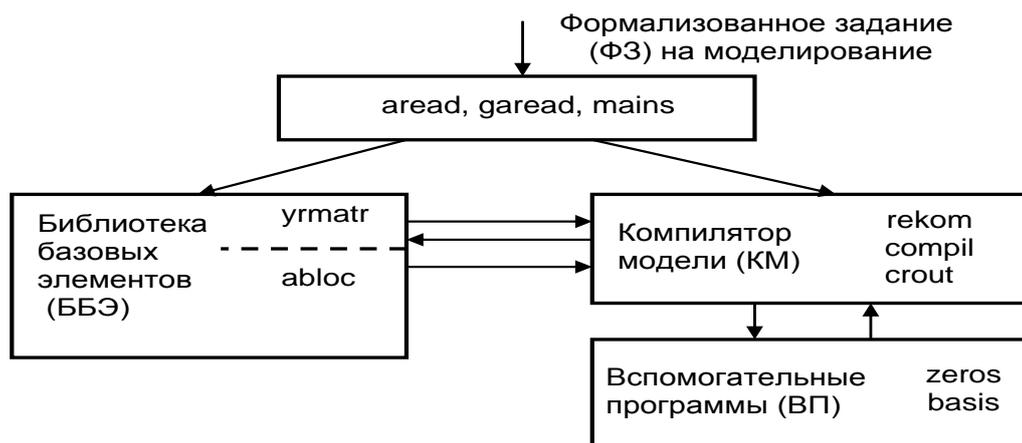


Рис. 1. Структура пакета моделирующих программ

Пакет состоит из формализованного задания на моделирование (ФЗ), компилятора модели (КМ), библиотеки базовых элементов (ББЭ) и вспомогательных программ (ВП). Программы *aread*, *garead*, *mains* формируют из формализованного задания на моделирование информацию для управления работой компилятора модели и библиотеки базовых элементов. Программа *rekom* осуществляет переход от одной декомпозиционной схемы к другой, программа *compil* осуществляет рекомпозицию базовых элементов (автономных блоков), программа *crou* осуществляет решение системы алгебраических уравнений. Библиотека базовых элементов состоит из двух разделов: *yrmatr* – для временного хранения базовых элементов и *abloc* – для постоянного хранения базовых элементов. Программа *zeros* предназначена для определения собственных волн волновых каналов, программа *basis* осуществляет преобразование матриц рассеяния и проводимости автономных блоков, записанных в базисе одних собственных волн волновых каналов в другие. Матрица импеданса автономного блока в виде прямоугольного параллелепипеда с однородным упругим заполнением включена в библиотеку базовых элементов как базовый элемент. Вывод на печать выполняется в виде графиков в заданной системе координат.

Разработанная математическая модель и пакет программ применен для исследования динамических процессов в неоднородных слоистых структурах различных объектов.

Рассмотрим моделирование динамических процессов с использованием декомпозиционного метода автономных блоков на примере дорожного полотна. Область дорожного полотна, как многослойной гетерогенной структуры (рис. 2), расчленяется условными границами на автономные блоки в виде прямоугольных параллелепипедов с упругим заполнением. В результате рекомпозиции дескрипторов автономных блоков получается матрица импеданса – математическая модель гетерогенной структуры покрытия автомобильной дороги в базисах виртуальных каналов Флоке [2].

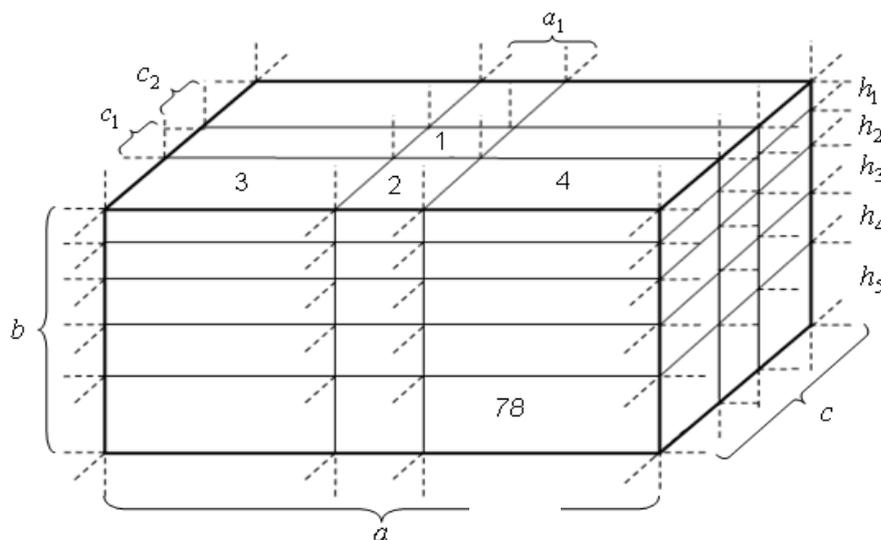


Рис. 2. Декомпозиция гетерогенной структуры на автономные блоки:  $h_1, h_2$  – асфальтобетон;  $h_3$  – гравий;  $h_4$  – песок;  $h_5$  – уплотненный грунт; 1, 2, 3, ...,  $N$  – нумерация каналов Флоке автономных блоков на гранях

Матрица импеданса  $Z$  базового элемента гетерогенной структуры автомобильной дороги в клеточной форме с выделением канала Флоке 1 (рис. 2), через который осуществляется динамическое нагружение колесом транспортного средства, имеет вид:

$$Z = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{1\alpha} \\ Z_{\alpha 1} & Z_{\alpha\alpha} \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $\alpha = \{2, 3, \dots, N\}$  – совокупность индексов каналов базового элемента 2, 3, ...,  $N$  соответственно.

Матрица импеданса связывает вектор  $a$  с вектором  $b$  [2]. Для матрицы (1) такая связь в рассматриваемом случае имеет следующий вид:

$$\begin{pmatrix} b_1 \\ b_\alpha \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{1\alpha} \\ Z_{\alpha 1} & Z_{\alpha\alpha} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} a_1 \\ a_\alpha \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Волновые процессы в гетерогенной структуре покрытия автомобильной дороги удобно описывать матрицей рассеяния  $S$ , которая связана с матрицей импеданса  $Z$  соотношением

$$S = (Z + I)^{-1} \cdot (Z - I), \quad (3)$$

где  $I$  – единичная матрица.

Матрица рассеяния также имеет клеточную структуру, аналогичную матрице импеданса:

$$\begin{pmatrix} c_1^- \\ c_1^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{1\alpha} \\ S_{\alpha 1} & S_{\alpha\alpha} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} c_1^+ \\ c_\alpha^+ \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Связь между элементами матриц рассеяния и импеданса достаточно просто устанавливается из соотношения (3).

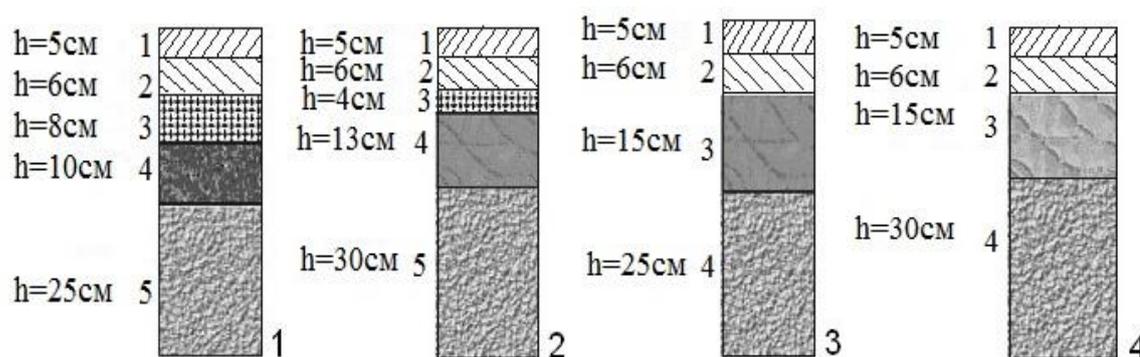
Динамическое нагружение колесом автомобиля гетерогенной структуры осуществляется со стороны канала Флоке 1 амплитудой падающей волны  $\tilde{n}_1^+$ ; амплитуды остальных падающих волн в каналах математической модели гетерогенной структуры равны нулю ( $c_\alpha^+ = 0$ ). В этих каналах распространяются только уходящие волны, возбужденные динамической нагрузкой (колесом автомобиля) со стороны канала Флоке 1. (см. рис. 1). Амплитуда падающей волны  $c_1^+$  определяется векторами  $a_1, b_1$ . Компонентами вектора  $a_1$  являются коэффициенты рядов Фурье представления нормальной и касательной составляющих скорости частиц. Компонентами вектора  $b_1$  являются коэффициенты рядов Фурье представления давления и касательной составляющей вихря скорости частиц. Следовательно, можно проводить комплексное нагружение гетерогенной структуры (скорость частиц, давление, вихрь скорости частиц). При нагружении гетерогенной структуры колесом транспортного средства доминирующими являются нормальная составляющая скорости частиц  $\vec{v}^z$  и давление  $P$ . Остальные компоненты векторов  $a_1$  и  $b_1$ , представляющие касательные составляющие скорости частиц и вихря скорости частиц, принимают равными нулю.

Зная амплитуду падающей волны ( $c_1^+ \neq 0, c_\alpha^+ \neq 0$ ), определяем амплитуды отраженных волн ( $c_1^-, c_\alpha^-$ ) в каналах Флоке базового элемента гетерогенной структуры [2]. Среда заполнения каналов Флоке имеет параметры  $\rho$  (плотность),  $c_l, c_\tau$  (скорости распространения продольных и поперечных упругих волн). Эти параметры выбирают, учитывая физические свойства материалов гетерогенной структуры автомобильной дороги. Через канал Флоке 1 осуществляется динамическое нагружение гетерогенной структуры колесом автомобиля, следовательно, параметры  $\rho, c_l, c_\tau$  берем для резины. Для остальных каналов, находящихся сверху структуры, параметры  $\rho, c_l$  берем для воздуха. Для каналов, находящихся снизу структуры, параметры  $\rho, c_l, c_\tau$  выбирают для соответствующего типа материала слоя гетерогенной структуры дорожного полотна. Для боковых каналов структуры параметры выбирают

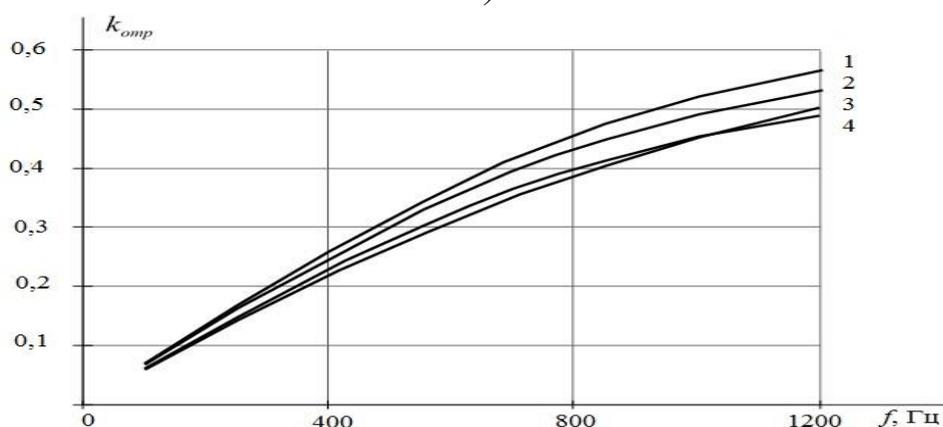
следующим образом: первый слой –  $\rho, c_l, c_\tau$  для асфальта; второй слой –  $\rho, c_l, c_\tau$  для асфальта; третий слой –  $\rho, c_l, c_\tau$  для гравия; четвертый слой –  $\rho, c_l, c_\tau$  для песка; пятый слой –  $\rho, c_l, c_\tau$  для уплотненного грунта.

На рис. 3 показаны результаты расчета коэффициента отраженной волны  $k_{отр}$  от частоты динамического нагружения.

Коэффициент отражения определялся как  $k_{отр} = \frac{c_1^-}{c_1^+}$ , где  $c_1^+$  – амплитуда прямой волны;  $c_1^-$  – амплитуда отраженной волны. Цифры у кривых соответствуют варианту конструктивного исполнения дорожного полотна. Из графиков следует, что наиболее жесткая «волновая подушка» – у конструкции 1. Для скоростей автомобилей не более 60 км/ч (из технических характеристик спектр частот не превышает 400 Гц) коэффициент отражения у всех четырех конструкций примерно одинаковый и не превышает  $k_{отр} = 0,25$ .



а)



б)

Рис. 3. Результаты расчета коэффициента отражения:  
 а) варианты конструктивного исполнения дорожного полотна;  
 б) зависимость коэффициента отраженной волны от частоты динамического нагружения

На рис. 4 приведены результаты моделирования распределения давления для прямой волны по глубине гетерогенной структуры автомобильной дороги для конструкции 1 (рис. 3). Для больших частот, которые характерны для скоростных режимов движения транспортных средств, наблюдаются значительные изменения давления на границах раздела сред «асфальтобетон – гравий, гравий – песок, песок – уплотненный грунт». Быстрые изменения давления приводят к увеличению скорости частиц среды на границе раздела, что ведет к разрушениям гетерогенной структуры автомобильной дороги.

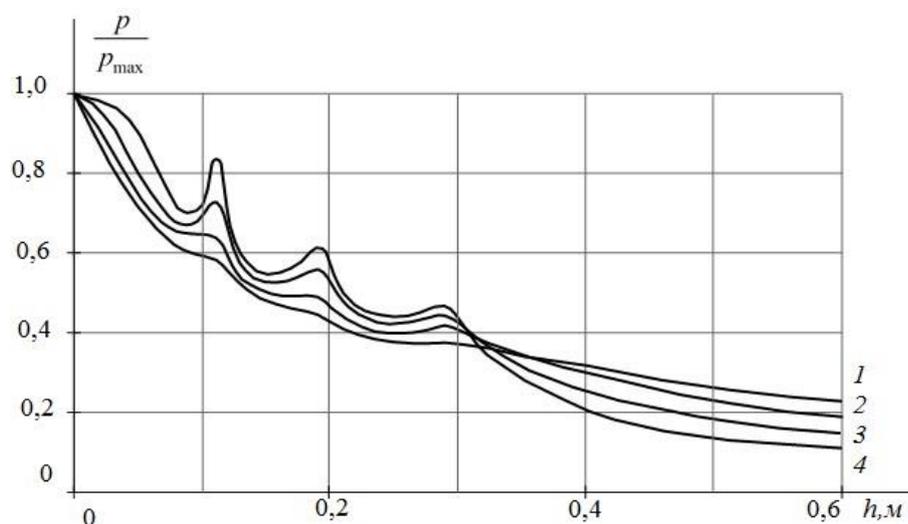


Рис. 4. Распределение давления для прямой волны по глубине гетерогенной структуры конструкции 1:  
кривая 1 –  $f = 100$  Гц; 2 –  $f = 400$  Гц; 3 –  $f = 800$  Гц; 4 –  $f = 1200$  Гц

На основании проведенного системного анализа и разработанной обобщенной модели для многослойных структур были рассмотрены задачи по исследованию НДС и динамических процессов в дорожном полотне различных структур, которое рассматривалось как ленточная многослойная структура [3].

Результаты математического моделирования распределения динамического давления по структуре различных вариантов дорожного покрытия были подтверждены экспериментально при физическом моделировании этих процессов на моделях, а также при натурных испытаниях. Результаты проведенных исследований использованы при выполнении НИР в рамках аналитической целевой программы Минобр. РФ по проектам: «Исследование волновой динамики ленточной многослойной структуры, лежащей на упруго-пластическом основании» (Проект №2.1.2./2989, 2011 г.) и «Исследование эволюционных процессов в сплошных системах с дискретно-непрерывной структурой» (Проект №1.5.10, 2014 г.). Результаты численного моделирования динамических процессов в многослойной структуре реализованы в виде патентов на изобретение и полезную модель по способам укрепления слоистого дорожного полотна [4-6].

## Список литературы

1. Литвинов, А.Н. Моделирование динамических процессов в изделиях приборостроения: монография / А.Н. Литвинов. Пенза: Изд-во ПГУ, 2011. 198 с.
2. Артамонов, Д.В. Моделирование процессов в слоистых структурах изделий: монография / Д.В. Артамонов, В.И. Волчихин, А.Н. Литвинов. Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2012. 260 с. ДСП.
3. Артамонов, Д.В. Моделирование ленточных многослойных гетерогенных структур при динамических нагружениях / Д.В. Артамонов, А.А. Авдеев и др. // Надежность и качество: книга тр. междунар. симпозиума. В 2-х томах, Т.1 Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. С. 154-156.
4. Пат. 2392367 Российская Федерация. Сотовая конструкция земляного полотна / Д.В. Артамонов, Н.С. Кузнецов, В.В. Смогунов, О.А. Вдовикина, В.А. Бахилин. Опубл. 20.06.2010.
5. Пат. на полезную модель 92428. Российская Федерация. Упрочненная дорога / Смогунов В.В., Артамонов Д.В., Кузнецов Н.С., Устинов Е.М., Синьковская О.В. Опубл. 20.03. 2010.
6. Пат. 2381325 Российская Федерация. Способ укрепления дорожного полотна / Артамонов Д.В., Авдеев А.А. Опубл. 20.02.2010.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВ НА ПРЕДПРИЯТИИ

О.Н. Богачева

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Рассмотрена необходимость использования экономико-математических методов в инвестиционной деятельности. Описана математическая модель формирования оптимального портфеля инвестиций.

**Ключевые слова:** *инвестиционный портфель, оптимизация портфеля реальных инвестиций.*

## HOW TO EFFICIENTLY USE THE FUNDS OF A BUSINESS

O.N. Bogachyova

*The Rubtsovsk industrial institute (branch) of "The Altai state technical  
university after I.I. Polzunov"*

**Abstract:** The article undertakes the study of a proper use of economic and mathematical methods in investing activities. The description of a mathematical model of an efficient investment portfolio may be found in the work.

**Keywords:** *investment portfolio, efficient portfolio of real investment.*

Широкое использование экономико-математических методов в инвестиционной деятельности необходимо и оправдано, тем более что эффективный инвестиционный менеджмент невозможен без математических вычислений.

Наличие большого количества информации, многовариантность различных планово-управленческих решений – этим обусловлена необходимость использования математического и компьютерного моделирования.

Подобный характер принятия решений приводит к ускорению цикла разработки инвестиционной стратегии группы, оперативной корректировке разработанной программы и повышению точности и надежности результатов.

Формирование портфеля реальных инвестиционных проектов предполагает выбор наилучшей комбинации инвестиционных предложений из их заданной совокупности, что возможно только на основе рассмотрения многокритериальной задачи, являющейся обобщением процедур автономного оценивания конкретного инвестиционного проекта. Эта задача достаточно сложная, и решить ее можно лишь путем создания (использования) оптимизационных и имитационных моделей реализации совместных инвестиционных проектов.

Проблема выбора портфеля инвестиций достаточно хорошо известна. Вопросы формирования оптимальных портфелей инвестиционных проектов рассмотрены в ряде работ.

За основу задачи оптимального портфеля инвестиций была взята модель финансирования проектов, рассмотренная в книге А.А. Матвеева, Д.А. Новикова, А.В. Цветкова «Модели и методы управления портфелями проектов». В модели задано управление, то есть мы можем выбирать проект и время его запуска из каждой группы альтернативных проектов. Данная модель дополнена расчетом оптимальной политики кредитования при заданных по периодам суммарных лимитах кредитных средств.

Требуется разработать оптимальную политику инвестирования за период времени длительностью  $T$  (месяцев, кварталов, лет). В качестве критерия оптимальности выбираем максимум чистого приведенного дохода инвестиционного фонда. Рассмотрим произвольный проект  $p_i$  из множества предлагаемых проектов  $P$ . Каждый проект характеризуется величиной денежного потока  $f_j(p_i, t_i)$ , где  $j$  – номер периода времени,  $j = 0..T$ ,  $t_i$  – время запуска,  $t_i \in [0..T - 1]$ . Будем учитывать доходы от проектов в концах периодов и согласуем с ними инвестиции, как правило, реализуемые в начале отрезков времени. Тогда величина потока  $f_j$  соответствует доходу в период  $j$  минус расход на последующий,  $j + 1$ :

$$f_j(p_i, t_i) = \overline{CF}_i(j) - \overline{I}_i(j + 1), \quad (1)$$

где  $\overline{CF}_i(t) = k_i^t \cdot CF_i(t)$  и  $\overline{I}_i(t) = k_i^t \cdot I_i(t)$ ;

$$\overline{CF}_i(0) = 0.$$

Все доходы могут быть реинвестированы.

Достаточным условием финансовой реализуемости портфеля проектов является неотрицательность величины его текущего финансового баланса в каждый момент времени реализации. В указанных обозначениях задача

оптимизации ЧДД портфеля проектов может быть представлена следующим образом:

Требуется рассчитать множество  $\bar{P}$  фактически запускаемых проектов и время  $t_{i \in \bar{P}}$  старта каждого проекта с максимизацией чистого приведенного дохода в заданном горизонте планирования, т.е. найти максимум суммы

$$\sum_{p_i \in \bar{P}} \sum_{j=t_i}^T f_j(p_i, t_i) \rightarrow \max \quad (2)$$

При ограничениях на предельные объемы инвестиций

$$\sum_{j=0}^k \sum_{p_i \in P_j} f_j(p_i, t_i) + \sum_{j=0}^k l_j \geq 0, \quad k = 0..T, \quad (3)$$

где  $\bar{P}_j$  – множество проектов, запускаемых до  $j$ -го периода включительно;

$l_j$  – максимум собственных вложений фонда в период  $j+1$  (вкладываемые в портфель проектов инвестиции, доходы от продажи акций, иные поступления в фонд, закрепленные договорными отношениями).

Задача на этом этапе решается методом динамического программирования с использованием Парето-оптимальных множеств.

В задачах динамического программирования экономический процесс зависит от времени (от нескольких этапов), поэтому находится ряд оптимальных решений (последовательно для каждого этапа), обеспечивающих оптимальное развитие всего процесса в целом. Задачи динамического программирования называются многоэтапными или многошаговыми.

#### Список литературы

1. Четыркин, Е.М. Финансовый анализ производственных инвестиций / Е.М. Четыркин. М.: Дело, 1998. – 256 с.
2. Виленский, П.Л. Оценка эффективности инвестиционных проектов: теория и практика / П.Л. Виленский, В.Н. Лившиц, С.А. Смоляк. М.: Дело, 2002. – 888 с.
3. Шарп, У.Ф. Инвестиции. / У.Ф. Шарп, Г.Д. Александер, Д.В. Бэйли. М.: Инфра-М, 2001. – 1035 с.

## ПРЕВЕНТИВНАЯ ЗАЩИТА ИНСТРУМЕНТА И АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ПРЕССОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

А.И. Виноградов, В.Г. Шibaков

ОАО «КАМАЗ», Набережночелнинский институт К(П)ФУ

Предложена схема дополнительного уравнивателя ползуна гидравлического пресса, а также разработан метод рационального распределения пробивных пуансонов по уровням пробивки при изготовлении длинномерных, тяжело нагруженных деталей типа лонжерон грузового автомобиля.

**Ключевые слова:** автоматизированная линия, алгоритм, перекоп ползуна, гидравлическое устройство, вырубка-пробивка.

## PREVENTIVE TOOL PROTECTION AND AUTOMATED SYSTEM OF HIGHER PERFORMANCE OF PRESS EQUIPMENT

A.I. Vinogradov, V.G. Shibakov

*OJSC «KAMAZ», Branch of K(P)FU in NaberezhnyeChelny*

**Abstract:** One may find in the present work a flow diagram of an additional ram balancer of the hydraulic press and a devised technique to effectively locate punches by piercing depth in the manufacture of long, heavy duty parts such as truck frame girders.

**Key words:** *automated production line, algorithm, imbalance of ram, hydraulic unit, blanking-punching.*

В настоящее время изготовление лонжеронов на ОАО «КамАЗ» для большегрузных автомобилей и автобусов осуществляется путем вырубки контурных заготовок длиной  $\sim 6000 \div 10000$  мм, толщиной  $\sim 8 \div 10$  мм из горячекатаного проката из качественной низколегированной стали повышенной прочности марки 20ГЮТ и дальнейшей их формовки. Данные операции выполняются на автоматизированной линии, включающей 2 гидравлических прессы KOMATSU UAS 6000 MB силой 60 МН. Крепление к лонжерону деталей как самой рамы, так и других узлов автомобиля обуславливает наличие в нем многочисленных отверстий различных диаметров  $\varnothing = 11 \div 45$  мм и назначения (рис. 1), поэтому на первом этапе вырубка по контуру совмещена также с пробивкой более 300 отверстий (для модели автомобиля КамАЗ 43118). При этом для снижения силы штамповки процесс вырубки и пробивки отверстий осуществляются последовательно, т.е. вырубной контур и пробивные пуансоны размещены на различных высотах в штампе. Кроме того пробивные пуансоны также разделены между собой на 3 уровня по высоте.

При пробивке многочисленных отверстий в заготовке лонжерона возникает неравномерное распределение силы штамповки относительно поперечной оси прессы, что приводит к смещению центра давления штампа относительно центра давления самого прессы. Данное явление обусловлено двумя причинами: во-первых, распределение пробивных пуансонов на уровни осуществляется по принципу – одинаковые диаметры на одном уровне; во-вторых, при штамповке в ряде модификации лонжеронов в настоящее время «универсальные» отверстия, пробиваемые на прессы, расположены преимущественно на одной половине заготовки. Вследствие этих причин сила штамповки начинает значительно преобладать на одном из концов заготовки и возникает крутящий момент, стремящийся повернуть ползун относительно центра давления прессы.

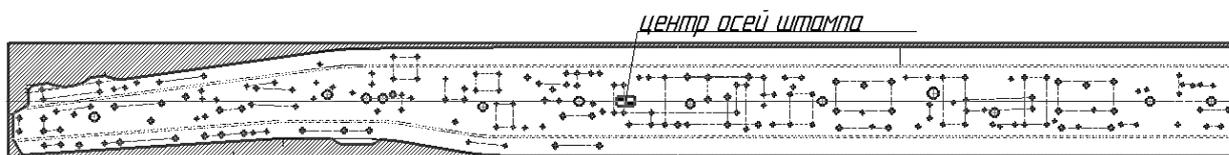


Рис. 1. Заготовка лонжерона автомобиля КАМАЗ, вырубаемая на прессы KOMATSU UAS 6000 MB

Это явление приводит к проблемам как собственно оборудования, так и самого процесса штамповки. В частности это: повышенный износ рабочих частей штампа, таких как втулки, направляющие, пуансоны и т.д.; поломка пуансонов; появление заусенцев после пробивки отверстий на детали; повышенный износ самого пресса, возможность заклинивания ползуна вследствие перекоса и как следствие простой уникального, дорогостоящего оборудования.

Целью проведенной работы является устранение обозначенных проблем путем приведения центров давления штампов, находящихся в обращении, на ось пресса с помощью создания дополнительной силы противодействия перекосу ползуна и рационального размещения пуансонов по высоте.

Для достижения указанной цели предлагается:

1. В случае наличия в изготавливаемом лонжероне приблизительно одинакового соотношения пробиваемых отверстий относительно оси пресса – применить более рациональное распределение отверстий по вертикальным уровням, чтобы свести крутящий момент на ползуне пресса до приемлемых значений. Для этого разработан алгоритм, на основе которого будет внедрена программа, позволяющая рассчитать по заданным координатам и диаметрам отверстий крутящий момент и распределить отверстия между уровнями с достижением минимальных приемлемых значений крутящего момента.

2. В случае отсутствия или весьма неравномерного соотношения отверстий относительно оси пресса единственным вариантом решения остается создание дополнительной силы противодействия для предотвращения перекоса ползуна.

Основной принцип рационального распределения пуансонов по уровням пробивки заключается в переводе некоторых пуансонов 1-го уровня на 2-й и далее на 3-й уровень. Наиболее эффективно это реализуется с помощью применения подкладных плиток необходимой толщины под каждый пробивной пуансон. Алгоритм определения вариантов рационального размещения пуансонов и необходимой силы противодействия перекосу ползуна пресса приведен на рис. 2. Более подробно особенности его функционирования рассмотрены ниже на примере рационального распределения пуансонов по уровням пробивки для штампа вырубке-пробивки заготовки лонжерона автомобиля КамАЗ 43118.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

$d_{i(j)nm}$  – диаметры пробиваемых отверстий, мм; где  $n = 1, 2, 3$  – уровни пробивки;  $i(j)$  – правая (левая) половина заготовки лонжерона относительно центра осей пресса;  $m = 1, 2, 3, \dots$  – номера отверстий;

$L_{i(j)nm}$  – расстояния от центра осей пресса до центра каждого отверстия (плечи крутящих моментов), мм (рис. 3);

$S$  – толщина металла, мм;

$\sigma_{cp}$  – сопротивление срезу,  $H/mm^2$ . Сопротивление срезу – это условная величина, применяемая в теоретических технологических расчетах ввиду сложности и неоднородности силового поля при вырубке-пробивке. Оно объединяет все виды сопротивления вырезаемого металла и автоматически учитывает упрочнение металла к моменту скола [1].

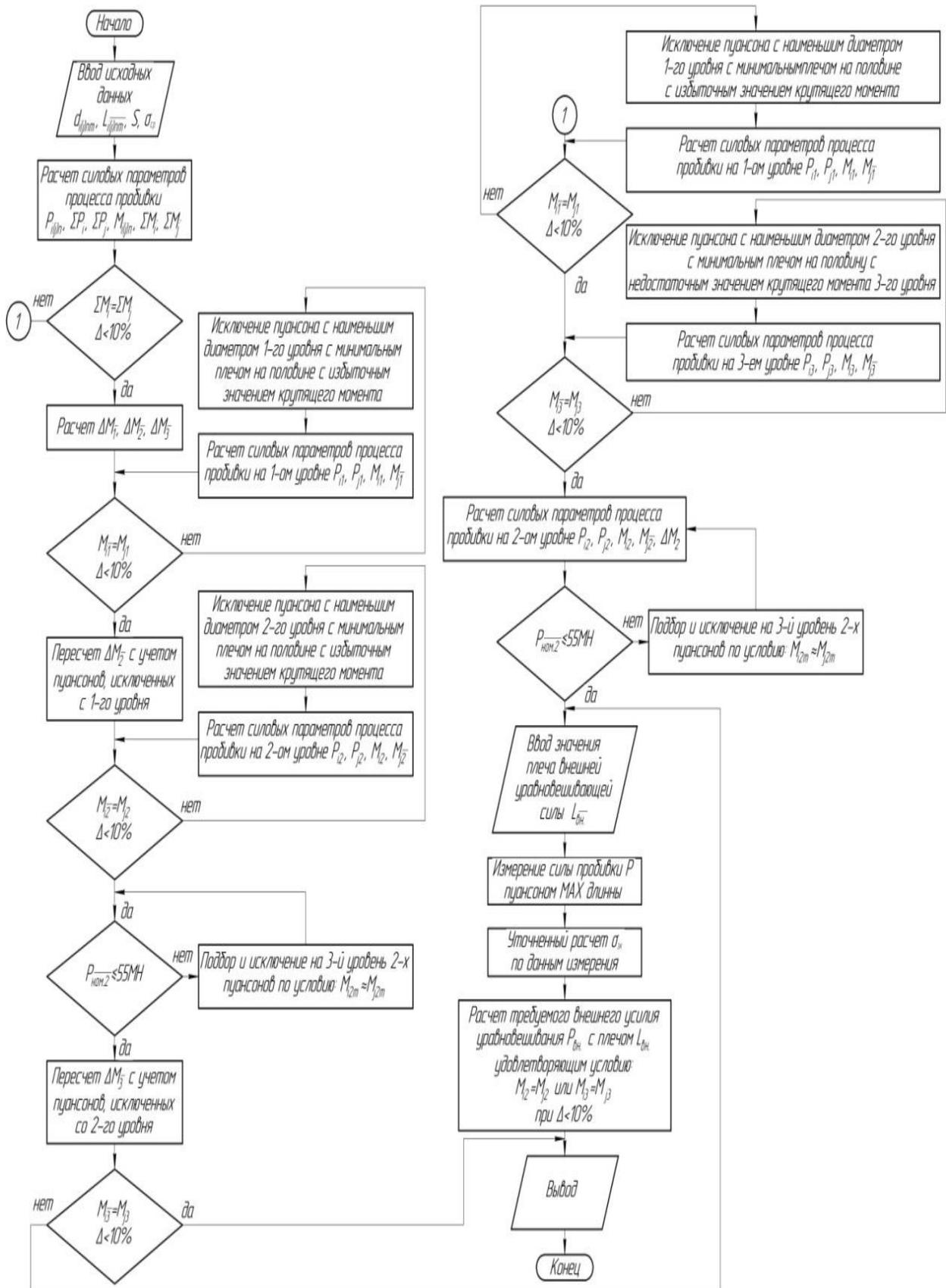


Рис. 2. Алгоритм расчета вариантов рационального распределения пробивных пуансонов по уровням пробивки и определения дополнительной силы уравновешивания в реальном масштабе времени

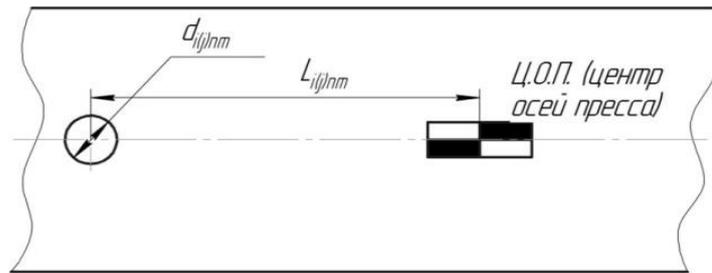


Рис. 3. Схема определения исходных данных на заготовке лонжерона

$P_{i(j)n}$  – сумма сил пробивки на  $n$ -м уровне на правой (левой) половинах заготовки лонжерона,  $H$ ;

$\sum P_i$  – сумма всех сил пробивки на правой половине заготовки лонжерона,  $H$ ;

$\sum P_j$  – сумма всех сил пробивки на левой половине заготовки лонжерона,  $H$ ;

$M_{i(j)n}$  – сумма моментов от сил пробивки на  $n$ -м уровне на правой (левой) половинах заготовки лонжерона,  $H \cdot мм$ ;

$\sum M_i$  – сумма моментов от всех сил пробивки на правой половине заготовки лонжерона,  $H \cdot мм$ ;

$\sum M_j$  – сумма моментов от всех сил пробивки на левой половине заготовки лонжерона,  $H \cdot мм$ ;

$\Delta$  – допустимое отклонение разности моментов от сил пробивки на правой и левой половинах заготовки лонжерона, %;

$\Delta M_n$  – разность моментов от сил пробивки на правой и левой половинах заготовки лонжерона на  $n$ -м уровне,  $H \cdot мм$ ;

$P_{НОМ.n}$  – номинальная сила пробивки на  $n$ -м уровне,  $H$ ;

$L_{вн.}$  – значение плеча уравновешивающей силы противодействия перекосу ползуна,  $мм$ ;

$P_{вн.}$  – уравновешивающая сила противодействия перекосу ползуна,  $H$ ;

$\sigma_{эк}$  – экстремальное значение сопротивления срезу материала заготовки,  $H/мм^2$ ;

$L$  – периметр контура пробивки,  $мм$ .

Только рациональным размещением пуансонов проблему перекоса ползуна устранить невозможно, поэтому необходимо приложение к ползуну силы противодействия его повороту.

Для создания этой силы на прессе KOMATSU UAS 6000 MB наиболее рационально применить специальное гидравлическое устройство [2] (рис. 4). При этом следует иметь в виду, что сила противодействия перекосу ползуна необходима только при пробивке отверстий 2-го уровня, так как остальные уровни уравновешиваются с помощью рационального распределения пуансонов согласно данным расчетного алгоритма [3].

На рис. 4 приняты следующие обозначения:

1 – гидроцилиндр; 2 – регулирующий элемент; 3 – перепускной клапан; 4 – двух позиционный распределитель; 5 – нерегулируемый насос; 6 – пробивной пуансон максимальной длины; 7 – датчик для измерения параметров

штампуемости (силоизмеритель (месдоза), ходограф); 8 – усилитель; 9 – блок сравнения измеренных параметров с эталонными; 10 – система управления прессом; 11 – ползун; 12 – стол прессы; 13 и 14 – верхний и нижний штампы; 15 – плита подкладная.

Принцип работы данного устройства следующий. Шток гидроцилиндра 1 до рабочего хода выставляется на высоту пробивки отверстий 2-го уровня с помощью насоса 5, переключения распределителя 4 и регулирующего элемента 2. Перепускной клапан 3 настраивается на силу, полученную из алгоритма на предыдущем этапе. В момент рабочего хода шток гидроцилиндра должен соприкоснуться с ползуном 10, и при пробивке отверстий 2-го уровня сила на штоке достигает заданного значения для противодействия перекосу. В дальнейшем срабатывает перепускной клапан, рабочая жидкость перетекает в верхнюю полость гидроцилиндра, и ползун беспрепятственно совершает дальнейший ход.

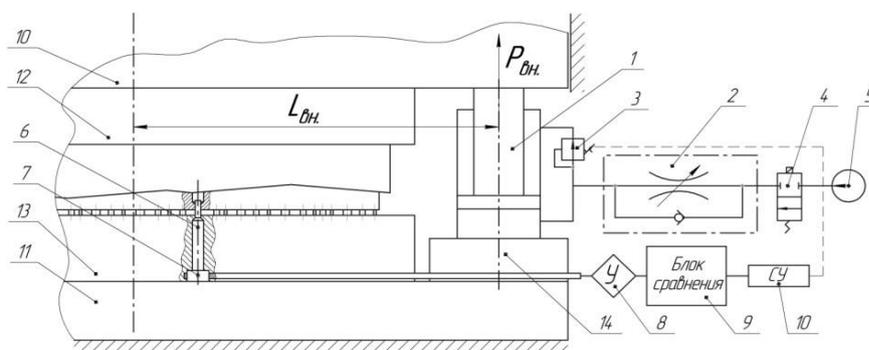


Рис. 4. Гидравлическая схема устройства для уравнивания ползуна

Предложена конструкция устройства для уравнивания ползуна гидравлического прессы KOMATSU UAS 6000 MB. Разработанная принципиальная схема гидравлического устройства уравнивателя ползуна прессы позволяет задавать требуемое значение силы противодействия перекосу ползуна в необходимый момент времени, приложенной в заданной точке ползуна. Его использование позволит предотвратить такие проблемы, как преждевременный износ и выход из строя рабочих частей штампов, в частности поломки пробивных пуансонов; образование заусенцев на заготовках для лонжеронов при недопустимых значениях перекоса ползуна; тяжелые условия функционирования прессового оборудования и повышенный износ его узлов; незапланированные простои из-за проблем с прессом, а также вследствие заклинивания ползуна в процессе штамповки.

#### Список литературы

1. Мовшович, И.Я. Экспериментальное определение контактных давлений в технологической системе «пуансон–заготовка–матрица» разделительного штампа / И.Я. Мовшович, Н.А. Ткачук, А.В. Ткачук, Н.А. Демина // Кузнечно-штамповочное производство. 2012. №9. С. 25-30.

2. Шандров, Б.В. Технические средства автоматизации: учебник для студентов высших учебных заведений / Б.В. Шандров. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 368 с.

3. Щербина, Ю.В. Технические средства автоматизации и управления: Учебное пособие / Ю.В. Щербина. М.: Моск. гос. ун-т печати. МГУП, 2002. 448 с.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ОБЪЕКТОВ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ г. КРАСНОЯРСКА**

Т.В. Гавриленко, Н.В. Докалина, А.А. Турбин, Д.Е. Крынцева  
*Сибирский федеральный университет*

Излагаются результаты проектирования объектов улично-дорожной сети с применением программных продуктов Google Earth, Autocad, IndorCAD и IndorDraw, выполненные в студенческих выпускных работах. Отмечаются положительные стороны применения современных информационных технологий в проектировании объектов дорожного строительства.

**Ключевые слова:** *программные продукты, автоматизированное проектирование, транспортный коридор, многоуровневая развязка.*

## **INFORMATION TECHNOLOGY FOR DESIGNING THE OBJECTS OF A ROAD NETWORK IN KRASNOYARSK**

T.V. Gavrilenko, N.V. Dokalina, A.A. Turbin, D.E. Kryntsova  
*Siberian Federal University*

**Abstract:** The article presents the design results related to the road network using software products Google Earth, Autocad, IndorCAD and IndorDraw, done by students in their graduate works. The article indicates the advantages of the IT application for road designing purposes.

**Key words:** *software, computer-aided design, transport corridor, multi-level interchange.*

Современные технологии проектирования транспортных объектов, базирующиеся на применении специальных программных комплексов, широко используются как профессиональными проектировщиками, так и студентами в своих курсовых и дипломных работах. Такие программные комплексы позволяют даже начинающим проектировщикам выполнять свои работы на высоком профессиональном уровне. Особый интерес студенческие проекты вызывают в том случае, когда предлагаются оригинальные идеи и проектные решения для проблемных объектов улично-дорожной сети города Красноярска.

Одной из таких идей является устройство нового транспортного коридора [1]. Исторически сложилось, что северо-западный и западный секторы Красноярска отделены от остальных районов города Транссибирской магистралью, проезд через которую возможен в трех пунктах, организованных в виде путепроводов (Копыловский мост, путепроводы у развлекательного центра «Космос» и на станции Бугач). Все три проезда имеют недостаточное число полос движения и способствуют образованию транспортных пробок.

Предлагаемый новый транспортный коридор представляет собой улично-дорожную сеть, включающую в себя существующие улицы Тотмина, Калинина, Телевизорную, проспект Свободный и новую улицу, называемую далее Проектируемой. Новая уличная сеть показана на рис. 1, на котором Проектируемая улица расположена между метками 1 и 2. Данная сеть улиц предусматривает устройство кольцевой развязки на слиянии улиц Тотмина, Гусарова, Высотной и Проектируемой (метка 1). Развязка призвана повысить пропускную способность перекрестка, так как на кольце ликвидируется светофорное регулирование и появляется дополнительный путь сообщения по новой улице.

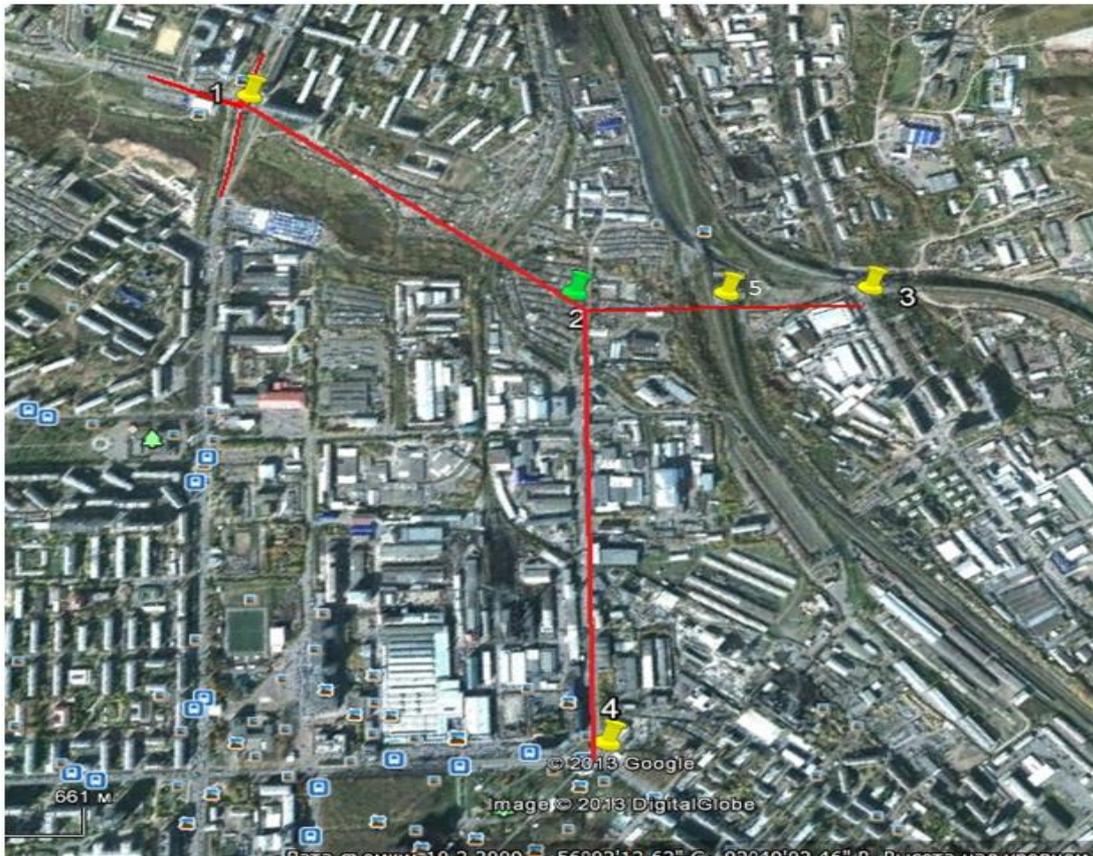


Рис. 1. Новый транспортный коридор

В проекте также разработано два новых примыкания. Первое сопрягает улицы Телевизорную (на схеме она находится между метками 2 и 4) и Проектируемую (метка 2), тем самым ликвидирует существующий тупик в конце первой улицы, направляя часть автомобильного потока с проспекта Свободного в новый транспортный коридор. На схеме примыкание ул. Телевизорной к проспекту Свободному указано меткой 4. Второе примыкание свяжет Проектируемую улицу с улицей Калинина (метка 3). Новое пересечение с железной дорогой устраивается на Проектируемой улице (метка 5). Детальный анализ показал, что наиболее эффективным способом пересечения является тоннель под железной дорогой.

Информационные технологии в проектировании строительных объектов требуют представления исходной топографической информации в цифровом виде. Обычно ее получают с помощью специальных электронных геодезических приборов, спутниковых технологий или путем оцифровки крупномасштабных карт. Все эти способы изысканий предполагают доступ к информации служебного пользования и наличие специального разрешения на проведение геодезических работ. В рамках студенческого проектирования вполне достаточной является информация, находящаяся в открытом доступе. Её можно получить, например, с помощью специальной бесплатной программы Google Earth. Программа дает визуальную картину района изысканий, а также позволяет вычислить расстояния между отмеченными метками пунктами и определить отметки поверхности земли по выбранному маршруту. На рис. 2 показан снимок экрана с продольным профилем поверхности земли по оси Проектируемой улицы.

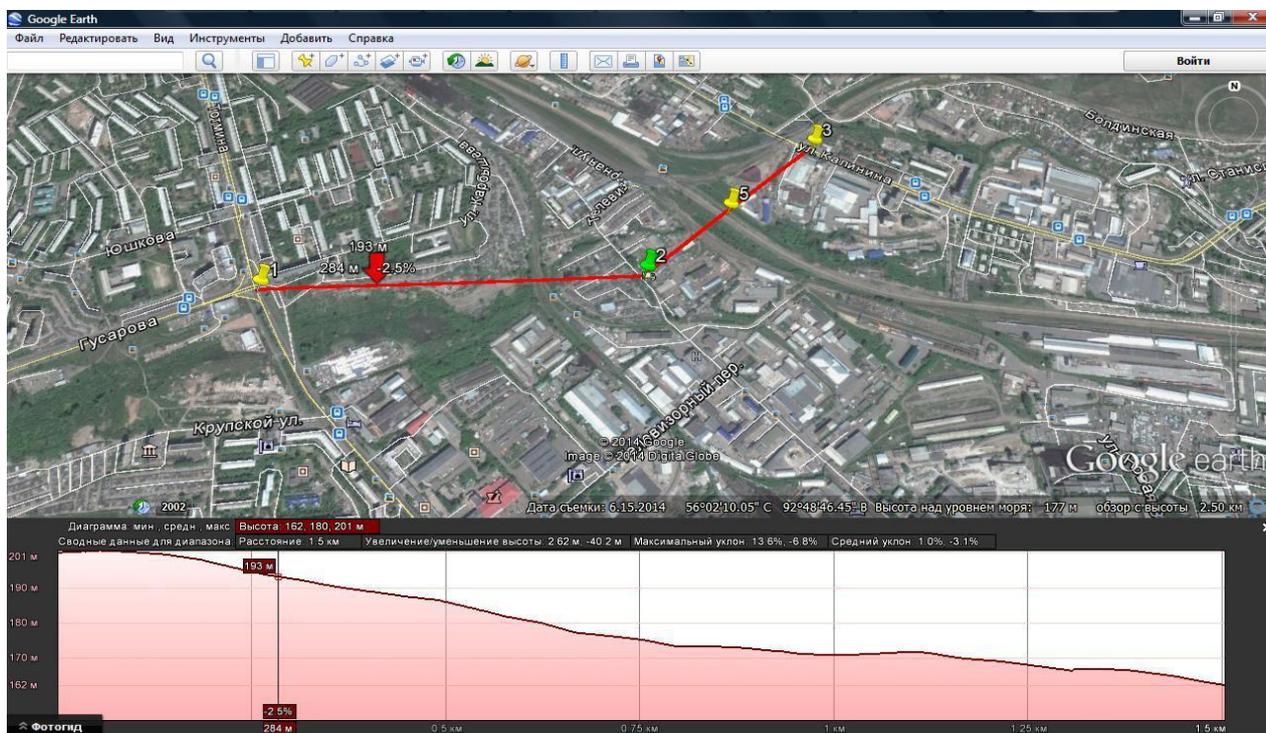


Рис. 2. Продольный профиль поверхности земли для выбранного маршрута

Проект нового транспортного коридора разрабатывался в программе Автокад, что позволило выполнить чертежи высокого графического качества. На рис. 3, как иллюстрация, приведен чертеж запроектированной кольцевой развязки.

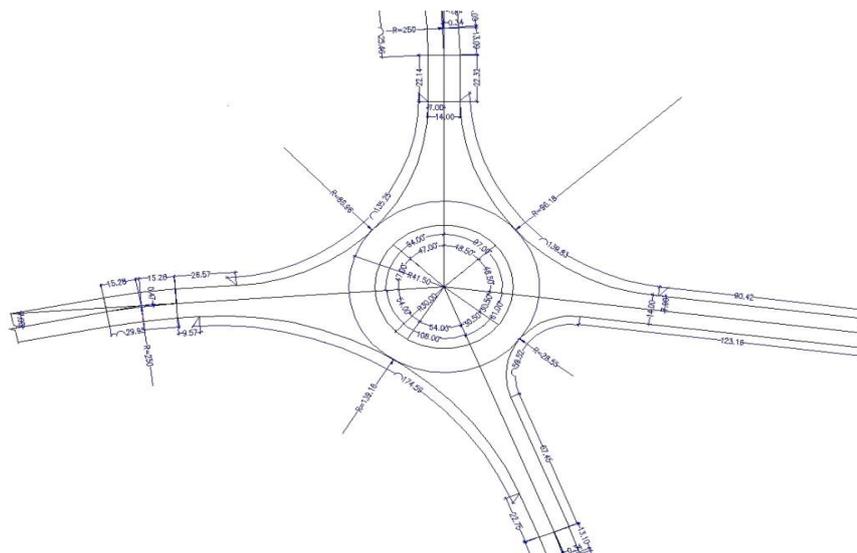


Рис. 3. Чертеж кольцевой развязки

Кроме железной дороги, разрезающей Красноярск, транспортную ситуацию осложняет деление города рекой Енисей, практически на равные половины. Улучшению схемы автомобильного движения должен способствовать новый строящийся 4-й мостовой переход через Енисей. Особое внимание уделяется транспортным развязкам на подходах к мосту. Наряду с проектами, предлагаемыми специализированными организациями, представляет интерес и проект, выполненный в [2], также с применением современных технологий проектирования.

Рассматриваемая многоуровневая развязка предназначена для сопряжения примыкания 4-го мостового перехода к улице Свердловской (метка 21 на рис. 4). Обоснование выбранного варианта развязки изложено в [3,4].

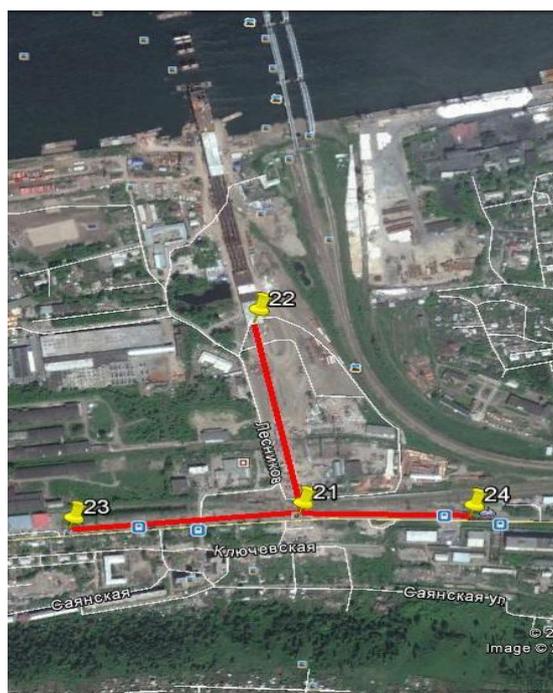


Рис. 4. Место будущей развязки на плане Красноярска

Проект развязки выполнялся в программе автоматизированного проектирования IndorCAD. На основе крупномасштабного плана местности была построена цифровая модель местности (ЦММ). Рельеф в данной программе моделируется триангуляцией, т.е. на введенных точках строятся треугольные грани, в пределах которых отметки определяются по правилам линейной интерполяции. Ребра треугольников построенной модели видны на рис. 5.

На следующем этапе проектирования выполнялось трассирование сопрягаемых дорог и съездов. Для этого сначала автоматизированным способом прокладывались оси улицы Свердловской и примыкания к мосту, а потом к ним строились оси правоповоротных и левоповоротных съездов. При этом способе проектировщик на ЦММ задает начало, конец трассы и вершины углов поворота трассы и вводит расчетные значения радиусов кривых, длины переходных кривых. Разбивка трассы на пикеты и вычисление на них отметок земли производится автоматически.

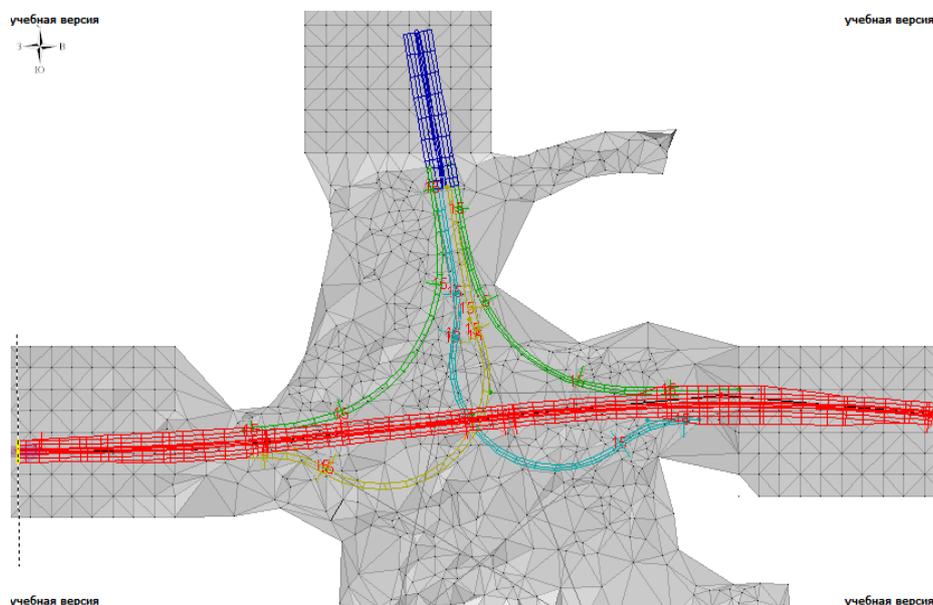


Рис. 5. Цифровая модель и элементы сопряжения на многоуровневой развязке

Исходные данные для проектирования и расчетов геометрических элементов съездов приведены в [3]. Проектные линии продольных профилей трасс строились методом тангенсов, при этом особое внимание уделялось сопряжению всех пространственных линий (осей трасс, кромок проезжих частей и бровок насыпей) между собой, которые на многоуровневой развязке имеют разные отметки на своих концах.

Также в проекте автоматизированным способом были выполнены необходимые расчеты и построения для поперечных профилей трасс и других элементов развязки.

В заключение можно отметить, что применение информационных технологий в студенческих работах позволяет разрабатывать проекты объектов дорожного строительства на высоком уровне. Современные программные продукты, связанные со спутниковыми технологиями, делают доступной геодезическую информацию на любой территории, тем самым позволяя начинающим проектировщикам разрабатывать любые самые смелые проекты. Программы автоматизированного проектирования экономят время, благодаря уменьшению рутинной работы, позволяют рассмотреть большое количество вариантов, быстро ликвидировать ошибки в проектировании. Графические программы Автокад и IndorDraw являются хорошим инструментом при получении чертежей высокого качества.

#### Список литературы

1. Докалина, Н.В. Проект организации движения автомобильного транспорта в Октябрьском районе г. Красноярска с учетом нового пересечения с железной дорогой: дипломный проект: 270205.65 «Автомобильные дороги и аэродромы» / Н.В. Докалина, А.А. Турбин / Руков. Т.В. Гавриленко. Красноярск: Сибирский. фед. ун-т., 2013. 81 с. поясн. записки и 10 л. граф. части.

2. Крынцова, Д.Е. Проект правобережной развязки 4-го мостового перехода через р. Енисей в г. Красноярске: дипломный проект: 270205.65 «Автомобильные дороги и аэродромы» / Д.Е. Крынцова / Руков. Т.В. Гавриленко. Красноярск: Сибирский. фед. ун-т., 2014. 60 с. поясн. записки и 12 л. граф. части.

3. Крынцова, Д.Е. Автоматизированное проектирование правобережной развязки 4-го мостового перехода в г. Красноярске // Проблемы социального и научно-технического развития в современном мире: Материалы XVI Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 25-26 апреля 2014 г. / Рубцовский индустриальный институт – Рубцовск, 2014. С. 37-40.

4. Крынцова, Д.Е. Проектирование правобережной развязки 4-го мостового перехода через р. Енисей в г. Красноярске // Молодежь и наука: сб. материалов X Юбилейной Всероссийской н.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, посвященной 80-летию образования Красноярского края / Сибирский федер. ун-т, 2014 [Электронный ресурс], <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2014/directions.html>

# ПРОБЛЕМЫ КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ ПРОЦЕССОВ В КРИСТАЛЛЕ НА АТОМНОМ УРОВНЕ

Е.А. Дудник, К.В. Гвоздев, В.О. Красноперова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБУ ВПО «Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова»*

Обсуждаются физическая, математическая и вычислительная модели компьютерного эксперимента структурных процессов в кристаллах на атомном уровне, представлены описания вычислительные модели методов молекулярной динамики и Монте Карло. Проведен сравнительный анализ устойчивости и точности данных методов.

**Ключевые слова:** *компьютерное моделирование, метод молекулярной динамики, метод Монте-Карло.*

## COMPUTER SIMULATION PROBLEMS OF STRUCTURAL PROCESSES IN CRYSTALS ATOMWISE

E.A. Dudnik, K.V. Gvozdev, V.O. Krasnoperova

*Rubtsovsk Industrial Institute of Altai State (branch)  
Technical University after I.I. Polzynov*

**Abstract:** The paper is devoted to the discussion of physical, mathematical and computation models in computer experiments pertaining to structural transformations in crystals atomwise. One may also find descriptions of computation models of molecular dynamics techniques and Monte Carlo. An attempt has been made to carry out a comparative analysis for verification of the used methods.

**Key words:** *computer simulation, molecular dynamics methodology, the Monte Carlo methods.*

### Введение

Внимание к развитию численных методов решения основных технических задач является следствием широкого применения компьютерных технологий, быстрого развития вычислительной техники, возрастающего объема разнообразного программного обеспечения. Традиционно, методы научных исследований делились на фундаментальные и экспериментальные. Появление исследований методом компьютерного эксперимента является взаимодополняющим и соединяющим два традиционных подхода в один [1]. Действительно, с одной стороны, для проведения компьютерного эксперимента нужна теоретическая база, чтобы сформулировать постановку задачи и предсказать предполагаемый результат, с другой стороны, результаты натуральных экспериментов являются критериями истинности и достоверности теоретических предположений. Компьютерный эксперимент может быть представлен как модель экспериментального исследования и служить проверкой первоначальной гипотезы. В ходе компьютерного эксперимента может быть установлены зависимости определенных свойств объекта исследования и его структурных характеристик. Компьютерный эксперимент является хорошим дополнительным инструментом для исследователей: с одной

стороны, он не может существовать без теоретической основы, а другой – должен быть подтвержден натурным экспериментом. Хорошо спланированный компьютерный эксперимент может сэкономить огромные средства на техническое оборудование и подобрать оптимальные условия проведения эксперимента натурального.

Целью данной статьи является проведения анализа методов молекулярной динамики и метода Монте-Карло для исследователей, которые работают в области моделирования структурных превращений в кристаллах на атомном уровне.

### **Методика проведения компьютерного эксперимента**

Моделирование физических процессов в кристаллах на атомном уровне является более ценным, если система содержит достаточно большое количество атомов, порядка 2000 атомов. Увеличение числа атомов сильно удлиняет время счета, эта проблема частично решается за счет использования эффективных алгоритмов. Еще одной проблемой моделирования является рост погрешности и адекватности методов. Поэтому прежде чем приступить к моделированию физических процессов на атомном уровне, после постановки задачи необходимо выполнить предварительные процедуры, в которых определяются оптимальные параметры равновесной системы.

Проведение компьютерного эксперимента состоит из трех основных шагов [2]: инициализации объекта исследования, достижения равновесного состояния и расчета интересующих характеристик.

На первом шаге моделирование заключается в определении начальных положений атомов в узлах кристаллической решетки и задании начальных скоростей, полученных из Максвеллского – Больцмановского распределения. Точный выбор начальных условий не имеет значения, поскольку система все равно «забудет» свое начальное состояние.

На втором шаге моделирования при использовании одного из методов получения новых положений атомов во времени и пространстве система релаксирует в равновесное состояние. Положение является равновесным, если система релаксировала к определенным средним значениям энергии.

Состояние сплава считалось равновесным и устойчивым, если характеризующие систему параметры (энергия, параметры порядка, энтропия) оставались неизменными сколь угодно долго, при этом система не могла выйти из этого состояния без внешних воздействий.

На последнем шаге моделирования производится расчет интересующих параметров и характеристик.

**Шаг 1.** Инициализация координат атомов структуры модельного сплава. Определение начальных и граничных условий для исходной конфигурации моделирования процесса.

В качестве объектов исследования были выбраны модельные бинарные сплавы системы Cu-Au, Ni-Al. Сплавы обладают ГЦК решеткой, причем сплав стехиометрического состава в полностью упорядоченном состоянии имеет сверхструктуру  $L1_2$  либо  $L1_0$ , а в неупорядоченном – структуру A1 (рис. 1).

Радиус  $i$ -той координационной сферы равен  $r_i = a_0 \sqrt{\frac{i}{2}}$ , где  $a_0$  – параметр решетки. Для сравнения с целью выявления роли фактора тетрагональности приводятся некоторые характеристики сплава состава АВ, в упорядоченном состоянии имеющего ГЦТ решетку с упаковкой компонент, соответствующей сверхструктуре  $L1_0$ .

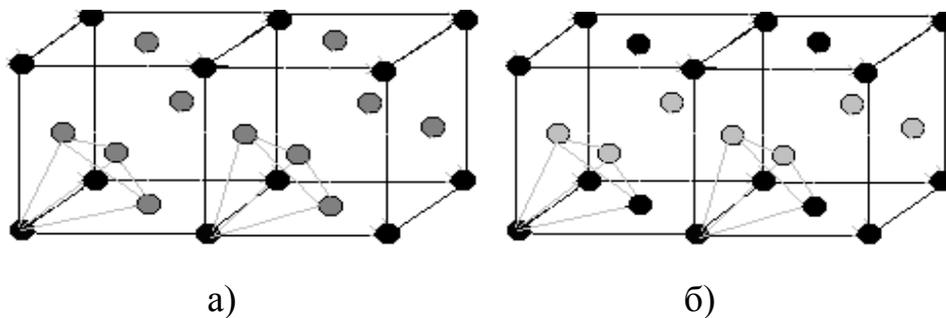


Рис. 1. Распределение атомов в соответствии со сверхструктурой  $L1_2$  (а) и со сверхструктурой  $L1_0$  (б)

В вершинах тетраэдра находятся атомы, составляющие элементарную ячейку.

Таблица 1

Упаковка координационных сфер по числу атомов в сплаве со сверхструктурами

|   | Всего | $L1_2$                |         | $L1_2$                |         | $L1_0$                |         |
|---|-------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|-----------------------|---------|
|   |       | центрирующего атома А |         | центрирующего атома В |         | центрирующего атома А |         |
|   |       | атомы А               | атомы В | атомы А               | атомы В | атомы А               | атомы В |
| 1 | 12    | 8                     | 4       | 0                     | 12      | 8                     | 4       |
| 2 | 6     | 6                     | 0       | 0                     | 6       | 0                     | 6       |
| 3 | 24    | 16                    | 8       | 0                     | 24      | 16                    | 8       |
| 4 | 12    | 12                    | 0       | 0                     | 12      | 0                     | 12      |
| 5 | 24    | 16                    | 8       | 0                     | 24      | 16                    | 8       |

Трехмерная гранцентрированная решетка состоит из  $N$  атомов ( $4n \times 4m \times 4d$ ), задается путем транслирования элементарной ячейки по осям абсцисс, ординат и аппликат. Значения координат узлов исходной элементарной ячейки, состоящей из 4 атомов ( $l=1, \dots, 4$ ), которые являются периодической решеткой Бравэ:

$$\begin{aligned}
 (x_0^1, y_0^1, z_0^1) &= (0,0,0), \\
 (x_0^2, y_0^2, z_0^2) &= (1,1,0), \\
 (x_0^3, y_0^3, z_0^3) &= (0,1,1), \\
 (x_0^4, y_0^4, z_0^4) &= (1,0,1).
 \end{aligned} \tag{1}$$

Для создания 3D кристалла организуются циклы по  $i, j, s$ :

$$\begin{aligned}
 x_i &= x_0^l + i \cdot a_x, \quad \text{при } i = 0, \dots, n, \\
 y_j &= y_0^l + j \cdot a_y, \quad \text{при } j = 0, \dots, m, \\
 z_s &= z_0^l + s \cdot a_z, \quad \text{при } s = 0, \dots, d,
 \end{aligned} \tag{2}$$

где  $l = 1, 2, 3, 4$ .

Затем проводится масштабирование координат атомов в соответствии с минимальным межатомным расстоянием  $r_0 = \frac{a_0}{\sqrt{2}}$ .

Сорта атомов задаются в соответствии с заданной концентрацией компонент  $C_A = N(A)/N$ , где  $N(A)$  – число атомов сорта  $A$ ,  $N$  – число атомов в кристалле. Если в качестве модельного сплава выбран  $Ni_3Al$ , тогда в вершинах куба располагаются атомы  $Al$ , в центре граней атомы  $Ni$ , период чередования сортов атомов в элементарной ячейке равен 4 минимальным межатомным расстояниям.

Задание точных начальных скоростей атомов не имеет значения, поскольку система все равно «забудет свое начальное состояние» [3]. В среднем на любую степень свободы молекулы приходится такая же кинетическая энергия, как на одну степень свободы молекулы одноатомного газа при той же температуре. Следовательно, средняя кинетическая энергия молекулы, имеющей  $i$  степеней свободы, равна:

$$W_{cp} = \frac{i}{2} k_B T, \tag{3}$$

где  $k_B$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура.

Атомы в кристалле имеют несколько степеней свободы, которые определяют его положение на плоскости или в пространстве. Еще две составляющие степени свободы – колебательные, определяющие возможные относительные смещения.

Задание точных начальных скоростей атомов не имеет значения, поскольку система все равно «забудет свое начальное состояние» [41-43]. Для определенности значение скоростей атомов полагается равными наиболее вероятной скорости по распределению Максвелла-Больцмана. Начальные скорости в зависимости от температуры задаются по формуле:

$$|v_i| = \sqrt{\frac{2k_b T}{m_i}}, \quad v_{системы} = \frac{\sum \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}}{N}. \tag{4}$$

Направление скорости атома задается случайным образом. После запуска метода молекулярной динамики скорости перераспределяются согласно закону распределения скоростей Максвелла.

Направление скоростей рандомизировано, углы  $\alpha$ ,  $\beta$  выбираются случайным образом:

$$\begin{aligned} v_x &= \cos(\alpha) \sin(\beta), \\ v_y &= \sin(\alpha) \sin(\beta), \\ v_z &= \cos(\beta) \end{aligned} \quad (5)$$

где  $v_x, v_y, v_z$  – проекции вектора скорости атома.

Однако надо обеспечить равенство суммарного импульса системы нулю, чтобы расчетный блок не перемещался. Начальные положения атомов задают вклад потенциальной энергии в полную энергию системы, а скорости определяют вклад кинетической энергии.

В зависимости от поставленной задачи компьютерного эксперимента определяются граничные условия и вводятся исследуемые структурные дефекты в исходную конфигурацию [4-6].

В настоящей работе для описания межатомного взаимодействия необходимо постулировать потенциальные функции взаимодействия, в частности, парный потенциал Морзе или многочастичный потенциал с учетом электронной плотности Клери-Розато [7].

Парный потенциал Морзе описывается следующей функцией:

$$\varphi(r_{ij}) = d \left( e^{-2\alpha(r_{ij}-r_0)} - 2e^{-\alpha(r_{ij}-r_0)} \right), \quad (6)$$

где  $r_{ij}$  – расстояние между парой атомов,  $\alpha, d$  – параметры потенциала, полученные из экспериментальных данных;  $r_0 = a/\sqrt{2}$ ,  $a$  – параметр решетки. Энергия системы считается как сумма энергия каждого атома:

$$E_p = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} \varphi(r_{ij}) \quad (7)$$

Многочастичный потенциал Клери-Розато имеет вид:

$$U_R^i = \sum_j A_{\alpha\beta} e^{-p_{\alpha\beta} \left( \frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right)}; \quad (8)$$

$$U_B^i = - \left\{ \sum_j \xi_{\alpha\beta}^2 e^{-2q_{\alpha\beta} \left( \frac{r_{ij}}{r_0} - 1 \right)} \right\}^{1/2}, \quad (9)$$

где  $A, p, q, \xi$  – параметры потенциала, полученные из экспериментальных данных [10].

Потенциальная энергия системы в этом случае вычисляется по следующей формуле:

$$\varphi(r_i) = \sum (U_R^i + U_B^i). \quad (10)$$

Параметры потенциала Клери-Розато приведены в таблице 2.

Таблица 2

|                    | A, эВ  | $\xi$ , эВ | P      | q      |
|--------------------|--------|------------|--------|--------|
| Ni                 | 0.0376 | 1.07       | 16.999 | 1.189  |
| Al                 | 0.1221 | 1.316      | 8.612  | 2.516  |
| Ni <sub>3</sub> Al | 0.0563 | 1.2349     | 14.997 | 1.2823 |

Данные потенциалы взаимодействия является близкодействующими, взаимодействие атомов убывает с увеличением расстояния между ними. Введение радиуса отсечения  $R_{\max}$  значительно уменьшает время счета. Расчет силы и энергии двух атомов учитывается, если выполняется неравенство  $r_{ij} < R_{\max}$ , иначе полагаются равными нулю.

## **Шаг 2.** Получение равновесного состояния системы.

На этом этапе в соответствии с поставленной задачей выбирается метод для расчета эволюции системы вдоль траектории с постоянной энергией либо с постоянной температурой в фазовом пространстве.

В случае выбора метода молекулярной динамики нужно провести первоначальную исходную конфигурацию в равновесное состояние при температуре 0К.

### **Процедура предварительной релаксации**

Для устранения ошибки вычисления и начальных данных применялась процедура предварительной релаксации.

При введении в расчетный блок дефектов перед основным экспериментом проводилась предварительная динамическая релаксация структуры вблизи дефектной области. В противном случае температура расчетного блока в основном эксперименте была бы выше задаваемой в связи с выделением кинетической энергии в процессе структурной релаксации. Предварительная (первичная) релаксация проводилась с помощью молекулярной динамики с диссипацией энергии. Начальные скорости атомов задавались равными нулю, что соответствовало начальной температуре 0 К. В процессе релаксации температура ячейки повышалась. При достижении некоторого значения, при котором происходила стабилизация кинетической энергии, рост температуры прекращался. После стабилизации температуры ячейка подвергалась сверхбыстрому охлаждению. Все скорости атомов периодически, когда колебания кинетической энергии достигали максимумов, приравнивались нулю либо нормировались (в зависимости от поставленной задачи) до тех пор, пока атомы не занимали равновесных позиций и больше не наблюдался рост температуры, связанный с релаксационными явлениями. При запуске основного эксперимента считалось, что созданная структура расчетной ячейки стабильна при температурах, близких к абсолютному нулю.

Релаксация системы достигается при помощи следующего алгоритма:

1. Выполняется определенное число шагов интегрированием уравнений движения.

2. На временном шаге, при котором достигается максимальное значение кинетической энергии, энергия отводится из системы при помощи нормировки скоростей.

3. Если после выполнения нескольких шагов происходит скачок энергии системы и если значения кинетической и потенциальной энергии нестабильны, переходим на шаг 1 и проводим перенормировку скоростей атомов.

Путем интегрирования уравнений движения необходимо определить оптимальный временной шаг, при котором система будет сохранять

равновесие, потому что слишком маленький итерационный шаг увеличивает время счета, слишком большой шаг дает большую погрешность.

**Шаг 3.** Выбор метода для моделирования состояний систему в конечные промежутки времени.

**Шаг 4.** Численный расчет структурно-энергетических характеристик, визуализация результатов и построения графиков зависимости интересующих параметров.

### **Вычислительная модель метода Монте-Карло**

Если обычно в качестве критерия достижения равновесия рассматривается условие достижения экстремума какой-либо макроскопической характеристики, то в данном подходе точное динамическое поведение системы заменяется дискретными состояниями, где один шаг итерации соответствует одному акту самодиффузии атомов по вакансионному механизму. При этом на каждом шаге итерации рассчитывается вероятность того, что один из расположенных вблизи вакантного узла атомов займет его место, причем вероятность перескока атома  $i$  в вакантный узел  $j$  решетки экспоненциально зависит от температуры:

$$P_{ij} = A \cdot \exp\left(-(\Delta E_{\max} - \Delta E_v^{ij}) / kT\right), \quad (11)$$

где  $k$  – постоянная Больцмана,  $T$  – температура,  $A$  – нормировочный множитель, обеспечивающий выполнение условия (сумма вероятностей перескоков атомов, расположенных на расстоянии первой и второй координационной сферы от вакантного узла, равна единице,  $\sum_{ij}^n P_{ij} = 1$ , где  $n$  – число атомов на первой координационных сферах от вакансии). Величина высвобождаемой (затрачиваемой) энергии  $\Delta E_v^{ij}$  оценивается для каждого атома  $i$ , окружающего вакансию  $j$  на первой координационных сферах, она равна разности энергии связи атома  $i$  в положении вакантного узла и энергии связи атома  $i$  в положении до перескока:  $\Delta E_v^{ij} = E_k^{ij} - E_n^{ij}$ . В результате из всех выбирается максимальное, обозначаемое как значение  $\Delta E_{\max}$ .

Согласно заданной температуре увеличивались межатомные расстояния в соответствии с тепловым расширением [8].

Если выбран метод Монте-Карло, тогда в кристалл вводится вакансия и в зависимости от рассчитываемой вероятности совершается акт самодиффузии атомов по вакансионному алгоритму.

Для изучения структурных и сверхструктурных превращений необходимы визуализаторы. Основными визуализаторами структуры и ее динамики являлись визуализаторы областей различных фазовых состояний кристалла различным оттенком цвета. Для количественной оценки степени упорядоченности сплава используются следующие величины: параметр ближнего и дальнего порядка, конфигурационная энергия, энтропия и свободная энергия [9].

### **Метод молекулярной динамики в физике твердого тела**

Метод молекулярной динамики вычисляет характеристики системы, используя уравнения движения. Суть метода состоит в численном решении

уравнений движения на компьютере для совокупности молекул или атомов, каждый из которых подчиняется классическим законам движения.

Уравнение движения Ньютона для  $i$ -го атома:

$$\frac{d\vec{v}_i}{dt} = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^N \frac{d\varphi(r_{ij})}{dr_{ij}} \cdot \frac{(\vec{r}_j - \vec{r}_i)}{r_{ij}}. \quad (12)$$

Траектории частиц находятся двойным интегрированием по времени полученного уравнения. Введение флуктуаций энергии приводит к механизму нормировки скоростей, где  $\Delta$  – требуемая кинетическая энергия:

$$\left( \Delta = \sum_i \frac{m_i \vec{v}_i^2}{2} \right). \quad (13)$$

Метод молекулярной динамики позволяет моделировать движения атомов в процессе их взаимодействия друг с другом в единицу времени. Сила взаимодействия между двумя атомами задается в виде:

$$F_\mu(r) = -\frac{d\varphi(r)}{dr}, \quad (14)$$

где  $\varphi(r)$  – постулируемый межатомный потенциал,  $r$  – расстояние между взаимодействующими атомами.

Таким образом, для получения положений атомов в течение расчетного времени нужно решить задачу Коши с граничными условиями. Уравнение движения Ньютона второго порядка приводится в систему обыкновенных дифференциальных уравнений динамики Ньютона первого порядка.

В начальный момент времени атомы занимают узлы кристаллической решетки, определяются позиции координат  $N$  атомов:

$x_{ij}(0), y_{ij}(0)$ , где  $i, j=1, 2, \dots, N$  ( $i, j$  – номер узла решетки).

Задать начальную скорость через температуру:

$$T(t) = \frac{1}{3Nk_B} \sum_{i=1}^N m_i \vec{V}_i^2, \quad \text{где } k_B \text{ – постоянная Больцмана.}$$

Система обыкновенных дифференциальных уравнений движения имеет вид:

$$\frac{dx_{ij}}{dt} = v_{ij}, \quad \frac{dv_{ij}}{dt} = \frac{F_{ij}(t)}{m}. \quad (15)$$

В соответствии с поставленной задачей на расчетный блок накладываются граничные условия, в зависимости от поставленной задачи. Например, периодические граничные условия:

$$\begin{aligned} F_{jx}(x(t), y(t)) &= F_{jx}(x(t) + L, y(t)), \\ F_{jy}(x(t), y(t)) &= F_{jy}(x(t), y(t) + H), \end{aligned} \quad (16)$$

где  $L, H$  – длина и высота расчетного блока.

### Вычислительная модель метода молекулярной динамики

Для получения частного решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений движения Ньютона применяются численные методы, например неявный метод Верле. После вычисления силы для атома с координатами  $r_i^n$  вычисляем новые координаты

$$r_i^{n+1} = r_i^n + \Delta t v_i^n + \frac{\Delta t^2}{2m_i} F_i(r_i^n). \quad (17)$$

Далее вычисляем силу для атома  $r_i^{n+1}$  и получаем новые скорости

$$v_i^{n+1} = v_i^n + \frac{\Delta t}{2m_i} (F_i(r_i^n) + F_i(r_i^{n+1})). \quad (18)$$

После расчета всех новых координат и скоростей рассчитываем потенциальную энергию и переходим на следующую итерацию.

При применении численных методов в задачах молекулярной динамики, особенно в случаях задач, требующих большого числа временных итераций, возникают трудности, связанные с накоплением ошибок различного рода: как ошибок метода при отображении бесконечномерного пространства в конечномерное, так и ошибок округления, обусловленных усечением данных при хранении их в памяти ЭВМ [1-3].

#### **Точность и устойчивость представленных схем**

Обе численные схемы имеют порядок точности  $O(\Delta t^2)$ . Точность определяется локальными погрешностями, обусловленными погрешностью аппроксимации и погрешностями округления. Устойчивость схемы связана с распространением погрешностей. Возникновение неустойчивости связано с наличием нефизического решения дискретных уравнений. Численный метод устойчив, если малая погрешность, внесенная на любой стадии вычислений, не накапливается [1-3]. Схема Верле является устойчивой при выполнении условия:

$$\Delta t < \frac{1}{S}, S^2 = \frac{1}{m} \left| \frac{dF}{dr} \right|_{\max}. \quad (19)$$

Схему Верле следует применять при моделировании ансамбля с постоянной энергией, где особенно важна точность и устойчивость схемы.

#### **Результаты**

Сравнительный анализ проведенных компьютерных экспериментов по моделированию структурных перестроек атомов в кристаллах различными методами показал, что метод молекулярной динамики хорошо описывает локальную перестройку атомов, с учетом смещений их из узлов решетки, условия возникновения и жизни этих локальных механизмов. Метод Монте-Карло лучше описывает процессы, происходящие на мезоуровне, такие процессы, как образования доменной структуры и их визуализацию [11-15].

В заключение можно сделать вывод, что эффективное использование компьютерного моделирования физических процессов требует от исследователя глубоких теоретических знаний и анализа экспериментальных данных. Компьютерный эксперимент – это инструмент исследования, и усовершенствование различных типов модели исследования позволит повысить качество полученных результатов.

## Список литературы

1. Хокни, Р. Численное моделирование методом частиц / Р. Хокни, Дж. Иствуд // М.: Мир. – 1987. – 638 с.
2. Хеерман, Д.В. Методы компьютерного эксперимента в теоретической физике: Пер. с англ. / Под ред. С.А. Ахманова / Д.В. Хеерман // М.: Наука.– 1990. – 176 с.
3. Кирсанов, В.В. ЭВМ-эксперимент в атомном материаловедении / В.В. Кирсанов // М.: Энергоатомиздат. – 1990. – 303 с.
4. Старостенков, М.Д. Исследование структурно – энергетических превращений вблизи точечных дефектов замещения в тонкой пленке состава  $A_3B$  / М.Д. Старостенков, Е.А. Дудник // Изв. вузов. Физика.– 2002. – Т.44. – №8 (приложение) – С. 144-148.
5. Дудник, Е.А. Моделирование процесса разупорядочения сплавов стехиометрического состава  $A_3B$ ,  $A_2B$ ,  $AB$  сверхструктуры тонкой пленки / Е.А. Дудник, Г.М. Полетаев, О.В. Андрухова, М.Д. Старостенков //Изв. вузов. Физика.– 2002.– Т.44. – №8 (приложение) – С. 37-46.
6. Дудник, Е.А. Динамическое взаимодействие между точечными парами дефектов замещения в тонкой пленке  $A_3B$  сверхструктуры  $L1_2$  / Е.А. Дудник, М.Д. Старостенков // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2003. – №6. – С. 33-34.
7. Экштайн, В. Компьютерное моделирование взаимодействия частиц с поверхностью твердого тела /Пер. с англ. / В. Экштайн // М.: Мир.– 1995. –321с.
8. Вол, А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем / А.Е. Вол, И.К. Каган // М.: Наука.– 1976. – Т. III. – С. 80-115.
9. Старостенков, М.Д. Исследование изменений параметров порядка вблизи антифазных границ в сплаве  $Cu_3Au$  / М.Д. Старостенков, Е.А. Дудник //Известия РАН. Серия физическая.– 2007. – Том 71.– №5. – С. 662-665.
10. Cleri, F. Tight-binding potentials for transition metals and alloys / F. Cleri, V. Rosato // Physical Review B. 1993. – V. 48. – I. 1. – P. 22-33.
11. Потекаев, А.И. Термоактивируемые перестройки структуры бинарного сплава  $CuAu$  при отклонении от стехиометрического состава / А.И. Потекаев, Е.А. Дудник, М.Д. Старостенков, В.В. Кулагина, В.С. Мясниченко // Известия вузов. Физика. 2010. – Т. 53.– №3. – С. 3-13.
12. Черненко, С.А. Исследование прочностных свойств сплава  $Ni_3Al$  методом наноиндентирования / С.А. Черненко, Д.В. Дудник, Е.А. Дудник // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2010. – Т. 15. – Вып. 3. – С. 1265-1268.
13. Скоробогатов, М.С. Моделирование процесса интенсивной пластической деформации в сплаве  $Ni_3Al$  (111) / М.С. Скоробогатов, Д.В. Дудник, Е.А. Дудник // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки, 2010, Т. 15, Вып. 3, С. 1247-1252.
14. Дудник, Е.А. Влияние линейных дефектов, температуры и деформации на изменения дальнего порядка в сплаве  $Ni_3Al$  / Е.А. Дудник, А.В. Яшин, Д.В. Дудник, Н.В. Сеница //Деформация и разрушение материалов. 2010. №12. С. 12-18.

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ЭЛЕКТРОННОГО АДМИНИСТРАТОРА МЭРИИ ГОРОДА

Е.А. Дудник, А.В. Селиванова, А.Н. Китаев

*Рубцовский индустриальный институт филиал ФГБУ ВПО «Алтайского  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Система электронного документооборота городского управления основана на автоматизации всей совокупности управленческих процессов в масштабах города. Она служит цели существенного повышения эффективности государственного учреждений. Создание программного комплекса предполагает построение распределенной системы управления, реализующей решение спектра задач, связанных с управлением документами и процессами их обработки.

**Ключевые слова:** *автоматизированная система управления, документооборот, эффективность управления.*

## AUTOMATED ELECTRONIC ADMINISTRATOR SYSTEM FOR CITY MUNICIPALITY

E.A. Dudnik, A.V. Selivanova, A.N. Kitaev

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Altai State Technical  
University after I.I. Polzunov*

**Abstract:** The paper stresses once again that an electronic system of documentation flow for city municipality is based on automation of the entire complex of administrative processes within the city. It serves to significantly increase the state governance performance. Writing a software complex envisages a buildup of a large-scale governance system intended to solve tasks of documentation management and processing.

**Keywords:** *automated control system, flow of documents, efficient management.*

### Введение

Городское управление организует взаимодействие общественных отношений между государственными органами с предприятиями и горожанами. В сферу деятельности мэрии города входит большой комплекс вопросов местного значения: социально-экономического развития, управления муниципальной собственностью, взаимоотношений с предприятиями, учреждениями, организациями, в областях ценообразования, строительства, транспорта связи, бытового обслуживания населения и торговли. Проблема повышения эффективности работы городского самоуправления решается за счет использования современных информационных систем перехода с бумажного документооборота на электронный.

Руководителям структурных подразделений необходимо оперативно реагировать на протекающие в жестком временном ритме ситуации, а потому требуется информационное сопровождение и автоматизация рабочего места (АРМ) администратора городской мэрии. Информационное обслуживание населения может проводиться различными отделами мэрии города.

Цель работы: повышение эффективности работы государственных учреждений по предоставлению услуг населению и общественным организациям за счет создания электронного администратора.

Проектирование и создание единой базы для оперативного учета и решения задач местного назначения и автоматизация работы администратора города учреждений будут способствовать достижению цели в области информационного обслуживания населения и регулированию электронного документооборота.

### **Анализ предметной области и построение инфологической модели**

В связи со стремительным развитием технологий и их повсеместным внедрением электронный документооборот и архивные работы занимают наиболее высокую позицию по сравнению со своим бумажным аналогом.

Можно с уверенностью сказать, что отказаться полностью от бумажных документов не удастся никогда, однако, по мнению опытных в этой области экспертов, доминировать всё же будет использование электронных вариантов.

Не менее важной является автоматизация назначения поручений между сотрудниками и отделами. Обычно сотрудники мэрии получают большое количество заявок на решение проблем, возникающих в различных сферах жизни города. Поиск подходящего сотрудника, оформление приказа и доставка его сотруднику обычно требуют достаточно много времени.

Учитывая современный уровень развития цифровой техники, трата столь большого количества времени на подобные действия является нерациональной. Компьютер позволяет ускорить процесс поиска и доставки информации в несколько раз.

Количество и объёмы используемых в современном мире документов растут. Причём соотношение бумажных и электронных документов со временем меняется в пользу последних. На данный момент, согласно статистическим данным, объём корпоративной электронной текстовой информации каждые три года удваивается.

Не стоит забывать и о хранении большого количества документов в архивах. Архивные данные применяются в учреждениях, имеющих большое количество информации, которая на протяжении всей рабочей деятельности используется сотрудниками. Чтобы не было путаницы, все данные должны быть собраны в архивы, исходя из их структурной принадлежности, дабы улучшить мероприятия по поиску нужного бланка, документа или его изменения. Применение цифровых архивов вместо бумажных позволяет не только сэкономить время на поиск нужного документа, но и значительно уменьшить количество места, необходимое для хранения всех данных.

При назначении поручений нужно учитывать и то, сколько рабочего времени имеется в наличии у исполнителя и хватит ли этого времени на выполнение данного конкретного задания. Нередко возникают ситуации, когда поручение можно назначить нескольким исполнителям на выбор, и тогда полезной будет возможность оценить их занятость и выбрать более свободного сотрудника.

Из проблемы разумного распределения поручений между сотрудниками вытекает не менее важная проблема оценки работы отделов, предприятий и сотрудников в частности. Для проверки рациональности уровня загруженности сотрудников поручениями требуется наличие возможности создания отчетов со

статистикой работы за разные периоды времени. Суммируя вышесказанное, разработали следующую функциональную модель информационной системы электронного документооборота государственных служб (рис. 1).

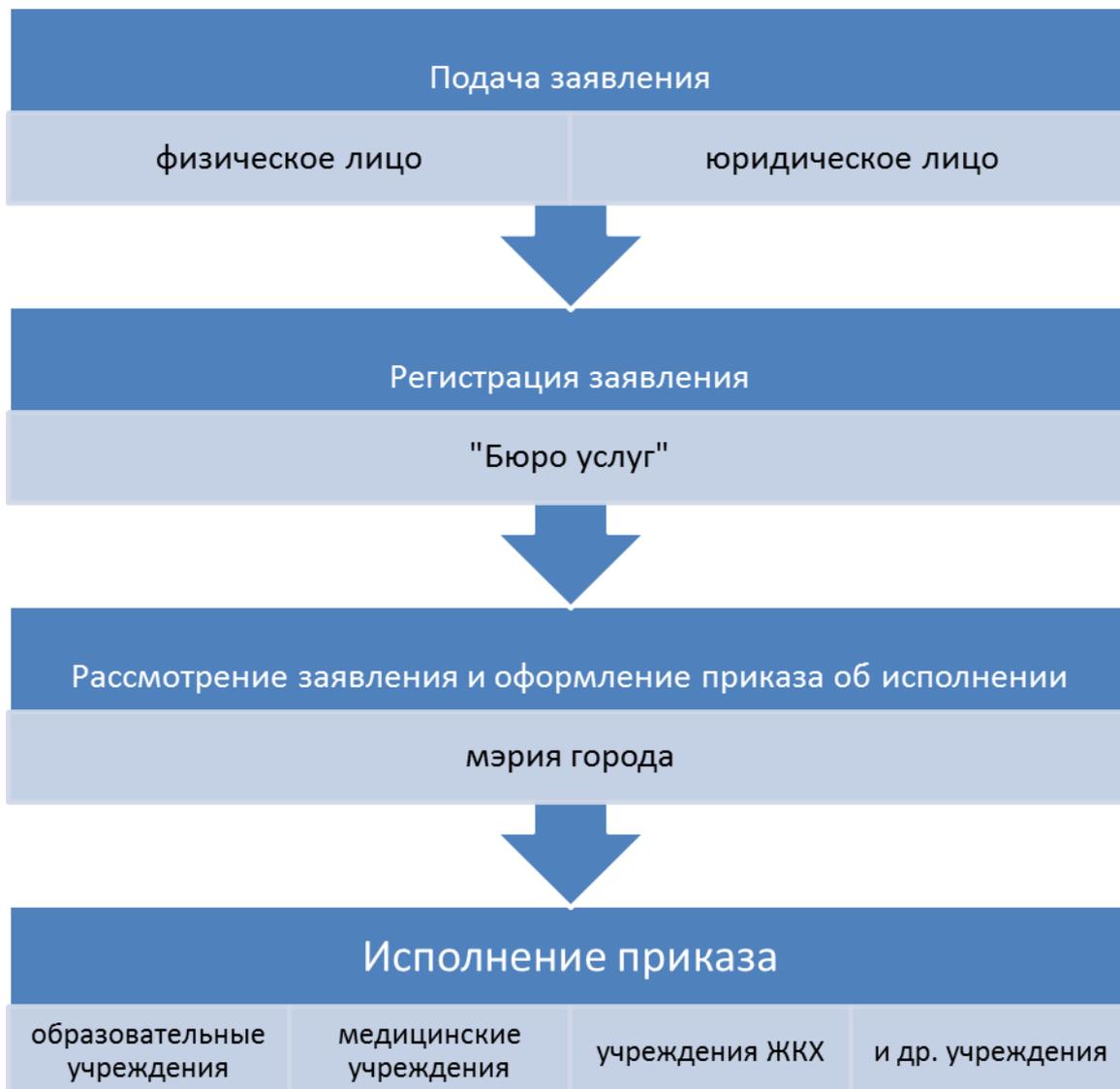


Рис. 1. Функциональная модель информационного потока обращений граждан в органы управления

### Организация базы данных

Задача «Автоматизированная система электронного администратора мэрии города» состоит из двух подсистем: «Регистрация входящих и исходящих документов» и «Сетевой планировщик поручений».

Крупные фирмы состоят из большого числа отделов, причем каждый из них расположен в нескольких кабинетах, порой даже на разных этажах. Каждый отдел содержит большое число сотрудников, которые могут работать в разные часы и дни. Примером такого предприятия является Отдел информатизации МИФНС №12 по Алтайскому краю. В такой обстановке передача поручений становится проблематичной. Нужно тратить много

времени, чтобы дозвониться до сотрудника, убедиться, что поручение получено, и выбрать день для выполнения поручения.

Регистрация документов – ответственная работа, требующая внимания, становится определяющим этапом в большой цепи делопроизводства, предназначена для автоматизации хранения и обработки данных о документах.

Именно автоматизированная форма регистрации документов в большинстве случаев применяется на предприятиях, в учреждениях, организациях. Этим определяется актуальность изучения, применения и использования автоматизированной регистрации документов в делопроизводстве».

Анализ определенных выше объектов и атрибутов позволяет выделить сущность проектируемой базы данных и, приняв решение о создании реляционной базы данных, построить ее инфологическую модель на языке "Таблицы-связи". К стержневым сущностям можно отнести: заявитель и инспектор-делопроизводитель.

Для задачи «Автоматизированная регистрация входящих и исходящих документов предприятия» организовано две базы данных: первая предназначена регистрации входящих и исходящих документов (documents); вторая – для хранения архивных документов (archive).

Поток входной информации представлен в виде следующих таблиц, которые образуют базу данных (documents):

- Corresp.frm – содержит информацию о корреспондентах;
- Otpr.frm – содержит информацию об id отправителей;
- Pol.frm – содержит информацию об id получателей;
- Doci.frm – содержит информацию о документах;
- Ish\_doc – содержит информацию об исходящих документах;
- Wh\_doc – содержит информацию о входящих документах;
- Namedoc – содержит шаблоны наименований документов;
- Firma – содержит информацию о фирмах;
- Otdel – содержит шаблоны отделов фирм;
- Dolznosti – содержит шаблоны должностей.

Для задачи «Сетевой планировщик поручений» организована база данных porucheniya.myd.

В программе реализована возможность добавлять, редактировать и удалять данные. Поток входной информации представлен в виде следующих таблиц, которые образуют базу данных porucheniya.myd:

- worker.frm – содержит информацию о сотрудниках отдела;
- time.frm – содержит информацию о загруженности рабочих дней сотрудников;
- login.frm – содержит информацию логинах и паролях сотрудников;
- task.frm – содержит информацию о поручениях;
- worker\_task.frm – содержит информацию о назначении поручений сотрудникам;
- routine.frm – содержит информацию о рутинных поручениях.

Для связывания таблиц используются поля связи. Поля связи обязательно должны быть индексированными. В подчинённой таблице для связи с главной таблицей берётся индекс, который также называется внешним индексом. Состав полей этого индекса должен полностью или частично совпадать с составом полей индекса главной таблицы. Используется вид связи «один ко многим».

Доступ к БД организован с помощью интерфейса программирования приложений для доступа к данным ADO. Использовались следующие элементы Delphi: TADOConnection, TADOQuery, TDBGrid.

### **Выбор программного обеспечения**

Существует множество АРМов для ведения документооборота и планирования рабочего времени. Каждый из них удобен по-своему, и каждый имеет свои недостатки. Рассмотрев несколько вариантов таких программных продуктов, мы выделили наиболее необходимые и важные их функции и приступили к выбору среды разработки.

Рассмотрев множество вариантов (таких как C++ Builder и пр.), мы пришли к выводу, что наиболее удобной средой разработки для данной задачи будет являться Embarcadero RAD Studio. Данная среда выбрана из-за удобства реализации диалоговых приложений; кроме того гибкий язык позволяет значительно ускорить процесс разработки.

Для организации базы данных была выбрана реляционная СУБД MySQL. Она имеет такие плюсы, как высокую скорость работы, быстроту обработки данных, простоту в освоении и оптимальную надежность. Важно еще и то, что данная СУБД распространяется бесплатно и представляет собой программное обеспечение с открытым кодом, имеющее широкий спектр функций.

При создании базы данных мы взяли во внимание теорию нормализации баз данных, а именно:

#### 1) Первая нормальная форма (1НФ)

- отсутствуют повторяющиеся группы данных;
- гарантируется элементарность данных (все данные являются автономными и независимыми).

На верхнем уровне это достигается созданием первичного ключа, затем осуществляется перенос повторяющихся групп данных в новые таблицы, создание первичных ключей для этих таблиц и так далее. Кроме того, необходимо разбить все записи, столбцы которых содержат составную информацию, на отдельные строки для каждого фрагмента данных столбца.

#### 2) Вторая нормальная форма (2НФ)

- таблица удовлетворяет условиям 1НФ;
- каждый столбец зависит от всего ключа, а не от его части.

#### 3) Третья нормальная форма (3НФ)

- таблица удовлетворяет условиям 2НФ;
- ни один столбец не зависит от столбца, который не является частью первичного ключа;
- не содержит производных данных.

Таким образом, база данных была нормализована.

При столкновении с необходимостью разработки системы отчетов мы встали перед выбором, какими средствами эти самые отчеты создавать. Наш выбор пал на FastReport® VCL – это дополнительный компонент, благодаря которому приложение сможет быстро и эффективно создавать отчеты. FastReport® предоставляет все необходимые инструменты для разработки отчетов, включая визуальный конструктор отчетов, ядро подсистемы отчетов и окно предварительного просмотра. Это решение поддерживается в средах Delphi, C++Builder и RAD Studio.

Для обеспечения безопасности данных предусмотрена идентификация пользователей. Идентификация пользователей включает в себя две основные концепции – аутентификацию и авторизацию. Аутентификация – это способность подтвердить личность пользователя. Авторизация занимается предоставлением доступа к определенным данным или операциям, при условии, что пользователь тот, за кого он себя выдает.

В работу организаций может быть вовлечено множество людей, за каждым из которых закреплен ряд выполняемых операций и группа документов, с которой он работает. Другими словами, сотрудники выступают в определенной роли относительно системы документооборота. Естественным желанием будет ожидание поддержки в программном продукте таких ролей.

На данном этапе устанавливаются требования к безопасности системы – аутентификация и авторизация, а также требования к поддержке работы различных типов пользователей. Это позволит применять централизованный механизм идентификации пользователей в организации, а также предоставит им больше удобств при работе с различными системами.

К вопросам авторизации в системе документооборота относятся механизмы разграничения доступа к данным и функциям системы. Это, например, наличие возможности у руководителя отдела просматривать все документы, над которыми работают сотрудники отдела, в то время как каждый сотрудник видит лишь свою часть работы и не видит документы, над которыми работают другие. Данный подход позволяет соблюдать разграничение доступа к документам, каждый работник видит лишь нужные ему по служебной деятельности группы документов. Каждый из документов может иметь установленные для него права доступа на чтение, изменение, удаление.

В процессе работы нередко требуется найти необходимый документ (поручение, сотрудника, отдел и т.д.). Для ускорения этого процесса мы добавили в программу возможность поиска. Поиск производится по всем возможным критериям и их комбинациям, что позволяет значительно сэкономить время.

### **Основные результаты и обсуждения**

Реализованы следующие функции: 1) Ведение электронного справочника заявителей, сотрудников, самих заявлений и поручений; Регистрация электронных версий документов (рис. 2); Возможность поиска необходимых данных (рис. 3); Хранение отсканированных версий бумажных документов;

### Добавление входящего документа

|                       |  |  |   |
|-----------------------|--|--|---|
| Дата поступления      | <input type="text" value="24.10.2014"/>          | Виза   | <input type="text"/>  |
| Наименование          | <input type="text" value="Сведения"/>            | Краткое содержание                                   | <input type="text" value="О регистрации физического лица по месту жительства"/> |
| Номер документа       | <input type="text" value="23"/>                  | Примечание   | <input type="text"/>  |
| Дата документа        | <input type="text" value="24.10.2014"/>          | Выполнено  | <input type="radio"/> Да<br><input checked="" type="radio"/> Нет                |
| Отправитель           | <input type="text" value="Крюкохват Владлен"/>   | Нажмите здесь, чтобы прикрепить скан-копию документа |   |
| Получатель            | <input type="text" value="Булажонин Андрей Гг"/> |  |   |
| Срок исполнения       | <input type="text" value="22.11.2014"/>          |  |   |
| Кто подписал документ | <input type="text" value="Крюкохват Владлен"/>   |  |   |
| Исполнитель           | <input type="text" value="Булажонин Андрей Гг"/> |  |   |

Рис. 2

### Поиск входящего документа

|                                     |                       |  |  |
|-------------------------------------|-----------------------|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> | Дата поступления      | <input type="text" value="24.10.2014"/>        |  |
| <input type="checkbox"/>            | Наименование          | <input type="text"/>                           |  |
| <input type="checkbox"/>            | Номер документа       | <input type="text"/>                           |  |
| <input type="checkbox"/>            | Дата документа        | <input type="text" value="27.10.2014"/>        |  |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Отправитель           | <input type="text" value="Крюкохват Владлен"/> |  |
| <input type="checkbox"/>            | Получатель            | <input type="text"/>                           |  |
| <input type="checkbox"/>            | Срок исполнения       | <input type="text" value="27.10.2014"/>        |  |
| <input type="checkbox"/>            | Кто подписал документ | <input type="text"/>                           |  |
| <input type="checkbox"/>            | Исполнитель           | <input type="text"/>                           |  |

Рис. 3

2) Возможность учета степени занятости сотрудников при назначении поручений; Передача поручений по сети (рис. 4); Возможность сигнализировать о выполнении поручений;

Рис. 4. Добавление нового поручения

3) Ведение отчетности: Отчет о документах; Отчет о поручениях; Отчет об архивных данных (рис. 5).

ОТЧЕТ  
об архивных исходящих документах на период с 01.01.2013 по 13.11.2013

| Исх. № | № документа | Наименование документа | Дата отправки | ФИО получателя  |
|--------|-------------|------------------------|---------------|-----------------|
| 5      | 3           | Уведомление            | 26.10.2013    | Лысенский П. В. |
| 18     | 4           | Письмо                 | 10.11.2013    | Бумажкин А. Г.  |
| 19     | 5           | Письмо                 | 10.11.2013    | Бумажкин А. Г.  |
| 20     | 6           | Письмо                 | 10.11.2013    | Бумажкин А. Г.  |

Инспектор-делопроизводитель \_\_\_\_\_ А. Г. Бумажкин  
(дата) (подпись)

Рис. 5

### Заключение

Данный программный продукт создавался специально для повышения эффективности оказания госуслуг населению города, предприятиям и организациям. Для повышения качества работы разработан сетевой планировщик заданий. Использование данного продукта значительно ускорит процесс приема заявлений от жителей города, облегчить процесс ведения отчетности, а также обеспечит равномерное распределение нагрузки среди сотрудников. Программный продукт удобен, имеет дружелюбный интерфейс. Проведено проектирование базы данных, для сохранения целостности данных и устранения их избыточности база данных нормализованна. Создано приложение и разработана технологическая документация программного обеспечения.

## Список литературы

1. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем / Е.В. Бережная, В.И. Бережной // М.: Финансы и статистика. – 2001. – 368 с.
2. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков // Учебник – М.: Изд-во МГТУ им. Н.З. Баумана. – 2000. – 360 с.
3. Пястолов, С.М. Экономический анализ деятельности предприятий / С.М. Пястолов // Учебное пособие для вузов. – 2002. – С. 241-265.
4. Табурчака, П.П. Анализ и диагностика финансово-хозяйственной деятельности предприятия / П.П. Табурчака, В.М. Тумина, М.С. Сапрыкина // Уч. пособие для вузов – Ростов-на-Дону: Феникс. – 2002. – 352 с.
5. Титоренко, Г.А. Автоматизированные информационные технологии в экономике / Г.А. Титоренко // М.: Компьютер, ЮНИТИ. – 2008.
6. Гофман, В.Э. Delphi. Быстрый старт / В.Э. Гофман, А.Д. Хомоненко // СПб.: БХВ-Петербург. – 2002.
7. Культин, Н.Б. Delphi в задачах и примерах / Н.Б. Культин // СПб.: БХВ-Петербург. – 2003.

### **МОДЕЛЬ КОГОРТНОГО АНАЛИЗА ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

А.О. Карпеченко, Д.Ю. Драчёв

*Академия управления при Президенте Республики Беларусь*

В статье ставится задача оценки платежеспособности пользователей мобильных приложений методами когортного анализа и имитационного моделирования. Данные, полученные в ходе исследования магазинов мобильных приложений и имитационного моделирования, свидетельствуют об оптимальной стоимости мобильных приложений.

**Ключевые слова:** когортный анализ, имитационное моделирование, мобильные приложения, магазин мобильных приложений, платежеспособность, тестирование цены.

### **THE COHORT ANALYSIS MODEL TO DETERMINE SOLVENCY OF MOBILE APPLICATIONS USERS**

A. Karpechenko, D. Drachev

*Academy of Public Administration under the aegis of the President of the Republic of Belarus*

**Abstract:** The problem set in the article deals with solvency assessment of mobile applications users by means of cohort analysis and simulation. Research findings for mobile applications stores and simulation indicate the true values of the mobile applications.

**Keywords:** cohort analysis, simulation modeling, mobile applications, mobile applications stores, solvency, price testing.

В настоящее время деятельность магазинов AppStore и Google Play привлекает внимание миллионов пользователей. Индустрия мобильного ПО занимает огромную часть рынка. По официальным данным, магазины

заплатили разработчикам в 2013 году за мобильные приложения больше 15 млрд. долларов. При этом на одном мобильном устройстве установлено порядка 60 приложений.

Актуальность данной работы определяется важностью анализа стоимости мобильных приложений. Ключевой проблемой разработчиков является вопрос повышения монетизации. Таким образом, целью данной работы является анализ стоимости мобильных приложений. Объектом исследования являются магазины приложений. Предметом исследования – стоимость мобильных приложения.

В рамках данной работы авторами был проанализирован топ мобильных приложений в магазинах AppStore и Google Play. Данные для анализа были получены 18 ноября 2014 года.

Большая часть анализа заключена на магазине Google Play, так как он представляет больше критериев для анализа: стоимость самого приложения, место в рейтинге и количество скачиваний. Таким образом были получены данные для 50 первых мобильных приложений из мирового рейтинга. Данные, полученные при анализе стоимости: средняя стоимость – 3,12 доллара, при этом самое дорогое приложение – 7,73 а самое дешевое – 0,83 доллара. Полученные данные при анализе скачиваний: среднее количество скачиваний 388640, при этом минимальное количество одна тысяча, а максимальное 5 миллионов.

Гистограмма распределения частот стоимости мобильных приложений для магазина Google Play представлена на рисунке 1.

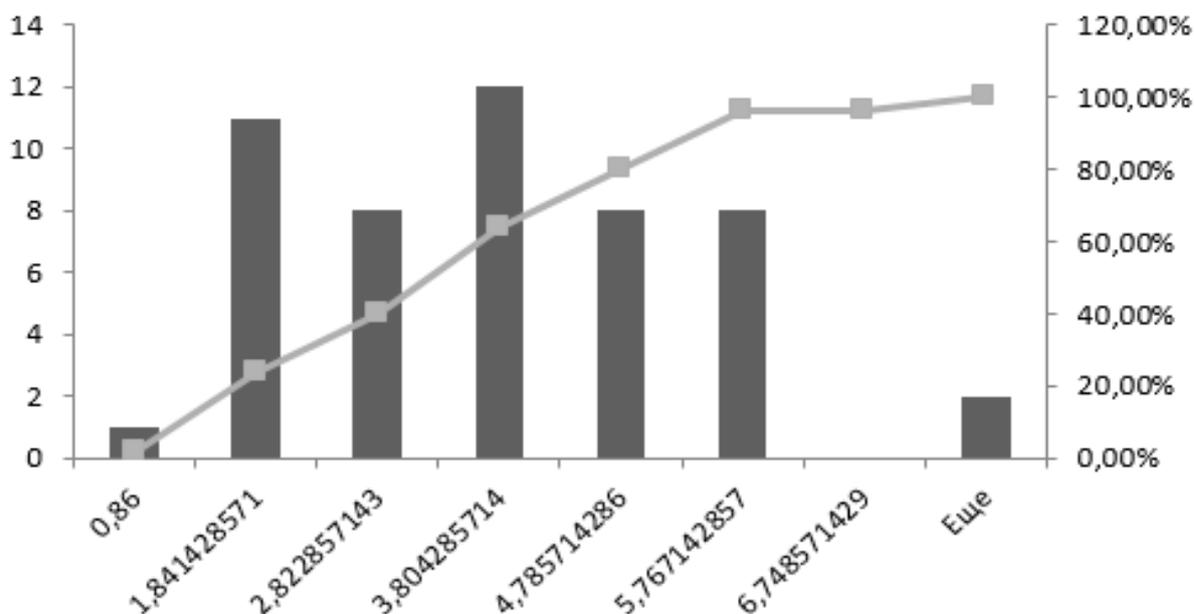


Рис. 1. Гистограмма стоимости мобильных приложений в топе Google Play

На рисунке 1 изображена гистограмма распределения частот, где по оси X – стоимость мобильного приложения, по оси Y – количество мобильных приложений.

При анализе стоимости и количества скачиваний была получена средняя стоимость, которую заработали разработчики мобильного приложения за одно скачивание – 3,58 доллара. Для дальнейшего анализа рассматривались мобильные приложения с количеством загрузок более 0,5 миллиона, под эти критерии попало 15 приложений. При этом средняя стоимость мобильного приложения равняется 3,72 доллара, среднее количества загрузок – 966667, при этом средний заработок разработчиков с одного скачивания – 4,14 доллара.

При анализе полученных данных можно сделать вывод, что стоимость наиболее популярных приложений выше средней стоимости мобильного приложения в магазине. Точечный график представлен на рисунке 2.

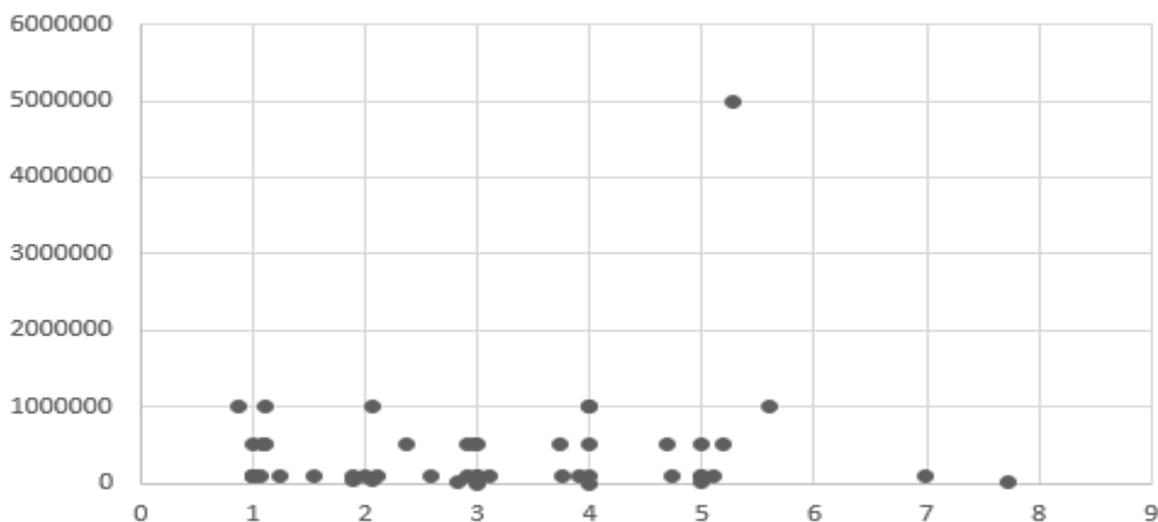


Рис. 2. Точечный график отношения стоимости к числу загрузок

При точечном графике отношения количества скачиваний к стоимости можно сделать вывод, что пользователи с одинаковой интенсивностью скачивают приложения за 1 доллар и за 5 долларов. Самое дорогое приложение с количеством загрузок более 5 миллионов и стоимость 5,28 доллара, однако это не самое дорогое приложение в топ 15 рейтинга. Анализируя полученную прибыль с приложений из топ 15 рейтинга, можно сделать вывод, что не всегда большее количество скачиваний означает большую прибыль. На рисунке 3 изображен точечный график отношения стоимости приложения к номинальной прибыли.

Например, приложение стоимостью 2,07 было загружено один миллион раз, а приложение стоимостью 4,68 – 0,5 миллиона раз, при этом разработчики второго приложения заработали на 270 тыс. долларов больше.

Так как магазин AppStore не дает информацию о количестве скачиваний, по нему не представляется возможным проведение промежуточных итогов. Средняя стоимость приложения в топ 50 составляет 3,18 доллара, гистограмма представлена на рисунке 4.

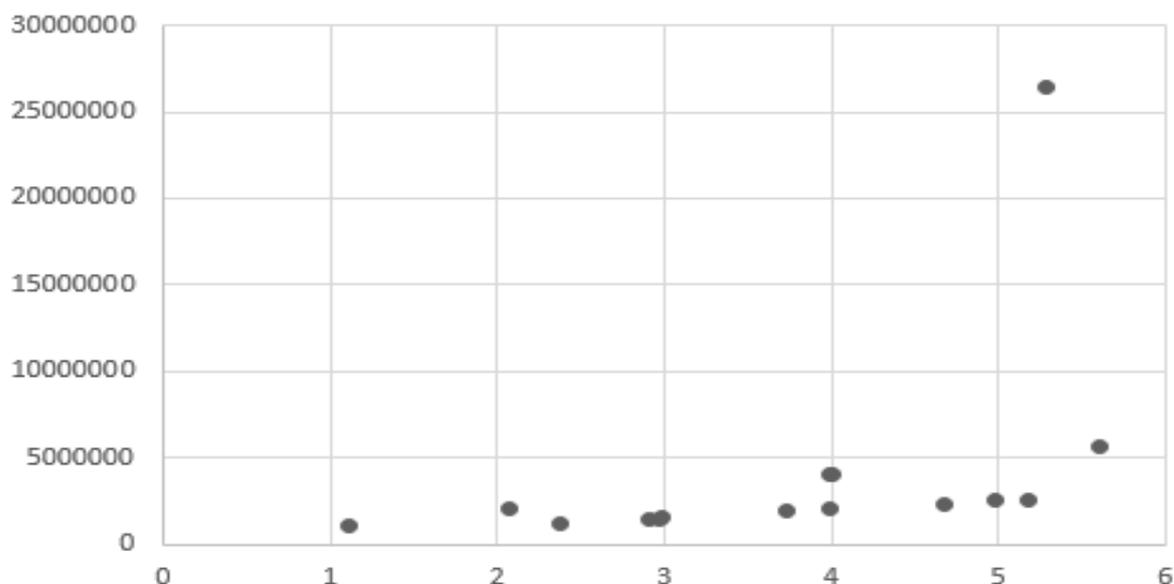


Рис. 3. Точечный график отношения стоимости к номинальной прибыли

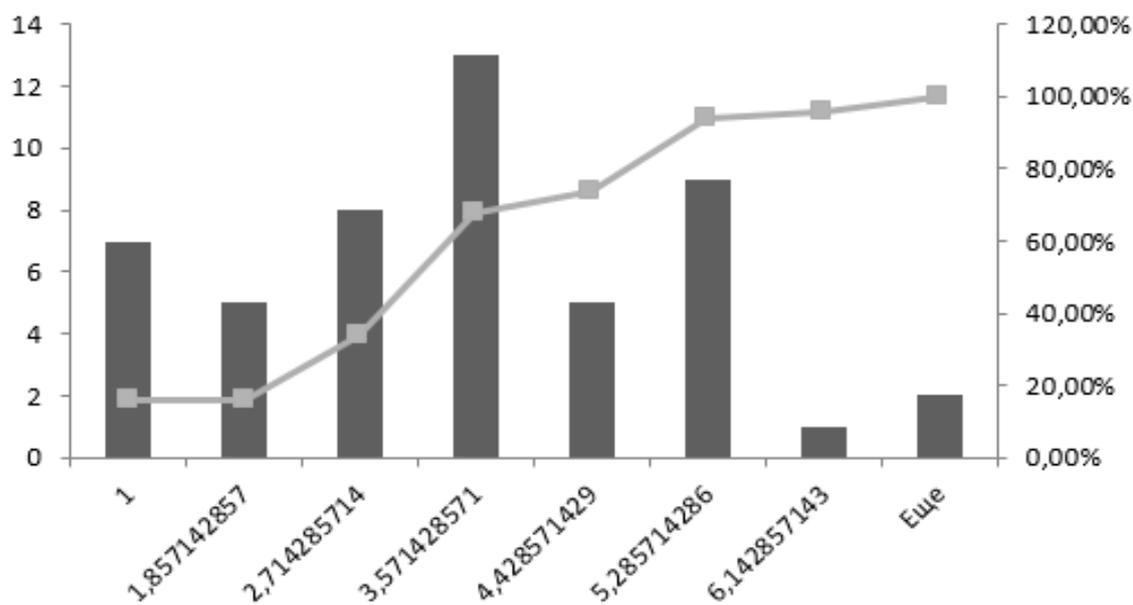


Рис. 4. Гистограмма стоимости мобильных приложений в топ AppStore

Анализируя график, можно сделать вывод, что средняя стоимость приложений в AppStore приблизительно равна средней стоимости мобильного приложения в Google Play. Также можно заметить, что пик стоимости мобильных приложений в магазинах приходится на 3-4 доллара США.

Авторами данной работы была разработана имитационная модель когортного анализа платежеспособностей пользователя. При построении модели учитывались бесплатные и платные мобильные приложения от 0,99 до

9,99 долларов США с шагом один доллар. Принцип работы данной модели заключен в анализе когорт и вероятности загрузки приложений для каждой из них. Всего данная модель оценивает 11 когорт, к первой когорте относится 70% пользователей, загружающих только бесплатные приложения, к остальным 10 когортам относятся пользователи, готовые платить за приложения. Разделения пользователей по когортам проходило следующим образом: произведение 20%, общее количество платящих пользователей, и частное отношение 1 к сумме приложение; к тому же к полученному произведению добавляем 50 и 25% из двух предшествующих когорт соответственно, и так для каждой из 10 когорт. Таким образом получаем вероятность скачивания мобильного приложения при различной стоимости каждой из когорт. Данные представлены на рисунке 5.

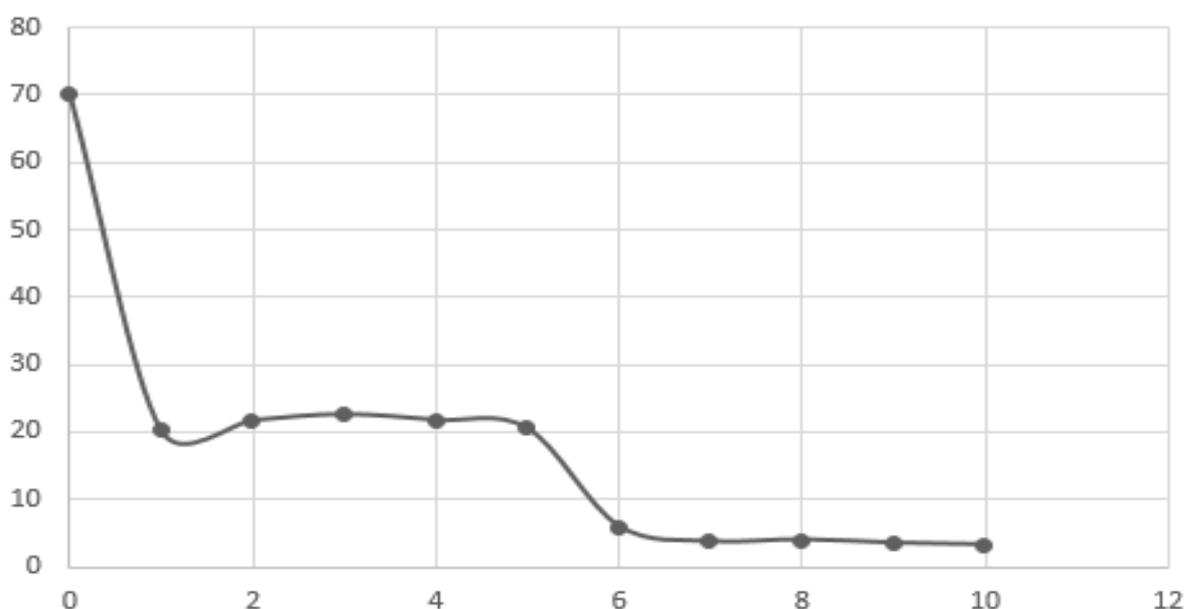


Рис. 5. Потенциальная вероятность скачивания приложения

На рисунке 5 отображена потенциальная вероятность скачивания приложения для каждой из когорт. Таким образом, если пользователь скачивает только бесплатные приложения, то он относится к первой когорте, с потенциальной вероятностью 70%. Если пользователь готов заплатить за приложения 1 доллар, то он относится к второй когорте, с потенциальной вероятностью скачивания 20,2%, и так далее для каждой когорты.

Построение имитационной модели вероятности скачивания по когортам строилось по нормальному закону распределения с вероятностью 0,9 для каждой потенциальной вероятности и СКО, равной 3. Далее проводилось по тысячи итераций для каждого из показателей по когортам. Данные по числу скачивания мобильного приложения для тысячи итераций для всех 11 когорт представлены на рисунке 6.

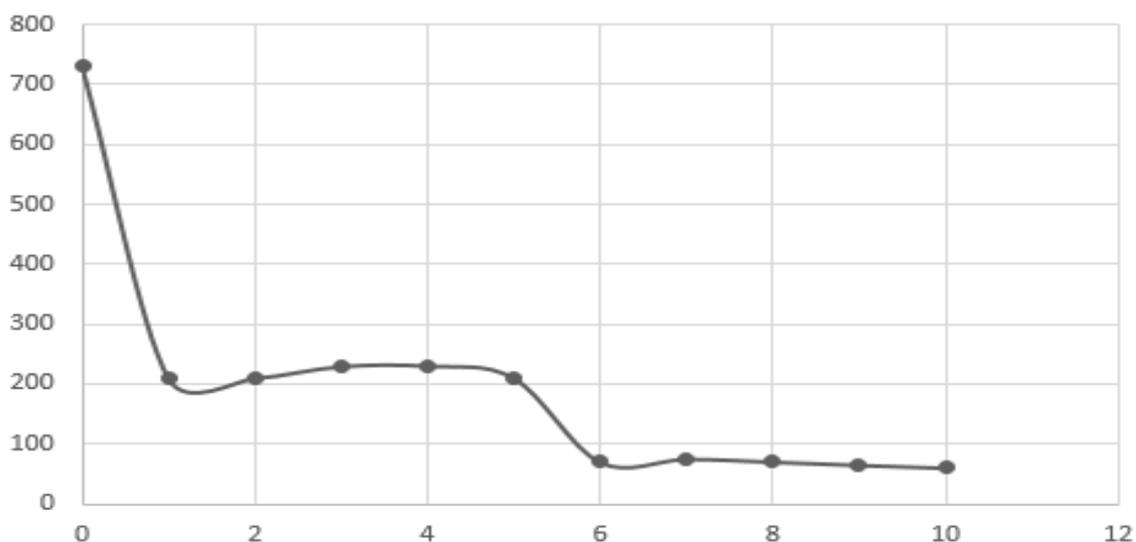


Рис. 6. Потенциальное количество скачивания при тысяче итераций

Таким образом, на рисунке 6 видно, что данные, полученные при тысяче итераций, не очень отличаются от данных, полученных при потенциальной вероятности скачивания мобильного приложения. Однако следует учитывать, что потенциальная вероятность загрузки не равняется ее реальной величине, так как не учитывается количество пользователей, находящихся в каждой из когорт.

В ходе данной работы можно сделать следующий вывод: количество скачиваний не всегда зависит от стоимости приложения, при стоимости до 5 долларов США, так как если пользователь готов платить за приложения, то разработчикам стоит тестировать цену, и если это возможно, то есть смысл повышать ее, для увеличения монетизации. Также разработанная авторами имитационная модель когортного анализа частично отражает реалии стоимости мобильных приложений. Имитационная модель может описать функцию полезности стоимости мобильного приложения для большинства пользователей, таким образом, получается, что стоимость приложения для максимальной монетизации не должна превышать 5 долларов США, так как наибольшее число пользователей относится именно к этим когортам.

**ПРОГРАММНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ПО РАСЧЕТУ ПЛОСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УСЛОВИЯ ЖЕСТКОСТИ ПУТЕМ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ ФОРМЫ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ИНТЕРПОЛЯЦИИ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНФОРМНЫХ РАДИУСОВ**

А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев

*Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс,*

*Брянская государственная инженерно-технологическая академия*

**Аннотация:** Приводится описание программных комплексов, разработанных авторским коллективом по расчету плоских элементов конструкций в виде упругих пластинок различных форм из условия жесткости при их поперечном изгибе равномерно распределенной нагрузкой. Программы реализуют аналитический метод интерполяции по коэффициенту формы МИКФ, предложенный А.В. Коробко для решения двумерных задач строительной механики и теории упругости, с использованием взамен коэффициента формы конформных радиусов областей пластинок.

**Ключевые слова:** *программные комплексы, пластинки, поперечный изгиб, максимальный прогиб, метод интерполяции по коэффициенту формы, конформные радиусы.*

**SOFTWARE COMPLEXES FOR DESIGNING RIGIDITY OF FLAT ELEMENTS IN STRUCTURES BY MEANS OF GEOMETRICAL MODELLING THEIR SHAPE BASED ON THE INTERPOLATION METHOD BY THE DIAMETER QUATINENT WITH USE OF CONFORMAL RADII**

A.V. Korobko, M. Yu. Prokurov, A.A. Chernyaev

*State university – educational-science-production complex,*

*Bryansk state engineering and technological academy*

**Abstract:** The article undertakes the description of software complexes developed by a group of authors to design the rigidity of flat constructional elements being actually elastic plates of various forms when subjected to longitudinal bending under even loading. Programs realize the analytical method of interpolation on MIKF form coefficient offered by A.V. Korobko for solving of two-dimensional problems of construction mechanics and the theory of elasticity with use of plate area conformal radii instead of the diameter quotient.

**Keywords:** *software complexes, plates, longitudinal bending, maximum deflection, an interpolation method through the diameter quotient, conformal radii.*

Плоские элементы конструкций (плиты, пластинки) различного очертания находят широкое применение в машиностроении и строительстве в качестве несущих и ограждающих элементов конструктивных систем. Разработка инженерно-технических решений для пластинчатых конструкций часто обусловлена постановкой и реализацией обратной задачи проектирования, связанной с оценкой их деформированного состояния по величине максимального прогиба, вызванного действием приложенной нагрузки.

В настоящее время известен ряд методов, позволяющих получать решение указанной задачи, однако ввиду их отдельных недостатков и ограничений проблема разработки новых подходов к расчёту пластинчатых конструкций сохраняет свою актуальность.

Так, использование прямых методов сопряжено с известными математическими трудностями решения дифференциальных уравнений. Их реализация ограничена рядом частных решений для пластинок простейших форм очертания и условий закреплений, что не может служить надёжным основанием при разработке универсального программного обеспечения рассматриваемой задачи.

Наибольшее распространение в задачах автоматизированного расчёта пластин получили численные методы – метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ), положенный в основу современных универсальных программных комплексов SCAD, ANSYS, APM WinMachine и др. Однако использование подобных программных пакетов представляется достаточно громоздким при получении оперативного результата в задачах вариантного проектирования, а также требует определённого уровня квалификации пользователя ЭВМ. Отметим, что реализация МКЭ ориентированна исключительно на использование вычислительной техники, что зачастую приводит к потере физического смысла решаемой задачи.

Указанные трудности определяют перспективу развития геометрических методов расчёта, позволяющих получить оперативную оценку физических характеристик пластинок на основе двусторонней ограниченности возможных решений при геометрическом моделировании области, очерченной их внешним контуром. Реализация таких методов не требует решения дифференциальных уравнений, приводя к получению результата с точностью, достаточной для инженерных расчётов. При этом не предусматривается использование мощных ЭВМ и имеется возможность проведения ручного счёта.

К геометрическим методам относятся изопериметрический метод (ИЗПМ) и метод интерполяции по коэффициенту формы (МИКФ), разработанный А.В. Коробко, где в качестве основного аргумента, по которому оцениваются получаемые решения, принята безразмерная геометрическая характеристика плоской выпуклой области – коэффициент формы, подробные сведения о котором представлены в [1].

Как показано в [2-14], подобной геометрической характеристикой может являться отношение внутреннего  $\bar{r}$  и внешнего  $\bar{r}$  конформных радиусов, получаемых при отображении односвязной выпуклой области пластинки на внутренность и внешность круга. Такое конформное отображение задаётся посредством некоторой аналитической функции комплексного переменного.

Отношение  $\bar{r}/\bar{r}$ , выступающее характеристикой "правильности" или "симметричности" отображаемой области, рассматривается в данном случае как новый аргумент геометрических методов решения задач технической теории пластинок и двумерных задач теории упругости.

Отметим, что для ряда геометрических фигур (круг, правильные многоугольники, произвольные треугольники и ромбы) выполняется

замечательная зависимость, позволяющая подвести под них общую геометрическую основу:

$$A = \pi \dot{r} \bar{r}. \quad (1)$$

Приведём известные из научной и справочной литературы формулы нахождения внутреннего и внешнего конформных радиусов ряда односвязных областей с выпуклым контуром [17]:

– *круг* радиуса  $a$ :

$$\dot{r} = a, \quad \bar{r} = a; \quad (2)$$

– *правильный многоугольник*:

$$\dot{r} = \frac{\Gamma(1-1/n)}{2^{1-\frac{2}{n}} \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{n}\right)} L, \quad \bar{r} = \frac{\Gamma(1+1/n)}{2^{1+\frac{2}{n}} \Gamma\left(\frac{1}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{n}\right)} L, \quad (3)$$

где  $n$  – число сторон;  $L$  – периметр;  $\Gamma(x)$  –  $\Gamma$ -функция (Гамма-функция);

– *произвольный треугольник* с углами  $\pi\alpha$ ,  $\pi\beta$ ,  $\pi\gamma$ :

$$\dot{r} = 4\pi \cdot f(\alpha)f(\beta)f(\gamma) \cdot \rho,$$

где  $f(x) = \frac{1}{\Gamma(x)} \left\{ \frac{x^x}{(1-x)^{1-x}} \right\}^{1/2}$ ;  $\rho$  – радиус описанного круга; значение

внешнего конформного радиуса  $\bar{r}$  для треугольных областей, можно определить из выражения (1);

– *ромб* с углом  $\pi\alpha$ :

$$\dot{r} = \frac{\pi^{1/2}}{\Gamma\left(\frac{\alpha}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1-\alpha}{2}\right)} L, \quad \bar{r} = \frac{\pi^{1/2}}{8\Gamma\left(1-\frac{\alpha}{2}\right) \Gamma\left(\frac{1+\alpha}{2}\right)} L; \quad (4)$$

– *эллипс* с полуосями  $a \geq b$ :

$$\dot{r} = \bar{r} \left\{ \sum_{n=0}^{\infty} z^{n(n+1)} \right\}^{-1} \left\{ 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} z^{n^2} \right\}^{-1}, \quad \bar{r} = \frac{a+b}{2}, \quad (5)$$

где  $z = (a-b)^2 / (a+b)^2$ .

Формула для определения внутреннего конформного радиуса  $\dot{r}$  для *прямоугольников* с полуосями  $a \geq b$  имеет вид:

$$\dot{r} = \frac{2}{\pi} b \left( 1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} z^{n^2} \right)^{-2}, \quad (6)$$

где  $z = e^{-\pi a/b}$ .

Определение внешнего конформного радиуса  $\bar{r}$  для прямоугольной области предусматривает решение системы уравнений относительно  $\bar{r}$  и  $\alpha$ , полученных с помощью формулы Кристоффеля-Шварца в [18]:

$$\begin{cases} \frac{a}{\bar{r}} = \pi \cos^2 \alpha \sum_{k=0}^{\infty} \frac{((2k-1)!)^2}{2^{2k} (k+1)! k!} \cos^{2k} \alpha; \\ \frac{b}{\bar{r}} = \pi \sin^2 \alpha \sum_{k=0}^{\infty} \frac{((2k-1)!)^2}{2^{2k} (k+1)! k!} \sin^{2k} \alpha, \end{cases} \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  – стороны прямоугольника, параллельные соответственно осям  $x$  и  $y$ ;  $\alpha$  – аргумент комплексных чисел для точек окружности, образами которых при конформном отображении служат вершины прямоугольника, центр которого совпадает с началом координат;  $(-1)!! = 1$ .

Определение максимальных прогибов упругих пластинок с использованием аргумента  $r/\bar{r}$  реализовано в программном комплексе «RRMaximalDeflectionPlate» [19] и «RRMaximalDeflectionPlateGraphic» [20] для следующих видов очертаний контура: треугольники (равнобедренные, прямоугольные, произвольные); ромбы; прямоугольники; трапеции (равнобедренные, прямоугольные, произвольные); правильные многоугольники; эллипсы. К рассмотрению приняты упругие изотропные тонкие пластинки, геометрические параметры которых удовлетворяют неравенству:

$$D_{\min}/(80\dots 100) < t < D_{\min}/(8\dots 10), \quad (8)$$

где  $t$  – толщина пластинки,  $D_{\min}$  – минимальный габаритный размер в плане. Предполагается, что такие пластинки работают как жёсткие и допускают малые прогибы:  $w_0 < t/2\dots 5$ , где  $w_0$  – максимальное значение прогиба пластинки.

В качестве исходных данных к расчёту принимаются следующие физические величины:  $q$  – значение нагрузки, равномерно распределённой по всей поверхности пластинки;  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль упругости материала.

Общим геометрическим параметром для всех видов пластинок является контролируемое значение их толщины  $t = const$ . Другие исходные геометрические данные зависят от формы рассматриваемых пластинок:

– *равнобедренные треугольники*:  $\alpha$  – угол при основании;  $a$  – длина основания;

– *прямоугольные треугольники*:  $\alpha$  – один из острых углов;  $a$  – длина прилежащего катета;

– *произвольные треугольники*:  $\alpha, \beta$  – углы треугольника;  $a$  – длина его стороны, находящаяся между ними;

– *ромбы*:  $\alpha$  – острый угол;  $a$  – длина стороны;

– *прямоугольники*:  $a, b$  – длины сторон;

– *параллелограммы*:  $\alpha$  – острый угол;  $a$  – большая сторона;  $h$  – меньшая высота;

– *равнобедренные трапеции*:  $\alpha$  – острый угол при большем основании;  $a$  – длина большего основания;  $h$  – высота;

– *прямоугольные трапеции*:  $\alpha$  – острый угол;  $a$  – примыкающее основание;  $h$  – высота;

– *произвольные трапеции*:  $\alpha, \beta$  – острые углы при основании;  $a$  – основание, находящаяся между ними;  $h$  – высота;

– *правильные многоугольники*:  $n$  – число сторон;  $a$  – длина стороны;

– *эллипсы*:  $a, b$  – длины полуосей.

Угловые меры фигур приняты в градусах, линейные длины – в метрах.

В качестве граничных условий рассматриваются: жёсткое защемление и шарнирное опирание по всему контуру, а также все возможные комбинации их сочетаний по отдельным сторонам пластинок. Возможные комбинации граничных условий для характерных очертаний контура пластинок представлены в виде исчерпывающего набора схем:

– *равнобедренные треугольники* – 6 возможных схем;

– *прямоугольные и произвольные треугольники* – 8 схем (рисунок 1);

– *ромбы* – 7 схем (рисунок 2);

– *прямоугольники* – 9 схем;

– *параллелограммы* – 10 схем; (рисунок 3);

– *равнобедренные трапеции* – 12 схем;

– *прямоугольные и произвольные трапеции* – 16 схем (рисунок 6).

Для *правильных многоугольников* в силу изначальной неопределённости числа их сторон рассмотрено только жёсткое или шарнирное опирание по всему контуру.

Для пластинок в форме *эллипса* рассмотрение граничных условий ограничивается жёстким защемлением, так как приведенные значения прогибов шарнирно опертых криволинейных пластинок зависят, в том числе, от величины коэффициента Пуассона.

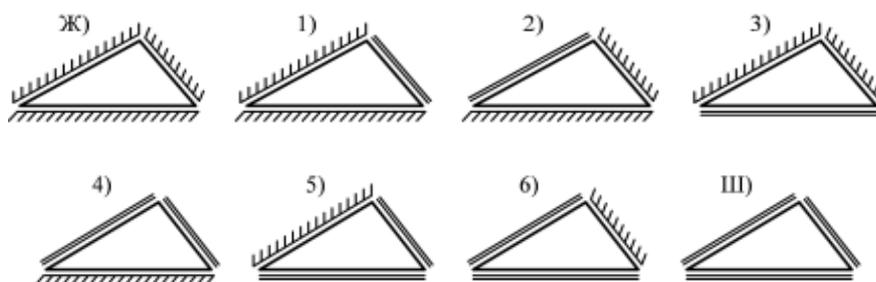


Рис. 1. Комбинации граничных условий для пластинок в виде произвольного треугольника

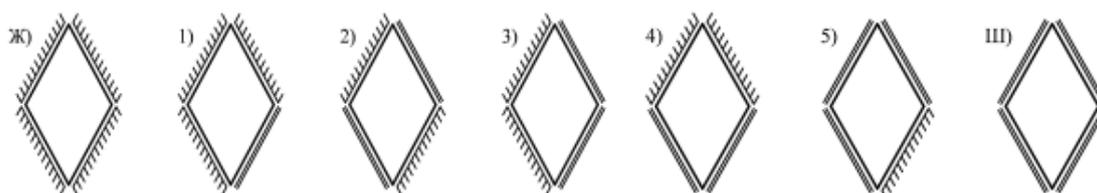


Рис. 2. Комбинации граничных условий для ромбических пластинок

В основе расчёта значения максимального прогиба лежит следующая зависимость:

$$w_0 = k_w \frac{q A^2}{D}, \quad (9)$$

где  $A$  – площадь пластинки,  $D$  – её цилиндрическая жесткость,  $k_w$  – коэффициент пропорциональности, рассматриваемый для ряда характерных видов очертаний как некоторая функция, взятая от отношения конформных радиусов.

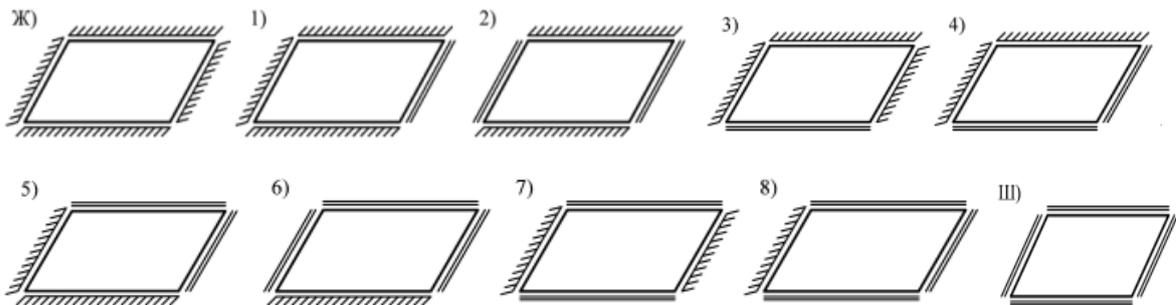


Рис. 3. Комбинации граничных условий для параллелограммных пластинок

Решения для равнобедренных и прямоугольных треугольных, ромбических, прямоугольных, правильных многоугольных и эллиптических пластинок определяются согласно функциональным зависимостям вида  $k_w = f(\dot{r}/\bar{r})$ , где установлено, что эти выражения служат двусторонними границами всего множества возможных решений задачи о величине максимального прогиба рассматриваемых пластинок.

Решения для произвольных треугольных, параллелограммных и трапециевидных пластинок определяются аналогично МИКФ, подробно рассмотренному в [1]. При этом вместо коэффициента формы искомое решение интерполируется по аргументу  $\dot{r}/\bar{r}$ . Расчётные формулы в данном случае принимают следующий вид:

$$w_0 = w_{01} \left( \frac{(\dot{r}/\bar{r})}{(\dot{r}/\bar{r})_1} \times \frac{A_1}{A} \right)^n, \quad n = \ln(w_{02}/w_{01}) / \ln \left( \frac{(\dot{r}/\bar{r})_2}{(\dot{r}/\bar{r})_1} \times \frac{A_1}{A_2} \right), \quad (10)$$

где  $w_{01}$ ,  $w_{02}$  – известные значения максимальных прогибов пластинок, принимаемые в качестве опорных решений;  $A_1$ ,  $A_2$  – площади этих пластинок;  $(\dot{r}/\bar{r})_1$ ,  $(\dot{r}/\bar{r})_2$  – соответствующие им отношения конформных радиусов;  $A$  и  $(\dot{r}/\bar{r})$  – те же параметры для рассчитываемой пластинки.

Предполагается, что рассматриваемая пластинка получается путем аффинного преобразования одной опорной пластинки в другую. Раздельное рассмотрение трапециевидных пластинок (равнобедренные, прямоугольные, произвольные) введено в связи с различными видами применяемых преобразований опорных фигур.

В результате расчёта программа определяет величины максимальных прогибов пластинок для возможных комбинаций граничных условий в двух

вариантах: 1) относительное значение  $k_w$  с размерностью  $qA^2/D$ , зависящее лишь от геометрической формы пластинки и принятой комбинации её граничных условий; 2) абсолютная величина максимального прогиба  $w_0$  с размерностью в миллиметрах, зависящая, в том числе, от физических характеристик материала пластинки и значения внешней нагрузки.

Для справки предусмотрен вывод значения отношения конформных радиусов, получаемых при отображении области, ограниченной контуром рассматриваемой пластинки. Общий алгоритм, реализуемый программами, представлен на рисунке 4, экранное представление их работы на рисунках 5,6.

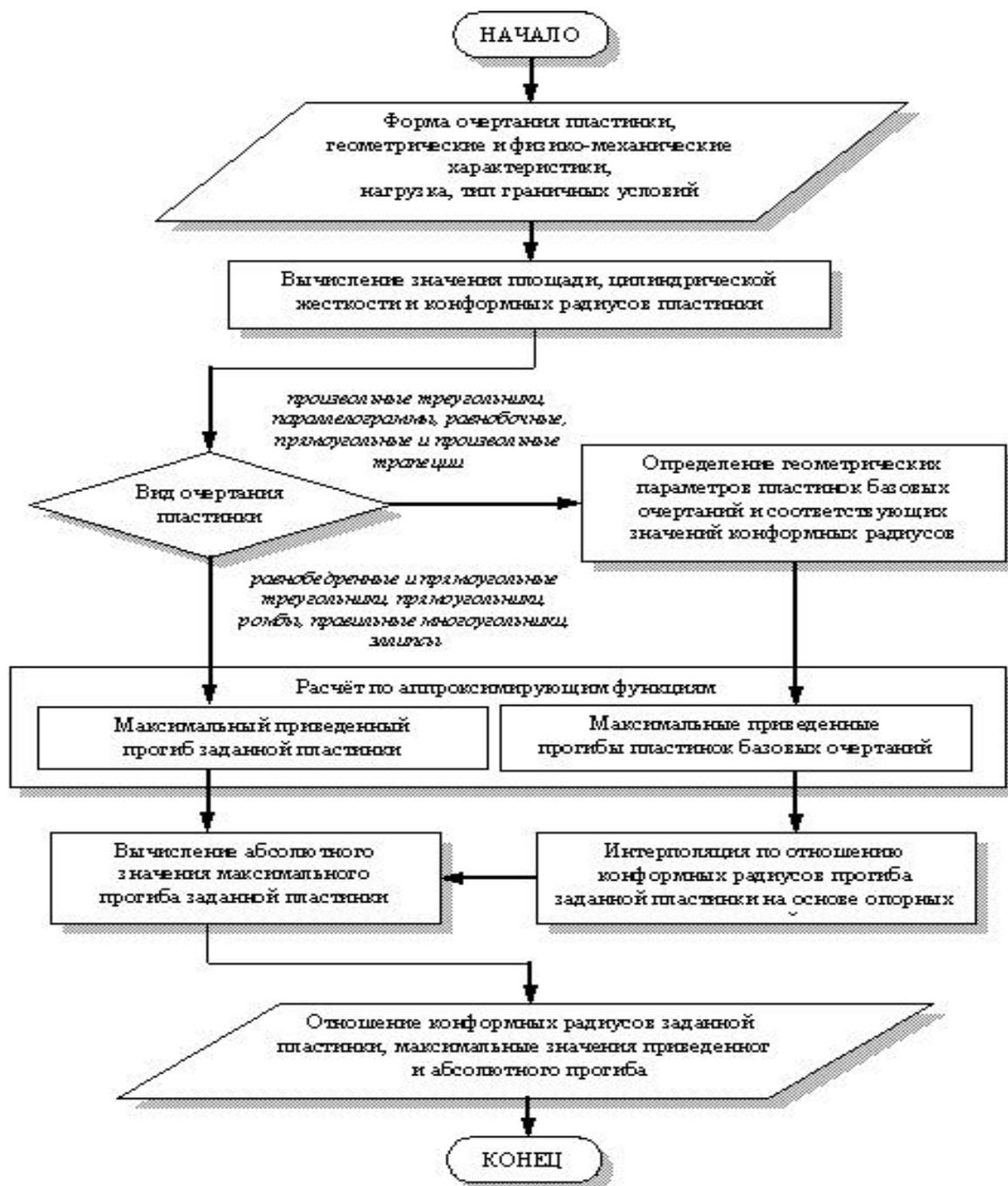


Рис. 4. Общий алгоритм программ «RRMaximalDeflectionPlate» и «RRMaximalDeflectionPlateGraphic»

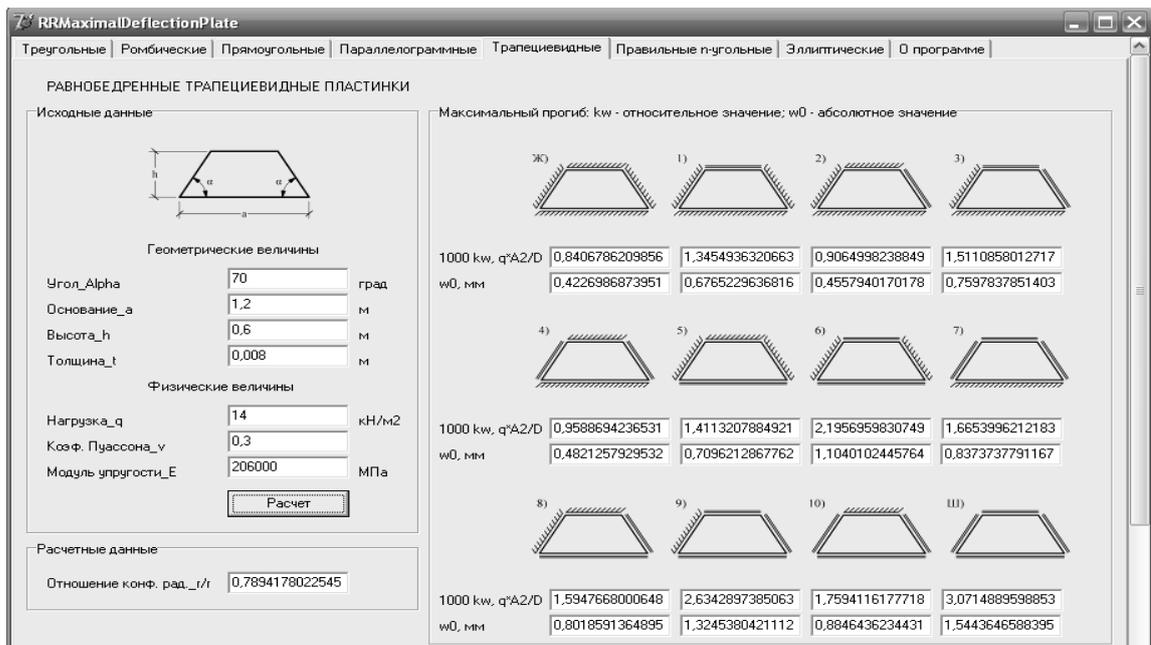


Рис. 5. Экранное представление работы программы «RRMaximalDeflectionPlate» по расчету трапециевидных пластинок

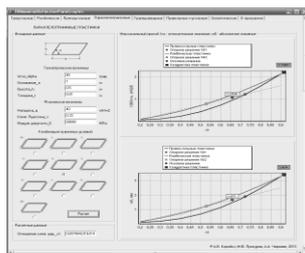


Рис. 6. Экранное представление работы программы «RRMaximalDeflectionPlateGraphic» по расчету параллелограммных пластинок

## Список литературы

1. Коробко, А.В. Геометрическое моделирование формы области в двумерных задачах теории упругости / А.В. Коробко. М.: АСВ, 1999. 320 с.
2. Коробко, В.И. Решение задач поперечного изгиба пластинок с использованием конформных радиусов / В.И. Коробко, А.А. Черняев // Строительная механика и расчет сооружений. 2011. №6. С. 16-22.
3. Коробко, В.И. Отношение конформных радиусов – новый аргумент геометрических методов решения двумерных задач теории упругости / В.И. Коробко, А.А. Черняев // Вестник отделения строительных наук РААСН. 2012. Вып. 16. Т. 1. С. 149-161.
4. Черняев, А.А. К вопросу о расчете трапециевидных пластинок из условия жесткости / А.А. Черняев // Вестник гражданских инженеров. 2013. №1 (36). С. 37-42.
5. Коробко, А.В. Определение максимального прогиба при поперечном изгибе параллелограммных пластинок с использованием отношения конформных радиусов / А.В. Коробко, А.А. Черняев // Известия высших учебных заведений. Авиационная техника. 2013. №2. С. 19-22.
6. Korobko, A.V. Determination of maximum deflection in transverse bending of parallelogram plates using the conformal radiuses ratio / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev // Russian Aeronautics. 2013. Volume 56. Issue 2. Pp. 131-134.
7. Черняев, А.А. Динамический расчет правильных n-угольных, треугольных и ромбических шарнирно опертых пластинок с использованием отношения конформных радиусов в качестве геометрического аргумента / А.А. Черняев // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2012. – №2. – С. 63-71.
8. Черняев, А.А. Динамический расчет круглых, правильных n-угольных, треугольных и ромбических жестко защемленных пластинок с использованием отношения конформных радиусов в качестве геометрического аргумента / А.А. Черняев // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – №2. – С. 24-33.
9. Черняев, А.А. Расчет на устойчивость правильных n-угольных, треугольных и ромбических шарнирно опертых пластинок с использованием отношения конформных радиусов в качестве геометрического аргумента // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2012. №5. С. 38-42.
10. Черняев, А.А. Геометрическое моделирование пластинчатых конструкций из условия жесткости / А.А. Черняев // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2012. Volume 8, Issue 4. Pp. 66-77.
11. Черняев, А.А. К вопросу о расчете пластинок средней толщины из условия жесткости / А.А. Черняев // Региональная архитектура и строительство. 2012. №1. С. 83-89.
12. Korobko, A.V. Algorithm and computer program by calculation of plates from a rigidity condition at a cross bend / A.V. Korobko, A.A. Chernyaev, M.Yu. Prokurov // Eastern European Scientific Journal. 2013. №4. P. 55-58.

13. Черняев, А.А. Физико-механические и геометрические аналоги в двумерных задачах строительной механики и теории упругости / А.А. Черняев, М.Ю. Прокуров, С.В. Шляхов // Строительство и реконструкция. 2014. №2. С. 40-46.

14. Коробко, В.И. Золотая пропорция и проблемы гармонии систем / В.И. Коробко, С.Г. Емельянов, А.А. Черняев. Курск: ЮЗГУ, 2013. 444 с.

15. Черняев, А.А. Развитие метода интерполяции по отношению конформных радиусов для решения задач поперечного изгиба пластинок: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / А.А. Черняев. Орел, 2013. 211 с.

16. Черняев, А.А. Развитие метода интерполяции по отношению конформных радиусов для решения задач поперечного изгиба пластинок: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17 / А.А. Черняев. Орел, 2013. 20 с.

17. Казанцев, В.П. Электростатика на плоскости. Нормировка потенциала. Емкости уединенного проводника и линии относительно точки. Конформные радиусы / В.П. Казанцев, О.А. Золотов, М.В. Долгополова // Вестник КрасГУ. Серия физ.-мат. науки. 2005. №1. С. 32-38.

18. Полия, Г. Изопериметрические неравенства в математической физике / Г. Полия, Г. Сеге. М.: КомКнига, 2006. 336 с.

19. Свидетельство №2012619163 о государственной регистрации программы для ЭВМ. RRMaximalDeflectionPlate. Определение максимального прогиба пластинок при поперечном изгибе с использованием конформных радиусов / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 11.10.2012.

20. Свидетельство №2013613173 о государственной регистрации программы для ЭВМ. RRMaximalDeflectionPlateGraphic. Определение максимального прогиба пластинок при поперечном изгибе с использованием конформных радиусов. Графическое представление / А.В. Коробко, М.Ю. Прокуров, А.А. Черняев; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»; зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 27.03.2013.

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЗНАНИЙ**

И.А. Лёзин, Д.Е. Маркелов

*Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)*

В условиях резкого повышения объема информации является целесообразным разработку методов и инструментов по извлечению знаний из больших массивов данных. Главное отличие знаний от статических данных, хранящихся в базах данных, состоит в их структурности и активности. Появление в базе знаний новых фактов или установление новых связей может стать источником изменений в принятии решений. Предлагается удобный для практики метод извлечения знаний из больших массивов данных. Метод представляет собой порядок расчетов, позволяющих решить задачу перехода от данных к знаниям.

**Ключевые слова:** *извлечение знаний, большие массивы данных, нечеткая логика.*

## **AUTOMATED SYSTEM OF KNOWLEDGE PICKUP**

I.A. Lyozin, D.E. Markelov

*Samara State Aerospace University named after Academician S.P. Korolyov*

*(National Research University)*

**Abstract:** The paper points out that a rapid growth of information makes it is appropriate to develop methods and instruments for knowledge extraction from large data sets. The main difference between knowledge and static data stored in databases lies in their structure and activity. The coming of new facts or interpolation of new connections may become a source of changes in decision making. The suggested method presents a procedure which makes possible the transition from data to knowledge.

**Key words:** *knowledge extraction, large data sets, fuzzy logic.*

### **Введение**

С развитием технологий неуклонно растет количество информации, которая нуждается в обработке. Ценным ресурсом является не столько информация, сколько заключенные в ней знания. Проблема извлечения знаний является составной частью инженерии знаний – области информационных технологий, занимающейся решением задачи преобразования знаний (которые ранее мог накапливать и применять на практике лишь человек) в объект обработки на ЭВМ. Решение задачи автоматического извлечения знаний из баз данных прямо связано с разработкой и эксплуатацией интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР) и экспертных систем (ЭС). Извлечённые знания могут пополнять существующую базу знаний некоторой экспертной системы или сразу использоваться для выработки рекомендаций по достижению поставленных целей.

С другой стороны, большинство сложных систем и процессов обладают объективной неопределенностью, что приводит к необходимости использования нечеткой логики при создании моделей таких объектов. Теория нечетких множеств позволяет описывать качественные, неточные понятия, знания об окружающем мире, а также оперировать знаниями с целью получения новой информации. Нечеткая логика позволяет находить решение в условиях недостаточного количества или недетерминировано заданных данных и правил.

Рассматриваемый подход позволяет провести анализ текущей ситуации, установить взаимосвязи между показателями и сформировать правило влияния факторов друг на друга. Предлагается автоматизированная система, позволяющая решить задачу извлечения знаний из данных. Частным случаем применения разрабатываемого подхода является автоматизированная система повышения эффективности группы гидроагрегатов.

### **Предметная область**

Каждый момент работы гидроэлектростанции (ГЭС) фиксируется огромное количество физических параметров (около 10 тысяч),

характеризующих режим работы гидроагрегатов, электрических сетей, трансформаторов, насосных станций и т.д. Дискретность многих из них составляет 1 секунду. Такие измерения приводят к накоплению массивов числовых характеристик значительной размерности, что затрудняет хранение, анализ и интерпретацию полученных результатов.

Если исходить из предположения о том, что данная выборка отображает какие-либо функциональные зависимости между параметрами, пусть даже неизвестные, то в таком случае можно перейти к созданию набора логических правил, описывающих эти зависимости, то есть к базе знаний.

Полученные правила позволяют внести интеллектуальную составляющую в процесс управления составом гидроагрегатов в соответствии с плановыми значениями нагрузки и резерва с целью обеспечения наибольшей экономичности работы ГЭС.

Важно, что создаваемая автоматизированная система (АС) является прежде всего рекомендательной, предоставляющей информацию о более рациональном состоянии агрегатов, она не принимает непосредственного участия в управлении и потому никак не влияет на устойчивость системы. Работой ГЭС управляет системная автоматика.

### **Исходные данные**

Входными данными системы являются массивы параметров, накопленные в центре сбора и обработки данных (ЦСОД), имеющиеся на ГЭС и располагающем архивными данными за несколько лет. Новые поступающие данные также обрабатываются системой. В этом случае база знаний будет расширена и в дальнейшем в режиме проактивной работы система пересмотрит и оптимизирует существующую базу знаний. Обновленная база знаний будет доступна для следующих сеансов определения состава гидроагрегатов.

Например, план по заданной мощности определен всего на 2 часа вперед, и каждое новое задание приводит к новому анализу текущего состояния базы знаний.

Также к входной информации относятся следующие характеристики:

- эксплуатационные характеристики гидроагрегатов (зависимость КПД от активной мощности гидроагрегата и напора воды);
- расходные характеристики (зависимость расхода воды через гидроагрегат от активной мощности гидроагрегата и напора воды);
- различные зоны запрещенной и нерекомендованной работы гидроагрегатов;
- остаточный моторесурс (время до капитального ремонта, время работы в граничных условиях, предельное количество пусков и остановов);
- пределы по верхнему и нижнему уровням водохранилища.

Зависимости КПД и расхода воды от мощности агрегатов при постоянном напоре представляются в АС сплайнами третьего порядка. Для промежуточных значений напоров величины КПД вычисляются линейной интерполяцией с использованием данных при ближайших значениях напоров. Такие операции

необходимы, чтобы получить достоверные и непрерывные значения КПД на всех диапазонах значений мощностей и напоров.

### Общая постановка задачи

Преобразование экспериментальной информации в нечеткие базы знаний состоит из двух этапов [1]:

- генерация первоначального набора правил;
- определение оптимальной структуры базы знаний.

Для реализации первого этапа необходимо решить три задачи:

- задать структуру базы нечетких продукционных правил;
- разбить пространство входных и выходных переменных;
- определить метод формирования начальной базы знаний.

Для оптимизации базы знаний необходимо решить следующие задачи:

- определить критерии оптимальности базы знаний;
- сократить число правил;
- провести параметрическую оптимизацию базы знаний на основе экспериментальных данных.

При этом критерием качества извлеченных закономерностей является близость результатов лингвистической аппроксимации и соответствующих экспериментальных данных. Для количественной оценки точности результатов необходимо применить механизм нечеткого вывода, состоящий из следующих этапов:

- фазификация входных переменных;
- формирование базы нечетких продукционных правил;
- агрегирование предусловий в нечетких продукционных правилах;
- композиция заключений;
- аккумулярование заключений;
- дефазификация значений.

Исходя из постановки задачи, можно перейти к описанию объекта одного правила базы знаний с  $n$  входами и одним выходом (1):

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

для которого известны интервалы изменения входов и выхода (2):

$$x_i \in [x_i, \bar{x}_i], i = 1, n, y \in [y, \bar{y}]. \quad (2)$$

По имеющейся обучающей выборке из  $M$  пар экспериментальных данных входы-выход (3):

$$\{X_p, y_p\}, \quad (3)$$

где  $X_p = \{x_1^p, x_2^p, \dots, x_n^p\}$  - входной вектор в  $p$ -й паре,  $p = \overline{1, M}$ , необходимо синтезировать знания об объекте в виде системы нечетких высказываний вида:

$$\text{ЕСЛИ}[(x_1 = \alpha_1) \text{и} (x_2 = \alpha_2) \text{и} \dots (x_n = \alpha_n)] \text{ТО } y \in d_j = [y_{j-1}, y_j], \quad (4)$$

где  $\alpha_k$  – некоторый интервал области входных данных  $x_i$ ,  
 $d_j$  – интервал выходных данных  $y$ .

### **Построение базы знаний**

Алгоритм генерации базы правил состоит из следующих основных этапов: загрузка обучающей выборки, кластеризация, определение функции принадлежности, удаление противоречивых и дублирующих правил.

После загрузки массивов исходных данных система начинает выполнять этап статистической обработки, заключающийся в нахождении оценки взаимосвязи переменных.

### **Статистическая обработка**

Сложность построения базы знаний сильно зависит от объема выборки. Сократить объем выборки можно путем исключения из рассмотрения переменных, которые не вносят существенный вклад в значение результирующей переменной. Таким образом, задачу исключения переменных можно сформулировать как нахождение оценки взаимосвязи переменных, решить которую можно статистическими методами.

Корреляционная зависимость – статистическая взаимосвязь двух или нескольких случайных величин (либо величин, которые можно с некоторой допустимой степенью точности считать таковыми). При этом изменения значений одной или нескольких из этих величин сопутствуют систематическому изменению значений другой или других величин. Для оценки связи переменных между собой необходимо рассчитать коэффициент корреляции [2].

Коэффициент корреляции рангов, предложенный К. Спирменом, относится к непараметрическим показателям связи между переменными, измеренными в ранговой шкале. При расчете этого коэффициента не требуется никаких предположений о характере распределений признаков в генеральной совокупности. Этот коэффициент определяет степень тесноты связи порядковых признаков, которые в этом случае представляют собой ранги сравниваемых величин.

При использовании коэффициента ранговой корреляции условно оценивают тесноту связи между признаками, считая значения коэффициента, равные 0,3 и менее, показателями слабой тесноты связи; значения более 0,4, но менее 0,7 – показателями умеренной тесноты связи, а значения 0,7 и более – показателями высокой тесноты связи. Таким образом, переменные с низким показателем можно исключить из рассмотрения.

### **Кластеризация**

После сокращения объема обрабатываемых данных за счет исключения незначимых переменных система переходит к этапу кластеризации. На данном этапе определяются группы параметров. Результатом кластеризации будет являться то, что близкие по своему влиянию параметры будут принадлежать одной группе [3].

В результате анализа этапа кластеризации при построении баз знаний было решено, что является целесообразным реализовать его с помощью алгоритма

Абе-Лэна. Достоинством данного алгоритма является то, что он рассматривает не только близость значений внутри области переменных, но и связи между входной и результирующей переменными.

### **Определение функции принадлежности**

Следующим шагом в построении базы правил является определение принадлежности значения параметра к тому или иному кластеру.

Для этого каждому примеру из сокращенной выборки ставится в соответствие отдельное правило. Для этого для каждого правила определяются степени принадлежности заданных значений переменных к соответствующим кластерам. После чего каждому обучающему примеру ставятся в соответствие те кластеры, степени принадлежности к которым у соответствующих значений переменных из этого примера являются максимальными [4].

На этапе определения коэффициента принадлежности было принято допущение, что границы значений функции принадлежности лежат на срединных значениях соседних с рассматриваемым кластером. Точная подстройка вида функции принадлежности осуществляется изменением параметра кривой функции.

### **Оптимизация базы знаний**

Этап оптимизации рассматривает правила во взаимодействии между собой, происходит оптимизация базы знаний в целом. На данном этапе рассматриваются такие качества базы знаний, как непротиворечивость и полнота.

#### **Противоречивость**

Важнейшим этапом оптимизации базы знаний является исключение противоречивых правил. Исключение проводится на основе подсчета рейтинга правил [5]. Достоинством предложенного решения является то, что поиск групп противоречивых правил осуществляется с помощью синтаксического анализа, что позволяет избавиться от рассмотрения конкретных значений, связей между ними и привязки к конкретной предметной области.

#### **Полнота**

Анализ полноты формальной системы в случае нечетких логик интересен возможностью количественно оценивать степень полноты для построенной модели. Степень полноты можно истолковать как оценку качества созданной базы знаний и в случае низких показателей как указание к ее перепроектированию [6].

Определение полноты базы знаний заключается в определении некоего «предела» совпадения различных характеристик истинности. Для этого определяется супремум всех выводов возможных посылок и инфимум всех возможных заключений по каждому правилу.

### **Результаты работы АС**

Результатом работы автоматизированной системы построения и оптимизации баз знаний является набор правил, отражающий закономерности работы гидроагрегатов.

Рекомендации системы должны способствовать обеспечению суммарного минимального расхода воды при необходимой суммарной выработке

электроэнергии, то есть позволит повысить общее КПД ГЭС. Таким образом, разработка данного ПО является экономически целесообразной и отвечает требованиям государственной программы Российской Федерации повышения энергоэффективности до 2020 года.

#### Список литературы

1. Мурашко, А.Г. Извлечение знаний из баз данных при помощи нейронной сети и нечеткого интерпретатора / А.Г. Мурашко, И.В. Шевченко // Кременчугский университет экономики, информационных технологий и управления. 2008. №5. С. 41-44.

2. Заде, Л.А. Понятие лингвистическое переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 252 с.

3. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 452 с.

4. Борисов, В.В. Нечеткие модели и сети / В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 484 с.

5. Мандель, И.Д. Кластерный анализ / И.Д. Мандель. М.: Финансы и статистика, 2010. 176 с.

6. Новак, В. Математические принципы нечеткой логики / В. Новак, И. Перфильева, И. Мочкорж. М.: Горячая линия – Телеком, 2006. 252 с.

### **НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ АППАРАТ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В СЛОИСТЫХ АНИЗОТРОПНЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ И ЭЛЛИПТИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЯХ ПРИ ИМПУЛЬСНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

И.П. Мирошниченко

*Донской государственный технический университет*

**Аннотация:** Предложен новый научно-методический аппарат и оригинальное программное обеспечение для определения напряженно-деформированного состояния в слоистых цилиндрических и эллиптических конструкциях, выполненных из анизотропных конструкционных материалов, при импульсных воздействиях.

**Ключевые слова:** научно-методический аппарат, программное обеспечение, напряженно-деформированное состояние, цилиндрические конструкции, эллиптические конструкции, анизотропные материалы.

# SCIENTIFIC TERMINOLOGY AND SOFTWARE FOR DETERMINING THE STRESSED-STRAINED STATE IN LAMENATED ANISOTROPIC CYLINDRICAL AND ELLIPTICAL STRUCTURES SUBJECTED TO IMPULSE INPUT

I.P. Miroshnichenko  
*Don State Technical University*

**Abstract:** The present paper offers a new set of scientific terminology and original software to determine a stressed-strained state in laminated cylindrical and elliptical constructions, made of anisotropic structural materials and subjected to impulse input.

**Key words:** *scientific terminology, software, a stressed-strained state, a cylindrical design, elliptical constructions, anisotropic materials.*

В настоящее время интенсивное создание и повсеместное использование новых видов конструкционных материалов (композиционных, полимерных, слоистых и т.п.) и изделий приводит к наращиванию разработки новых методов и программного обеспечения для проведения анализа их напряженно-деформированного состояния для различных расчетных случаев на всех этапах их жизненного цикла (изготовление, контроль качества, эксплуатация и т.д.).

В работе [1] предложен обобщенный метод скаляризации динамических упругих полей в трансверсально-изотропных средах, позволяющий описать динамические упругие поля перемещений, напряжений и деформаций в конструкциях, выполненных из трансверсально-изотропных материалов при помощи трех скалярных потенциальных функций, соответствующих квазипродольным, квазипоперечным и поперечным волнам.

На основе тензорных соотношений метода [1] разработан научно-методический аппарат для определения напряженно-деформированного состояния в слоистых цилиндрических и эллиптических конструкциях, выполненных из изотропных и трансверсально-изотропных композиционных материалов, учитывающий особенности всех типов волн, распространяющихся в данных материалах, волновых процессов в слоистых структурах и влияние кривизны поверхности рассматриваемых конструкций при заданном пространственно-временном распределении источников локального или распределенного импульсного воздействия по внешней и (или) внутренней поверхностям рассматриваемых конструкций.

Предложены методики определения напряженно-деформированного состояния в эллиптическом стержне, пространстве с эллиптической полостью и толстой эллиптической трубе для частных случаев двумерных задач. Рассмотрен общий случай возбуждения упругих волн в слоистых эллиптических конструкциях, выполненных из трансверсально-изотропных материалов. Отмеченный научно-методический аппарат подробно описан в работах [2,3].

Разработано оригинальное программное обеспечение [4-10], реализующее предлагаемый научно-методический аппарат [2,3], при этом предложены

оригинальные программные продукты [11-14] для вычисления высших трансцендентных функций – функций Матъе и модифицированных функций Матъе, входящих в решения задач для эллиптических конструкций.

Предложено оригинальное программное обеспечение [15-16] для моделирования процессов диагностики состояния слоистых конструкций, выполненных из трансверсально-изотропных материалов, акустическими активными методами неразрушающего контроля при однократном или многократном воздействии зондирующих импульсов в форме функции Гаусса, локально-распределенном по внешней и внутренней поверхностям рассматриваемых конструкций.

Предлагаемое программное обеспечение успешно прошло апробацию при решении актуальных научных задач. Его разработка продолжается в интересах целого ряда прикладных производственных задач.

Полученные результаты наиболее целесообразно использовать при создании перспективных конструкций из новых анизотропных композиционных материалов, контроле качества их изготовления и диагностике состояния в процессе эксплуатации в машиностроении, судостроении, авиастроении и т.п., а также в учебном процессе для обеспечения упражнений, практических и лабораторных занятий при изучении различных разделов высшей математики, специальных функций, теории упругости, методов неразрушающего контроля и т.п.

Настоящие разработки частично поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 13-08-00754.

#### Список литературы

1. Сизов, В.П. О скаляризации динамических упругих полей в трансверсально-изотропных средах / В.П. Сизов // Известия АН. Механика твердого тела. 1988. №5. С. 55-58.
2. Мирошниченко, И.П. Возбуждение упругих волн в слоистых анизотропных конструкциях: монография / В.П. Сизов, И.П. Мирошниченко. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, Germany, 2012. 270 с.
3. Miroshnichenko, I.P. Methods of Modeling of Stress-Strain Status in Layered Structures of Anisotropic Materials at Pulse Influences / I.P. Miroshnichenko // Advanced Materials. Physics, Mechanics and Applications Series: Springer Proceedings in Physics. Vol. 152. Springer International Publishing, Switzerland, 2014. pp. 163-179.
4. Мирошниченко, И.П. Программа для определения напряженно-деформированного состояния в слоистой цилиндрической конструкции / И.В. Коробчак, И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2011610785 РФ, 2011.
5. Мирошниченко, И.П. Программа для определения напряженно-деформированного состояния в слоистой цилиндрической конструкции при действии локальной импульсной нагрузки / И.В. Коробчак, И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2011612071 РФ, 2011.

6. Мирошниченко, И.П. Программа для расчета напряженно-деформированного состояния в упругом полупространстве при импульсном воздействии по кольцевой области на его поверхности / А.М. Петров, И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013615307 РФ, 2013.

7. Мирошниченко, И.П. Программа для определения напряженно-деформированного состояния в многослойной цилиндрической конструкции с трансверсально-изотропными слоями при импульсном воздействии с заданным пространственно-временным распределением его источников / И.П. Мирошниченко, А.М. Петров // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2013615308 РФ, 2013.

8. Мирошниченко, И.П. Программа для определения напряженно-деформированного состояния в многослойной цилиндрической конструкции / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014613314 РФ, 2014.

9. Мирошниченко, И.П. Программа для определения перемещений и напряжений в слоистой цилиндрической конструкции при комбинированном импульсном воздействии / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014613315 РФ, 2014.

10. Мирошниченко, И.П. Программа для определения перемещений и напряжений в слоистой цилиндрической конструкции при импульсном воздействии / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014613316 РФ, 2014.

11. Мирошниченко, И.П. Программа для вычисления функций Матье и их производных / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2008614102 РФ, 2008.

12. Мирошниченко, И.П. Программа для вычисления модифицированных функций Матье в виде рядов произведений функций Бесселя и их производных / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2009615589 РФ, 2009.

13. Мирошниченко, И.П. Программа для вычисления модифицированных функций Матье в виде рядов функций Ганкеля и их производных / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611891 РФ, 2010.

14. Мирошниченко, И.П. Программа для вычисления модифицированных функций Матье в виде рядов гиперболических функций и их производных / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611892 РФ, 2010.

15. Мирошниченко, И.П. Программа для моделирования процесса диагностики состояния материала в монослойной конструкции / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012661166 РФ, 2012.

16. Мирошниченко, И.П. Программа для моделирования процесса диагностики состояния материала в слоистой конструкции /

И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012661167 РФ, 2012.

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ИНТЕНСИВНОСТИ  
ОПТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КАРТИН,  
СОЗДАВАЕМЫХ ЛАЗЕРНЫМ ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ**

И.П. Мирошниченко

*Донской государственный технический университет*

**Аннотация:** Предложен новый научно-методический аппарат и оригинальное программное обеспечение для моделирования полей интенсивности оптического излучения в интерференционных картинах, создаваемых оптическим измерителем перемещений на основе двухходового лазерного интерферометра с совмещенными ветвями, с учетом особенностей оптической измерительной схемы и вида светоделителя.

**Ключевые слова:** *лазерный интерферометр, измерение перемещений, объект контроля, диагностика состояния.*

**MATHEMATICAL MODELLING AND SOFTWARE FOR  
DETERMINING THE DISTRIBUTIONS OF THE OPTICAL FIELD  
INTENSITY OF THE INTERFERENCE PATTERNS GENERATED  
BY A LASER INTERFEROMETER**

I.P. Miroshnichenko

*Don State Technical University*

**Abstract:** The paper deals with a new scientific terminology and original software for simulation of field intensity of the optical radiation in the interference pattern generated by the optical movement meter based on a two-way laser interferometer with combined branches, taking into account the optical characteristics of a measuring circuit and a beam splitter type.

**Key words:** *laser interferometer, measurement of movement, the object of control, diagnostics of the state (control).*

Интенсивное развитие приборостроения, станкостроения, машиностроения, появление новых видов конструкционных материалов и их повсеместное использование в различных областях техники приводят к необходимости разработки и внедрения перспективных высокоточных измерительных методов, средств и технологий для решения актуальных научных и прикладных задач контроля качества и диагностики состояния конструкционных материалов и силовых элементов изделий, находящихся в эксплуатации.

Актуальным и востребованным в этом случае является создание высокоточных бесконтактных средств измерений перемещений поверхностей объектов контроля на основе современных лазерных технологий и методов оптической интерферометрии для регистрации информации при контроле качества и диагностике состояния конструкционных материалов и силовых

элементов изделий акустическими неразрушающими методами контроля, что позволяет существенно повысить точность, качество и информативность результатов измерений.

Основными направлениями создания и совершенствования самих оптических интерференционных средств измерений перемещений для решения отмеченных задач являются разработка новых оптических схем и новых технологий для регистрации и обработки информации с интерференционных картин, расширение их функциональных возможностей, обеспечение непрерывного учета внешних влияющих факторов с одновременным проведением коррекции и внесением поправок в результаты измерений в реальном масштабе времени.

Одним из наиболее предпочтительных для решения перечисленных задач с точки зрения особенностей конструктивно-компоновочной схемы и функциональных характеристик является оптическое интерференционное устройство для измерения малых линейных перемещений поверхностей объектов контроля, построенное на основе двухходового лазерного интерферометра с совмещенными ветвями.

Разработаны новые математические модели для численного моделирования полей интенсивности оптического излучения в интерференционных картинах, создаваемых оптическим измерителем перемещений на основе отмеченного лазерного интерферометра, с учетом особенностей оптической измерительной схемы и вида светоделителя, которые подробно описаны в [1-6].

Разработано оригинальное программное обеспечение [7-9], реализующее предлагаемый научно-методический аппарат [1-6], которое прошло апробацию при решении актуальных научных и прикладных задач, а также успешно использовано при расчетно-экспериментальном обосновании в процессе создания новых образцов оптических интерференционных средств измерения перемещений поверхностей объектов контроля для стационарных и мобильных диагностических комплексов [10-14].

Перечисленные результаты позволяют численно моделировать различные, определяемые целями конкретной измерительной задачи, оптические схемы интерференционных измерителей для бесконтактного измерения малых перемещений поверхностей объектов контроля на основе двухходового лазерного интерферометра с совмещенными ветвями, а также повысить точность результатов измерений малых перемещений поверхностей объектов контроля в процессе диагностики состояния конструкционных материалов акустическими неразрушающими методами контроля до 30% в зависимости от используемого метода обработки информации с интерференционной картины путем учета неоднородностей распределения интенсивности оптического поля интерференционной картины.

Предлагаемое программное обеспечение прошло апробацию при решении актуальных научных и прикладных задач, а также успешно использовано при расчетно-экспериментальном обосновании в процессе создания новых образцов оптических интерференционных средств измерения перемещений поверхностей

объектов контроля для стационарных и мобильных диагностических комплексов [15-18].

Достоверность полученных результатов основывается на результатах проведенного расчетно-экспериментального моделирования и исследований функциональных (эксплуатационных) характеристик предлагаемых технических и технологических решений, а также на сравнении с известными техническими и технологическими решениями.

Предлагаемые технические и технологические решения могут быть также применены в процессе высокоточных измерений малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля при проведении экспериментальных исследований перспективных конструкций, оценке их состояния и диагностике, при исследовании акустико-эмиссионных процессов в твердых телах, исследовании процессов дефектообразования в новых материалах, исследовании волновых процессов в слоистых конструкциях и конструкциях, выполненных из анизотропных конструкционных материалов, в машиностроении, авиастроении, ракетно-космической технике и т.п.

Настоящие разработки частично поддержаны грантом Российского фонда фундаментальных исследований №13-08-00754.

#### Список литературы

1. Мирошниченко, И.П. Численное исследование метода измерений малых линейных и угловых перемещений лазерными интерферометрами / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Измерительная техника. 2007. №1. С. 9-13.

2. Мирошниченко, И.П. Методы измерения смещений поверхности объектов контроля лазерными интерферометрами / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, В.П. Сизов // Дефектоскопия. 2007. №2. С. 53-61.

3. Мирошниченко, И.П. Унифицированный метод измерения малых пространственных перемещений лазерными интерферометрами / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Известия вузов. Приборостроение. 2007. №12. С. 34-40.

4. Мирошниченко, И.П. Унифицированный метод измерения малых линейных и угловых перемещений поверхностей объектов контроля / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Дефектоскопия. 2008. №5. С. 23-27.

5. Мирошниченко, И.П. Использование точечного источника излучения для расширения функциональных возможностей измерителя перемещений / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Оптический журнал. 2008. Том 75. №7. С. 41-47.

6. Мирошниченко, И.П. Электродинамический анализ лазерных интерферометров / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Общие вопросы радиоэлектроники. Научно-технический сборник. Ростов-на-Дону: РНИИРС. 2009. С. 155-161.

7. Мирошниченко, И.П. Программа для расчета интенсивности оптического поля интерференционной картины / И.П. Мирошниченко, А.Г.

Серкин // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2008614831 РФ, 2008.

8. Мирошниченко, И.П. Программа для определения интенсивности оптического поля интерференционной картины (случай перпендикулярной поляризации) / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014614501 РФ, 2014.

9. Мирошниченко, И.П. Программа для определения интенсивности оптического поля интерференционной картины (случай параллельной поляризации) / И.П. Мирошниченко // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2014614502 РФ, 2014.

10. Мирошниченко, И.П. Способ регистрации перемещений оптическими датчиками / В.Е. Алехин, И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Патент на изобретение 2343403 РФ, 2009.

11. Мирошниченко, И.П. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин // Патент на изобретение 2373492 РФ, 2009.

12. Мирошниченко, И.П. Способ измерения линейных и угловых перемещений / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин, В.П. Сизов // Патент на изобретение 2388994 РФ, 2010.

13. Мирошниченко, И.П. Оптическое устройство для измерения перемещений / И.П. Мирошниченко, И.А. Паринов, Е.В. Рожков, А.Г. Серкин // Патент на изобретение 2407988 РФ, 2010.

14. Мирошниченко, И.П. Интерференционный измеритель малых перемещений / И.П. Мирошниченко, В.А. Нестеров, А.Г. Серкин, В.П. Сизов, В.А. Шевцов // Патент 2410642 РФ, 2011.

15. Мирошниченко, И.П. Перспективные оптические средства измерения малых перемещений для систем диагностики технического состояния материалов и изделий / И.П. Мирошниченко // Контроль. Диагностика. 2010. №1. С. 45-49.

16. Мирошниченко, И.П. Об использовании оптических интерференционных методов для измерения линейных и угловых перемещений в системах диагностики технического состояния материалов и изделий / И.П. Мирошниченко, А.Г. Серкин // Контроль. Диагностика. 2011. №7. С. 46-50.

17. Miroshnichenko, I.P. Novel Test Means and Techniques Based on Optical Interferometry and Acoustic Emission to Study Displacements of Object Surfaces and Damage of High-Temperature Superconductive Tapes and Related Composites / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, A.G. Serkin, V.P. Sizov // Piezoelectrics and Related Materials: Investigations and Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2012. pp. 238-282.

18. Miroshnichenko, I.P. Novel Optical Means for Measurement of Displacements of Surfaces of the Control Objects at Diagnostics of Materials and Goods / I.P. Miroshnichenko, I.A. Parinov, E.V. Rozhkov, V.P. Sizov, V.A. Shevtsov // Physics and Mechanics of New Materials and their Applications.- New York: Nova Science Publishers, 2013. pp. 145-154.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Т.М. Обухович

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Рассмотрены основные особенности и задачи оперативно-календарного планирования мелкосерийного производства. Описана математическая модель оптимального плана загрузки оборудования при двух возможных вариантах работы предприятия: выпуск однородного изделия и производство широкого ассортимента продукции.

**Ключевые слова:** мелкосерийное производство, загрузка оборудования, оперативно-календарное планирование.

## CAPACITY PLANNING OF THE EQUIPMENT OF SMALL-SCALE PRODUCTION

T.M. Obukhovich

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Altai State Technical University*

**Abstract:** The main features and tasks of operative scheduling of small-scale production are considered in the paper. The mathematical model of the optimum capacity planning of the equipment for two possible variants of enterprise performance is described: manufacture of a similar product and wide-range production.

**Key words:** small-scale production, capacity of the equipment, operative scheduling.

В современных условиях успешное развитие и стабильное существование производственного предприятия неразрывно связано с грамотным и оптимальным планированием производства.

Производственные мощности промышленных предприятий направлены как на выпуск основной массовой продукции, так и на выпуск мелкосерийных заказов. Наличие фактора мелкосерийных заказов диктует практически непрерывный процесс составления производственной программы, то есть формирование портфеля заказов и распределение их по плановым периодам подготовки, производства и выпуска продукции.

Составление одной производственной программы для промышленного объединения и его подразделений является трудоемкой и логически сложной задачей. Автоматизация решения этой задачи осуществляется для достижения следующих целей:

1. получения допустимых решений, то есть получения самих производственных программ объединения и его подразделений при условии выполнения заданий по объему и срокам плана реализации;
2. оптимизации получаемых производственных программ в соответствии с некоторым критерием;
3. возможности пересчета (изменения) производственных программ в течение планового периода (при необходимости);

4. дальнейшей автоматизации управления производством, в том числе решения задач контроля выполнения плана по объему реализации, объему работ, срокам и др. [2].

Оперативно-календарное планирование, по сути, является организующим звеном, принятыми на производстве организационными особенностями функционирования элементов изготовления номенклатуры, деталей и управлением производственного процесса.

Характерной чертой оперативно-календарного планирования является тесная связь календарно-плановых расчётов производства с планированием технической подготовки выполнения каждого заказа.

Продукция в мелкосерийном производстве изготавливается по отдельным заказам, которые открываются на каждое изделие или небольшую серию изделий. В объем работ по выполнению заказа входит не только само производство изделия, но и вся техническая подготовка производства, выполнение которой необходимо включать в календарный план.

Тем самым, от точности представления информации как по номенклатуре изделий, так и по параметрам оперативных планов в оперативно-календарном планировании, методов решения задач планирования, от адекватности математических моделей подсистем оперативно-календарного планирования зависят точность формируемых плановых заданий и, в последующем, управления объектами производства, что влияет на эффективность производство в целом. Поэтому решение поставленных задач, направленных на повышение эффективности функционирования промышленного предприятия, является крайне актуальной проблемой.

Главная задача оперативно-календарного планирования мелкосерийного производства заключается в обеспечении своевременного выполнения разнообразных заказов в соответствии с производственными программами при равномерной загрузке всех звеньев производства и наименее коротких производственных циклах выполнения заказа.

Особенностью в условиях мелкосерийного производства является и то, что одновременное изготовление деталей и сборочных единиц для изделий различных наименований обуславливает большое разнообразие и частую смену объектов производства в программе каждого цеха, участка [3].

Оптимальное планирование – достаточно сложная экономическая проблема. До постановки математической модели необходимо решить ряд экономико-математических проблем, к которым можно отнести: выбор критерия эффективности плана, масштабы построения модели, очередность решений и др. Определив исходные предпосылки, можно приступить к построению модели. Наиболее подходящей моделью для нашей задачи является модель оптимальной загрузки производственных мощностей.

Введем обозначения индексов, используемых в математической модели:

$m$  – количество основных групп оборудования;

$n$  – количество узлов в изделии;

$i$  – индекс (номер) вида производимой продукции ( $i = 1, \dots, n$ );

$j$  – индекс (номер) вида оборудования ( $j = 1, \dots, m$ );

Рассмотрим два возможных случая работы предприятия.

Пусть предприятие выпускает однородное изделие  $B$ , которое конструктивно состоит из  $n$  компонент:

$$B = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}, \quad (1)$$

где  $b_i$  – количество, в котором  $i$ -я компонента входит в изделие  $B$ .

Загрузка  $j$ -го оборудования определяется следующим образом:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_{ij} \leq A_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где  $a_{ij}$  – нормы времени обработки  $i$ -й детали (узла) на  $j$ -м оборудовании;

$x_{ij}$  – кол-во узлов деталей  $i$ -го вида, изготавливаемых на  $j$ -м оборудовании;

$A_j$  – фонд времени работы  $j$ -го вида оборудования.

Выбор критерия оптимальности и ограничительных условий определяется конкретной производственной ситуацией и задачами организации в плановом периоде. При определенных условиях организация может отдать предпочтение максимизации объема производства (и, следовательно, объема продаж), максимальному удовлетворению спроса и другим критериям [1].

Во внутривзаводском планировании наиболее часто формулируется задача на оптимум по критерию максимума загрузки оборудования:

$$Y = \sum_{j=1}^m y_j \rightarrow \max, \quad (3)$$

где  $y_j$  – время загрузки  $j$ -го оборудования.

При ограничении неотрицательности переменных:

$$x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (4)$$

При использовании этого критерия подбирается такая номенклатура выпуска продукции, которая обеспечивает максимальный коэффициент загрузки оборудования. Таким образом, цель, состоящая в максимизации выпуска продукции (повышения рентабельности), достигается косвенно, через максимизацию загрузки оборудования, что соответствует, в известной мере, внутривзаводскому критерию оптимальной загрузки оборудования.

Рассмотрим второй случай, когда предприятие производит широкий ассортимент продукции.

Если за оценку берется максимум возможного выпуска продукции в стоимостном выражении, получаем:

$$\sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max, \quad (5)$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^n a_{ij} x_i \leq A_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (6)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (7)$$

где  $c_i$  – отпускная цена единицы  $i$ -го изделия;

$x_i$  – объем производства  $i$ -го вида продукции.

Также критериями оптимизации производственной программы для цехов, участков могут быть показатели минимальных значений: простоев оборудования, брака, отходов и т.д.

Рассмотрим функцию цели – максимум суммарной прибыли от производства всей продукции:

$$P = \sum_i^n \sum_j^m p_{ij} r_{ij} \rightarrow \max, \quad (8)$$

где  $p_{ij}$  – прибыль от продажи  $i$ -й продукции, изготовленной на  $j$ -м оборудовании;

$r_{ij}$  – планируемый объем выпуска  $i$ -й продукции, изготовленной на  $j$ -м оборудовании.

Данная модель может быть успешно использована для текущего планирования, а также на основе этой модели отыскивается оптимальный вариант формирования или распределения производственной программы по группам оборудования.

На примере построенной модели можно сделать вывод, что, благодаря модели оптимальной загрузки производственных мощностей, предприятие будет нести минимальные издержки при производстве продукции или получать максимальную прибыль, в зависимости от выбранного критерия.

Точность разработки оперативно-календарных планов обуславливает своевременность выполнения заказов, эффективность использования основных и оборотных фондов, рабочей силы, а следовательно, и финансовое положение предприятия.

#### Список литературы

1. Горелик, О.М. Производственный менеджмент: принятие и реализация управленческих решений / О.М. Горелик. М.: КНОУРС, 2007. 272 с.
2. Ермолаева, Л.В. Формирование производственной программы при мелкосерийном производстве / Л.В. Ермолаева// Успехи современного естествознания. 2007. №11. С. 122-123.
3. Новицкий, Н.И. Организация, планирование и управление производством / Н.И. Новицкий, В.П. Пашуто. М.: Финансы и статистика, 2006. 576 с.: ил.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПЛАВОВ ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ НОВОЙ МНОГОМОДОВОЙ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Г.В. Пышнограй, Д.А. Мерззликина, М.Ю. Толстых  
*Алтайская государственная педагогическая академия*

А.Н. Цыганков, Н.М. Аветисян

*Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ*

К.Б. Кошелев

*Институт водных и экологических проблем СОРАН*

**Аннотация:** Целью работы являлось обоснование реологического определяющего соотношения растворов и расплавов полимеров как на основе молекулярно-кинетических представлений о динамике полимерных цепей, так и с использованием результатов численного эксперимента. Применение молекулярно-кинетического подхода для формулировки реологических определяющих соотношений растворов и расплавов линейных полимеров позволило с единых теоретических позиций описывать механические характеристики сплошных сред, находящихся в вязкотекучем состоянии и содержащих полимеры с различным строением, молекулярной массой и концентрацией. Это позволило построить ряд новых математических моделей текучих полимерных сред с учетом различных эффектов, например, полидисперсности, тепло- и массопереноса, проскальзывания на границе. Для решения этих задачи потребовалась разработка численных алгоритмов расчётов одно-, двух- и трёхмерных течений. На основе полученных моделей были исследованы некоторые неизотермические течения полимерных жидкостей, а также течения растворов при учете испарения. Особое внимание уделялось сравнению теоретических результатов с экспериментальными данными, полученными в ведущих научных школах мира.

**Ключевые слова:** реология, мезоскопический подход, вязкоупругость, растворы и расплавы полимеров.

## MATHEMATICAL MODELING OF VISCOELASTIC FLUID BASED ON THE NEW MULTIMODE RHEOLOGICAL MODEL

G. Pyshnograd, D. Merzlykina, M. Tolstykh

*Altai State Pedagogical Academy*

A. Tsygankov, N. Avetisyan

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) Altai State Technical University*

K. Koshelev

*Institute for Water and Environmental Problems, Siberian Branch of the  
Russian Academy of Sciences*

**Abstract:** The purpose of the article is to prove a major rheological relationship of solutions and molten polymers both on the basis of molecular-kinetic concepts of polymer chains' dynamics and the use of numerical experiment results as well. The application of a molecular-kinetic approach to define a rheological constitutive relationship of solutions and molten linear polymers made it possible to present a unified theoretical description of the mechanical characteristics of continuous environments having low viscosity and polymers of various structure, molecular weights and concentration. It enabled the authors to create several new mathematical models of viscoelastic fluids with different effects (for example, polydispersity, heat and mass transfer, edge slip conditions). It was found necessary to develop some numerical algorithms to solve these problems for one-, two- and three-dimensional flows. By exploring the obtained models some non-

isothermal flows of polymer fluids have been tested, as well as polymeric solution flows with evaporation. Special attention has been paid to compare the theoretical results with the experimental data obtained in the world's leading scientific schools.

**Keywords:** *rheology, mesoscopic approach, viscoelasticity, polymer solutions and melts.*

Экспериментальные исследования поведения полимерных систем демонстрируют их существенную нелинейную вязкоупругость. Для описания такого рода эффектов были предложены разнообразные модели, примерами которых являются модифицированная модель Прокунина-Леонова, *rom-rom* модель и ее расширения. Перечисленные модели основаны на представлении о релаксирующих макромолекулах и описывают единственным (для простоты) релаксационным уравнением. Можно сказать, что эти модели являются одномодовыми.

Многомодовый характер динамики текучих полимерных сред или множественность релаксационных процессов проявляется уже в случае моделирования разбавленных растворов гибкоцепных монодисперсных полимеров. Это в первую очередь связано с цепным характером строения полимерных молекул. Получаемые при этом зависимости величины времен релаксации от номера моды носят затухающий, обратно пропорциональный квадрату номера моды, или «раузовский» характер. Увеличение концентрации полимера в системе приводит к возникновению зацеплений макромолекул, их динамика становится более сложной, между частями макромолекулы возникают «длинномасштабные» взаимодействия. Это приводит к дополнительным слагаемым в тензоре напряжений полимерной системы или к учету новых релаксационных процессов со «сверхмедленными» временами релаксации. Полученные в этих работах реологические соотношения достаточно точно описывают соотношения линейной вязкоупругости, частотные зависимости динамического модуля сдвига и модуля потерь. Другой важной задачей в динамике полимерных жидкостей является описание нелинейных, градиентных эффектов.

Очевидно, что в случае описания динамики полидисперсного образца или в случае, когда макромолекула имеет разветвленную структуру, множественность релаксационных процессов играет все более важную роль. При этом зависимость характеристик релаксационного процесса, его время релаксации и его вклад в тензор напряжений уже не будут иметь «раузовского» вида и требуют обобщения, которые носят феноменологический характер.

Несмотря на это, в основу описания динамики концентрированных полимерных систем должна быть положена достаточно надежная реологическая модель, полученная с использованием мезоскопического подхода. В этом случае для описания достаточно медленных тепловых движений макромолекулы используют модельные представления, например модель «бусинок-пружинок». Помимо Раузовских параметров (коэффициент трения бусинок, равновесный размер макромолекулярного клубка и др.), в

модель для концентрированных систем нужно ввести параметры, которые учитывают наличие зацеплений в полимерной системе. В данной работе для построения реологического определяющего соотношения используется реологическая модель, обобщенная на случай учета нескольких невзаимодействующих мод. Каждая из таких мод соответствует учету в тензоре напряжений вкладов той или иной полимерной фракции и характеризуется своим временем релаксации и вязкостью. При этом для получения реологического определяющего соотношения в случае одной моды был использован микроструктурный подход, позволяющий проследить связь между макро- и микрохарактеристиками полимерной системы.

В период реализации проекта основные результаты были получены по пяти направлениям: создание и обоснование модели для описания процесса растворного формования полимерной пленки; создание и обоснование модели для описания процесса формования полимерной пленки из расплава; разработка численных методов для моделирования двух- и трехмерных течений полимерных сред с учетом проскальзывания на границе; разработка новой реологической модели для описания динамики полидисперсных и разветвленных полимеров; разработка технологии компьютерного моделирования течений полимерных сред в областях со сложной геометрией.

По первому направлению показана возможность использования модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для описания течений растворов линейных полимеров в различных режимах деформирования. При этом система уравнений динамики двухфазной среды записана в одномерном приближении, при учете массопереноса, когда продольная скорость, скорость удлинения, температура, ненулевые компоненты тензора напряжений являются функциями только продольной координаты, а реологические параметры модели являются известными функциями концентрации. Далее была получена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений для зависимости ширины и толщины пленки от ее продольной скорости в случае одноосного растяжения. На основе полученной модели исследовано влияние параметров модели, таких как: начальная сдвиговая вязкость, начальное время релаксации, коэффициент диффузии, коэффициент массообмена, коэффициенты наведенной анизотропии – на вид получаемых зависимостей продольной скорости, температуры, ненулевых компонент тензора напряжений от расстояния до выхода из фильеры.

В рамках второго направления была показана возможность использования модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для описания течений расплавов линейных полимеров в различных режимах деформирования. Система уравнений динамики записана в одномерном приближении, при учете теплопереноса, когда продольная скорость, скорость удлинения, температура, ненулевые компоненты тензора напряжений являются функциями только продольной координаты, а реологические параметры модели являются известными функциями температуры. Получена и решена система обыкновенных дифференциальных уравнений для зависимости

ширины и толщины пленки от ее продольной скорости в случае двуслоного растяжения. На ее основе исследовано влияние параметров модели (начальной сдвиговой вязкости, начального времени релаксации, коэффициента температуропроводности, коэффициента теплообмена, коэффициента наведенной анизотропии и коэффициента анизотропии потока) на вид получаемых зависимостей продольной скорости, температуры, ненулевых компонент тензора напряжений от расстояния до выхода из экструдера:

1. Установлено, что при больших значениях  $Re$  ( $Re = 0,001$ ;  $Re = 5 \cdot 10^{-4}$ ;  $Re = 5 \cdot 10^{-5}$ ) образец не успевает остыть до температуры охлаждающего барабана. При  $Re = 5 \cdot 10^{-6}$  образец практически полностью остывает, проходя только 30% расстояния между головкой экструдера и охлаждающим барабаном. При  $Re = 5 \cdot 10^{-3}$  наблюдается неравномерность в растяжении. При увеличении числа  $Re$  в 200 раз изменение полуширины пленки в области интенсивного растяжения может достигать 30%.

2. При  $Pr > 10^5$  теплообмен с окружением уменьшается, влияние охлаждающего барабана сказывается меньше, что приводит к меньшему остыванию пленки. При больших значениях числа  $Pr$  теплообмен с окружением затруднен, и температура образца при выходе из экструдера практически не изменяется за время движения пленки от головки экструдера до охлаждающего барабана. Если теплопередача не затруднена (при  $Pr = 10^6$ ), то появляется участок с интенсивным остыванием. В случае уменьшения числа  $Pr$  в 100 раз изменение полуширины пленки в области интенсивного растяжения достигает 25%.

3. В случае уменьшения параметра  $Nu$  от 20 до 0,1 наблюдается уменьшение времени остывания пленки. С ростом числа  $Nu$  происходит более быстрый выход температуры на стационарное значение. При увеличении числа  $Nu$  в 200 раз изменение полуширины пленки в области интенсивного растяжения может достигать 20%.

4. Изменение числа  $We$  в интервале 0.001 – 0.1 не оказывало значительного влияния на полуширину пленки.

Также в рамках этого направления показана необходимость учета анизотропии потока при моделировании процесса формирования полимерных пленок в одномерном приближении. Вычислено значение параметра анизотропии потока для полимерных пленок, участвующих в эксперименте: для Exxon Exact 3132  $\alpha = 0,07$ ; для Mobil NTX101  $\alpha = 0,15$ ; для Dow Affinity PL1880  $\alpha = 0,2$ ; для Dow Affinity PL1840  $\alpha = 0,3$ . При этом результаты расчетов показали удовлетворительное соответствие теоретических кривых и имеющихся в литературе экспериментальных данных по замерам полуширины различных образцов полимерной пленки. Это позволило предложить методику инженерного расчета процесса формирования полимерной пленки из расплава на основе полученной модели.

В рамках третьего направления были получены расходные характеристики плоскопараллельного канала при наличии проскальзывания на границе и сформулированы нелинейные граничные условия третьего рода для скорости проскальзывания. В результате проведенных расчетов получены трехмерный

профиль скорости и составляющие тензора напряжений нелинейной вязкоупругой жидкости в канале с квадратным сечением как функции параметров реологической модели и градиента давления. Таким образом, была показана возможность использования модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского для описания трехмерных течений растворов и расплавов линейных полимеров с учетом проскальзывания на стенке.

В рамках четвертого направления исследований в проекте для построения реологического определяющего соотношения расплавов полидисперсных линейных и разветвленных полимеров используется модифицированная реологическая модель Виноградова-Покровского, обобщенная на случай нескольких невзаимодействующих мод. Каждая из таких мод соответствует учету в тензоре напряжений вкладов той или иной полимерной фракции и характеризуется своим временем релаксации и вязкостью. На основе этой модели рассмотрены нелинейные нестационарные эффекты при простом сдвиге и одноосном растяжении. При этом приводится сопоставление полученных экспериментальных данных с расчетами по другим реологическим моделям: модифицированной модели Прокунина-Леонова, rot-rot модели и расширенной rot-rot модели. Результаты сравнения экспериментальных данных с расчетами по другим моделям показывают, что новая модель обеспечивает точность предсказаний не меньше, чем расширенная rot-rot модель, и лучшие результаты, чем модели Прокунина-Леонова и rot-rot модель, а также существенно лучшие результаты по сравнению с одномодовым приближением.

Таким образом, из приведенного сравнения можно сделать вывод, что многомодовая модель позволяет достаточно точно описывать стационарные и нестационарные характеристики расплавов разветвленных полимеров. При этом следует ожидать, что полученная здесь модель окажется пригодной и для концентрированных растворов и расплавов линейных полимеров. Также можно использовать эту модель и для моделирования более сложных течений текучих полимерных сред.

Также в проекте, в рамках пятого направления, решалась задача математического моделирования трехмерных течений нелинейной вязкоупругой жидкости в плоскопараллельном канале с внезапным сужением. Для ее решения была использована модифицированная реологическая модель Виноградова-Покровского в одномодовом приближении. Получение дискретных аналогов осуществляется методом контрольного объема с разделением по физическим процессам, а численная реализация проводится с использованием графических процессоров на основе технологии параллельных вычислений CUDA.

Рассчитаны поля скоростей и напряжений для двух образцов расплавов полиэтилена, и отмечается наличие циркуляционного течения в области входа в щелевой канал. При этом размеры вихря существенно зависят от реологических характеристик расплава. Результаты расчетов сравнивались с экспериментальными данными из работы [1], где были исследованы течения расплавов двух образцов полиэтилена, линейный полиэтилен низкой плотности

(LLDPE) и полиэтилен низкой плотности (LDPE). Различия между этими двумя образцами состоят в том, что у LLDPE сдвиговая вязкость изменяется меньше, чем у LDPE, и время релаксации у LLDPE меньше, чем у LDPE. При этом было обнаружено, что для течений LDPE существует выраженный вторичный поток в углах проточного канала, который не наблюдается для LLDPE. Эти вихри изменяют свою форму в сечениях, параллельных оси канала, что характеризует трехмерный характер поля течения. Кроме того, было отмечено, что в исследуемом вихревом течении существует винтовой поток, который направлен к стенкам резервуара. Особое внимание было уделено распределению скорости вдоль оси симметрии канала. Было обнаружено, что у LDPE максимальное значение скорости наблюдается непосредственно за входом в щелевую часть канала. Этот эффект не появляется для течений LLDPE при тех же условиях. Все эти эффекты обнаруживаются при проведении численного эксперимента.

Из расчетов можно увидеть, что это увеличение скорости потока связано с трехмерным характером поля течений и обусловлено увеличением напряжений в потоке LDPE, по сравнению с образцом LLDPE. Трехмерный характер течения LDPE подтверждается наличием составляющей скорости в нейтральном потоке направлении, что не так существенно проявляется для LLDPE. Эта дополнительная компонента скорости приводит к возрастанию объемного расхода вдоль осевой линии в области входа в щелевой канал. Также выполненные расчеты показывают, что зависимость от времени перестроения поля течения в щели может быть связана с различными временами релаксации исследуемых образцов. Таким образом, в работе были рассчитаны поля скоростей, давлений и напряжений в установившемся течении. При этом были обнаружены циркуляционные зоны в области входа в щелевой канал. Как видно из расчетов, для образца LLDPE зона возвратного течения незначительна. У образца LDPE эта зона, как видно из расчетов, существенно больше. Заметим, что значение вязкостного параметра у этих образцов приблизительно одинаково и различие в их поведении следует связать с временным параметром. Заметим также, что значения числа Рейнольдса, рассчитанные для рассмотренных течений в щелевом канале, не превосходят 0,001. Такие течения достаточно хорошо изучены в рамках классической ньютоновской модели, и вихревых зон в этом случае не наблюдается.

Следовательно, в работе продемонстрирована возможность выполнения расчетов в областях со сложной геометрией на базе модифицированной реологической модели Виноградова-Покровского, которая может стать основой для изучения влияния реологических характеристик расплавов полимеров на вид вторичных течений в областях с различной геометрией.

***Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №12-01-00033).***

#### Литература

1. Hertel, D. Three-dimensional entrance flow of a low-density polyethylene (LDPE) and a linear low-density polyethylene (LLDPE) into a slit die / D. Hertel, R. Valette, H. Münstedt // J. Non-Newtonian Fluid Mech. 2008.V. 153.P. 82-94.

## РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ И КЛАССИФИКАЦИИ

И.А. Серебряник, А.В. Дружинина

*Иркутский государственный технический университет*

**Аннотация:** Рассмотрены особенности математического описания процессов обогащения – измельчения и классификации.

**Ключевые слова:** *модель, матричная модель, измельчение, классификация.*

## DEVELOPMENT OF MODELING METHODOLOGY FOR GRINDING AND SIZING

I.A. Serebryanik, A.V. Druginina

*Irkutsk State Technical University*

**Abstract:** The article presents the peculiarities of a mathematical description of separation - grinding and sizing.

**Keywords:** *model, matrix model, grinding, sizing.*

В настоящее время приоритетное развитие получают методы математического и имитационного моделирования технологических процессов обогащения, которые позволяют создавать для каждого процесса обогащения экспериментальные установки.

Обратимся теперь к основным методологическим вопросам построения и использования моделей.

Под моделью обычно понимается объект любой природы, который способен замещать исследуемый объект так, что его изучение дает информацию об этом замещаемом объекте. Модель выступает как нечто подобное самому исследуемому объекту, как нечто копирующее его в определенном смысле.

Таким образом, моделированием можно назвать построение (или выбор) и изучение моделей с целью получения новых знаний об объектах.

Как правило, моделирование решает два типа задач – задачи исследования и обучения. К первой относятся вопросы использования моделей для изучения физических законов, подготовки и рассмотрения действия новых разработок.

Задачи исследования можно разделить на четыре вида:

- прямые задачи анализа, при решении которых исследуемая система задается параметрами своих элементов и исходного режима, структурой или уравнениями для определения реакции системы на действующие силы;

- обратные задачи анализа, когда по реакции системы находят возмущения, заставившие рассматриваемую систему прийти к данному состоянию и данной реакции;

- задачи синтеза, требующие нахождения таких параметров, при которых процессы в системе имеют желательный по каким-либо соображениям характер;

-индуктивные задачи, решение которых имеет целью проверку гипотез, уточнение уравнений, описывающих процессы, происходящие в системе, выяснение свойств этих элементов.

Необходимость определения ожидаемой производительности промышленных мельниц при измельчении тех или иных материалов возникает при проектировании новых объектов, а также в процессе эксплуатации месторождений с изменяющимися свойствами сырья.

На практике для получения искомым данным используются физические модели промышленных мельниц диаметром 1,2-1,5 м и лабораторные мельницы малых размеров.

Одно из направлений разработки и совершенствования методов определения ожидаемых показателей промышленных мельниц по лабораторным данным базируется на принципах моделирования процессов измельчения с использованием различных теорий.

Использование математического моделирования вкупе с экспериментальными исследованиями совершенно необходимо при разработке конструкций классификаторов для новых технологий, требующих, например, высокодисперсных продуктов и порошков со специфическими физико-химическими свойствами. Особую роль играют математические модели процессов классификации при проектировании сложных технологических схем с рециклами. В этом случае гранулометрический состав материала на входе в классификатор заранее неизвестен. В таком случае рациональный выбор классификатора возможен только при совместном исследовании характеристик генератора частиц (например, мельницы) и классификатора.

Построение математического описания процесса измельчения возможно двумя путями:

- 1) в масштабе всего аппарата в локальном объеме;
- 2) с учетом закономерностей всего рабочего пространства без учета внутренней структуры и механизма измельчения.

Первый путь состоит в обобщении математического описания процесса измельчения и смешения на основе методов механики гетерогенных сред, получении в явном виде выражений для движущих сил измельчения частиц дисперсных фаз в многофазном потоке и на этой основе вскрытии механизма разрушения частиц [2, с. 12]. Это позволяет в явном виде получить научнообоснованные выражения вероятности разрушения частиц. На основе обобщенного математического описания строятся математические модели процессов измельчения в аппаратах различного принципа действия. Сложность данного подхода заключается в большом количестве идентификационных параметров и, как следствие, необходимости в каждом конкретном случае прибегать к специальным экспериментальным исследованиям.

Второй путь представлен широким спектром методик и рядом типовых моделей структуры. В рамках второго подхода к моделированию процесса измельчения был предложен ряд типовых моделей структуры потока материала (вещества) в аппаратах для измельчения: модель идеального вытеснения, модель идеального смешения, ячеечная и диффузионная модели. Так, в

статистических моделях процесс образует выраженную полиномом зависимость целевой функции от ряда факторов. Для определения коэффициентов полинома проводятся серии опытов. Другая методика в рамках рассматриваемого подхода заключается в использовании математического аппарата случайных марковских процессов «рождения» и «агломерации» частиц измельчаемого продукта [1, с. 146], когда в результате получаются достаточно простые зависимости, параметры которых характеризуют конкретный аппарат измельчения.

В последние годы все более широкое распространение получают матричные модели описания преобразования гранулометрического состава сыпучих материалов при их механической обработке.

Внимания заслуживают матричные модели [3, с. 130], в которых частицы всех классов крупности разрушаются с определенной вероятностью, продукты разрушения при этом попадают либо в исходный, либо в любой меньший класс крупности. Для этого класса моделей составляются уравнения, содержащие матричное представление функций исходного грансостава, разрушения, отбора и классификации для каждого класса крупности материала.

Модели процесса измельчения на основе описания в локальном объеме отличаются полнотой описания процесса измельчения в конкретном типе аппарата. Сложность данного подхода заключается в большом количестве идентификационных параметров и, как следствие, возникает необходимость в каждом конкретном случае прибегать к специальным экспериментальным исследованиям. Этот недостаток препятствует использовать методику описания процесса измельчения на основе локального объема в автоматизированном проектировании. Более широкое применение получили модели без учета внутренней структуры и механизма процесса измельчения.

#### Список литературы

1. Баруча-Рид, А.Т. Элементы теории марковских процессов и их приложение / А.Т. Баруча-Рид. М.: Наука, 1969. 512 с.
2. Калинин, А.В. Марковские ветвящиеся процессы с взаимодействием / А.В. Калинин. – Усп. матем. наук, 2002. Т. 57, вып. 2. С. 23-84.
3. Леонов, С.Б. Имитационное моделирование технологических процессов обогащения полезных ископаемых / С.Б. Леонов, А.В. Петров. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1996. 242 с.

### **ИССЛЕДОВАНИЕ НДС МИКРОСБОРОК ПРИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОПРЕССОВКЕ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS**

О.Ш. Хади, аспирант, \*А.Н. Литвинов, д.т.н., проф.  
*Багдад, Ирак, Технологический Университет; \*Пенза, Пензенский  
государственный университет*

**Аннотация:** Для микросборок прямоугольного типа, представляющих собой гетерогенную структуру, выполнено математическое моделирование НДС его элементов при

опрессовке внешним избыточным давлением. При построении математической модели использован метод конечных элементов, реализованный в пакете ANSYS. Выполнено численное исследование НДС микросборок и даны практические рекомендации по определению допустимого давления опрессовки с учетом конструкторско-технологических особенностей проектируемой микросборки.

**Ключевые слова:** микросборка, плата, опрессовка, внешнее давление, моделирование, напряженно-деформированное состояние, программный комплекс.

## THE STUDY OF A STRESSED-STRAINED STATE OF MICROASSEMBLIES DURING CRIMPING BY USING ANSYS SOFTWARE PACKAGE

Hadi Aday Shaker, \*A.N. Litvinov  
Baghdad, Iraq, University of Technology; \*Penza, Penza State University

**Abstract:** The work presents mathematical modeling of the stressed-strained state and its elements during crimping under overpressure for microassemblies of rectangular type with a heterogeneous structure. For building a mathematical model is used a package of finite elements implemented in ANSYS. A numerical study for the stressed-strained state in microassemblies has been done and practical recommendations for the determination of admissible pressure during crimping may be found, taking into account technological features of microassemblies being designed.

**Key words:** microassembly, board, crimping, external pressure, modeling, stressed-strained state, software package.

В приборостроении широкое применение имеют микросборки различного назначения, выполненные в виде прямоугольного корпуса, внутри которого на одной или нескольких гранях размещаются платы и резистивные элементы, обеспечивающие требуемые выходные параметры микросборки. К таким микросборкам можно отнести микросхемы, датчики для измерения давления и др. Эти микросборки представляют собой многослойные системы, которые в процессе их изготовления и эксплуатации подвергаются различным тепловым и механическим воздействиям [1,2]. Для проверки герметичности при изготовлении они подвергаются технологической опрессовке внешним избыточным давлением, под действием которого происходит деформация граней корпуса и плат с резистивными элементами, что вызывает изменение их выходных электропараметров. Величина этого давления устанавливается в КД либо назначается технологической службой, причем очень часто без предварительного анализа напряженно-деформированного состояния (НДС) микросборки и её элементов. Это в ряде случаев приводит к возникновению пластических деформаций граней корпуса, его короблению, а также растрескиванию плат уже на стадии изготовления микросборки. Наличие пластических деформаций приводит к отказам или нарушению работоспособности микросборок в процессе воздействия на них внешних эксплуатационных нагрузок [1].

Таким образом, моделирование НДС корпусов и плат, установленных в корпусах, является важным этапом при проектировании микросборок с заданными метрологическими характеристиками, определении возможных

видов отказов механического происхождения, а также при назначении режимов технологических отбраковочных испытаний с учетом заданных условий эксплуатации.

Существующие методы расчета для моделирования НДС элементов микросборок различного назначения, как правило, основаны на простейших плоских моделях в виде трехслойных балок или пластин [2], что существенно снижает точность моделирования НДС рассматриваемых конструкций, которые представляют собой пространственные гетерогенные структуры. Моделирование НДС таких структур является достаточно сложной задачей, поэтому для анализа их НДС часто используют приближенные методы, например, в работе [3] расчетная модель основана на анализе НДС развертки корпуса. Наличие платы на одной или нескольких гранях корпуса учитывается введением приведенных характеристик для грани, которая является многослойной структурой. В ряде случаев взаимное влияние граней корпуса на НДС платы не учитывается. Это является допустимым для органиченных типоразмеров корпусов, имеющих малую высоту и жесткие боковые грани [4].

На рис. 1 показана типовая конструкция полой микросборки прямоугольного типа с платой, которая связана с основанием клеевым или паяным швом.

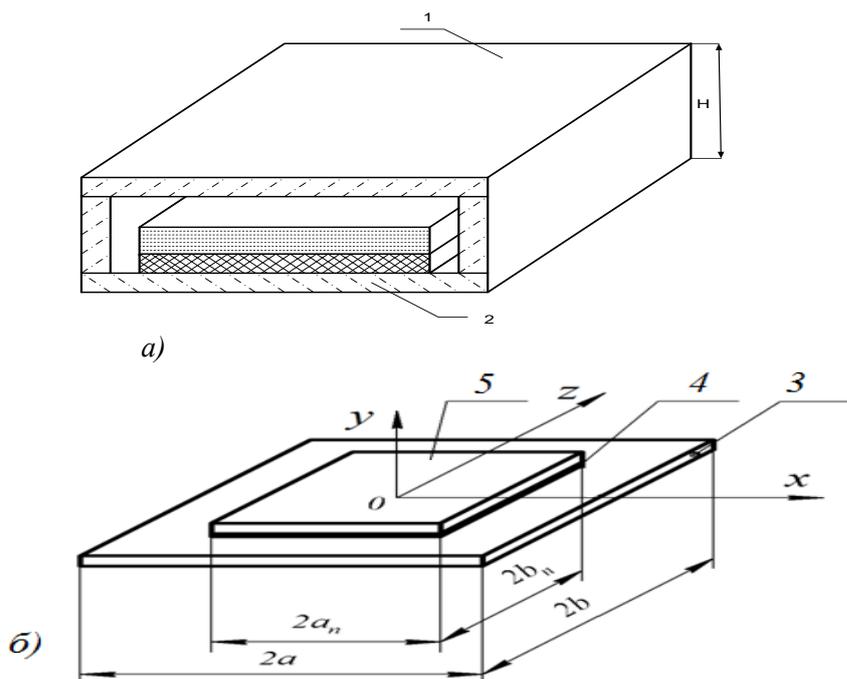


Рис. 1. Микросборка:

- а) общий вид: 1 – корпус; 2 – основание с платой;  
 б) основание сплатой: 3 – основание; 4 – шов; 5 – плата

Замкнутый прямоугольный корпус с размерами  $2a \times 2b \times H$  подвергается воздействию внешнего избыточного давления  $p$ . В общем случае считается, что грани корпуса микросборки изготовлены из различных материалов, механические свойства которых характеризуются модулями упругости  $E_j$  и имеют толщины  $h_j$ , где  $j = 1, 2, \dots, 6$  – номер грани. Для определенности будем

считать, что  $j = 6$  соответствует крышке корпуса,  $j = 1$  – основанию с платой,  $j = 2...5$  – боковым стенкам корпуса;  $2a_n \times 2b_n$  – размеры платы в плане,  $h_n$  – её толщина. Шов имеет толщину  $h_{ш}$ . Начало координат расположено в центре основания корпуса микросборки. Материал платы характеризуется модулем упругости  $E_n$  коэффициентом Пуассона  $\nu_n$ , а материал шва модулем сдвига  $G_{ш}$  и коэффициентом Пуассона  $\nu_{ш}$ .

Для построения адекватной пространственной модели, позволяющей анализировать НДС элементов гетерогенной структуры микросборки, используем метод конечных элементов, реализованных в пакете ANSYS. Такая модель позволяет учитывать взаимное влияние граней корпуса, реальные размеры платы и её места расположения на основании, а также влияние физико-механических характеристик применяемых материалов платы, шва, граней корпуса. Кроме этого модель позволяет учитывать наличие внутри корпуса нескольких многослойных плат, в том числе расположенных на разных гранях корпуса. Применение данной модели позволяет оценить погрешность различных приближенных методов [3,4] и определить области их практического применения в инженерной практике.

В качестве примера приведены некоторые результаты численного моделирования НДС элементов микросборки при действии избыточного внешнего давления  $p$ . Корпус изготовлен из сплава 29НК ( $E_j=1,4 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu_j=0,3$  при  $j=1,2, \dots, 6$ ), плата – из ситалла ( $E_n=9,693 \cdot 10^5$  МПа,  $\nu_n=0,25$ ), а свойства шва характеризуются модулем сдвига  $G_{ш}=(10 \cdot 10^3)$  МПа. Низкие значения модуля сдвига  $G_{ш}$  соответствуют применению „мягких клеев типа герметиков Виксинт У 2-28“, а высокие значения соответствуют жестким „клеям типа ВК-9 или паяным швам.

Плата расположена в центре основания и является симметричной при  $a=b$ ;  $a_n = b_n$  и  $\frac{a_n}{a} = 0,5$ . Геометрические размеры приняты следующими:  $2a=2b=20$  мм;  $h_j=0,8$  мм;  $h_n=0,6$  мм. Высота корпуса  $H$ , модуль сдвига материала шва  $G$  и толщина шва  $h_{ш}$  варьировались в пределах, соответствующих реальным микросборкам.

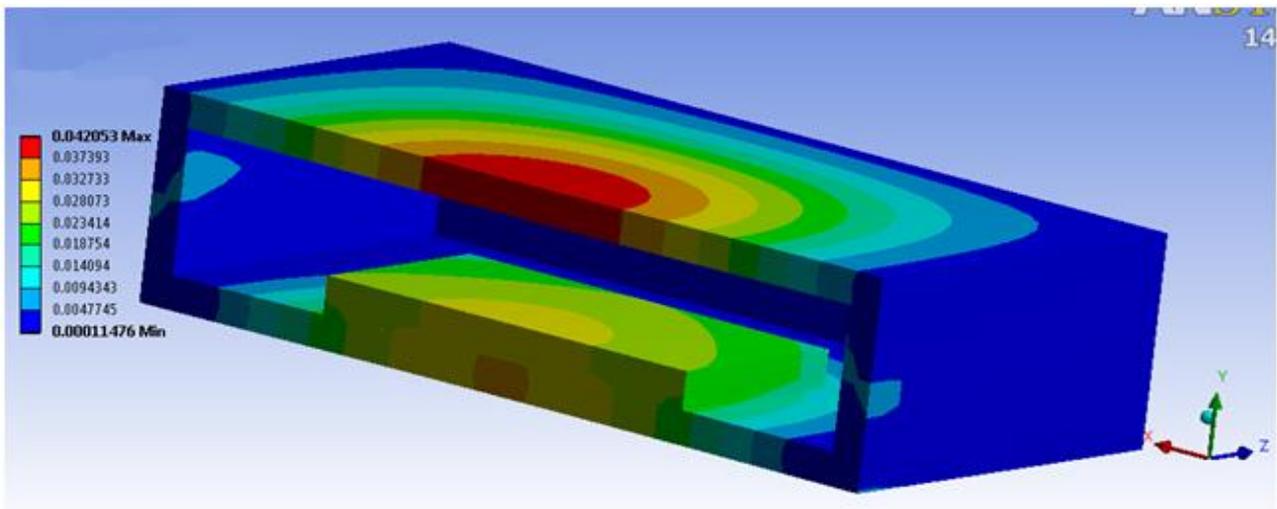
В качестве основных выходных параметров, характеризующих НДС исследуемой конструкции, приняты прогибы  $w$  элементов микросборки (платы, основания, шва, крышки, боковых граней), эквивалентные напряжения  $\sigma_{экр}$ , рассчитанные по критерию Мизеса, и интенсивность относительных деформаций  $\varepsilon_i$ . Программный комплекс позволяет также выводить на печать перемещения, напряжения и относительные деформации по осям  $x, y, z$  (рис. 1) для любого элемента микросборки.

Для удобства анализа НДС элементов конструкции результаты моделирования представлены в относительных параметрах:

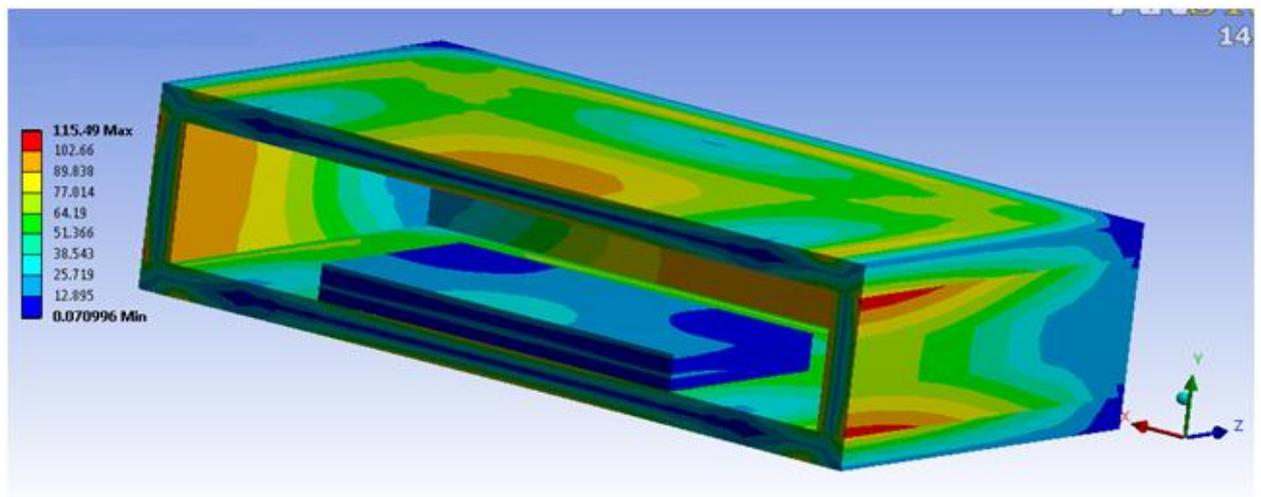
$\bar{\sigma}_{экр} = \sigma_{экр}/p$  – безразмерные эквивалентные напряжения;

$\bar{w} = w/p$  – прогиб, отнесенный к величине действующего давления (мм/МПа).

На рис. 2 представлено НДС в элементах микросборки, которое позволяет визуально оценить НДС исследуемой конструкции.



а)



б)

Рис. 2. НДС микросборки:  
а) распределение прогибов  $\bar{w}$ ;

б) распределение эквивалентные напряжений  $\bar{\sigma}_{\text{ЭКВ}}$

В табл. 1 и 2 представлены значения максимального прогиба  $\max \bar{w} \cdot 10^2$  и эквивалентного напряжения  $\bar{\sigma}_{\text{ЭКВ}}$  в центральной точке платы при различных значениях модуля сдвига  $G$  материала шва и его толщины  $h_w$  для корпусов различной высоты  $H$ .

Таблица 1

Максимальные прогибы  $\max \bar{w} \cdot 10^2$  (мм/МПа) в центре платы

| G, МПа | $h_w$ , мм | Высота микросборки H, мм |      |      |      |      |
|--------|------------|--------------------------|------|------|------|------|
|        |            | 20                       | 15   | 10   | 5    | 3    |
| 10     | 0,1        | 2,07                     | 2,38 | 3,02 | 3,16 | 2,82 |
|        | 0,3        | 1,97                     | 2,27 | 2,89 | 3,03 | 2,69 |
| $10^3$ | 0,1        | 1,29                     | 1,53 | 2,01 | 2,14 | 1,88 |
|        | 0,3        | 1,30                     | 1,53 | 2,02 | 2,15 | 1,89 |

Напряжения  $\bar{\sigma}_{\text{ЭКВ}}^{\text{П}}$  в центре платы

| G, МПа | $h_{ш}$ , мм | Высота микросборки H, мм |       |       |       |       |
|--------|--------------|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
|        |              | 20                       | 15    | 10    | 5     | 3     |
| 10     | 0,1          | 30,19                    | 32,98 | 37,73 | 39,28 | 36,45 |
|        | 0,3          | 23,34                    | 25,38 | 29,48 | 30,34 | 27,81 |
| $10^3$ | 0,1          | 28,18                    | 30,39 | 34,88 | 36,40 | 34,04 |
|        | 0,3          | 24,7                     | 26,60 | 30,32 | 31,47 | 29,40 |

Аналогичные зависимости  $\max \bar{w}$  и  $\bar{\sigma}_{\text{ЭКВ}}$  для центральной точки платы от толщины шва и его жесткости представлены на рис. 3,4 для корпуса с H=20 мм при различных значениях модуля сдвига материала шва G(МПа).

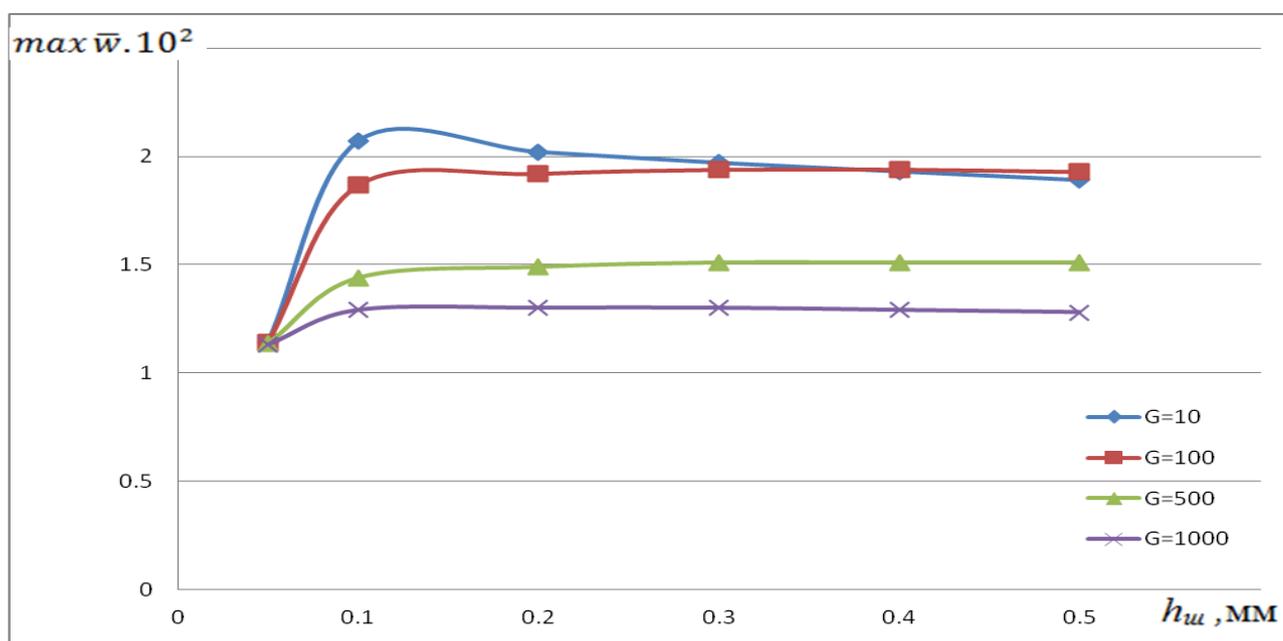


Рис. 3. Максимальные прогибы в центре платы

Аналогичные численные исследования были проведены для различных типоразмеров микросборок.

Моделирование НДС микросборок рассматриваемого типа показал, что увеличение толщины клеевого шва приводит к снижению эквивалентных напряжений и их более равномерному распределению по поверхности платы (табл. 2, рис. 4).

В то же время в зависимости от толщины шва увеличение модуля сдвига материала шва может приводить как к увеличению, так и к снижению напряжений (см. рис. 4). Существенной особенностью является то, что величина напряжений на поверхности платы зависит от высоты микросборки (см. табл. 2), что объясняется взаимным влиянием граней корпуса на НДС платы, которое существенно влияет на метрологические характеристики микросборки.

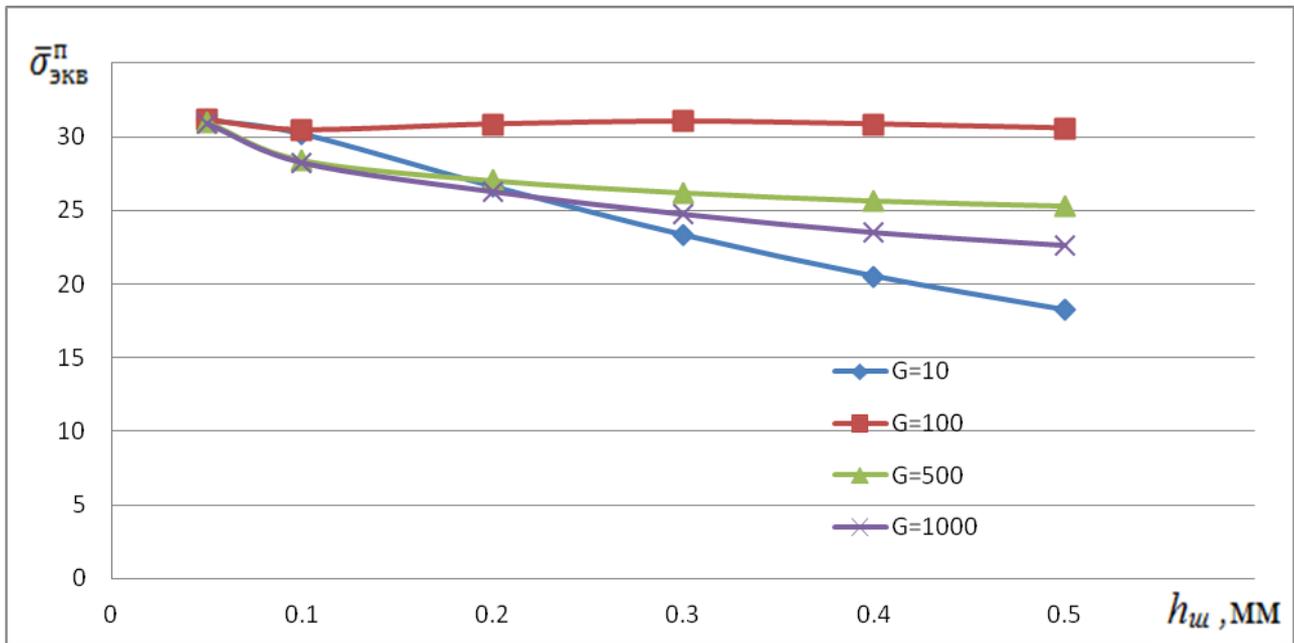


Рис. 4. Напряжения  $\bar{\sigma}_{ЭКВ}^п$  в центре платы

Для большинства реальных микросборок выполняется условие  $H/a < 1$ , т.е. наиболее нагруженными оказываются плата и крышка микросборки. Так как при опрессовке в элементах конструкции не допускается появление пластических деформации, то предельно допустимое значение давления опрессовки  $p_*$  для микросборки рассматриваемого типа следует рассчитывать как наименьшее значение из  $p_k$  и  $p_n$ :

$$p_* = \min(p_k ; p_n), \quad (1)$$

где  $p_k$  и  $p_n$  – допускаемые давления, рассчитанные из анализа НДС крышки и платы соответственно:

$$p_k = \frac{\sigma_y^k}{\max \bar{\sigma}_{ЭКВ}^k} ; p_n = \frac{\sigma_y^п}{\max \bar{\sigma}_{ЭКВ}^п}. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma_y^k$  и  $\sigma_y^п$  – пределы упругости для материалов крышки и платы;  $\max \bar{\sigma}_{ЭКВ}^k$  и  $\max \bar{\sigma}_{ЭКВ}^п$  – максимальные безразмерные эквивалентные напряжения для крышки и платы соответственно, полученные в результате анализа их НДС с использованием данного моделирующего комплекса.

Предложенный подход является наиболее общим, позволяет создать адекватную модель, описывающую НДС всех элементов микросборки с учетом её конструктивных особенностей. Это позволяет оптимизировать конструкцию в соответствии с заданными эксплуатационными воздействиями, а также научно обоснованно назначать режим технологической операции опрессовки при производстве микросборки конкретного типоразмера.

## Список литературы

1. Литвинов, А.Н. Обеспечение надежности и качества микросхем в полых корпусах при изменении давления / А.Н. Литвинов, А.Н. Лугин // Актуальные проблемы анализа и обеспечения надежности и качества приборов, устройств и систем: Сб. докл. междунаrodn. техн.конф. – Пенза, 1998. – С. 241-242.
2. Сергеев, В.С. Напряжения и деформации в элементах микросборки / В.С. Сергеев, О.А. Кузнецов, Н.П. Захаров, В.А. Летягин // М.: Радио и связь – 1987. – 90 с.
3. Хади, О.Ш. Моделирование напряженно-деформированного состояния корпусов микросборок в процессе их изготовления и эксплуатации / О.Ш. Хади, А.Н. Литвинов // Динамика и прочность // Избранные труды всеросс. конф. по проблемам научн. технологий. – М.: РАН, 2013. – С. 3-26.
4. Литвинов, А.Н. Инженерный метод расчета напряженно-деформированного состояния гетерогенных структур микросборок при действии внешнего давления / А.Н. Литвинов // Инновации на основе информационных и коммуникационных технологий: Материалы междунар. НПК. – М.: МИЭМ, 2010. С. 244-247.

## РЕАЛИЗАЦИЯ НА GPGPU/CUDA АЛГОРИТМА ДЕЙКСТРЫ (SSSP) И СРАВНЕНИЕ С РАСЧЕТОМ НА CPU

А.Н. Цыганков, О.С. Ситник

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Рассмотрена реализация алгоритма поиска кратчайших путей в ориентированном графе (алгоритм Дейкстры) с использованием технологии гибридных параллельных вычислений CUDA на GPGPU. Произведено сравнение реализации с каноническим однопоточным алгоритмом на CPU на наборе контрольных примеров.

**Ключевые слова:** *gpgpu, cuda, sssp, nssp, алгоритм Дейкстры, гибридные параллельные вычисления.*

## GPGPU IMPLEMENTATION OF DIJKSTRA ALGORITHM (SINGLE SOURCE SHORTEST PATH) AND COMPARISON CPU WITH IMPLEMENTATION.

A. Tsygankov, O. Sitnik

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Altai State Technical University after I.I. Polzunov*

**Abstract:** The paper undertakes an attempt to create a hybrid parallel computing program to solve Single Source Shortest Paths Problem (Dijkstra algorithm) by GPGPU/CUDA calculations. A comparison is made with its canonical single-threaded CPU implementation on a set of test cases.

**Keywords:** *gpgpu, cuda, sssp, nssp, dijkstra algorithm, hybrid parallel computing.*

## **Введение**

Варианты применения технологий гибридных параллельных вычислений (в том числе с применением GPGPU – General-purpose graphics processing units – «GPU общего назначения») в настоящее время встречаются все чаще в качестве быстрой и достаточно дешевой альтернативы расчетам на одно- и многопроцессорных системах общего назначения, в том числе для научных и производственных задач.

Данная статья стала итогом попытки разобраться с особенностями реализации достаточно известного и часто применяемого на практике алгоритма, используя технологии гибридных вычислений. В качестве подопытного алгоритма был выбран метод решения задачи поиска расстояний минимальной длины (ASSP/NSSP) в ориентированном графе без петель и ребер отрицательного веса, известный как метод Дейкстры (Dijkstra). Решая данную задачу, мы также разбирали некоторые принципы трансформации имеющихся однопоточных алгоритмов для применения их в параллельных вычислениях, а также возможные методы оптимизации. В итоге должны были получить некоторый набор результатов, который позволит оценить возможные преимущества применения гибридных вычислений по сравнению с вычислениями на CPU компьютера.

Цель:

- 1) создать реализацию алгоритма Дейкстры для гибридных параллельных вычислений, адаптировать задачу под особенности технологии;
- 2) реализовать канонический вид алгоритма для сравнения;
- 3) создать набор тестовых графов и провести сравнительное тестирование двух алгоритмов.

### *Теоретическая часть*

Существует несколько известных технологий поддержки гибридных вычислений. Среди них реализации стандарта OpenCL на различных языках высокого уровня, MicrosoftDirectCompute, MicrosoftC++AMPlibrary, NVidiaCUDA. Наиболее распространенным и потенциально наиболее перспективным, с точки зрения количества устройств, на которых возможен запуск программ с применением технологий гибридных вычислений, является OpenCL. Но, по сравнению с *OpenCL*, *CUDA Toolkit* является более ясно документированной, поддерживаемой и широко применяемой библиотекой в настоящее время. Это стало ключевым параметром при выборе технологии. *CUDA Toolkit* существует в реализациях для различных платформ как с точки зрения разработчика, так и пользователя разрабатываемого продукта. Есть поддержка Windows, Linux, MacOSX и процессорных архитектур x86 (ia32), x86-64 (AMD64), ARM. Единственным ограничивающим условием является использование графических карт или специализированных ускорителей вычислений, основанных на чипах NVidia как для разработки, так и для эксплуатации программ.

Для того, чтобы увидеть разницу между вычислениями на *CPU* и *GPGPU*, необходимо подготовить корректный набор контрольных примеров вида  $G = (V, E)$ , где  $G$  – взвешенный оргграф,  $V$  – список вершин и  $E$  – список рёбер.

Для этого нам дополнительно потребовался генератор случайных графов с заданным количеством вершин и ребер, а также обязательным наличием корневой вершины, из которой должны быть доступны все прочие вершины графа. Количество вершин графов выбиралось как  $|V| = k2^n$ , число ребер в графе  $|E| = 2.5 k 2^n$ , где  $k$  – натуральное число, константа.

Для хранения графов в памяти был выбран вариант списков смежности, так как для достаточно разреженных графов, как в нашем случае, матрица смежности занимает значительно больший объем памяти компьютера ( $O(n^2)$ ). Работа со списками смежности позволила рассмотреть ряд графов до значений ( $|V| = \sim 10^6$ ), не доступных для хранения в виде матриц смежности, и, потенциально, допускает дальнейший рост числа вершин.

Рассмотрим в нескольких словах устройство GPGPU, чтобы пояснить, за счет чего достигается эффективность вычислений. Блок-схема одного из представителей современной линейки CUDA-видеокарт представлена на рисунке 1.

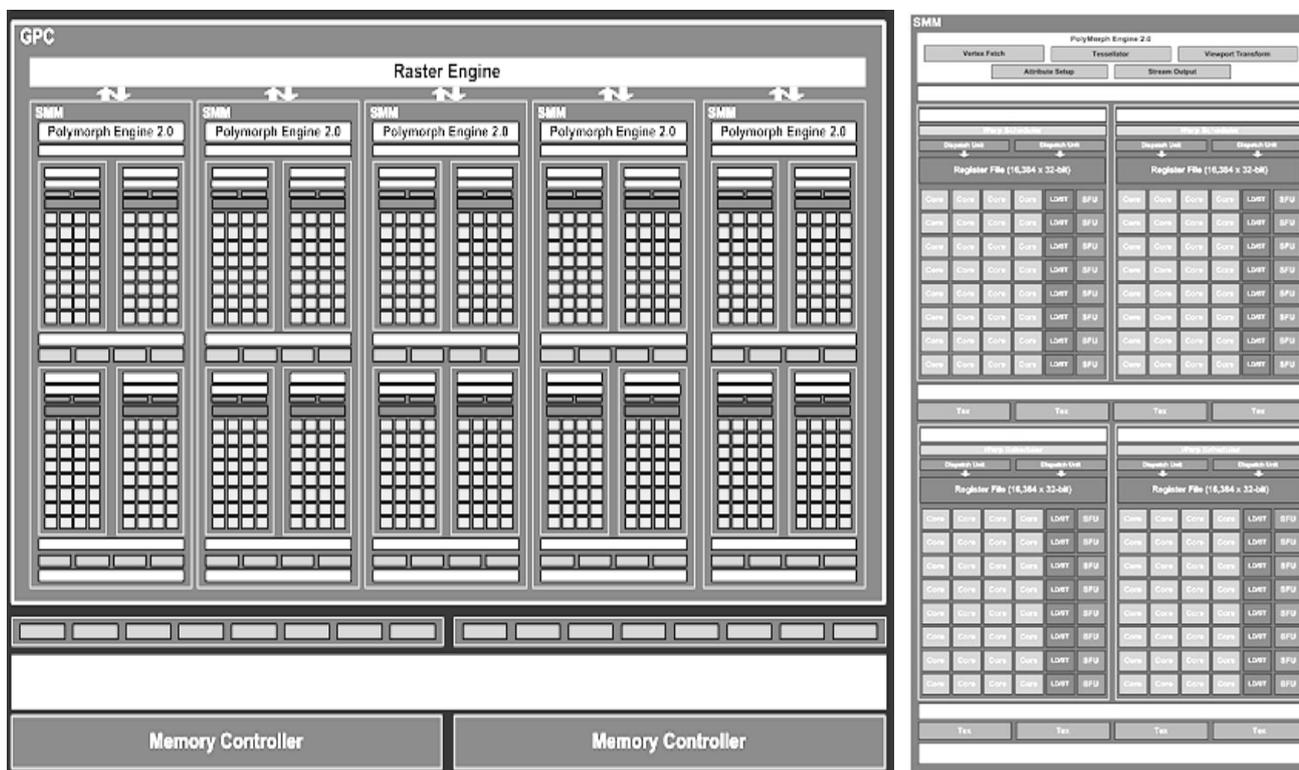


Рис. 1. Схема GPGPUGM107 и устройство одного из StreamingMultiprocessor

Физически GPU состоит из одного или нескольких потоковых процессоров (streamingmultiprocessor), каждый из которых сочетает в себе набор вычислительных ядер (cudacores). Процессоры и ядра владеют собственным набором регистров, кешей разной степени локальности и общими L2-кэшем и многоканальным контроллером памяти.

Логически верхний уровень GPU состоит из блоков, которые группируются в одномерный массив, двумерную сетку или трехмерный грид максимальной размерностью  $64 * 1024 * 1024$ . В свою очередь блоки состоят из варпов (warp), которые состоят из нитей (thread), которые являются непосредственными

исполнителями вычислений. Нити в блоке сформированы в виде одно-двух-трехмерного массива. В зависимости от конкретной видеокарты, физически все эти максимальные значения будут различны, поэтому скорость вычислений на одном устройстве может существенно отличаться от другого, но программно-аппаратный планировщик позволяет написанной с одними ограничениями на количество вычислительных блоков программе корректно быть выполненной на устройстве с меньшим количеством блоков.

Из этого следует, что каждый блок может работать в большой степени независимо друг от друга (с определенными ограничениями на алгоритмические структуры) и содержит значительное количество ядер, выполняющих одновременно различные вычислительные нити.

#### Алгоритм Дейкстры

Пусть нам дан орграф  $G = (V, E)$ , где  $V$  – количество вершин, а  $E$  – количество ребер. Ребро  $e$  соединяется только с двумя вершинами  $(u, v)$ , где  $u, v \in V$ . В орграфе ребро всегда направлено в одну сторону от  $u$  к  $v$  и имеет вес  $w(u, v)$ . *Ориентированный граф* – это граф, ребрам которого задано определенное направление (рисунок 2).

Путь  $P = (s, \dots, u, \dots, v, \dots, t)$  – это упорядоченные вершины, соединенные ребрами неотрицательного веса из вершины  $s$  до конечной  $t$ . Вес пути  $w(P)$  есть сумма всех весов, ребра которых хранит путь. Наикратчайший путь между вершинами  $s$  и  $t$  будет путь с минимальным весом среди всех возможных путей между этими вершинами. В результате минимальное расстояние между двумя вершинами будет являться  $d(s, t)$ , или просто  $d(t)$ .

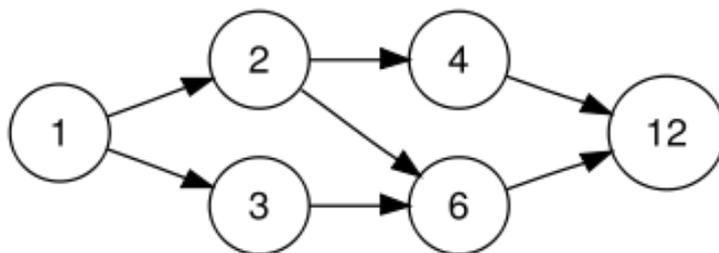


Рис. 2. Пример орграфа

В общем случае алгоритм состоит из следующих шагов (рисунок 3):

#### 1. Инициализация.

Алгоритм начинается в вершине  $s$  – *корневой вершине графа*, расстояние до всех вершин  $i$ , кроме  $s$ , помечается как  $d(i) = \infty$ ,  $d(s) = 0$ . Вершину  $s$  рассматриваем как пограничную, и отмечаем ее как посещенную  $f = s$ .

#### 2. Обход с пересчетом расстояний

Для каждой вершины  $v$ , смежной с  $f$ , которая не является отмеченной, как посещенной, новое расстояние от источника до  $f$  имеет значение  $d[f] + w(f, v)$ . Если это расстояние меньше, чем предыдущее значение  $d[v]$ , тогда  $d[v] = d[f] + w(f, v)$ .

### 3. Перемаркировка вершин

Вершина  $u$  с наименьшим значением в  $d$  помечается как новая посещенная  $f = u$ .

### 4. Проверка

Если все вершины были посещены, алгоритм завершает работу, иначе повторяются пункты с 2-го шага.

В результате в  $d(i)$  будет храниться длина кратчайшего пути из корневой вершины  $s$  до  $i$ -й вершины.

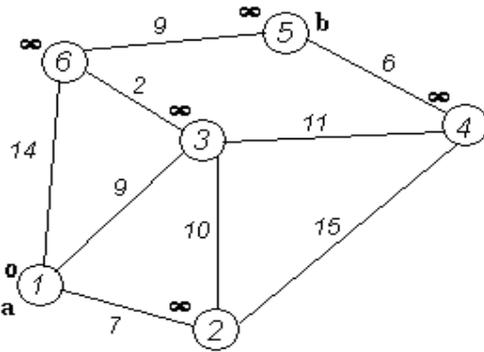


Рис. 3. Начальная расстановка в графе

### Параллельная реализация алгоритма Дейкстры на CUDA

Алгоритм Дейкстры можно разбить на 3 шага: вычисление новых расстояний от множества граничных вершин до смежных непомеченных вершин (*релаксация*), нахождение нового минимального расстояния до множества непомеченных вершин (*поиск минимума*) и перемаркировка вершин (*обновление множеств*). Соответственно, вершины делятся на 3 множества: помеченные (обработанные), граничные (обрабатываемые на каждом шаге) и непомеченные.

Для решения данной задачи нам потребуется:

- Вектор  $U$ , который хранит в  $U[v]$  множество непомеченных вершин  $v$ ;
- Вектор  $F$ , который хранит в  $F[v]$  вершины  $v$  как граничные;
- Вектор  $d$ , который хранит в  $d[v]$  вычисленное на каждом шаге расстояние от вершины  $s$  до вершины  $v$ .

Рассмотрим каждый шаг более подробно:

#### 1. Релаксация смежных вершин.

Каждая вершина графа обрабатывается в отдельном потоке, независимо от своего текущего состояния. Индекс ядра, обрабатывающего  $i$ -ю вершину, задается конструкцией:

$$i = \text{threadIdx.x} + \text{blockIdx.x} * \text{blockDim.x},$$

где  $\text{blockIdx.x}$  – номер текущего блока;

$\text{blockDim.x}$  – количество нитей в одном блоке;

$\text{threadIdx.x}$  – номер текущей нити.

В вычислительном ядре выполняется уменьшение веса только для неотмеченных вершин, которые являются связанными с вершинами из

граничного набора вершин  $f$ . Одна нить ассоциируется как вершина графа. Цикл по списку смежности для каждой пограничной вершины  $f = F_i$  обеспечивает уменьшение веса неотмеченных смежных вершин, если текущее расстояние до них больше, чем сумма расстояния до самой граничной вершины и веса ребра от нее до смежной вершины.

### 2. Поиск минимального расстояния в наборе неотмеченных вершин.

Вычисляется минимальное предварительное расстояние узлов, из  $U_i$ . Добавляется соответствующее значение  $\Delta_v = \min \{ (d(u) + \Delta_u) : u \in U_i \}$  к  $d[v]$ , и затем полученное значение сравнивается с  $\Delta_i = \min \{ d[u] : u \in U_i \} + \Delta$ , где  $\Delta = \min \{ w(e) : e \in E \}$ , и выбирается наименьшее.

Для оптимальной скорости поиска минимума расстояния применяется техника параллельной редукции, когда  $N/2$  вычислительных ядер, где  $N = |V|$ , определяют на первом этапе минимум из двух расстояний до вершин  $v_i, v_j$ , где  $i=0..N/2-1$  и  $j = N/2..N-1$ . Записывая минимум из этих двух элементов в  $i$ -ю позицию временного массива, повторяем операцию редукции, но уже на массиве половинной длины от предыдущего шага. Если на каком-то этапе сокращения массив становится нечетной длины, выравниваем его, увеличивая длину на 1. В итоге в первой ячейке через несколько итераций остается элемент – минимум исходного массива.

### 3. Обновление множеств вершин

Помечаются, как пройденные, вершины из  $U_i$ , вычисленное расстояние до которых меньше или равно  $\Delta_i$ . Каждая нить выполняет проверку для соответствующей вершины  $v$ , если  $U(v) = true$  и  $d[v] \leq \Delta_i$ , то  $v$  добавляется в список граничных точек  $F_{i+1}$  и удаляется из помеченных  $U_{i+1}$

#### Результаты

В конечном итоге были разработаны триконсольные программы, две из которых реализуют вычисления метода Дейкстры на CPU и GPGPU, а также генератор графов для контрольных примеров. В качестве средства разработки использовались Microsoft Visual Studio 2013 и язык C++, а также CUDA Toolkit 6.5.

Тестирование реализаций алгоритма Дейкстры проводилось на оборудовании с характеристиками:

| CPU реализация                               | GPGPU реализация  |
|--|---|
| CPU Intel(R) Core(TM) i3-2350M CPU @ 2.30GHz | CPU AMD Phenom X3 720 CPU @ 3100 GHz  |
| RAM 8192MB DDR3                              | GeForce GTX 750Ti, 2048MB GDDR4, 1020MHz (Maxwell GM107, 5 Streaming Multiprocessors, Compute Capability 5.0, 640 CUDA cores) |
| OS Windows 8.1 Prof 64-bit                   | OS Windows 7 Prof x64 SP1   |

Результаты тестирования приведены на рис. 4, где наглядно видно, что при увеличении вершин времени на обработку процессору требуется с каждым шагом гораздо больше, чем графическому процессору. После  $10 \cdot 2^8$  вершин мы наблюдаем резкий рост времени на обработку у алгоритма на CPU, реализация на GPGPU отличается значительно меньшим наклоном кривой, что приводит к появлению кратных различий в скорости вычислений.

На малых значениях  $|V|$  имеет место доминирование накладных расходов на организацию процесса вычислений над самими вычислениями, так как подготовительные операции копирования графа из основной памяти компьютера в память графического ускорителя и обратно результатов вычислений занимают в данной задаче от 5 миллисекунд времени.

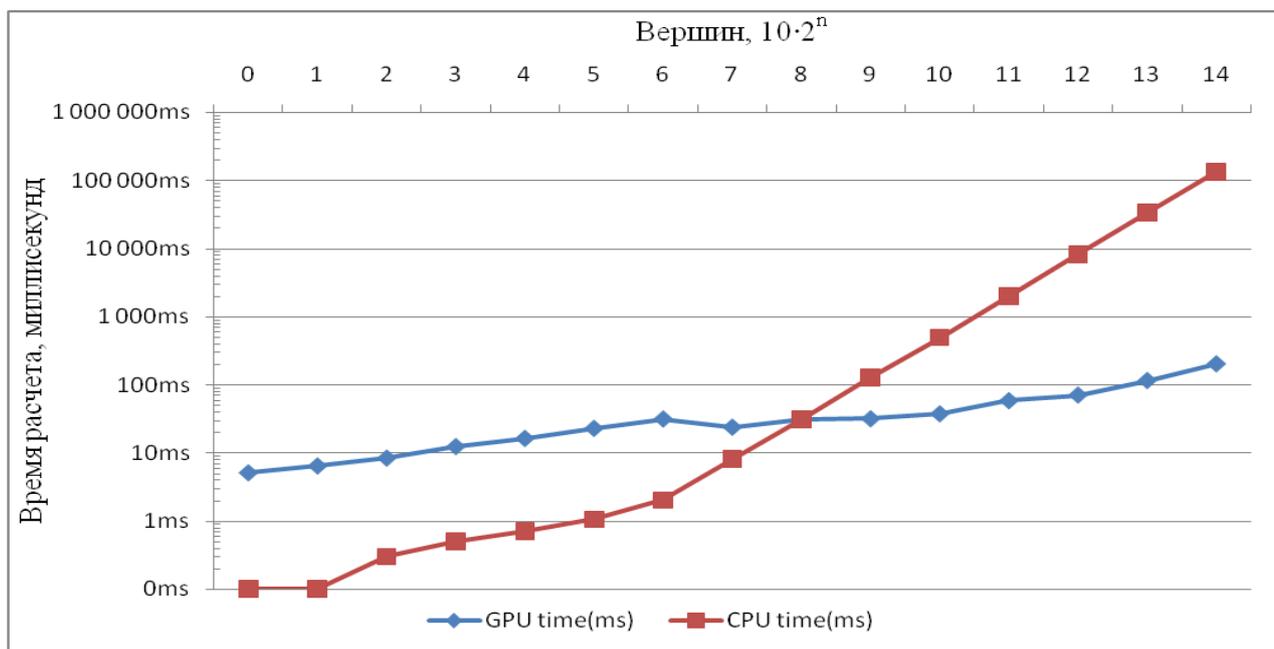


Рис. 3. Результаты тестирования

### **Выводы**

Исходя из анализа проделанной работы и ее результатов, следует отметить, что применение параллельных алгоритмов расчета на GPGPU даже для изначально однопоточных алгоритмов может приводить к значительным сокращениям времени расчетов. Также нужно отметить необходимость адаптации однопоточных алгоритмов и задач к требованиям организации параллельных вычислений, чтобы достичь не просто заметного преимущества, но зачастую и просто повторения скорости расчетов на CPU.

Реализованный код программ не является совершенным и наверняка требует доработки, что приведет к дальнейшему увеличению скорости работы алгоритма на GPGPU. Особенности конкретного орграфа также влияют в немалой степени на скорость при вычислениях, поэтому на рисунке 4 можно увидеть флуктуации экспериментальных данных относительно возможной аппроксимирующей результаты гладкой кривой, исходя из оценки сложности исходного алгоритма как  $O(n^2)$ .

Помимо этого, скорость работы алгоритма зависит от аппаратной части компьютера, как CPU, так и GPGPU. Ускорение может быть достигнуто применением ускорителя с большим числом CUDA-ядер, большего числа самих ускорителей или их большей эффективностью на один поток.

#### Список литературы

1. Демидович, Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу: Учеб. пособие. 13-е изд., испр. / Б.П. Демидович. М.: Изд-во Московского университета, ЧеРо, 1997. 624 с.
2. Хаггарты, Р. Дискретная математика для программистов / Р. Хаггарты. М.: Техносфера, 2003. 320 с.
3. CUDA Developer Zone. (<https://developer.nvidia.com/cuda-zone>)
4. Ortega-Arranz, H.A New GPU-based Approach to the Shortest Path Problem /H. Ortega-Arranz, Y. Torres, D.R. Llanos, A. Gonzalez-Escribano. Dept. Informatica, Universidad de Valladolid, Spain. <http://www.infor.uva.es/>
5. Sedgewick, R. Algorithms, 4th Edition / R. Sedgewick, K. Wayne. Addison-Wesley Professional. 2011. 976 pp.

### ЭНЕРГИЯ ОБРАЗОВАНИЯ АНТИФАЗНЫХ ГРАНИЦ В НАПРАВЛЕНИИ <100> В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Cu-Pt

А.А. Чаплыгина<sup>1</sup>, П.А. Чаплыгин<sup>1</sup>, Л.А. Попова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*«Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

<sup>2</sup>*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** В статье методом Монте-Карло исследуется энергия образования антифазных границ в направлении <100> в сплавах Cu<sub>3</sub>Pt, CuPt<sub>3</sub> и CuPt.

**Ключевые слова:** антифазные границы, атомы, сплав, энергия.

### THE ENERGY OF FORMATION OF ANTIPHASE BOUNDARIES IN THE <100> IN ALLOYS OF CU-PT

A.A. Chaplygina<sup>1</sup>, P.A. Chaplygin<sup>1</sup>, L.A. Popova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Altai State Technical University after I.I. Polzunov*

<sup>2</sup>*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) Altai State Technical University after  
I.I. Polzunov*

**Abstract:** The article deals with Monte Carlo used herein to study the energy of formation of antiphase boundaries in the <100> in alloys Cu<sub>3</sub>Pt, CuPt<sub>3</sub> and CuPt.

**Key words:** antiphase boundaries, atoms, alloy, energy.

В качестве объекта исследования был выбран трехмерный кристалл модельного сплава системы Cu-Pt. Размер расчетного блока составлял 24×24×24 атомных слоев (55296 атомов). За пределами расчетный блок повторялся применением периодических граничных условий. Положение атомов в стартовой конфигурации во всех компьютерных экспериментах задавалось в соответствии со сверхструктурным распределением. Температура

кристалла изменялась от 200 К до 1400 К. В структуру кристалла вводилась одна вакансия для активации процесса фазового перехода порядок-беспорядок. Использовался только вакансионный механизм диффузии.

Взаимодействие между различными атомами компонент сплава были заданы с использованием полуэмпирического парного потенциала Морзе в виде функции:

$$\varphi(r_{ij}) = D_{KL} \beta_{KL} e^{-\alpha_{KL} r_{ij}} (\beta_{KL} e^{-\alpha_{KL} r_{ij}} - 2), \quad (1)$$

где  $\alpha_{KL}, \beta_{KL}, D_{KL}$  – параметры потенциалов Морзе, описывающих связи пар атомов сортов К-L;  $r_{ij}$  – расстояние между атомами.

Средняя конфигурационная энергия на один атом кристалла рассчитывалась по формуле:

$$E = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \varphi(r_{ij}), \quad (2)$$

где N – количество атомов в кристалле; M – число ближайших соседних атомов на первых трех координационных сферах.

Энергия образования антифазной границы (АФГ) рассчитывалась по формуле [1,2]:

$$E^* = \frac{E_i - E_{АФГ}}{S}, \quad (3)$$

где  $E_i$  – конфигурационная энергия идеального кристалла,  $E_{АФГ}$  – конфигурационная энергия кристалла с АФГ, S – площадь АФГ.

Стартовая конфигурация сплава  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  представляла собой упорядоченный кристалл со сверхструктурой  $L1_2$ . В этом сплаве в направлении  $\langle 100 \rangle$  возможно образование двух типов антифазных границ: термической (ТАФГ) и сдвиговой (САФГ).

По формуле (3) энергия образования ТАФГ составляет 13,1 мДж/м<sup>2</sup>, а энергия образования САФГ равна 11,7 мДж/м<sup>2</sup>. Образование САФГ является энергетически более выгодным, чем образование ТАФГ в направлении  $\langle 100 \rangle$  в сплаве  $\text{Cu}_3\text{Pt}$ .

Вклад АФГ в среднюю энергию кристалла в сплаве  $\text{Cu}_3\text{Pt}$  рассчитывался как разность между энергией сплава с АФГ и сплава без границ при одинаковой температуре. Изменение вклада АФГ представлено на рис. 1.

Вклад АФГ в энергию кристалла в процессе разупорядочения изменяется и зависит от типа антифазных границ (рис. 1). Вклад термических АФГ в общую энергию кристалла больше, чем вклад сдвиговых границ. При температуре 400 К заметно уменьшение значения энергии ТАФГ, что связано с процессом перестройки антифазных границ к энергетически более выгодной структуре. В температурном диапазоне от 600 до 800 К тип АФГ не влияет на вклад в среднюю энергию кристалла. Это связано с тем, что именно в этом диапазоне температур начинают происходить структурные изменения во всем объеме расчетного блока, а не только вблизи границ. При 900 К наблюдается максимальная разница в значениях энергии кристаллов с различной начальной конфигурацией, так как при температуре фазового перехода порядок-беспорядок влияние сдвиговых антифазных границ на структуру сплава  $\text{Cu}_3\text{Pt}$

становится более выраженным. При дальнейшем повышении температуры вклад АФГ в среднюю конфигурационную энергию уменьшается, и при температуре от 1100 К и выше он стремится к нулю, так как сплавы переходят в разупорядоченное состояние и начальная конфигурация не оказывает влияния на среднее значение конфигурационной энергии кристалла.

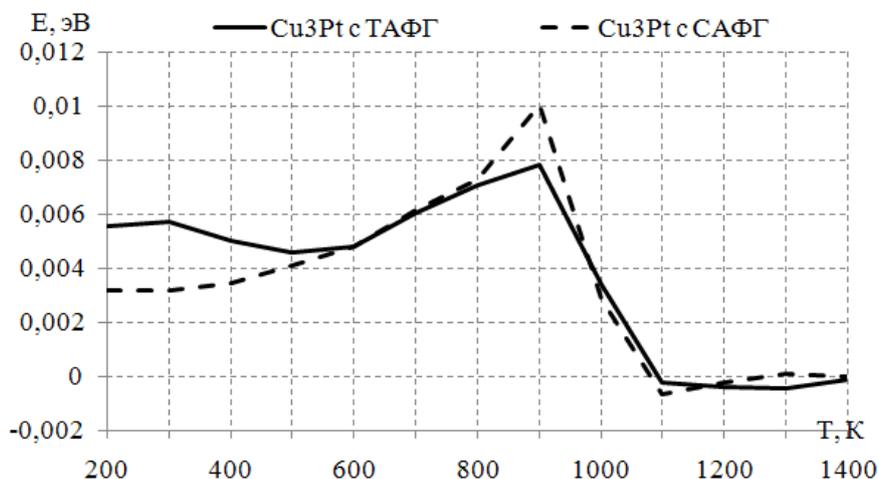


Рис. 1. Изменение вклада АФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла с ростом температуры в сплаве  $\text{Cu}_3\text{Pt}$

Стартовая конфигурация сплава  $\text{CuPt}_3$  представляла собой упорядоченный кристалл со сверхструктурой  $L1_3$ . В этом сплаве в направлении  $\langle 100 \rangle$  возможно образование только сдвиговых АФГ. По формуле (3) энергия образования САФГ составляет  $7 \text{ мДж/м}^2$ .

Вклад АФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла (рис. 2) стабилен для низких температур (до 500 К). В диапазоне температур от 500 до 1100 К значение разности энергий увеличивается, что говорит о влиянии АФГ на скорость разупорядочения. Это связано с размытием границ и появлением неупорядоченных областей во всем кристалле. Дальнейшее повышение температуры приводит к уменьшению значения разности энергий кристаллов с АФГ и без границ, и при температуре выше 1300 К разность энергий стремится к нулю, что свидетельствует о переходе сплава в разупорядоченное состояние.

Стартовая конфигурация сплава  $\text{CuPt}$  представляла собой упорядоченный кристалл со сверхструктурой  $L1_1$ . В этом сплаве в направлении  $\langle 100 \rangle$  возможно образование только сдвиговых АФГ. Рассчитанное по формуле (3) значение энергии образования САФГ составляет  $21 \text{ мДж/м}^2$ . Полученные данные согласуются с результатами, полученными в работе [3].

Изменение вклада САФГ в среднюю энергию кристалла в сплаве  $\text{CuPt}$  в процессе фазового перехода порядок-беспорядок представлено на рис. 3. Вклад АФГ в среднюю энергию кристалла в процессе разупорядочения изменяется при повышении температуры кристалла.

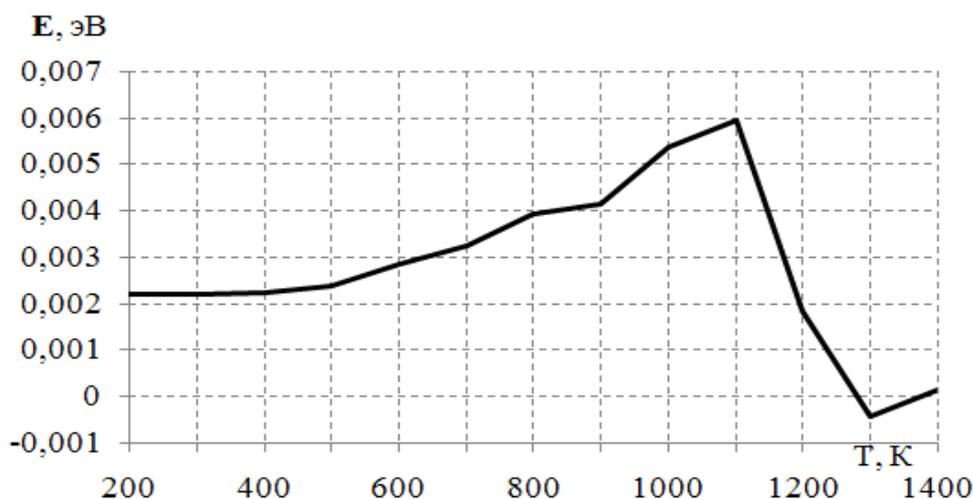


Рис. 2. Изменение вклада АФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла с ростом температуры в сплаве  $\text{CuPt}_3$

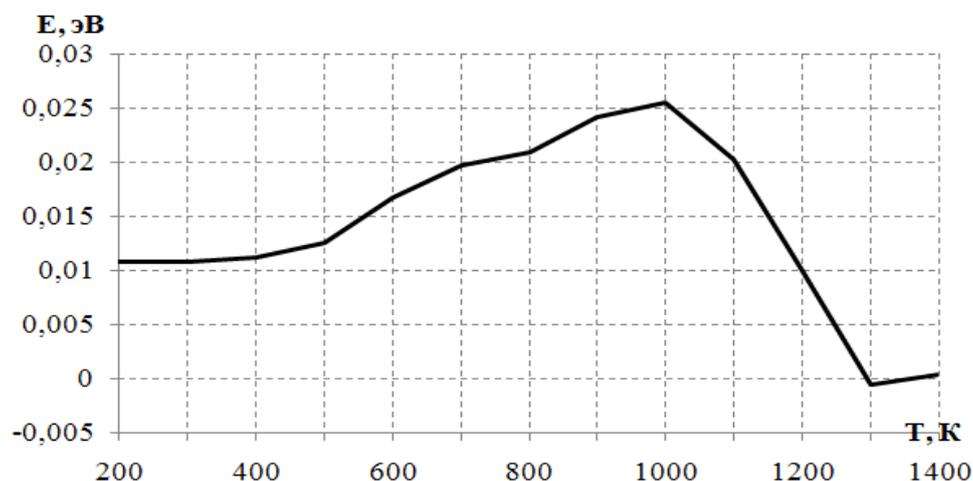


Рис. 3. Изменение вклада АФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла с ростом температуры в сплаве  $\text{CuPt}$

Для низких температур (до 400 К) разность энергий сплава без антифазных границ и сплава с САФГ стабильна. При повышении температуры до 1000 К вклад САФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла постепенно увеличивается. Это связано с тем, что разупорядочение в сплаве с антифазными границами происходит быстрее. Температура 1085 К является критической для сплава  $\text{CuPt}$ . Как видно из графика, при температуре от 1000 до 1300 К разность энергий кристалла с АФГ и без границ уменьшается, затем она принимает значения, близкие к 0, что говорит о переходе сплавов в неупорядоченное состояние.

В результате проведенных компьютерных экспериментов были получены значения энергии образования АФГ в направлении  $\langle 100 \rangle$  в сплавах  $\text{Cu}_3\text{Pt}$ ,  $\text{CuPt}_3$  и  $\text{CuPt}$ ; установлено влияние АФГ на процессы фазового перехода порядок-беспорядок.

Самое низкое значение энергии образования АФГ было рассчитано для сплава  $\text{CuPt}_3$  (7 мДж/м<sup>2</sup>), а самое высокое значение – для сплава  $\text{CuPt}$  (21 мДж/м<sup>2</sup>).

При повышении температуры до критического значения наблюдается возрастание вклада АФГ в среднюю конфигурационную энергию кристалла. Таким образом, показано, что разупорядочение в сплаве, содержащем АФГ в направлении  $\langle 100 \rangle$ , происходит быстрее, чем без границ. При дальнейшем повышении температуры вклад АФГ становится менее значимым, так как сплав переходит в неупорядоченное состояние.

#### Список литературы

1. Старостенков, М.Д. Энергия образования и атомная конфигурация АФГ в плоскости куба в упорядоченных сплавах со сверхструктурой  $L1_2$  / М.Д. Старостенков, Б.Ф. Демьянов // МФ, 1985. Т.7. №3. С. 128-130.

2. Старостенков, М.Д. Энергия образования антифазных границ в сплаве сверхструктуры  $L1_2$  / М.Д. Старостенков // Известия высших учебных заведений. Физика. 1992. №2. С. 51-56.

3. Бакалдин, А.В. Планарные дефекты в сверхструктуре  $L1_1$ : диссертация на соискание ученой степени к.ф.-м. наук / А.В. Бакалдин. Барнаул: АлтГТУ им. И.И. Ползунова. 1994. 177 с.

### **АППРОКСИМАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ ПОЛИНОМАМИ 4-Й СТЕПЕНИ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОКАТКИ**

А.Н. Шкарин

*Липецкий государственный технический университет*

Сегодня главное направление развития металлургии – коренное улучшение качества и увеличение выпуска эффективных видов металлопродукции. Поэтому наиболее важной является проблема оценки качества полосы на разных этапах процесса прокатки. В данной статье рассказывается об аппроксимации методом наименьших квадратов для количественной оценки дефектов горячекатаного листа.

**Ключевые слова:** прокатка, аппроксимация, МНК, качество полосы, коэффициент детерминации.

### **APPROXIMATION OF A HOT-ROLLED STRIP SURFACE BY POLYNOMIALS OF FOURTH DEGREE FOR QUALITY ASSESSMENT OF ROLLED PRODUCTS**

A.N. Shkarin

*Lipetsk State Technical University*

**Abstract:** Nowadays a principal trend in the metallurgy development is a dramatic quality improvement and a rise in metal production. So the most important problem is that of quality assessment of the strip at different stages of the rolling

process. This article deals with approximation using the method of least squares to assess defects of a hot-rolled sheet.

**Keywords:** *rolling, approximation, Ordinary Least Squares (OLS), quality of a strip, R-squared.*

Прокаткой называется процесс пластического деформирования тела между приводными валками [1]. Схематично процесс прокатки можно изобразить следующим образом, рисунок 1.

Обрабатываемое тело (полоса) пропускается между валками, вследствие чего ее толщина уменьшается, а длина и ширина, наоборот, возрастают. При этом валки в процессе своей работы из-за контакта с металлом, а также друг с другом сильно изнашиваются. Как показали исследования, образующая валков приобретает форму, похожую на трапецию [2], рисунок 2.

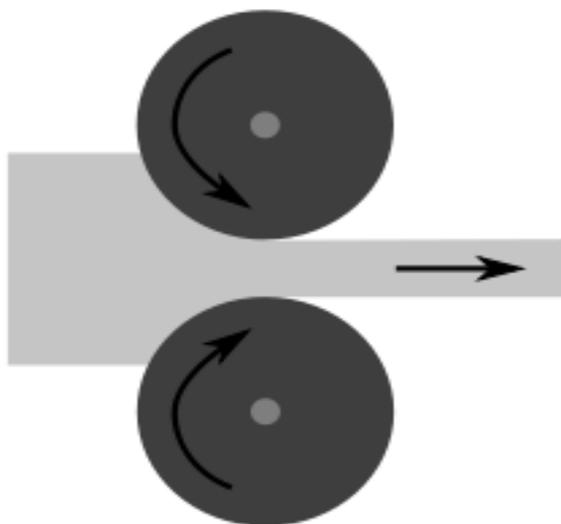


Рис. 1. Схема процесса прокатки

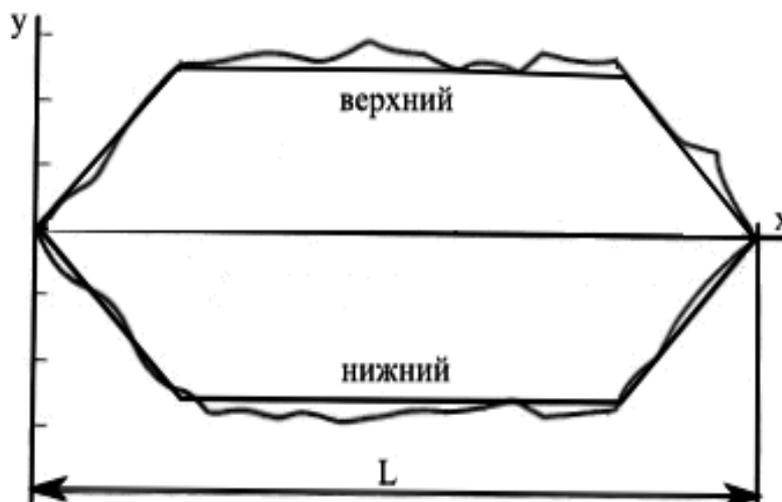


Рис. 2. Типичный пример износа валков

Из-за такого неравномерного износа прокатанная полоса обычно имеет разные толщины в центре и по краям. Вследствие чего на выходе стана чаще всего имеем график приблизительно следующего вида, рисунок 3.

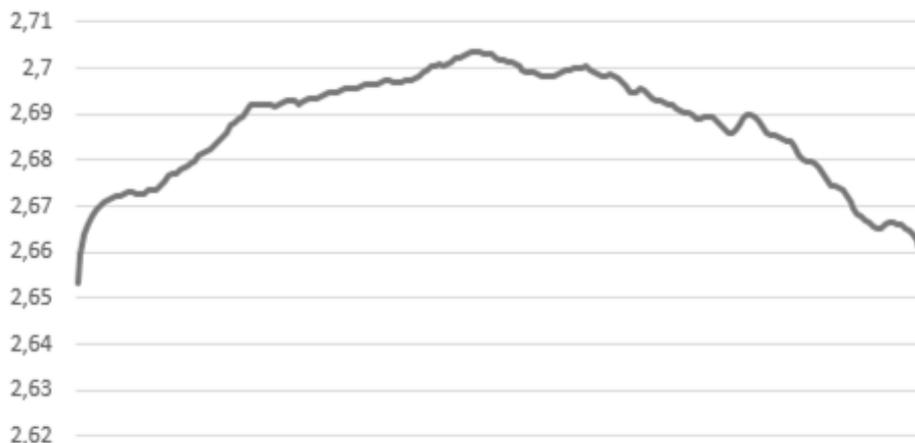


Рис. 3. График полосы

Из графика видно, что помимо различной толщины полоса имеет некоторые дефекты, которые в свою очередь и влияют на качество листа, так как при дальнейшей обработке могут вызвать нежелательные напряжения и последующее коробление [3]. Поэтому для оценки влияния этих дефектов было решено применить такой статистический метод, как аппроксимация. Проведя графический анализ, приняли решение приблизить полосу по методу наименьших квадратов (МНК), применив модель вида:

$$a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_4 + e_t = f(x),$$

где  $a_i$  – коэффициенты модели,  $e_t$  – случайные ошибки.

При попытке найти коэффициенты модели было выяснено, что получаемая матрица плохо обусловлена, следовательно, присутствует мультиколлинеарность (наличие высокой взаимосвязи между объясняющими переменными). Поэтому после пошагового регрессионного анализа решено было приравнять коэффициент  $a_3$  к нулю, вследствие чего получили модель вида:

$$a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_4x_4 + e_t = f(x).$$

Для оценки качества полосы можно считать коэффициент детерминации ( $R^2$ ), который показывает, какая часть (доля) вариации зависимой переменной обусловлена вариацией объясняющей переменной [4].

$$R^2 = 1 - \frac{V(y|x)}{V(y)} = 1 - \frac{D}{D_y}.$$

Чем ближе коэффициент детерминации к единице, тем лучше выбранная модель аппроксимирует данные. Изобразим наше уравнение кривой на графике, рисунок 4.



Рис. 4. Аппроксимация полосы

Значение коэффициента детерминации данного листа 0,98. В ходе работы с массивом из 200 полос был найден минимальный коэффициент детерминации для горячекатаных листов различной толщины. Результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры полосы

| Номинальная ширина горячекатаной полосы, мм | Коэффициент детерминации |
|---|--------------------------|
| 900 – 1250                                  | >0,80                    |
| 1251 – 1500                                 | >0,85                    |
| 1501 – 1850                                 | >0,90                    |

Список литературы

1. Грудев, А.П. Теория прокатки / А.П. Грудев. М.: Металлургия, 1988. – 240 с.
2. Полухин, П.И. Прокатка толстых листов / П.И. Полухин. М.: Металлургия, 1984. – 288 с.
3. Робертс, В.Л. Холодная прокатка стали / П.И. Полухин. М.: Металлургия, 1982. – 544 с.
4. Кремер, Н.Ш. Эконометрика: учебник для студентов вузов / Н.Ш. Кремер. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010. – 328 с.

# ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИЧЕСКИМ ДИСЦИПЛИНАМ СТУДЕНТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА

Г.К. Юрова, К.А. Шипилова, А.Н. Сараева,  
Л.А. Прошкина, Г.В. Пышнограй  
*Алтайская государственная педагогическая академия*

В работе проведено изучение и экспериментальная проверка эффективности использования технологии дистанционного обучения для студентов технических вузов по курсам: Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Теория вероятностей и математическая статистика и Теория функций комплексного переменного. При этом реализация дистанционного обучения была выполнена в системе дистанционного обучения Moodle.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, МОДУС, математика для вузов.

## APPLICATION OF COMPUTER TECHNOLOGY FOR REMOTE TEACHING MATHEMATICAL DISCIPLINES TO STUDENTS OF TECHNICAL UNIVERSITY

G.K. Yurova, K.A. Shipilova, A.N. Sarajeva, L.A. Proshkina, G.V. Pyshnograd  
*Altai State Pedagogical Academy*

**Abstract:** The paper deals with research findings concerning an efficient use of remote learning techniques for students of technical universities including courses in Linear algebra and analytic geometry, Probability theory and mathematical statistics and the Theory of functions of a complex variable. The paper stresses that the implementation of distance learning is carried out by Moodle system.

**Keywords:** distance learning, Modus, Mathematics for Higher Schools.

На рубеже XX-XXI веков актуальным вопросом для российского образования стал вопрос модернизации образовательной сферы и создания механизма устойчивого развития данной отрасли с целью повышения качества обучения. Одной из составляющих модернизации является введение дистанционных технологий. Дистанционные технологии предназначены для создания образовательного пространства, способствующего самообразованию учащихся, через организацию дистанционных курсов.

Так как дистанционные технологии используются в образовательных учреждениях недавно, нормативных документов и методических материалов к ним пока еще недостаточно. Поэтому актуальными на данный момент являются вопросы: систематизации информации по курсам, рассмотрение специфики создания курсов, а также выявление особенностей методики их проведения. Особую значимость приобретает рассмотрение курсов по математике как одной из важных дисциплин.

Актуальность исследования дистанционного обучения обусловлена несколькими причинами. Вопрос внедрения систем дистанционного обучения в отдаленных районах особенно актуален, так как очень часто из-за больших расстояний учащиеся не посещают учебные заведения.

Вместе с тем, востребованность новой формы обучения растет с каждым годом. Эта востребованность достаточно четко обозначилась в последние годы:

- заметно растет количество людей, желающих получить высшее образование, не отрываясь от своей основной деятельности. Для предоставления такой возможности значительную помощь могли бы оказать дистанционные курсы по предметам с эпизодическими консультациями и контролем педагогов;

- очевидна необходимость такой формы обучения для инвалидов и других категорий учащихся, не имеющих возможности обучаться в очной форме;

- дистанционная форма обучения могла бы выступить серьезным конкурентом для всякого рода репетиторства при поступлении в высшие учебные заведения;

- наконец, дистанционная форма обучения могла бы дать возможность учащимся ликвидировать пробелы в знаниях или наоборот углубить свои знания в интересующих их областях.

Целью исследования является проверка эффективности применения дистанционного обучения в системе Moodle на примере электронных курсов: Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Теория вероятностей и математическая статистика, Теория функций комплексного переменного.

Исследование содержания научной, учебной литературы, нормативно-правовых документов, касающихся образования, а также текстов журнальных статей показали, что отсутствует единое толкование сущности и содержания понятия «дистанционное обучение». Существуют многочисленные трактовки этого понятия, отражающие многообразие подходов к его пониманию. Приведем наиболее известные трактовки этого термина.

В Концепции создания и развития дистанционного образования в РФ приводится следующее определение: дистанционное образование – комплекс образовательных услуг, предоставляемых широким слоям населения в стране и за рубежом с помощью специализированной информационной образовательной среды, базирующейся на средствах обмена учебной информацией на расстоянии (спутниковое телевидение, радио, компьютерная связь и т.п.). Дистанционное образование является одной из форм непрерывного образования, которое призвано реализовать права человека на образование и получение информации.

В решении коллегии Госкомвуза 1993 года «О создании системы дистанционного образования в РФ» говорится: «Дистанционное образование – это форма образования, обеспечивающая использование новейших технических средств и информационных технологий для доставки учебных материалов и информации непосредственно потребителю независимо от его местоположения без потери качества обучения».

Дистанционное обучение – совокупность информационных технологий, обеспечивающих доставку обучаемым основного объема изучаемого материала, интерактивное взаимодействие обучаемых и преподавателей в процессе обучения, предоставление учащимся возможности самостоятельной

работы по освоению изучаемого учебного материала, а также в процессе обучения.

Дистанционное обучение – это новая ступень обучения, на которой обеспечивается применение информационных технологий, основанных на использовании персональных компьютеров, видео- и аудио-, и оптоволоконной техники.

Дистанционное обучение – систематическое целенаправленное обучение, которое осуществляется на некотором расстоянии от места расположения преподавателя. При этом процессы преподавания и обучения разделены не только в пространстве, но и во времени.

Дистанционное обучение – тип обучения, основанный на образовательном взаимодействии удаленных друг от друга педагогов и учащихся, реализующемся с помощью телекоммуникационных технологий и ресурсов сети Интернет. Для дистанционного обучения характерны все присущие учебному процессу компоненты системы обучения: смысл, цели, содержание, организационные формы, средства обучения, система контроля и оценки результатов.

Анализ приведенных определений позволяет прийти к выводу, что наиболее приемлемым определением понятия «дистанционное обучение» является то, которое дала Евгения Семеновна Полат: «Это форма обучения, при которой взаимодействие учителя и учащихся между собой осуществляется на расстоянии и отражает все присущие учебному процессу компоненты (цели, содержание, методы, организационные формы, средства обучения), реализуемые специфичными средствами Интернет-технологий или другими средствами, предусматривающими интерактивность».

Почему именно это определение представляется наиболее приемлемым? Обучение – это двухсторонний процесс, в котором взаимодействуют обучаемый и обучающийся и в ходе которого планомерно и целенаправленно осуществляется образование, воспитание и развитие человека. Это значит, если мы говорим об обучении, мы предполагаем наличие в этом процессе преподавателя. В этом принципиальная разница, концептуальное отличие от систем и программ самообразования, самообучения, которые имеют место при работе с курсами на видеокассетах, в телевизионных и радиокурсах, при работе с компьютерными программами и даже программами на CD-ROM. В этих программах, курсах пользователь может рассчитывать лишь на собственные силы, на собственное восприятие и осмысление программы. Процесс же обучения характеризуется в первую очередь тем, что он интерактивен в своей организации, т.е. во взаимодействии учителя и ученика.

Е.С. Полат подчеркивает в своем определении дистанционного обучения, что это новая форма обучения, наряду с очной, заочной, экстернатом. Дистанционное обучение – это специфичная форма обучения, поскольку она предполагает основную опору на средства новых информационных и коммуникационных технологий, мультимедийных средств, средств видеосвязи, иную форму взаимодействия учителя и учащихся, учащихся между собой. Вместе с тем, как любая форма обучения, любая система обучения она имеет

тот же компонентный состав: цели, обусловленные социальным заказом для всех форм обучения; содержание, также во многом определенное действующими программами, стандартами для конкретного типа учебного заведения, методы, организационные формы, средства обучения.

Кроме того, следует отметить неправомерность отождествления некоторыми авторами понятий «дистанционное обучение» и «дистанционное образование». Образование – более широкое понятие.

Поэтому дистанционное образование – это система, в которой реализуется процесс дистанционного обучения и осуществляется индивидуумом достижение и подтверждение образовательного ценза. Таким образом, дистанционное обучение следует рассматривать в общей системе образования, причем непременно в системе непрерывного образования, предусматривая тем самым не просто определенную систему, но преемственность отдельных ее звеньев.

В педагогической практике выработались хорошо известные формы (виды) обучения как формы организации учебной деятельности студентов. Наиболее распространены из них лекции, семинары, лабораторные занятия, контрольные работы, экзамены и др. Система дистанционного обучения (СДО) может поддерживать следующие формы обучения:

- *Лекции ДО*, в отличие от традиционных аудиторных лекций, исключают живое общение с преподавателем, но имеют ряд преимуществ. Для записи лекций используются аудио- и видеокассеты, CD-ROM-диски и т.д. Использование новейших информационных технологий (гипертекста, мультимедиа и т.д.) делает лекции выразительными и наглядными. Такие лекции можно слушать в любое время и на любом расстоянии. Кроме того, не требуется конспектировать материал.

- *Самостоятельная работа студентов ДО* может быть индивидуальной, парной или групповой. С положительной стороны показала себя организация групп взаимопомощи. Для эффективной учебы обучаемый должен владеть методами планирования и организации самостоятельной работы с учебным материалом, навыками самообразования (более подробно технология самостоятельной работы студентов рассмотрена далее).

- *Консультации ДО* являются одной из форм руководства работой обучаемых и оказания им помощи в самостоятельном изучении дисциплины.

При дистанционном обучении, предполагающем увеличение объема самостоятельной работы студентов, возрастает необходимость организации постоянной поддержки учебного процесса со стороны преподавателей. Важное место в системе поддержки занимает проведение консультаций, которые теперь усложняются с точки зрения дидактических целей: они сохраняются как самостоятельные формы организации учебного процесса, и вместе с тем оказываются включенными в другие формы учебной деятельности (лекции, практики, семинары и т.д.).

На первый взгляд личный контакт учащихся с преподавателями при дистанционном обучении ограничен, но реально использование информационных технологий расширяет возможности для проведения

консультаций. Оперативная обратная связь может быть заложена как в текст учебного материала, так и в возможности оперативного обращения к преподавателю или консультанту в процессе изучения курса.

При дистанционном обучении могут быть организованы:

- «очные» консультации, проводимые тьютором в учебном центре (филиале); они составляют 10-15% времени, отводимого учебным планом на консультации;
- off-line-консультации, которые проводятся преподавателем курса с помощью электронной почты или в режиме телеконференции и составляют около половины времени, отводимого учебным планом на консультации;
- on-line-консультации, проводимые преподавателем курса; они составляют более одной трети всего консультационного времени по учебному плану.
- *Практические занятия ДО* предназначены для практического усвоения материала. Возможности ДО могут существенно упростить задачу проведения практикума за счет использования мультимедиа-технологий, имитационного моделирования и т.д.

Практические занятия по решению задач.

Выделяются три этапа овладения приемами решения конкретных задач. На первом этапе необходимо предварительное ознакомление обучающихся с методикой решения задач с помощью печатных изданий по методике решения задач, материалов, содержащихся в базах данных, видеолекций, компьютерных тренажеров. На этом этапе учащемуся предлагаются типовые задачи, решение которых позволяет отработать стереотипные приемы, использующиеся при решении задач, осознать связь между полученными теоретическими знаниями и конкретными проблемами, на решение которых они могут быть направлены. На втором этапе рассматриваются задачи творческого характера. В этом случае возрастает роль тьютора и преподавателя. Общение преподавателя с обучающимися в основном ведется с использованием on-line-технологий. По усмотрению преподавателя остальные темы могут быть переданы тьютору для проведения занятий в периферийных центрах. Такие занятия не только формируют творческое мышление, но и вырабатывают навыки делового обсуждения проблемы, дают возможность осваивать язык профессионального общения.

На третьем этапе выполняются контрольные работы, позволяющие проверить навыки решения конкретных задач. Выполнение таких контрольных заданий может проводиться как в off-line, так и on-line-режимах в зависимости от содержания, объема и степени значимости контрольного задания. После каждого контрольного задания целесообразно провести консультацию с использованием сетевых средств или под руководством тьютора по анализу наиболее типичных ошибок и выработке совместных рекомендаций по методике решения задач.

- Лабораторные работы.

Организация и проведение лабораторных работ при дистанционном обучении не исключает непосредственного общения преподавателя со студентами, но оно имеет место главным образом на заключительном этапе. При этом лабораторная работа как организационная форма учебной деятельности при дистанционном обучении предполагает усиление роли преподавателя по консультационному и контролирующему сопровождению учебно-познавательной деятельности студентов, а также увеличение самостоятельной работы студентов с учебно-методическими материалами и прежде всего с тренажерами.

- *Контроль ДО* – это проверка результатов теоретического и практического усвоения обучающимися учебного материала Тест, как правило, содержит обширный перечень вопросов по дисциплине, на каждый из которых предлагается несколько вариантов ответов. Студент должен выбрать среди этих вариантов правильный ответ. Тесты хорошо приспособлены для самоконтроля и очень полезны для индивидуальных занятий.

Как известно, каждая из форм обучения имеет свои достоинства и недостатки. Рассмотрим достоинства ДО:

Возможность обучаться в любое время.

Студент, обучающийся дистанционно, может самостоятельно решать, когда и сколько времени в течение семестра ему уделять на изучение материала. Он строит для себя индивидуальный график обучения. Некоторые образовательные учреждения предоставляют своим студентам возможность откладывать обучение на длительный срок и возвращаться к нему без необходимости снова оплачивать образовательные услуги.

- Возможность обучаться в своем темпе.

Учащимся дистанционно не нужно беспокоиться о том, что они отстанут от своих однокурсников. Всегда можно вернуться к изучению более сложных вопросов, несколько раз посмотреть лекции, перечитать переписку с преподавателем, а уже известные темы можно пропустить. Главное, успешно проходить промежуточные и итоговые аттестации.

- Возможность обучаться в любом месте.

Студенты могут учиться не выходя из дома или офиса, находясь в любой точке мира. Чтобы приступить к обучению, необходимо иметь компьютер с доступом в Интернет. Отсутствие необходимости ежедневно посещать учебное заведение – несомненный плюс для людей с ограниченными возможностями здоровья, для проживающих в труднодоступных местностях, отбывающих наказание в местах лишения свободы, родителей с маленькими детьми.

- Учеба без отрыва от основной деятельности.

Дистанционно можно обучаться на нескольких курсах одновременно, получать очередное высшее образование. Для этого совсем необязательно брать отпуск на основном месте работы, уезжать в командировки. Существуют образовательные организации, которые организуют корпоративное обучение (повышение квалификации) для сотрудников фирм и госслужащих. В этом случае учеба не прерывает трудовой стаж, а изученные вопросы можно сразу применить в трудовой деятельности.

- Высокие результаты обучения.

Как показывают исследования американских ученых, результаты ДО не уступают или даже превосходят результаты традиционных форм обучения. Большую часть учебного материала студент, обучающийся дистанционно, изучает самостоятельно. Это улучшает запоминание и понимание пройденных тем. А возможность сразу применить знания на практике, на работе помогает закрепить их. Кроме того, использование в процессе обучения новейших технологий делает его интереснее и живее.

- Мобильность.

Связь с преподавателями, репетиторами осуществляется разными способами: как on-line, так и off-line. Проконсультироваться с тьютором с помощью электронной почты иногда эффективнее и быстрее, чем назначить личную встречу при очном или заочном обучении.

- Доступность учебных материалов.

Обучающимся дистанционно незнакома такая проблема, как нехватка учебников, задачников, методичек. Доступ ко всей необходимой литературе открывается студенту после регистрации на сайте университета, либо он получает учебные материалы по почте.

- Дистанционное обучение дешевле.

Если сравнивать обучение по отдельно взятой специальности на коммерческой основе очно и дистанционно, то второе окажется дешевле. Студенту не приходится оплачивать дорогу, проживание, а в случае с зарубежными вузами не нужно тратиться на визу и загранпаспорт.

- Обучение в спокойной обстановке.

Промежуточная аттестация студентов дистанционных курсов проходит в форме on-line тестов. Поэтому у учащихся меньше поводов для волнения перед встречами с преподавателями на зачетах и экзаменах. Исключается возможность субъективной оценки: на систему, проверяющую правильность ответов на вопросы теста, не повлияет успеваемость студента по другим предметам, его общественный статус и другие факторы.

- Удобство для преподавателя.

Учителя, репетиторы, преподаватели, занимающиеся педагогической деятельностью дистанционно, могут уделять внимание большему количеству учеников и работать, находясь, например, в декретном отпуске.

- Индивидуальный подход.

При традиционном обучении преподавателю довольно трудно уделить необходимое количество внимания всем учащимся группы, подстроиться под темп работы каждого. Использование дистанционных технологий подходит для организации индивидуального подхода. Кроме того, что учащийся сам выбирает себе темп обучения, он может оперативно получить у тьютора ответы на возникающие вопросы.

Теперь обратим внимание на недостатки дистанционного обучения.

- Необходима сильная мотивация.

Практически весь учебный материал студент, обучающийся дистанционно, осваивает самостоятельно. Это требует развитой силы воли, ответственности и самоконтроля. Поддерживать нужный темп обучения без контроля со стороны удается не всем.

- ДО не подходит для развития коммуникабельности.

При ДО личный контакт учащихся друг с другом и с преподавателями минимален, а то и вовсе отсутствует. Поэтому такая форма обучения не подходит для развития коммуникабельности, уверенности, навыков работы в команде.

- Недостаток практических знаний.

Обучение специальностям, предполагающим большое количество практических занятий, дистанционно затруднено. Даже самые современные тренажеры не заменят будущим медикам или учителям «живой» практики.

- Проблема идентификации пользователя.

Пока самый эффективный способ проследить за тем, честно и самостоятельно ли студент сдавал экзамены или зачеты, – это видеонаблюдение, что не всегда возможно. Поэтому на итоговую аттестацию студентам приходится лично приезжать в вуз или его филиалы.

- Недостаточная компьютерная грамотность.

Особенная потребность в дистанционном образовании возникает в отдаленных районах. Однако в глубинке не у всех желающих учиться есть компьютер с доступом в Интернет.

В нашей работе проверялась гипотеза о том, что применение технологии дистанционного обучения в преподавании вышеперечисленных дисциплин обеспечит эффективное усвоение слушателями учебного материала.

В соответствии с целью и гипотезой исследования определены следующие основные задачи данного исследования:

- определить понятие «дистанционное обучение»;
- выявить достоинства и недостатки дистанционного обучения;
- разработать дидактическое обеспечение электронных курсов: Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Теория вероятностей и математическая статистика, Теория функций комплексного переменного;
- провести их апробацию.

В заключении отметим, что такая апробация была проведена на студентах факультета дистанционного образования АлтГТУ, обучающихся на базе Алтайского, Волчихинского и Поспелихинского ресурсных центрах, и была продемонстрирована эффективность разработанных курсов.

## СЕКЦИЯ 2. ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

**Председатель секции:** кандидат технических наук, доцент кафедры «Техника и технологии машиностроения и пищевых производств» Гриценко Вячеслав Владимирович

### ВЛИЯНИЕ СОЖ ПРИ ШЛИФОВАНИИ МИКРОПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ

Н.С. Алексеев, В.А. Капорин, С.В. Иванов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Представлены результаты испытаний различных видов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) на операциях круглого наружного шлифования плазменных покрытий на никелевой и железной основе кругами из электрокорунда белого и карбида кремния зеленого. Комплексная оценка результатов испытаний по рейтинговому методу показала наибольшую эффективность эмульсионной СОЖ марки «ЭПМ-1ш».

**Ключевые слова:** *плазменные покрытия, абразивная обработка, смазочно-охлаждающая жидкость, шлифовальные круги, силы резания, износ инструмента, шероховатость поверхности.*

### INFLUENCE OF COOLANTS AND LUBRICANTS WHEN GRINDING MICROPOROUS COATINGS

N.S. Alekseev, V.A. Kaparin, S.V. Ivanov

*Rubtsovsky Industrial Institute (branch) of "Altai State Technical University after I.I. Polzunova"*

**Abstract:** The paper presents research findings regarding testing various types of coolants and lubricants during grinding nickel and iron based plasma coatings with wheels made of white electrocorundum, and silicon carbide green. A comprehensive assessment of test results by rating method shows the highest efficiency of emulsion coolant brand «EPM-sh».

**Key-words:** *plasma coatings, abrasive treatment, coolant and lubricant fluid, grinding wheels, cutting forces, tool wear, surface roughness.*

Шлифование труднообрабатываемых материалов – микропористых покрытий деталей на никелевой и железной основе – сопровождается интенсивной потерей режущей способности шлифовального круга (ШК). В результате возрастают силы резания и амплитуды их колебаний, контактные температуры, что снижает период стойкости абразивного инструмента (АИ) и производительность шлифования, способствует возникновению структурных и фазовых превращений в поверхностных слоях покрытий [1]. Доступным и экономически выгодным резервом увеличения периода стойкости АИ и повышения эффективности шлифования микропористых покрытий является

правильный выбор состава смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). Однако специальной СОЖ для обработки микропористых покрытий шлифованием пока нет.

С целью выявления резервов повышения производительности и качества обработки на операциях шлифования микропористых покрытий проведены исследования сравнительной технологической эффективности товарно-выпускаемых отечественных СОЖ.

Так как износ зерен и характер взаимодействия абразива с материалом покрытия зависит от СОЖ, то вначале проводилась серия экспериментов по шлифованию плазменных покрытий всухую (без СОЖ), затем в среде, обладающей в основном охлаждающими свойствами (в водопроводной воде), а также в химически активной среде с добавлением в воду фосфата калия ( $K_3PO_4$ ), который известен как основной компонент специальной «титановой» СОЖ [2].

Испытывались серийные СОЖ с различным охлаждающим и смазывающим действием: углеводородная – масло индустриальное И-20А, синтетическая – водный раствор концентрата ПОА-2м, эмульсионная – водный раствор эмульсола ЭПМ-1ш.

В итоге для исследований влияния среды на обрабатываемость плазменных покрытий были подготовлены следующие составы:

**Состав №1** – шлифование всухую (без СОЖ);

**Состав №2** – водопроводная вода;

**Состав №3** – 4% -й водный раствор фосфата калия;

**Состав №4** – масло индустриальное И-20;

**Состав №5** – 3% -й водный раствор концентрата «ПОА-2м»;

**Состав №6** – 3% -й водный раствор эмульсола «ЭПМ-1ш».

Концентрацию серийных СОЖ выбирали в соответствии с рекомендациями разработчиков.

Испытания проводились на экспериментальной установке по схеме круглого наружного продольного шлифования с выхаживанием на круглошлифовальном полуавтомате мод. 3М152МВФ2 по методике [3]. Шлифовали образцы – втулки из стали 45 диаметром  $60 \pm 0,1$  мм и высотой 70 мм с плазменно-напыленными покрытиями.

Обработке подвергали широко распространенные плазменные покрытия из порошка марки ПВ-Н85Ю15 на никелевой основе (далее просто ПВ), а также из порошковой композиции на железной основе, состоящей из 10% по массе порошка интерметаллида марки ПВ-Н85Ю15, 10% самофлюсующего порошкового сплава ПР-НХ17СР4, остальное – железный порошок ПЖРВ 2.200.26 (далее просто ПЖ). Твердость покрытий ПВ и ПЖ составляла 25...30 НРС и 40...42 НРС соответственно. Материалы обоих покрытий относятся к интерметаллидным соединениям соответственно систем Ni-Al и Fe-Ni.

Обрабатывали эти покрытия серийными кругами с характеристиками 24AF46N6V и 64CF46N6V формы 1 600x25x305 ГОСТ P52781-2007. Режимы шлифования: скорость резания  $V_p = 35$  м/с, скорость продольной подачи  $S_{прод} =$

425 мм/мин, скорость вращения детали  $V_d = 19$  м/мин и глубина резания  $t = 0,01$  мм/дв. ход.

Для оценки технологической эффективности СОЖ использовали следующие критерии: состояние рабочей поверхности круга и отдельных зерен; период стойкости  $T$ , мин, абразивного круга, определяемый по появлению следов дробления или прижогов на шлифованной поверхности покрытий; коэффициент шлифования по объему  $K_{ш}$ , мм<sup>3</sup>/мм<sup>3</sup>; коэффициент режущей способности абразивного круга  $K_p$ , мм<sup>3</sup>/мин·Н; удельную мощность шлифования  $K_N$ , Вт·мин/мм<sup>3</sup>; комплексный критерий  $K_m$ , мм<sup>3</sup>/мин·Вт·мкм; параметр шероховатости шлифованных образцов  $Ra$ , мкм. Кроме того, контролировали интенсивность засаливания  $C_3$ , мг/см<sup>2</sup>·мин, абразивного инструмента (АИ) при шлифовании покрытия ПЖ.

Результаты испытаний представленных СОЖ при круглом наружном продольном шлифовании плазменных покрытий показаны в табл. 1.

Из данных этой таблицы видно, что при шлифовании всухую (состав №1) покрытий ПВ и ПЖ кругами из 24А и 64С были получены минимальные значения периода стойкости АИ. Низкая технологическая эффективность состава №1 объясняется существующей картиной протекания износа этих кругов, полученной по результатам наблюдений за их поверхностью и отдельными зернами в процессе их изнашивания, а также анализа микрофотографий.

При шлифовании всухую покрытия ПВ кругом из 24А в начальный период шлифования на АИ образуется площадка износа, покрытая налипшим металлом. С течением времени на этой площадке появляются микротрещины, что в дальнейшем приводит к сколам и вырывам отдельных микрообъемов зерна. Шлифование в таких условиях осуществляется с наибольшими энергозатратами и максимальной силовой напряженностью (табл. 1).

Таблица 1

Усредненные показатели продольного шлифования плазменных покрытий с использованием различных СОЖ на первом этапе исследований

| № СОЖ   | $T$ , мин | Составляющие силы шлифования, Н |        | $Ra$ , мкм | $K_{ш}$ , мм <sup>3</sup> /мм <sup>3</sup> | $K_N$ , Вт·мин/мм <sup>3</sup> | $K_p$ , мм <sup>3</sup> /мин·Н | $K_m$ , мм <sup>3</sup> /мин·Вт·мкм | $C_3$ , мг/см <sup>2</sup> |
|---|-----------|---------------------------------|--------|------------|--|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
|   |           | $P_{вх}$                        | $P_г$  |            |  |                                |                                |                                     |                            |
| <i>Результаты, полученные при шлифовании покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 24AF46N6V</i> |           |                                 |        |            |  |                                |                                |                                     |                            |
| №1  | 3,3/9,3   | 161/132                         | 85/62  | 0,17/0,24  | 1,8/5,1                                    | 81,2/57,6                      | 2,2/2,8                        | 0,075/0,074                         | - /6,7·10 <sup>-3</sup>    |
| №2  | 5,3/11    | 134/117                         | 76/54  | 0,21/0,25  | 2,2/5,3                                    | 80,4/49,6                      | 2,4/3,2                        | 0,060/0,080                         | - /5,7·10 <sup>-3</sup>    |
| №3  | 5,8/11,9  | 131/118                         | 74/54  | 0,16/0,25  | 2,4/5,5                                    | 78,3/42,8                      | 2,6/3,4                        | 0,081/0,079                         | - /5,3·10 <sup>-3</sup>    |
| №4  | 4,1/7,4   | 112/115                         | 30/28  | 0,31/0,31  | 4,0/5,8                                    | 37,7/31,8                      | 2,5/2,6                        | 0,085/0,102                         | - /5,1·10 <sup>-3</sup>    |
| №5  | 7,6/16    | 126/111                         | 68/55  | 0,17/0,24  | 3,7/6,9                                    | 65,7/51,5                      | 2,8/3,2                        | 0,088/0,083                         | - /4,3·10 <sup>-3</sup>    |
| №6  | 6,9/14    | 108/112                         | 61/49  | 0,15/0,21  | 4,2/7,2                                    | 59,1/45,5                      | 3,3/3,3                        | 0,117/0,103                         | - /4,9·10 <sup>-3</sup>    |
| <i>Результаты, полученные при шлифовании покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 64CF46N6V</i> |           |                                 |        |            |  |                                |                                |                                     |                            |
| №1  | 0,67/36   | 142/116                         | 51/56  | 0,10/0,24  | 0,53/30,4                                  | 48,3/52,6                      | 2,5/3,1                        | 0,146/0,080                         | - /0,61·10 <sup>-3</sup>   |
| №2  | 3,0/47    | 153/112                         | 111/51 | 0,16/0,30  | 1,8/37,4                                   | 133,0/46,8                     | 1,9/3,3                        | 0,048/0,070                         | - /0,53·10 <sup>-3</sup>   |
| №3  | 3,1/48    | 155/109                         | 113/51 | 0,17/0,35  | 2,0/41,4                                   | 126,3/49,9                     | 2,0/3,2                        | 0,046/0,057                         | - /0,51·10 <sup>-3</sup>   |
| №4  | 2,1/50    | 153/112                         | 61/30  | 0,22/0,39  | 2,3/62,0                                   | 69,5/28,9                      | 2,0/3,2                        | 0,065/0,088                         | - /0,49·10 <sup>-3</sup>   |
| №5  | 4,4/59    | 157/111                         | 95/49  | 0,16/0,31  | 2,2/32,4                                   | 104,5/47,1                     | 2,0/3,2                        | 0,058/0,068                         | - /0,47·10 <sup>-3</sup>   |
| №6  | 3,7/56    | 148/103                         | 96/40  | 0,13/0,31  | 2,5/35,6                                   | 108,2/33,5                     | 2,1/4,0                        | 0,071/0,096                         | - /0,46·10 <sup>-3</sup>   |

При шлифовании всухую покрытия ПВ кругом из 64С происходят интенсивное налипание металла на вершины зерен и достаточно большой объемный износ этого инструмента, о чем свидетельствуют минимальные значения стойкости  $T = 0,67$  мин и коэффициента шлифования  $K_{ш} = 0,53$  мм<sup>3</sup>/мм<sup>3</sup>. Образование больших налипков на зернах карбида приводит к увеличению силы трения, что ведет к интенсивному микровыкрашиванию абразивных зерен (АЗ), о чем свидетельствует большое количество зерен и даже целых их блоков, обнаруженных в отходах шлифования.

Микровыкрашивание и разрушение АЗ приводит к постоянному обновлению режущей поверхности ШК. Поэтому шлифование всухую покрытия ПВ кругом из 64С сопровождается наименьшими энергозатратами и минимальной силовой напряженностью.

При шлифовании всухую покрытия ПЖ кругами из 24А и 64С наблюдается наибольшая интенсивность их засаливания. Однако при этом значение  $C_3$  для круга из 64С почти в 10 раз меньше по сравнению с кругом из 24А, что объясняется более высокой адгезионно-химической активностью последнего по отношению к покрытию ПЖ. Высокая интенсивность засаливания кругов из 24А и 64С при шлифовании всухую покрытия ПЖ вызывает наибольшие энергозатраты и минимальные значения показателя  $K_m$  и коэффициентов  $K_{ш}$  и  $K_p$ .

Применение состава №1 позволяет получить малые значения параметра  $Ra$  шероховатости шлифованных поверхностей при обработке как покрытия ПВ, так и покрытия ПЖ кругами из 24А и 64С. Низкую шероховатость обработанных покрытий при их шлифовании всухую можно объяснить интенсивными адгезионными процессами. С увеличением степени засаливания режущих кромок АЗ в контакте круг-покрытие начинают усиливаться процессы деформирования металла. Абразивные зерна с налипшим металлом на режущих кромках начинают выступать в роли «микророликов», деформируя и выглаживая обработанную поверхность, что в свою очередь вызывает возрастание времени выхаживания.

При охлаждении водой (состав №2) интенсивность налипания металла на вершины зерен по сравнению со шлифованием всухую заметно уменьшилась. Так, например, при шлифовании покрытия ПЖ кругами из 24А и 64С с использованием состава №2 интенсивность засаливания этих инструментов снизилась соответственно на 18 и 15%. Очевидно, действие воды заключается в механическом удалении образовавшегося налива.

При охлаждении водой на электрокорундовых зернах налип стал настолько тонким, что сквозь пленку металла хорошо просматривается рельеф площадки износа, покрытой микросколами и частицами покрытия. Шлифование кругом из 24А с использованием в качестве СОЖ водопроводной воды повышает период стойкости АИ и коэффициент шлифования в 1,6 и 1,2 раза соответственно при обработке покрытия ПВ и в 1,2 и 1,1 раза при обработке покрытия ПЖ.

Добавление в водопроводную воду присадки  $K_3PO_4$  (состав №3) существенно не изменяет охлаждающих свойств среды, но значительно

увеличивает ее противадгезионную способность. Присадка, вступая во взаимодействие с ювенильными поверхностями покрытий, образует в зоне резания изолирующую пленку, уменьшая возможность непосредственного контакта абразивного материала с обрабатываемым покрытием, вследствие чего повышается период стойкости кругов и уменьшается их износ, что подтверждается ростом коэффициента шлифования.

Наиболее осязаемое действие присадка оказывает на зерна электрокорунда при шлифовании покрытия ПВ, почти полностью предотвращая налипание на них металла, и в меньшей степени на зерна карбида кремния при шлифовании этого же покрытия, что можно объяснить различной адгезионной и химической активностью указанных абразивных материалов к покрытию ПВ. Электрокорунд является более инертным абразивом по отношению к покрытию ПВ, поэтому действие химической присадки оказывается достаточной для нейтрализации взаимодействия материала покрытия с этим абразивом. Карбид кремния в этом отношении значительно уступает электрокорунду.

При использовании масляной СОЖ (состав №4) шлифование кругами из 24А и 64С осуществляется с наименьшими энергозатратами и силовой напряженностью при обработке как покрытия ПВ, так и покрытия ПЖ. Однако следует отметить, что этот результат получен при существенно меньших значениях периода стойкости, что, по нашему мнению, объясняется недостаточным вымыванием стружки и выкрошившихся абразивных частиц с поверхности заготовки и инструмента, вследствие чего происходит засаливание зерен инструмента и, соответственно, потере их режущей способности. При подаче в зону шлифования масляной СОЖ была зафиксирована низкая интенсивность изнашивания абразивных кругов. Применение состава №4 характеризуется высоким значением параметра  $Ra$  и малой величиной коэффициента режущей способности  $K_p$ .

Наилучшие результаты по технологической эффективности имеют составы №5 и №6, позволяющие получить максимальные периоды стойкости кругов. При шлифовании покрытия ПЖ с подачей в зону резания продуктов ПОА-2м и ЭПМ-1ш периоды стойкости АИ возрастали более чем в 2 раза при шлифовании кругом из 24А и более чем в 13 раз при обработке кругом из 64С.

Как видно из приведенных данных, состав №5 по достигаемой величине периода стойкости имеет некоторое преимущество по сравнению с составом №6. Эффект повышения стойкости круга при использовании продукта ПОА-2м можно объяснить локальным выпадением полимера из раствора в зоне обработки и образованием молекулярного защитного слоя между поверхностью круга и детали.

Однако подача в зону шлифования состава №6 обеспечивает меньшую интенсивность изнашивания рабочей поверхности абразивных кругов, о чем свидетельствуют большие значения коэффициента шлифования. При оценке технологической эффективности по коэффициентам  $K_p$  и  $K_m$  также выявляются преимущества состава №6. По параметру  $Ra$  и интенсивности засаливания кругов  $C_3$  составы №5 и №6 обеспечивали близкие значения.

Очевидно, для практических целей оценка СОЖ по одному критерию неприемлема, а по нескольким критериям одновременно затруднен выбор рационального состава жидкости. Однако можно избежать затруднения, если использовать рейтинговый метод оценки результатов испытаний [4]. В табл. 2 представлены результаты оценки испытаний при ранжировании составов СОЖ по важнейшим критериям: периоду  $T$  стойкости круга, коэффициентам шлифования по объему  $K_{ш}$  и комплексному критерию  $K_{м}$ , характеризующим силовую напряженность процесса, производительность и шероховатость шлифованных поверхностей. Число баллов, характеризующее каждый критерий, равно единице для состава, имеющего по данному критерию наименьшую технологическую эффективность и максимальное значение для СОЖ, показавшей лучшие результаты.

Из табл. 2 видно, что при шлифовании покрытия ПВ кругом из 24А к лучшей СОЖ относится эмульсол ЭПМ-1ш (17 баллов), а при обработке этим же кругом покрытия ПЖ наибольшую технологическую эффективность показали составы №5 и №6 (16 баллов).

Таблица 2

Рейтинговая оценка различных СОЖ при шлифовании плазменных покрытий на первом этапе исследований

| Составы СОЖ   | Число баллов, характеризующих критерии |                      |  | Суммарное число баллов |
|---|--|----------------------|--|------------------------|
|   | периода стойкости $K_T$                | износа круга $K_{ш}$ | силовой напряженности и качества $K_{м}$ |                        |
| <i>Результаты, полученные для покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе при шлифовании кругом 24AF46N6V</i> |  |                      |  |                        |
| №1  | 1/2                                    | 1/2                  | 2/1                                      | 4/5                    |
| №2  | 3/3                                    | 2/4                  | 1/3                                      | 6/10                   |
| №3  | 4/4                                    | 3/2                  | 3/2                                      | 10/8                   |
| №4  | 2/1                                    | 5/2                  | 4/5                                      | 11/8                   |
| №5  | 6/6                                    | 4/6                  | 5/4                                      | 15/16                  |
| №6  | 5/5                                    | 6/5                  | 6/6                                      | 17/16                  |
| <i>Результаты, полученные для покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе при шлифовании кругом 64CF46N6V</i> |  |                      |  |                        |
| №1  | 1/1                                    | 1/1                  | 6/4                                      | 8/6                    |
| №2  | 3/2                                    | 2/4                  | 2/3                                      | 7/9                    |
| №3  | 4/3                                    | 3/5                  | 1/1                                      | 8/9                    |
| №4  | 2/4                                    | 5/6                  | 4/5                                      | 11/15                  |
| №5  | 6/6                                    | 4/2                  | 3/2                                      | 13/10                  |
| №6  | 5/5                                    | 6/3                  | 5/6                                      | 16/14                  |

При шлифовании покрытия ПВ кругом из 64С максимальное число баллов имеет состав №6 (16 баллов), а шлифование покрытия ПЖ этим же инструментом наиболее эффективно при использовании состава №4 (15 баллов).

Ранговый критерий оценки можно использовать также и для выбора универсальных СОЖ, предназначенных для шлифования плазменных покрытий различных типов кругами из электрокорундов и карбидов кремния (табл. 3).

Ранговый критерий оценки для выбора универсальной  
СОЖ на первом этапе исследований

| Составы<br>СОЖ | Суммарное число баллов при обработке плазменных покрытий |                    |   |
|----------------|--|--------------------|---|
|                | на никелевой основе                                      | на железной основе | из обоих испытанных покрытий кругами из 24А и 64С |
| <b>№1</b>      | 12   | 11                 | 23  |
| <b>№2</b>      | 13   | 19                 | 32  |
| <b>№3</b>      | 18   | 17                 | 35  |
| <b>№4</b>      | 22   | 23                 | 45  |
| <b>№5</b>      | 28   | 26                 | 54  |
| <b>№6</b>      | 33   | 30                 | 63  |

Из табл. 3 видно, что наиболее универсальной для шлифования плазменных покрытий на никелевой и железной основе кругами из электрокорундов и карбидов кремния является СОЖ на основе эмульсола ЭПМ-1ш (63 балла). Хорошие результаты получены также при использовании СОЖ на основе концентрата ПОА-2м (54 балла).

#### Список литературы

1. Черноиванов, В.И. Организация и технология восстановления деталей машин. 2-е изд., доп. и перераб. / В.И. Черноиванов, В.П. Лялякин. М.: ГОСНИТИ, 2003. 488 с.
2. Носенко, В.А. Роль охлаждающих свойств среды в изнашивании абразива / В.А. Носенко, Г.А. Саютин // Научно-тех. реферат. сб. «Абразивы», 1979, №3. С. 6-7.
3. Алексеев, Н.С. Шлифование плазменных покрытий на никелевой и железной основе / Н.С. Алексеев, С.В. Иванов, В.А. Капорин // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: В 2 ч. Часть 1: Материалы 16-й Международной науч.-практ. конф.: СПб.: Изд-во Политехн-го ун-та, 2014. С.181-187.
4. Киселев, Е.С. Современные смазочно-охлаждающие жидкости / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин, З.С. Курзанова, М.А. Кузнецова // Вестник машиностроения, 1996, №7. С. 30-34.

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДВОДИМЫХ ДОМКРАТОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НЕЖЕСТКИХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ**

А.В. Балашов, А.А. Верховская, Т.Г. Светлова, И.С. Потапов  
*ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

Рассмотрены особенности разработки подводимых самоустанавливающихся домкратов для установки нежестких корпусных деталей, основанные на принципах поискового конструирования. Приведены конструкции самоустанавливающихся домкратов с автоматической фиксацией подводимых опор, полученных в результате комбинаторного синтеза.

*Ключевые слова: нежесткие корпусные детали, подводимые домкраты, поисковое конструирование, обработка резанием.*

## **UPGRADE OF THE INPUT JACKS FOR PRODUCTION OF NONRIGID BOGY COMPONENTS**

A.V. Balashov, A.A. Verkhovskaya, T.G. Svetlova, I.S. Potapov

*Altai State Technical University after I.I. Polzunov, Barnaul*

**Abstract:** The paper deals with the development peculiarities of input swivel jacks for installation of nonrigid body components based on research designing. The work contains swivel jack designs with automatic locking of an input support system obtained as a result of combinatory synthesis.

**Key-words:** *nonrigid body components, the input jacks, research designing, cutting.*

Основной причиной технологических трудностей обеспечения показателей качества при обработке нежестких деталей являются сравнительно высокие деформации на всех стадиях обработки. В свою очередь, упругие деформации приводят к погрешностям формы и размеров деталей, ограничению режимов резания. Для повышения жесткости при обработке нежестких корпусных деталей в станочных приспособлениях используют систему подводимых домкратов. Основным недостатком таких станочных приспособлений является значительное время на подготовку производства, обусловленное необходимостью настройки подводимых домкратов на каждую заготовку и их ручную фиксацию.

Сокращение времени на подготовку производства становится возможным с применением гибкой системы подводимых домкратов, обеспечивающих самоустановку и их автоматическую фиксацию домкратов. Для эффективного конструирования такой технологической оснастки целесообразно использовать методологию поискового конструирования, позволяющую значительно интенсифицировать поисковые работы [1, 2, 3]. Поиск решений в соответствии с данной методологией основывается на следующих этапах:

1. Предварительная постановка задачи;
2. Уточненная постановка задачи;
3. Поиск технических решений с применением методов поискового конструирования (эвристических приемов, морфологического анализа и синтеза технических решений, мозговой атаки и т.д.).

Рассмотрим последовательно реализацию данных этапов применительно к поиску технических решений, касающихся вопросов конструирования гибкой системы подводимых домкратов станочных приспособлений для обработки нежестких деталей.

Этап предварительной постановки задачи предусматривает ряд операций, включающих в себя: описание проблемной ситуации с указанием путей ее устранения; описание функции (назначения) технического объекта; выбор прототипа и формирование списка требований; составление списка недостатков

прототипов; предварительная формулировка задачи, кратко обобщающая результаты, полученные при выполнении предыдущих операций.

Описание функции технического объекта содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность.

Описание функции можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H), \quad (1)$$

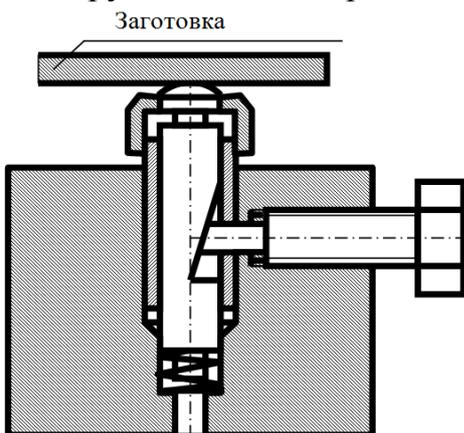
где D – указание действия, производимого рассматриваемым объектом и приводящего к желаемому результату; G – указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D; H – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие.

Для рассматриваемой проблемной ситуации, описание и пути решения которой приведены в начале статьи, описание функции выглядит следующим образом: **«Приспособление, содержащее гибкую систему домкратов (P), позволяющих повысить жесткость технологической системы, устанавливает (базирует и закрепляет) (D) нежесткую заготовку корпусной детали (G) с автоматической настройкой фиксацией подводимых опор (H).**

В описании проблемной ситуации часто указывают прототипы, которые требуется усовершенствовать. При выборе прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, международную классификацию изобретений, патентные описания, справочники, техническую литературу и т.п.

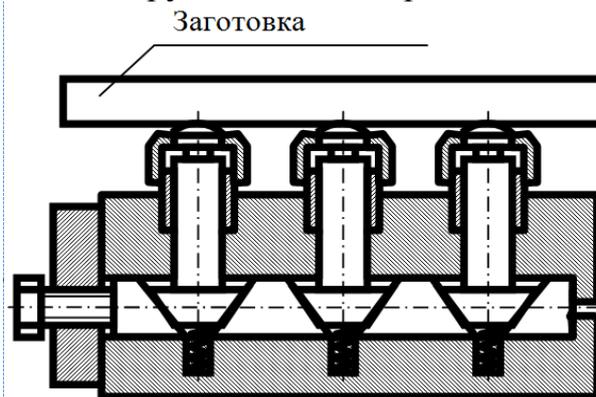
В качестве прототипов были выбраны самоустанавливающийся пружинный домкрат и блок самоустанавливающихся пружинных домкратов (рис. 1).

а) Самоустанавливающийся пружинный домкрат



Применяют для крепления нетяжелых и нежестких заготовок

б) Блок самоустанавливающихся пружинных домкратов



Применяют для подвода нескольких опор, расположенных на одной линии. В установленном положении опоры закрепляются болтом

Рис. 1. Эскизы прототипов

Недостатками прототипов являются: низкая производительность обработки, обусловленная дополнительными затратами времени на фиксацию

опор вручную до начала обработки; ограниченные технологические возможности, обусловленные расположением подводимых опор на одной линии (прототип №2), что препятствует установке в приспособлении деталей сложной конфигурации.

Предварительная формулировка задачи содержит две части: «дано» и «требуется». Такое обобщение дает комплексное и легко обозримое представление о задаче.

**Дано:** Приспособление, содержащее гибкую систему домкратов, позволяющих повысить жесткость технологической системы, устанавливает (базирует и закрепляет) нежесткую заготовку корпусной детали с автоматической настройкой фиксацией подводимых опор. При этом применение известных приспособлений не позволяет достичь высокой производительности обработки, так как необходимы дополнительные затраты времени на фиксацию опор вручную до начала обработки.

**Требуется** так изменить существующие приспособления, чтобы:

1) Приспособление с установленными в нем подводимыми домкратами позволяло устанавливать и фиксировать опоры автоматически;

2) Подводимая опора должна быть компактной, а ее конструкция и физический принцип действия должны позволять произвольное расположение в корпусе в зависимости от конфигурации нежесткой детали.

Уточненная постановка задачи предусматривает анализ функций прототипов и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Анализ функций прототипа осуществляется через построение конструктивной функциональной структуры.

Приведем пример построения конструктивной функциональной структуры для самоустанавливающегося пружинного домкрата (прототип №1).

Построение конструктивной функциональной структуры проводится в следующей последовательности:

1) Разделение технического объекта на элементы;

2) Описание функций элементов;

3) Построение конструктивной функциональной структуры.

Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименование элементов технического объекта и окружающей среды, а ребрами функции элементов.

В таблице 1 приведены конструктивные элементы пружинного домкрата и выполняемые ими функции, а на рисунке 2 – конструктивная функциональная структура домкрата.

Корректировка (улучшение) функциональной структуры обеспечивается благодаря: поиску новых функциональных элементов, обеспечивающих устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества технического объекта; исключению элементов для устранения недостатков прототипа; поиску элементов, которые целесообразно исключить и передать их функции другим элементам; поиску многофункциональных элементов, функций которых целесообразно разделить

и ввести вместо одного два и более элементов. При корректировке структуры могут предлагаться новые физические принципы действия, с помощью которых становится возможным устранение недостатков прототипов или повышение их эффективности.

Таблица 1

Конструктивные элементы пружинного домкрата  
и выполняемые ими функции

| Элемент  |                            | Функция   |  |
|--|----------------------------|---|--|
| Обознач.   | Наименование               | Обознач.  | Описание   |
| E <sub>0</sub>                                       | Домкрат пружинный          | F <sub>0</sub>  | Повышает жесткость заготовки (V <sub>1</sub> ), установленной в приспособление   |
| E <sub>1</sub>                                       | Корпус                     | F <sub>1</sub> <sup>1</sup><br>F <sub>1</sub> <sup>2</sup><br>F <sub>1</sub> <sup>3</sup>   | Базирует втулку (E <sub>5</sub> )<br>Базирует и перемещает болт (E <sub>32</sub> )<br>Базирует пружину (E <sub>4</sub> )   |
| E <sub>2</sub>                                       | Подводимая опора           | F <sub>2</sub> <sup>1</sup><br>F <sub>2</sub> <sup>2</sup>                                  | Повышает жесткость заготовки (V <sub>1</sub> ), установленной в приспособление<br>Размещает крышку (E <sub>6</sub> )   |
| E <sub>3</sub><br>E <sub>31</sub><br>E <sub>32</sub> | Фиксатор<br>Сухарь<br>Болт | F <sub>3</sub> <sup>1</sup><br>F <sub>31</sub> <sup>1</sup><br>F <sub>32</sub> <sup>1</sup> | Фиксирует подводимую опору (E <sub>2</sub> )<br>Фиксирует подводимую опору (E <sub>2</sub> )<br>Передает воздействие гаечного ключа (V <sub>2</sub> ) на сухарь (E <sub>31</sub> ) |
| E <sub>4</sub>                                       | Пружина                    | F <sub>4</sub> <sup>1</sup>   | Поджимает подводимую опору (E <sub>2</sub> ) к заготовке (V <sub>1</sub> )   |
| E <sub>5</sub>                                       | Втулка                     | F <sub>5</sub> <sup>1</sup><br>F <sub>5</sub> <sup>2</sup><br>F <sub>5</sub> <sup>3</sup>   | Защищает корпус (E <sub>1</sub> ) от износа<br>Направляет движение подводимой опоры (E <sub>2</sub> )<br>Размещает крышку (E <sub>6</sub> )  |
| E <sub>6</sub>                                       | Крышка                     | F <sub>6</sub> <sup>1</sup>   | Препятствует проникновению пыли и стружки в зазор между втулкой (E <sub>5</sub> ) и опорой подводимой (E <sub>2</sub> )  |

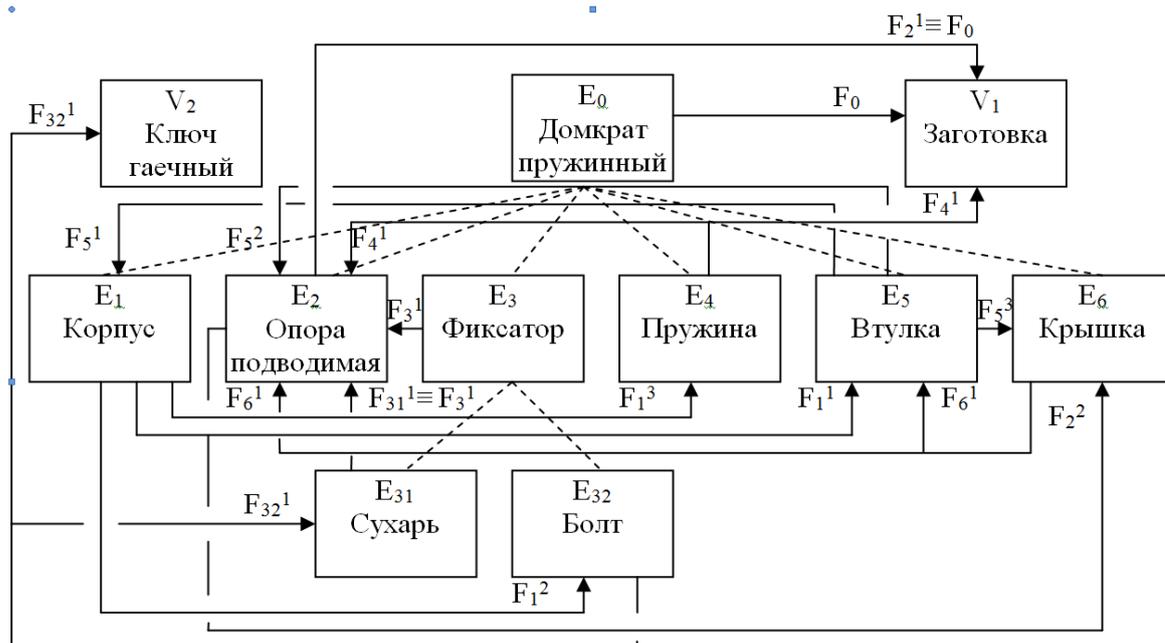


Рис. 2. Конструктивная функциональная структура домкрата

На этапе уточненной постановки задачи могут предлагаться множество улучшенных конструктивных функциональных структур и вариантов их реализации. Фактически на этом этапе определяется перечень необходимых и достаточных функций, которыми должен обладать технический объект, предлагается список физических принципов действия, которые способны реализовывать функции, уточняется список недостатков, подлежащих устранению. По форме представления уточненная постановка задачи не отличается от предварительной постановки, отличие наблюдается только в расширенном ее содержании.

Материальная реализация функций с учетом результатов предыдущих этапов конструирования осуществляется на третьем этапе – этапе поиска технических решений с применением методов поискового конструирования. Приведем пример реализации методики поискового конструирования посредством синтеза технических решений (ТР) на И-ИЛИ графе.

Суть метода состоит в том, что информацию о прототипах и известных ТР представляют и записывают в виде связного графа. На основе И-ИЛИ – графа ТР и общего списка требований разрабатывается модель оценки синтезированных ТР, которая позволяет сравнивать различные варианты ТР, выбирать ТР, удовлетворяющие заданному списку требований, а также получать наилучшие ТР.

Граф  $G(X, U)$  включает в себя два типа множеств: множество вершин  $X$  и множество ребер  $U$ . Вершины графа описывают элементы и признаки ТР, выявленные в результате предварительных исследований. Ребра показывают иерархическую соподчиненность между элементами и признаками, а также принадлежность признаков элементам.

Множество вершин  $X$  состоит из пары подмножеств  $X_1$  и  $X_2$ . Вершины подмножества  $X_1$  называются И-вершинами; они представляют собой элементы технических объектов, общие для всех ТР. Подмножество  $X_2$  составляют ИЛИ-вершины, которые объединяют альтернативные элементы и признаки, учитывающие особенности каждого из ТР. Особенности построения И-ИЛИ – графа подробно рассмотрены в [1].

И-ИЛИ-граф в первую очередь представляет интерес как средство компактного представления и хранения информации о многих известных ТР, полученных по результатам патентного поиска и из литературных источников

Однако И-ИЛИ – графы, построенные на основе только известных ТР, часто содержат мало новых патентоспособных решений. Поэтому необходимо обеспечить расширение множества возможных технических решений. Такое расширение может осуществляться с помощью метода и фонда эвристических приемов [1].

На рисунке 3 представлен И-ИЛИ граф конструкций пружинных домкратов с учетом расширения множества возможных ТР. Структура И-ИЛИ – графа не является закрытой. Она предполагает свое дальнейшее дополнение по мере накопления новой информации по интересующей тематике.

При формировании модели оценки технических решений, содержащихся в И-ИЛИ-графе, достаточно провести оценку элементов и признаков,

соответствующих только висячим вершинам. Фрагмент матрицы соответствий основных элементов, используемых при создании конструкций пружинных домкратов, приведен в таблице 2, где висячие вершины И-ИЛИ-графа оценивалась по пятибалльной системе оценок, приведенной в таблице 3.

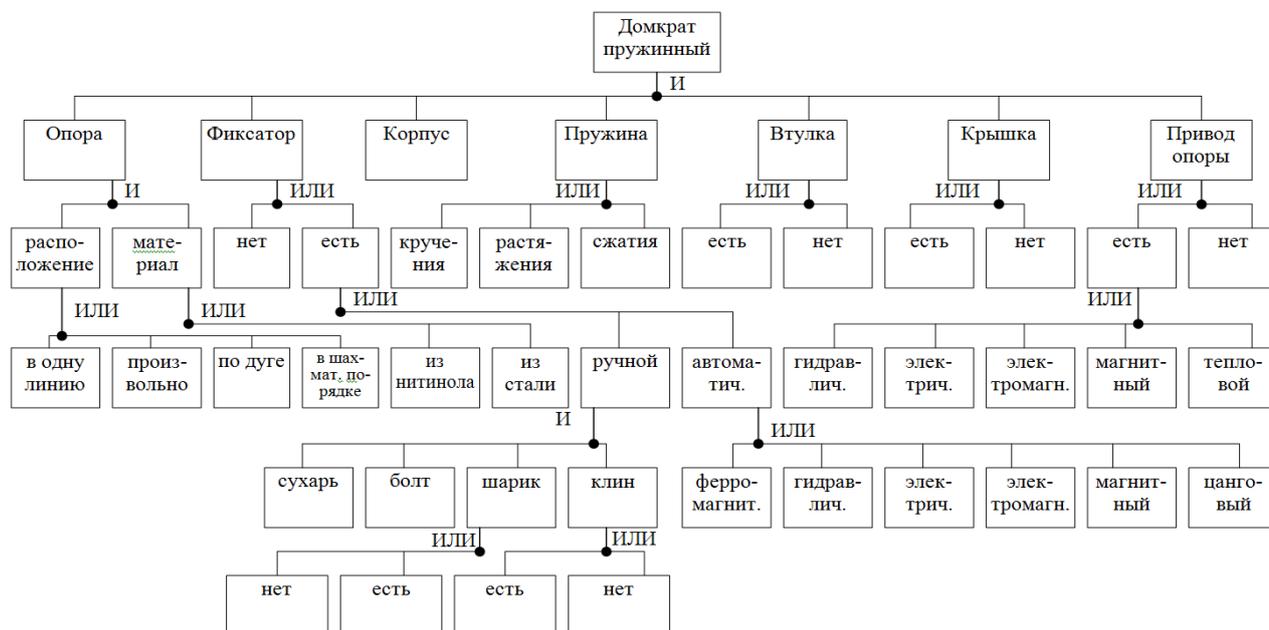


Рис. 3. Расширенный И-ИЛИ граф пружинных домкратов

Таблица 2

Матрица соответствия (фрагмент)

| Элемент                 |                  | Требование         |                    |                             |   |
|-------------------------|------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|---|
|                         |                  | Производительность | Стоимость домкрата | Технологичность конструкции | Возможность установки в сборно-разборное приспособление |
| Привод                  | Тепловой         | 3                  | 2                  | 5                           | 5   |
|                         | Магнитный        | 4                  | 4                  | 4                           | 5   |
|                         | Электромагнитный | 5                  | 3                  | 3                           | 3   |
|                         | Электрический    | 5                  | 4                  | 3                           | 2   |
|                         | Гидравлический   | 5                  | 3                  | 2                           | 2   |
|                         | Отсутствует      | 2                  | 5                  | 5                           | 5   |
| Фиксатор автоматический | Цанговый         | 5                  | 5                  | 5                           | 5   |
|                         | Магнитный        | 5                  | 4                  | 4                           | 5   |
|                         | Электромагнитный | 5                  | 3                  | 3                           | 3   |
|                         | Электрический    | 5                  | 4                  | 3                           | 2   |

## Система оценок вершин И-ИЛИ дерева

| Оценка | Степень соответствия   |
|--------|--|
| 5      | Вершина отлично соответствует данному требованию                               |
| 4      | Вершина хорошо соответствует данному требованию                                |
| 3      | Вершина удовлетворительно соответствует данному требованию                     |
| 2      | Вершина плохо соответствует данному требованию                                 |
| 1      | Вершина не соответствует требованию, но может быть включена в решение          |
| 0      | Вершина не оценивается по данному требованию, но допускается в составе решений |

После построения матрицы соответствия осуществляется просмотр И-ИЛИ графа и проверка каждой из висячих вершин по ограничениям, прописанным в постановке задачи. Значения показателей для проверки выбирают из матрицы соответствий. На следующем этапе, после того как были отброшены все висячие вершины, не удовлетворяющие требованиям технического задания, производится построение усеченного И-ИЛИ дерева (дерева допустимых технических решений) и производится комбинаторный синтез ТР. Алгоритм синтеза конструкций на И-ИЛИ графе формализован в виде рабочей программы на персональном компьютере. Данная программа работает в среде автоматизированной обучающей системе “АОС Творчество”, созданной на кафедре “Технология машиностроения” Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. В результате синтеза на И-ИЛИ графе генерируются различные конструкции пружинных домкратов (рис. 4).

| ВВОД                             |              | СИНТЕЗ              |  |
|----------------------------------|--------------|---------------------|--|
| <b>ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА</b> |              |                     |  |
| Всего возможно решений           |              | – 397554            |  |
| Синтезировано по заданию         |              | – 122               |  |
| <b>Техническое решение 102</b>   |              |                     |  |
| Домкрат пружинный                |              |                     |  |
| Опора                            |              |                     |  |
|                                  | Расположение | Произвольно         |  |
|                                  | Материал     | Из стали            |  |
|                                  | Фиксатор     | Автоматич. Цанговый |  |
|                                  | Корпус       | Сжатия              |  |
|                                  | Пружина      | Есть                |  |
|                                  | Втулка       | Есть                |  |
|                                  | Крышка       | Есть                |  |
|                                  | Привод опоры | Нет                 |  |

Рис. 4. Экранная форма результатов синтеза технологических решений

Рассмотрим два синтезированных решения.

### **Техническое решение 1.**

Домкрат самоустанавливающийся (рис. 5) содержит корпус 1, в отверстии которого размещены подводимая опора 2, зажимная цанга 3, электромагнит 4 и пружины 5, 6.

Домкрат самоустанавливающийся работает следующим образом. На электромагнит 4 подается напряжение. В результате чего сердечник электромагнита 4 выдвигается и сжимает пружину 4, вызывая раскрепление подводимой опоры 2 из цанги 3. Раскрепленная подводимая опора 2 самоустанавливается по поверхности детали посредством пружины 6. После самоустановки опоры снимается напряжение с электромагнита 4, его сердечник возвращается в исходное положение, а опора автоматически 2 закрепляется с помощью пружины 5 и цанги 3.

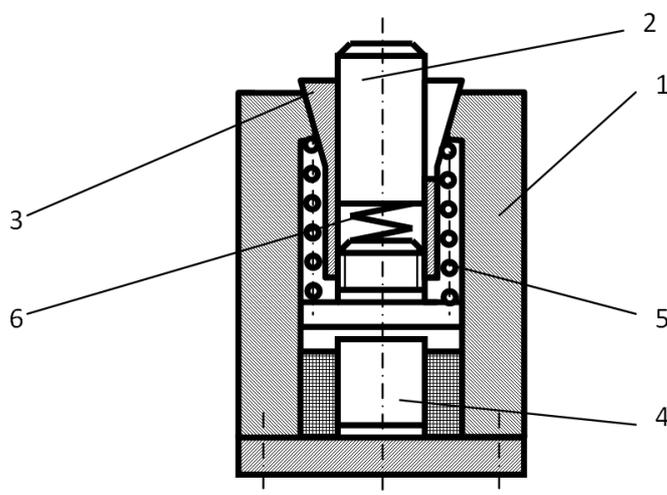


Рис. 5. Домкрат самоустанавливающийся с автоматической фиксацией опоры цангой

### **Техническое решение 2.**

На рисунке 6 приведен пружинный домкрат с электромеханическим приводом подводимой опоры.

Перед началом работы заготовка нежесткой корпусной детали устанавливается в приспособление, опоры 3 которого находятся в исходном положении, соответствующим условиям обработки. В ходе обработки стол станка, на котором установлено приспособление с закрепленным в корпусе 1 фотодиодом (ФД) 7, перемещается относительно станины станка. На станине фиксируется система светодиодов (СД) 10, подключенных через токоограничивающие балластные резисторы (Рб) 12 к источнику питания (Е) 11. При движении стола поток излучения от светодиода 10 попадает на фотодиод, возбуждает в нем фототок, который усиливается усилительно – преобразовательным устройством (УПУ) 9 и преобразуется в напряжение, подаваемое на якорь соответствующего электромагнита 4. Подъем якоря вызывает сжатие упругого элемента 2, и обеспечивается поджим опоры 3 к

поверхности заготовки. Время срабатывания опторной пары фотодиод 7 – светодиод 10 обусловлено расположением светодиодов 10 на станине станка, которое определяется относительным положением режущего инструмента и приспособления.

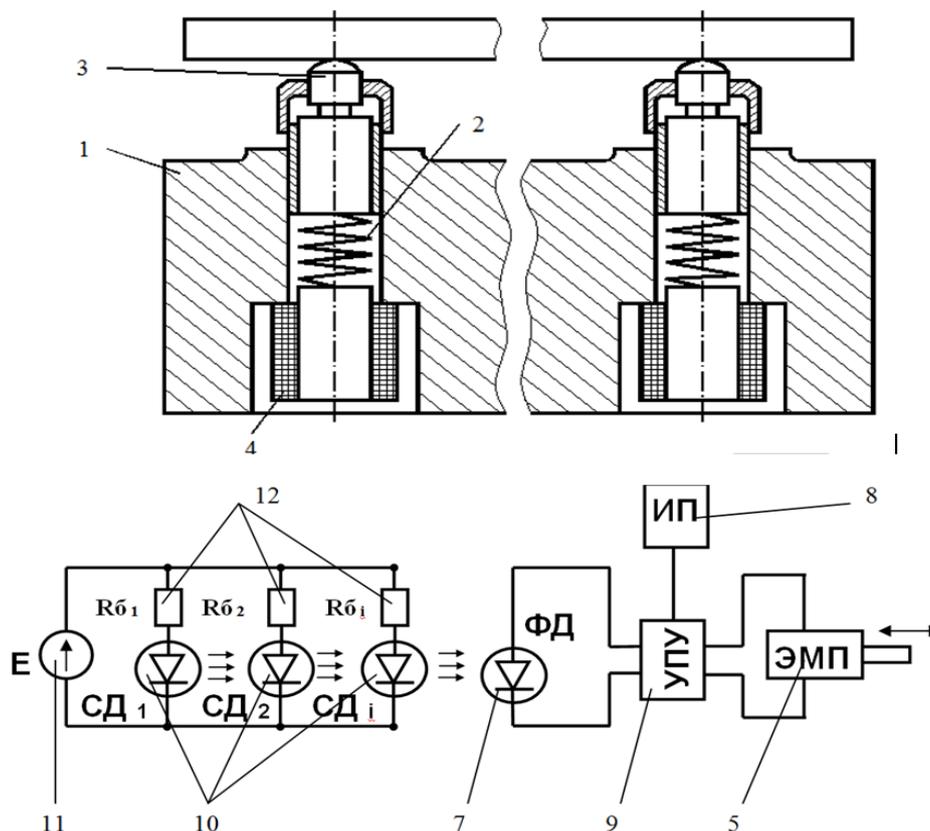


Рис. 6. Пружинный домкрат с электромеханическим приводом подводимой опоры

Управление жесткостью технологической системы достигается за счет регулирования силы прижима опор 3 к поверхности обрабатываемой детали, что обеспечивается подбором жесткости упругих элементов 2 и величиной вылета якоря электромагнитов 4.

На техническое решение получен патент на изобретение Российской Федерации №2240216.

#### Список литературы

1. Половинкин, А.И. Основы инженерного творчества / А.И. Половинкин. М.: Машиностроение, 1988. 368 с., ил.
2. Аскалонова, Т.А. Проектирование технологических систем: учебное пособие / Т.А. Аскалонова, А.В. Балашов и др., под. ред. Е.Ю. Татаркина. Старый Оскол: Изд-во: ТНТ, 2014. 412 с.
3. Аскалонова, Т.А. Подготовка магистерской диссертации: учебное пособие / Т.А. Аскалонова, А.В. Балашов и др., под. ред. Е.Ю. Татаркина. Старый Оскол: Изд-во: ТНТ, 2013. 248 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕДИНИЧНЫХ (ЧАСТНЫХ) ОБЖАТИЙ МЕТАЛЛА В МОНОЛИТНОЙ ВОЛОКЕ

Е.М. Басова, С.В. Герман, М.И. Поксеваткин  
*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

Получена аналитическая зависимость распределения единичных обжатий металла по длине очага деформации монолитной волоки.

**Ключевые слова:** аналитическая зависимость, распределение обжатий, очаг деформации; монолитная волока.

## DETERMINATION OF ONE-TIME REDUCTIONS OF METAL THROUGH A MONOLITHIC DIE

E.M. Basova, S.V. German, M.I. Poksevatkin  
*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The analytical relationship between distributions of one-time reductions of metal in the yield elongation zone of monolithic die has been determined.

**Key words:** analytical relationship, distribution of reductions, elongation zone, monolithic die.

В процессе волочения в монолитной волоке при прохождении металла через очаг деформации заготовка в каждом поперечном сечении подвергается радиальным обжатиям, распределение которых по длине очага деформации характеризует режим волочения и непосредственно связано с профилем деформирующего конуса инструмента.

Применяемые обычно монолитные волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса (рис. 1) создают крайне неблагоприятный режим распределения радиальных обжатий по длине очага деформации, что существенно снижает качество продукции и производительность процесса волочения, повышает износ инструмента.

Основным недостатком монолитных волок является возникновение больших сил трения в калибре волоки, вызывающих повышенные износ калибра и усилия волочения, значительную неравномерность деформации металла заготовки по длине деформирующего конуса с достижением пиковых обжатий в точке на границе деформирующего и калибрующего участков калибра. Поэтому одним из важных направлений улучшения условий формирования сортового профиля в монолитной волоке является определение единичных (частных) обжатий металла в монолитной волоке с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

Принцип определения частных единичных радиальных обжатий, сформулированных в работе [1] применительно к процессу пилигримовой прокатки, может быть использован для расчета обжатий в монолитной волоке с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

Согласно этому принципу для определения единичных обжатий в каком-либо сечении очага деформации необходимо взять другое сечение, удаленное

от первого на расстояние, при котором объем металла заготовки, заключенный между сечениями, равен объему металла, смещаемого за один оборот валков.

Применительно к процессу волочения шаг смещаемого в очаге деформации металла, заключенного между сечениями  $x$  и  $x-\delta$  (рис. 1), предпочтительно взять за единицу времени.

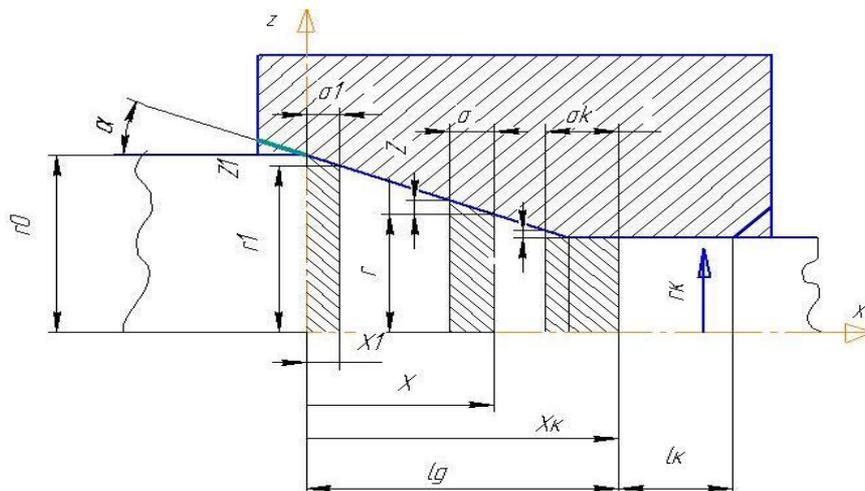


Рис. 1. Продольный профиль очага деформации монолитной волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса

Тогда объем смещаемого металла в единицу времени находят по исходным данным:

$$V_0 = \pi \cdot r_0^2 \cdot V_b, \quad (1)$$

где  $V_0$  – объем смещаемого в единицу времени металла,  $\text{мм}^3/\text{сек}$ ;

$r_0$  – исходный радиус заготовки, мм;

$V_b$  – скорость волочения, мм/сек.

Абсолютное обжатие ( $z$ ) в любом сечении  $x$  (рис. 1) равно:

$$z = \delta \cdot \text{tg } \alpha, \quad (2)$$

где  $\delta$  – шаг смещаемого объема металла в единицу времени, мм;

$\alpha$  – угол конусности деформирующего участка  $l_g$ , мм.

Относительные единичные обжатия ( $\epsilon$ ) в любом сечении  $x$ :

$$\epsilon = z/r, \quad (3)$$

где  $r$  – величина радиуса заготовки в сечении  $x$ , мм.

В любом сечении  $x$  деформируемого участка  $l_g$  (рис. 1) текущие значения радиуса ( $r$ ) заготовки и относительного единичного обжатия ( $\epsilon$ ) равны:

$$r = r_0 - x \cdot \text{tg } \alpha; \quad (4)$$

$$\varepsilon = z / (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha). \quad (5)$$

Объем металла между сечениями  $x$  и  $x-\delta$  ( $V_x$ ) определяется как объем прямого усеченного конуса:

$$V_x = V_0 = \frac{\pi \cdot \delta}{3} [(r+z)^2 + (r+z) \cdot r + r^2]. \quad (6)$$

С учетом формул (2) и (4) выражение (6) примет вид:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot z}{3 \operatorname{tg} \alpha} [(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)^2 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2] \quad (7)$$

Формула (7) с учетом выражения (1) преобразуется в уравнение для определения абсолютных единичных обжатий в любом сечении  $x$  участка  $l_g$  (рис. 1):

$$z = \frac{r_0^2 \cdot V_0 \cdot \operatorname{tg} \alpha}{[z^2/3 + (r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha + z)(r_0 - x \cdot \operatorname{tg} \alpha)]}. \quad (8)$$

Решая уравнение (8), получили данные, которые свидетельствуют о крайне неравномерном распределении единичных обжатий по длине очага деформации; они достигают пиковых значений на границе деформируемого ( $l_g$ ) и калибруемого ( $l_k$ ) участков заготовки (рис. 1).

Рациональное распределение единичных радиальных обжатий может быть достигнуто построением соответствующего продольного профиля деформирующего конуса монолитной волоки на основе равенства единичных радиальных обжатий по длине очага деформации с учетом коэффициента упрочнения деформируемого металла.

#### Вывод

1. Получена аналитическая зависимость для определения единичных радиальных обжатий в любом сечении очага деформации монолитной волоки с прямолинейной образующей деформирующего конуса.

2. Результаты расчетов показали крайне неравномерный характер распределения единичных (частных) обжатий по длине обжимаемого участка заготовки.

#### Список литературы

1. Целиков, А.И. Сталь. Вопросы трубного производства / А.И. Целиков, А.Н. Ирошников. – М.: Металлургиздат, 1940. 162 с.

2. Тетерин, П.К. Определение частных обжатий по длине зоны деформации при планетарно-винтовой прокатке / П.К. Тетерин, Г.П. Тетерин, Д.М. Поксеваткин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – №7. – С. 23-25.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЙ КОРПУСОВ НЕПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ДОРНОВАНИИ

И.С. Буканова, А.С. Григорян, И.И. Ятло  
*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

Представлены результаты экспериментального исследования шероховатости поверхности отверстий корпусов неподвижных соединений типа «корпус-втулка» при совмещении дорнования корпуса с запрессовкой втулки.

**Ключевые слова:** *шероховатость, микропрофиль, дорнование, ленточка, контактное давление.*

## EXPERIMENTAL STUDY OF RUUGHNESS OF THE HOLES MADE BY BURNISHING IN FIXED JOINTS BODIES

I.S. Bukanova, A.S. Grigoryan, I.I. Yatlo  
*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper presents the results of experimental study of holes roughness in the bodies of fixed joints of “body-bush” type when body burnishing is aligned with insertion of the bush.

**Key words:** *roughness, microprofile, burnishing, ribbon, contact pressure.*

Исследовалось изменение характеристик шероховатости поверхностей в зависимости от контактного давления. Экспериментальные исследования проводились на образцах:

корпуса – сталь 45,  $D_0 = 25$  мм,  $D_2/D_0 = 2,8$ ,  $L = 20$  мм.

втулки – бронза БрО5Ц5С5,  $d_2 = 25$  мм,  $d_2/d_0 = 1,25$ ,  $l = 20$  мм.

Сопрягаемые поверхности корпусов и втулок обрабатывались соответственно растачиванием и точением с шероховатостью  $R_a = 2,1 \div 2,3$  мкм. При исследованиях использовался дорн с углом заборного конуса  $\alpha = 4^\circ 30'$  и шириной ленточки  $b = 2$  мм. Параметры шероховатости по ГОСТ 2789-73 стыковых поверхностей образцов снимались с одних и тех же участков до запрессовки втулок и после запрессовки и разрезки корпусов.

Процесс дорнования отверстий сопровождается пластическим деформированием неровностей обрабатываемой поверхности. При этом изменяются параметры шероховатости профиля, которые оказывают существенное влияние на контактную прочность прессовых соединений. Определение величины и характера изменения высоты неровностей при дорновании позволяет прогнозировать прочность прессовых соединений типа «корпус-втулка», полученных при дорновании корпуса с одновременной запрессовкой втулки.

Рассмотрим нагружение неровностей профиля поверхности отверстия нормальной силой, вызванной контактным давлением в зоне цилиндрической ленточки дорна. Шероховатость обрабатываемой поверхности представим в виде набора сфер с одинаковыми радиусами, расположенными на разной

высоте (рис. 1). Поверхность зубьев дорна принимаем за гладкую, так как ее шероховатость соответствует 11-12 классу ( $R_a = 0,04 \dots 0,08$  мкм).

Под действием нормальной нагрузки в зоне цилиндрической ленточки дорна происходит сближение гладкой поверхности дорна с шероховатой поверхностью обрабатываемой детали на величину  $a$  (рис. 1). При этом вершины неровностей, имеющие максимальную высоту  $R_{\max}^k$ , деформируются пластически. Одновременно происходит упругое вдавливание их в полупространство, в котором они расположены. Упругая деформация наиболее высоких выступов, испытавших большую деформацию и несущих большую нагрузку, значительно больше, чем у выступов меньшей высоты. Эти выступы вследствие упругой деформации опускаются вниз на большую величину, чем другие. Таким образом, сближение будет складываться из упругой и пластической составляющих. Высота максимальных выступов под действием нагрузки уменьшается. При снятии нагрузки, т.е. после прохождения цилиндрической ленточки дорна, происходит упругое восстановление на величину  $a_y$  и возникает шероховатость, обусловленная различием упругой деформации выступов.

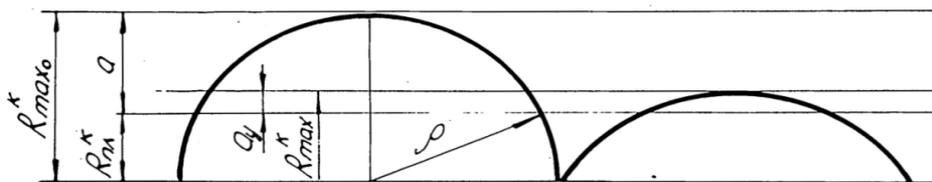


Рис. 1. Деформирование сферической модели шероховатости

В процессе дорнования отверстий под действием контактного давления наблюдается уменьшение высоты исходных неровностей профиля. Это уменьшение тем больше, чем больше контактное давление.

Соответствующие профилограммы приведены на рис. 2. С увеличением контактного давления уменьшаются высотные характеристики шероховатости, повышается относительная опорная длина профиля шероховатости.

На рис. 3 показано изменение высотных и шаговых характеристик шероховатости поверхностей при дорновании отверстий в зависимости от контактного давления  $q_0$  в зоне цилиндрической ленточки дорна, величина которого определялась по аналитическим зависимостям. Как видно из графиков, с увеличением контактного давления высотные характеристики шероховатости  $R_{\max}^k$ , полученные экспериментальным путем (кривая 2), оказались близкими по величине значениям  $R_{\max}^k$ , полученным расчетным путем (кривая 1). Из графиков видно, что расчет величины  $R_{\max}^k$  по аналитическим зависимостям дает достаточно правильные результаты. Некоторое расхождение кривых при контактных давлениях свыше 300 МПа

(на величину порядка  $0,8 \div 1$  мкм) может быть объяснено сдвигом металла микронеровностей в осевом направлении под действием тангенциальных сил.

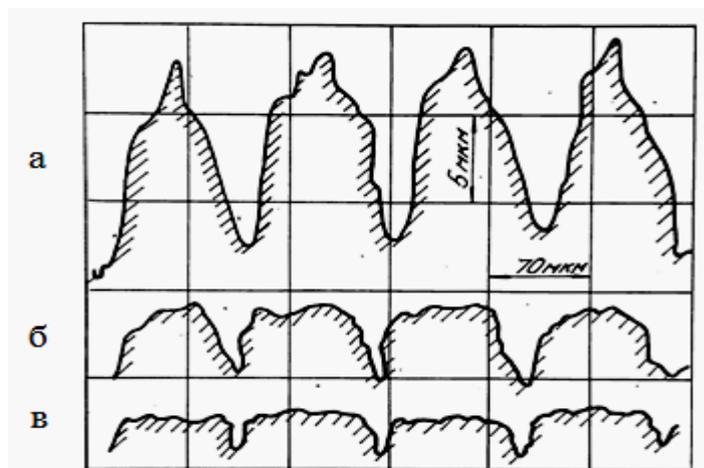


Рис. 2. Типовые профилограммы микронеровностей поверхности после дорнования в зависимости от контактного давления в зоне цилиндрической ленточки дорна:

а –  $q_0 = 0$  МПа; б –  $q_0 = 300$  МПа; в –  $q_0 = 430$  МПа

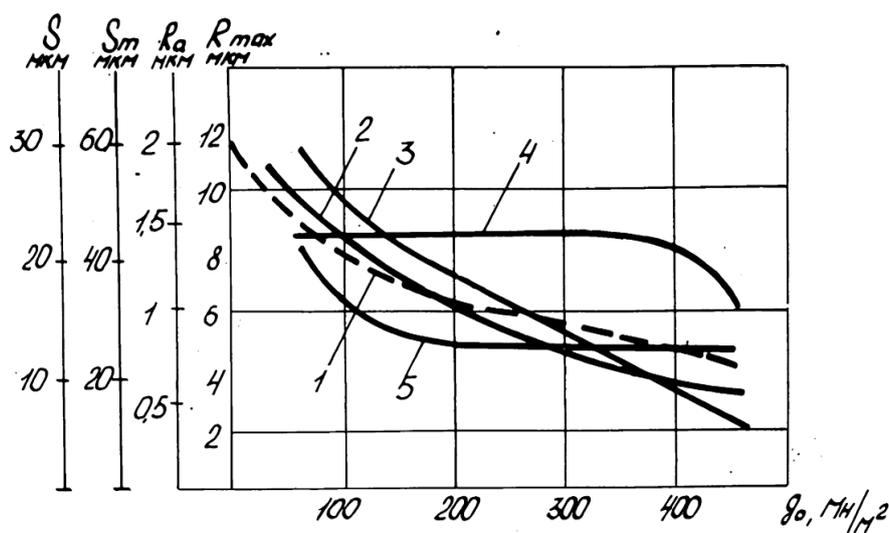


Рис. 3. Изменение высотных и шаговых характеристик шероховатости от контактного давления при дорновании:

1 – расчетное значение  $R_{max}$ ; 2 и 3 – экспериментальные значения  $R_{max}$  и  $R_a$ ; соответственно; 4 – шаг по средней линии –  $S_m$ ; 5 – шаг по вершинам –  $S$

Величина шага по средней линии  $S_m$  с возрастанием контактного давления до 400 МПа практически не меняется. При контактном давлении свыше 400 МПа наблюдается интенсивное уменьшение величины  $S_m$ . Величина шага по вершинам  $S$  интенсивно уменьшается при относительно невысоком контактном давлении, порядка 150 МПа. С дальнейшим увеличением контактного давления

величина  $S$  снижается незначительно. Такое явление может быть объяснено тем, что в местах соприкосновения дорна с микронеровностями поверхности возникает контактное давление, превышающее предел текучести материала корпуса, вследствие чего первоначально деформируются вершины неровностей. При этом вершина сминается и материал затекает в обе стороны от контактной зоны. По данным работы [1], пластическая деформация микронеровностей может начаться от нагрузки  $10^{-5}$  Н при радиусе выступа микронеровностей 0,001 мм, а полная пластичность будет достигнута при  $10^{-3}$  Н.

Если неровность имела одну ярко выраженную вершину, то после деформации она может иметь несколько вершин, выраженных не столь явно. Это видно на профилограммах, приведенных на рис. 2. Так как для деформации вершины микронеровности необходимо небольшое усилие, то величина  $S$  интенсивно изменяется при незначительном контактном давлении. С возрастанием давления деформируется вся микронеровность. Давление от дорна передается материалу микронеровности через контактную поверхность. По данным работы [1] под контактными поверхностями образуются клинья упрочненного металла (пластически деформированные вершины). Они имеют повышенную твердость и поэтому выполняют роль своеобразных «пуансонов», деформирующих прилегающий к ним металл. Металл, смежный со стороны клиньев упрочненного металла, течет в направлении наименьшего сопротивления, то есть к свободным поверхностям микронеровностей и их основаниям. Наряду с осадкой микронеровностей имеет место течение металла из глубины к поверхности. При этом микронеровности утолщаются, заполняя металлом впадины.

На рис. 4 приведены графические зависимости изменения относительной опорной длины профиля поверхности при дорновании отверстий с различными натягами. Кривая 1 характеризует опорную длину профиля микронеровностей поверхности отверстий после растачивания. Кривые 2 и 3 характеризуют относительную опорную длину профиля этой же поверхности после дорнования с натягом 0,074 мм и 0,184 мм, соответственно. Как видно из графиков, дорнование отверстий даже с небольшим натягом значительно увеличивает опорную длину профиля поверхности отверстий.

Характер изменения величин  $b$  и  $v$  в зависимости от контактного давления в зоне цилиндрической ленточки дорна показан на рис. 5. В области контактных давлений до 200 МПа параметры  $b$  и  $v$  увеличиваются, причем параметр  $b$  увеличивается более интенсивно. С увеличением давления свыше 250 МПа параметр  $b$  начинает резко увеличиваться, достигая максимального значения в области контактных давлений, равных 320...340 МПа. Параметр  $v$  достигает максимального значения также в этой области. При дальнейшем увеличении контактного давления  $b$  и  $v$  уменьшаются, причем параметр  $b$  уменьшается более интенсивно.

На числовое значение параметров опорной кривой  $b$  и  $v$  большее влияние оказывает уровень, до которого опорная кривая аппроксимируется параболической зависимостью, но характер их изменения от силы

деформирования подобен, независимо от выбранного уровня аппроксимации [2]. Это относится также и к случаю, когда аппроксимация производится до средней линии.

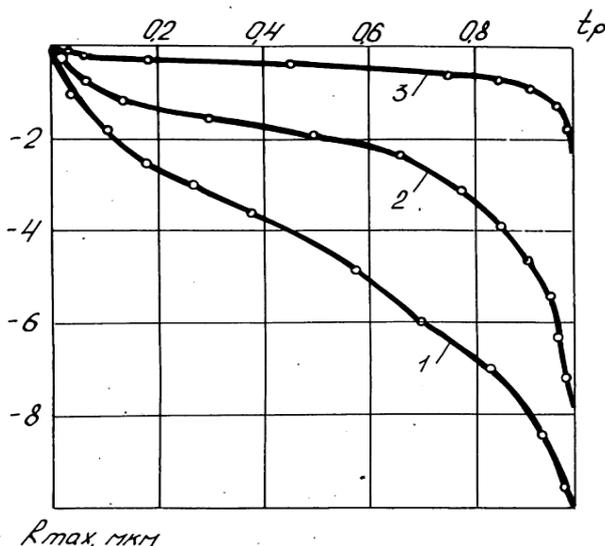


Рис. 4. Влияние процесса дорнования на относительную длину профиля:  
 1 – исходная шероховатость ( $R_{max} = 12$  мкм); 2 – после дорнования с натягом 0,074 мм ( $R_{max} = 7,8$  мкм); 3 – после дорнования с натягом 0,184 мм ( $R_{max} = 2,3$  мкм)

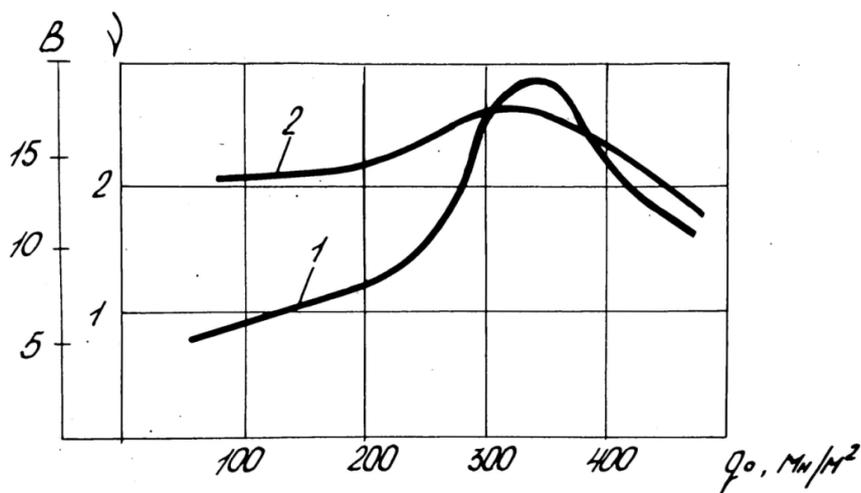


Рис. 5. Изменение параметров аппроксимации кривой опорной поверхности  $b$  и  $v$  от давления при дорновании отверстий:  
 1 –  $b$ ; 2 –  $v$

Таким образом, по результатам исследования можно сделать вывод, что дорнование отверстий корпусов в значительной степени изменяет параметры шероховатости поверхности. Характер изменения шероховатости зависит от контактного давления в зоне цилиндрической ленточки дорна. С возрастанием контактного давления высотные и шаговые характеристики шероховатости

уменьшаются, величина относительной опорной длины профиля увеличивается. Изменяются и параметры аппроксимации кривой опорной поверхности  $b$  и  $v$ .

#### Список литературы

1. Боуден, Ф.П. Площадь контакта между твёрдыми телами / Ф.П. Боуден, Д. Тейбор. М.: В кн.: Прикладная механика и машиностроение, 1952. С. 52-74.
2. Рыжов, Э.В. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин / Э.В. Рыжов, А.Г. Суслов, В.П. Фёдоров. М.: Машиностроение, 1979. 176 с., ил.

### АЛГОРИТМИЗАЦИЯ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СБОРКИ СОСТАВНЫХ ПОКОВОК

С.В. Герман, Е.М. Басова, М.И. Поксеваткин  
*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова (АлтГТУ)*

**Аннотация:** Предложен двухмодульный алгоритм на основе теплофизических и механических свойств деформируемого металла заготовок, минимизирующий энергоёмкость процесса штамповки.

**Ключевые слова:** *штамповка, алгоритм минимизации, рационализация термомеханических параметров штамповки.*

### ALGORITHMIZATION OF THERMOMECHANICAL OPERATION FACTORS OF FORGINGS ASSEMBLY PROCESS

S.V. German, graduate student; E.M. Basova, graduate student;  
Poksevatkin M.I., Candidate of Technical Studies, professor  
*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper presents a two-module algorithm based on thermophysical and mechanical properties of deformable metal products which minimizes power consumption of stamping process.

**Key words:** *stamping, minimization algorithm, rationalization of thermomechanical stamping parameters.*

В известном способе получения составных деталей пластическим деформированием вначале прошивают глухое отверстие в одной из заготовок с одновременной сборкой ее со стержневой заготовкой, затем, посредством совместного их деформирования, получают неразъемное соединение заготовок, например, при производстве поковок клапана ДВС [1].

Для получения качественных стержневых изделий в два перехода (рисунки 1 и 2) с одним нагревом заготовок необходимо обеспечить продольную устойчивость внедряемого в головную заготовку 1 участка 2 стержневой заготовки 3 (рисунок 1) и установить рациональные термомеханические параметры процесса. С этой целью осуществляют градиентный нагрев стержневой заготовки, учитывающий теплофизические и механические свойства деформируемого металла заготовок [2].

Процесс рационализации термомеханических параметров получения составных стержневых заготовок может быть представлен в виде иерархической модели, состоящей из двух модулей:

- первый модуль (M1) – параметрическая характеристика поковки и расчет ключевых параметров процесса;
- второй модуль (M2) – иерархическая подсистема технологических задач, реализующих минимизацию энергоемкости процесса штамповки.

Модель реализована двухмодульным оптимизационным алгоритмом, содержащим информационный (M1) и оптимизационный (M2) модули (рисунок 3).

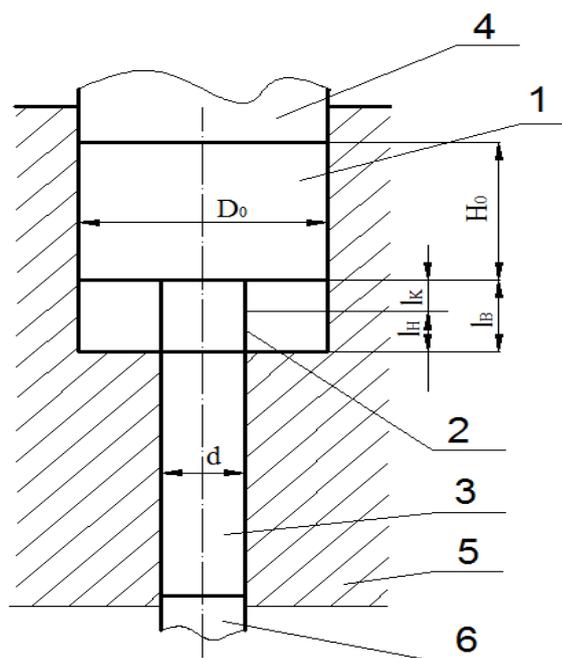


Рис. 1. Исходное положение штампа и заготовок перед сборкой:  
 1 – головная заготовка; 2 – внедряемый участок ( $l_B$ ) стержневой заготовки;  
 3 – стержневая заготовка; 4 – пуансон; 5 – матрица; 6 – выталкиватель

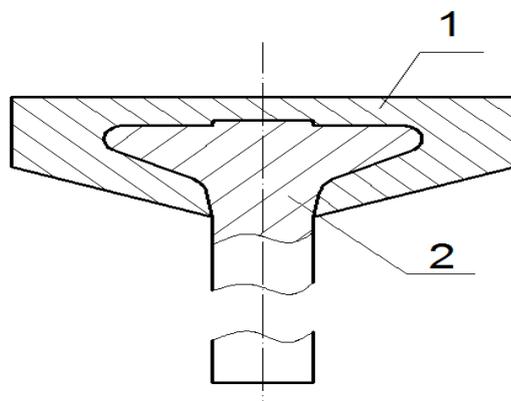


Рис. 2. Составная поковка клапана: 1 и 2 – элементы тарелки клапана, полученные соответственно из головной (1) и стержневой (2) заготовок

В модуле М1 (блок 1.1) вводят исходную информацию:  $H_n$ ,  $D_n$ ,  $V_n$  – соответственно высота, диаметр и объем поковки;  $D_0$  и  $H_0$  – диаметр и высота головной заготовки;  $d$  и  $l$  – диаметр и длина стержневой заготовки;  $\alpha$ ,  $c$  и  $\rho$  – температуропроводность, удельная теплоемкость и плотность металла заготовок при температурах нагрева;  $T_H$ ,  $T_K$  и  $T_P$  – соответственно температура нагрева участка  $l_n$ , температура торца концевой части  $l_k$  заготовки и температура рекристаллизации металла;  $z_m$  и  $q_p$  – соответственно темп штамповки и регламентируемый удельный расход электроэнергии. В блоке 1.2 определяют длину внедряемого участка заготовки  $l_b = (V_m - V_2) / S_c$ . Здесь  $V_m$  – объем тарелки клапана;  $V_2$  – объем головной заготовки;  $S_c$  – площадь поперечного сечения стержневой заготовки. В блоке 1.3 рассчитывают относительную длину высадки ( $\Psi = l_b / d$ ), а в блоке 1.4 допустимую относительную длину высадки ( $\Psi_d$ ). При угле ( $\gamma$ ) скоса торца заготовки от 2 до 6° согласно А.В. Ребельскому:

$$\Psi_d = 2 + 0,01D \leq 3 \quad . \quad (1)$$

Далее в блоке 1.5 выбирают время ( $\tau_n$ ) нагрева заготовки, а в блоке 1.6 – время ( $\tau_m$ ) транспортировки заготовки после нагрева, включая время вылеживания ее в штампе до момента внедрения ее в головную заготовку в зависимости от длины ( $l_b$ ) высадки и темпа ( $z_m$ ) штамповки.

Затем рассчитывают время ( $\tau_{ц}$ ) цикла штамповки (блок 1.7) и определяют величину падения температуры  $\Delta T$ °С к моменту штамповки, используя эмпирическую формулу Я.М. Охрименко (блок 1.8):

$$\tau_{ц} = 0,006 \cdot D \cdot \Delta T, \text{ с} \quad . \quad (2)$$

Во втором модуле (М2) осуществляют процедуру минимизации энергоемкости процесса штамповки с использованием дифференцированного нагрева стержневых заготовок [2,3]. Для этого в блоке 2.1 находят фактическую температуру деформации ( $T_d$ ) металла и сравнивают ее с температурой рекристаллизации ( $T_P$ ) (блок 2.2). Если условие блока 2.2 не выполняется, то температуру нагрева ( $T_H$ ) заготовки увеличивают на температурный шаг (50°С) (блок 2.3) и пересчитывают температуру  $T_d$  (блок 2.1).

После выполнения условия блока 2.2 определяют температурный параметр  $\theta$  (блок 2.4):

$$\theta = (T_H - T_K) / T_H \quad . \quad (3)$$

В результате выполнения теплофизических расчетов с точностью до 10% в диапазоне  $0,56 < \theta < 0,83$  величину ( $l_k$ ) концевой заготовки, нагреваемого за счет теплоотдачи до температуры  $T_K = (350 \div 450)$  °С, можно определить по простой аппроксимации [2]:

$$l_k = 1,5\theta \sqrt{2\alpha\tau_{ц}} \quad (\text{блок 2.5}). \quad (4)$$

В блоке 2.6 находят величину  $l_n$  и проверяют условие  $l_n > l_k$  (блок 2.7), при котором получено выражение (4) [2]. Если условие 2.7 не выполняется, то следует сократить участок  $l_k$  на шаговый параметр 5 мм (блок 2.8) и пересчитать величину  $l_n$  (блок 2.6). Затем определяют объем ( $V_n$ ) нагреваемого участка  $l_n$  (блок 2.9), мощность индуктора ( $W$ ) (блок 2.10) и удельную мощность индуктора  $q$  (блок 2.11). Если  $q$  превышает регламентируемую удельную мощность  $q_p$  (блок 2.12) [4], то необходимо, варьируя временным шагом  $\tau_n$  (5 с) (блок 2.13), добиться выполнения условия блока 2.12.

В блоке 2.14 проверяют условие  $\sigma_n > \sigma_2$ , где  $\sigma_n$  и  $\sigma_2$  – соответственно сопротивление деформации металла участка  $l_n$  стержневой заготовки 3 и металла головной заготовки 1.

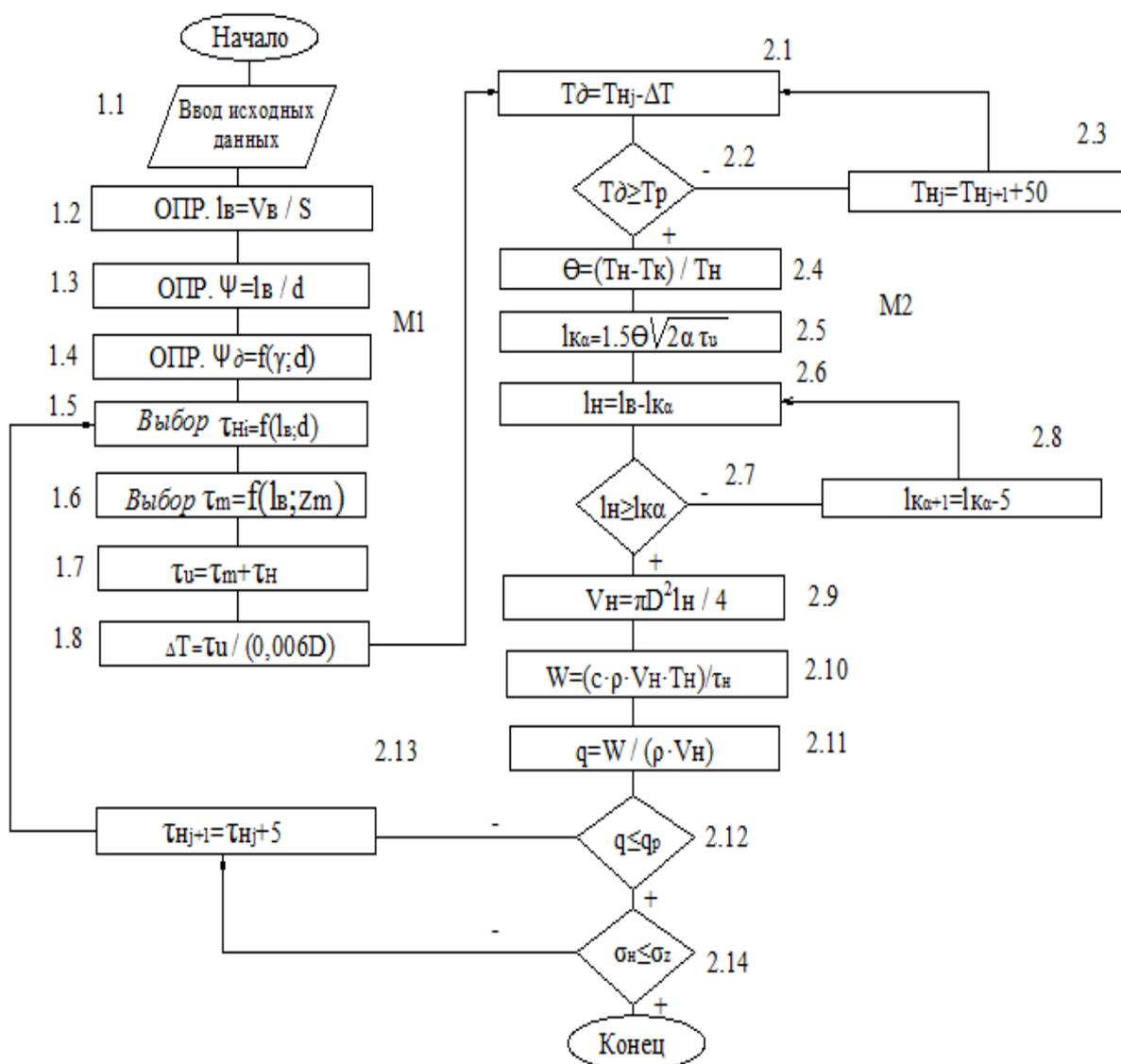


Рис. 3. Алгоритм рационализации термомеханических параметров штамповки составных стержневых поковок ( $i=1, \dots, n$  – номера временных отрезков нагрева;  $j=1, \dots, t$  – номера температур нагрева металла;  $\alpha=1, \dots, k$  – номера концевых участков стержневой заготовки)

### *Выводы*

1. Разработана иерархическая модель процесса рационализации термомеханических параметров штамповки составных изделий.
2. Модель представлена двухмодульным оптимизационным алгоритмом, минимизирующим энергоемкость процесса штамповки; алгоритм реализован компьютерной программой, которая успешно опробована.

### Список литературы

1. Пат. №2056209 Рос. Федерация, МПК В 21 К1/22. Способ получения составных деталей/ Поксеваткин М.И., Осколков А.И., Гуляев Ю.А., Кузнецов Л.П., Перетягко В.Н.; заявл. 18.05.92; опубл. 20.03.96 Бюл. №8.
2. А.С. 1316740 СССР, МКИ В21 К1/74; j1/04. Способ изготовления деталей / А.И. Осколков, М.И. Поксеваткин, Е.М. Пузырев.; опубл 1991.
3. Поксеваткин, М.И. Определение параметров дифференцированного нагрева стержневых заготовок / И.М. Поксеваткин, А.И. Осколков, М.С. Мамонтов, К.Ю. Дунаев // КШП, ОМД. – 2009, – №7. – С. 30-32.
4. Ковка и штамповка: справочник в 4-х т. / Ред. совет: Е.И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1986. – Т. 2. Горячая штамповка / Под ред. Е.И. Семенова, 1986. 592 с., ил.

## **МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ШИРОКОГО СПЕКТРА ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ МАЛОМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Р.В. Гребеньков, А.М. Иконников

*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

Авторы дают обобщенную характеристику способов полирования поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов. Существуют четыре способа полирования: механический, электрохимический, химический и электролитно-плазменный. Так как полирование поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов, является трудоемким и дорогостоящим производственным процессом, то для удешевления и снижения трудоемкости процесса полирования целесообразно применение технологии магнитно-абразивной обработки сконструированным устройством. Предлагаемое устройство позволяет обрабатывать широкий спектр поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов, на различном металлорежущем оборудовании с минимальными затратами на переналадку, что значительно снижает подготовительно-заключительное время и себестоимость магнитно-абразивной обработки, а также обеспечивает равномерный съем материала с поверхности заготовки.

**Ключевые слова:** *магнитно-абразивная обработка, шероховатость поверхности, съем металла, маломагнитный материал, полирование, сложнопрофильная поверхность.*

# MAGNETOABRASIVE POLISHING OF A WIDE RANGE OF SURFACES OF PARTS MADE OF LOW-MAGNETIC MATERIALS

R.V. Grebenkov, A.M. Ikonnikov

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The authors give a generalized characteristic of methods of polishing surfaces made of low-magnetic materials. There are four methods of polishing: mechanical, electrochemical, chemical and electrolytic-plasma. As polishing surfaces made of low-magnetic materials is time-consuming and expensive manufacturing process, it is advisable to apply the magnetoabrasive machining technology by using the constructed device in order to reduce labour input and cost of the polishing process. The proposed device allows you to process a wide range of surfaces made of low-magnetic materials by means of various metal-cutting equipment with minimal readjustment, and that significantly reduces the set-up time and cost of magnetoabrasive machining and provides a uniform removal of material from the surface of the workpiece.

**Key words:** *magnetoabrasive machining, surface roughness, removal of metal, low-magnetic material, polishing, geometrically-complex surface.*

Материалы для современной техники, как правило, кроме высокой прочности и вязкости, должны обладать и другими специальными свойствами: стойкостью в агрессивных средах, заданными электропроводностью или магнитной проницаемостью, радиационной стойкостью и т.д. Одно из важнейших мест среди сплавов с заданными комплексами свойств занимают маломагнитные стали. Эти стали во многом определяют развитие целого ряда направлений энергетического машиностроения, судостроения, двигателестроения и других отраслей техники.

Полированная маломагнитная сталь имеет гладкую поверхность с прекрасной отражающей способностью, полученную в результате тщательной обработки при помощи шлифовального оборудования.

Полированием называют процесс обработки материалов с целью получения зеркального блеска поверхности.

Существует несколько способов полирования поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов.

1. Механическое полирование маломагнитной стали. Оно включает в себя две стадии – черновую и чистовую. При черновом полировании неровности удаляются абразивными зёрнами – свободными или закреплёнными клеем на эластичных кругах и лентах. Чистовое полирование осуществляется с помощью свободных мелкозернистых порошков или мягких эластичных кругов и лент. На круги и ленты, предназначенные для финишного шлифования, наносятся тонкие полировальные пасты, которые, помимо мелкофракционных порошков, содержат поверхностно-активные вещества.

2. Электрохимическое получение полированной маломагнитной поверхности заключается в погружении изделия в раствор концентрированной кислоты. Обрабатываемая деталь является анодом. К конструкции подают ток определённой величины. На течение полировального процесса оказывают влияние величина напряжения и плотность тока.

3. Химическая полировка изделий из маломагнитной стали осуществляется в ванне с растворами соляной, азотной, оксибензойной, серной кислот, а также с содержанием поверхностно-активных веществ. Процесс происходит при температурах, которые ниже температуры кипения ванны. Определённые составы ванн могут работать при атмосферном давлении и температуре, которая не превышает 70°С. Низкая скорость процесса позволяет применять его для крупных изделий. В результате химического полирования шероховатость поверхности устраняется, и изделие приобретает блеск.

4. В электролитно-плазменной технологии обрабатываемое изделие является анодом, к нему подводится положительный потенциал от источника питания, а катодом является рабочая ванна. В зависимости от приложенного напряжения при прохождении электрического тока через водный раствор электролита наблюдаются различные режимы электрических процессов вблизи анода. Первый режим – это обычное электрохимическое полирование, рассмотренное выше. С повышением напряжения вокруг анода образуется устойчивая пароплазменная оболочка. По всей обрабатываемой поверхности происходят импульсные электрические разряды. Совместное воздействие на поверхность детали химически активной среды и электрических разрядов приводит к возникновению эффекта полирования и очистки поверхности изделий.

Полирование поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов, является трудоемким и дорогим производственным процессом. Поэтому для удешевления и снижения трудоемкости процесса полирования целесообразно применение технологии магнитно-абразивной обработки.

Имеется сконструированное устройство для обработки поверхностей магнитно-абразивным порошком, которое может быть использовано для магнитно-абразивной обработки деталей, имеющих цилиндрические, плоские, сферические и другие сложнопольные поверхности, приведенное на рисунке 1. Прототипом данного устройства является устройство для магнитно-абразивной обработки (Патент RU №2314185).

Устройство для магнитно-абразивной обработки изготовлено из немагнитного материала, например, из алюминиевого сплава, и содержит основание 1 с продольной осью 2, на котором установлены с возможностью перемещения салазки 3. На салазках 3 размещены кронштейны 4, на которых, в свою очередь, расположены друг против друга магнитные системы. Кронштейны в своем составе имеют жесткий амортизирующий элемент 21. Каждая магнитная система содержит электродвигатель 5 с регулируемой частотой вращения, на резьбовом валу 6 которого закреплен индуктор. Этот индуктор содержит корпус 7, на котором с помощью гайки 8 установлены ограничительные чашки 9 и 22, свободно вращающиеся на подшипниках качения 23 и 24, а также собраны чередующиеся относительно рабочей поверхности 10 индуктора магниты 11 и магнитопроводы 12. При этом рабочая поверхность 10 индуктора выполнена тороидальной. Магниты 11 и магнитопроводы 12 представляют собой сегменты одинаковой формы с фасонным профилем.

Каждая магнитная система установлена с возможностью перемещения вдоль трех взаимно перпендикулярных осей координат и поворота на угол  $360^\circ$  вокруг каждой из этих осей. Поворот и перемещение магнитных систем позволяет изменять пространство рабочей зоны, образованной рабочими поверхностями 10 индукторов. Положение магнитной системы фиксируется зажимными винтами 13, 14, 15. Зажимные винты 13 предназначены для обеспечения возможностей перемещения магнитной системы вдоль поперечной горизонтальной оси 16, перпендикулярной продольной оси 2, и поворота на угол  $360^\circ$  вокруг этой оси. Зажимной винт 14 предназначен для обеспечения возможности перемещения магнитной системы вдоль ее оси 17, проходящей через отверстие для крепления электродвигателя 5, в пределах зазора между корпусом 7 и кронштейном 4, и поворота на угол  $360^\circ$  вокруг этой оси. Зажимной винт 15 предназначен для обеспечения возможности перемещения магнитной системы вдоль оси 18 отверстия, предназначенного для крепления кронштейна 4, и поворота на угол  $360^\circ$  вокруг этой оси. Регулировочные винты 19, представляющие собой ходовые винты с правой резьбой, предназначены для перемещения магнитных систем, установленных на салазках 3, вдоль продольной оси 2. При этом возможность раздвижения или сближения салазок 3 обеспечивается регулировочными винтами 19 с помощью закрепленных на салазках 3 гаек 20. Также амортизирующий элемент 21 обеспечивает равномерные съём материала и шероховатость обработанной поверхности детали.

Салазки 3 установлены на основании 1 по типу соединения «ласточкин хвост».

С помощью соединительных поверхностей типа «ласточкин хвост» основания 1 устройство для магнитно-абразивной обработки может быть установлено на соответствующие ответные поверхности направляющих типа «ласточкин хвост» суппорта токарного станка или хобота горизонтально-фрезерного станка. В последнем случае устройство устанавливается вверх основанием 1.

Для перемещения магнитной системы вдоль поперечной горизонтальной оси 16 и поворота вокруг этой оси необходимо ослабить зажимные винты 13 и после придания магнитной системе требуемого положения снова их закрепить. Для перемещения магнитной системы вдоль оси 17 и поворота вокруг этой оси необходимо ослабить зажимной винт 14 и после придания магнитной системе требуемого положения необходимо снова закрепить этот винт. Для перемещения магнитной системы вдоль оси 18 и поворота вокруг этой оси необходимо ослабить зажимной винт 15 и после придания магнитной системе требуемого положения необходимо снова закрепить этот винт. Для перемещения магнитной системы вдоль продольной оси 2 необходимо вращать регулировочный винт 19 до придания магнитной системе требуемого положения.

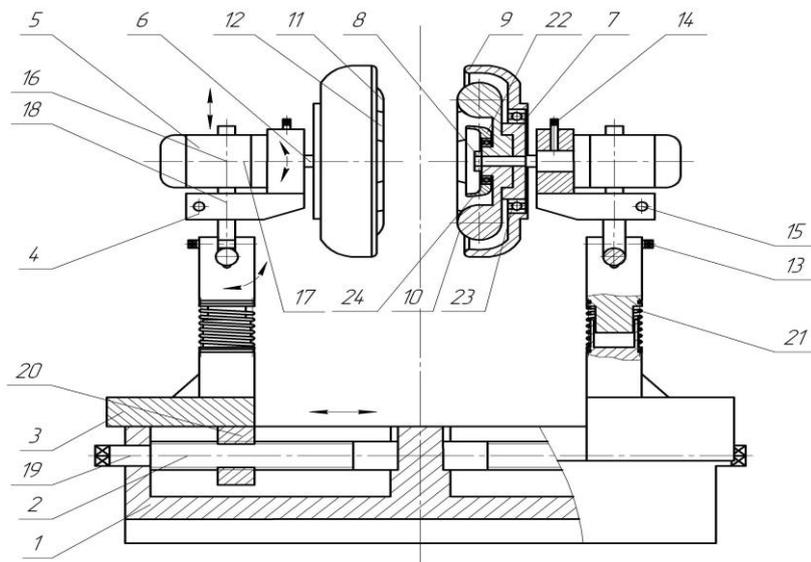


Рис. 1. Устройство для магнитно-абразивной обработки

Для обработки плоской поверхности детали 26 на горизонтально-фрезерном станке (рис. 2) эта деталь устанавливается на столе станка, устройство для магнитно-абразивной обработки закрепляется основанием 1 вверху на хоботе станка. Производится настройка рабочего положения индукторов. Ослабляются зажимные винты 13 и 15, и деталь 26 перемещается до плотного соприкосновения обрабатываемой поверхности с рабочими поверхностями 10 индукторов. Винты 13 и 15 закрепляются. После этого устанавливается требуемая величина рабочего зазора 25 с помощью пластины-щупа, для чего постепенно опускается стол станка, контролируя образующийся рабочий зазор 25. Затем в рабочий зазор 25 насыпается порция магнитно-абразивного порошка, включаются электродвигатели 5 и привод продольных подач станка в режиме возвратно-поступательных движений.

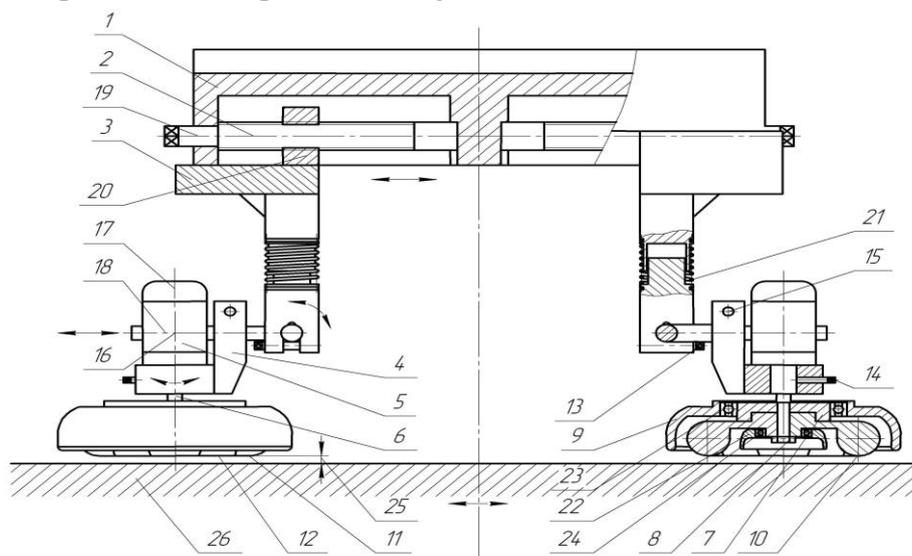


Рис. 2. Обработка плоской поверхности устройством для MAO

Для обработки вогнутой сферической поверхности детали 27 (рис. 3), выпуклой сферической поверхности детали 28 (рис. 4), поверхности сложного профиля, являющейся фасонной поверхностью пуансона, симметричной относительно оси детали 29 (рис. 5), используется горизонтально-фрезерный станок, оснащенный вращающимся столом. Устройство для магнитно-абразивной обработки закрепляется основанием 1 на хоботе этого станка, а деталь 27, или 28, или 29 устанавливается на горизонтальный вращающийся стол станка так, чтобы ось обрабатываемой поверхности детали совпала с вертикальной осью вращающегося стола. После этого с помощью зажимных винтов 13, 14, 15 и регулировочных винтов 19, а также пластин-щупов из эластичного материала рабочие поверхности 10 индукторов устанавливаются над обрабатываемой поверхностью с требуемым рабочим зазором 25. Затем включаются электродвигатели 5 и привод вращающегося стола.

Съем отработанного магнитно-абразивного порошка с рабочих поверхностей 10 индукторов производится с помощью скребков, изготовленных из немагнитного материала.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет обрабатывать широкий спектр поверхностей деталей, изготовленных из маломагнитных материалов, на различном металлорежущем оборудовании с минимальными затратами на переналадку, что значительно снижает подготовительно-заключительное время и себестоимость магнитно-абразивной обработки, а также обеспечивает равномерный съем материала с поверхности заготовки.

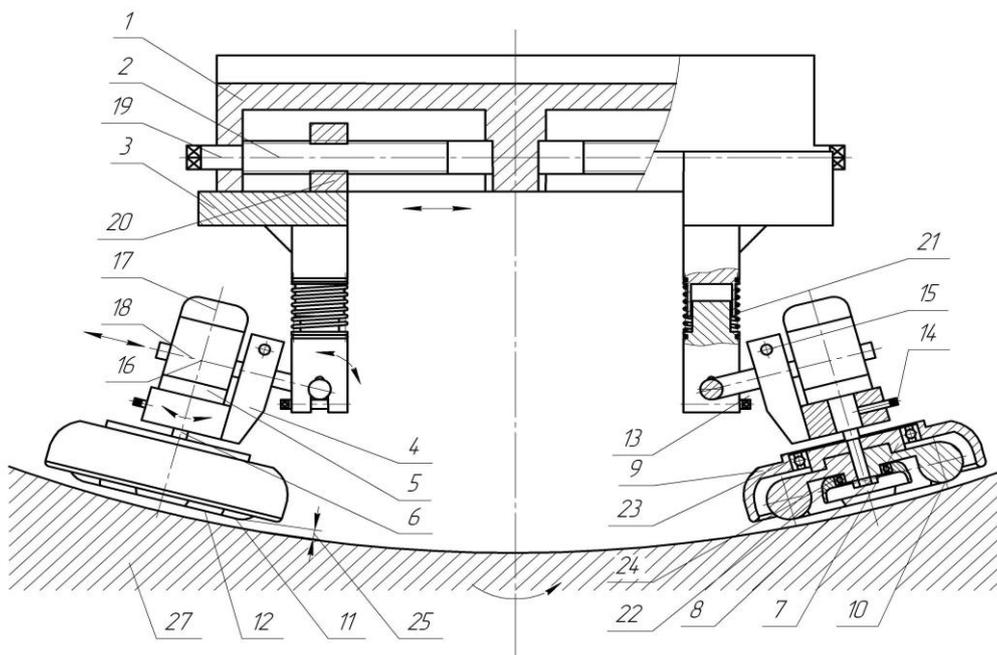


Рис. 3. Обработка вогнутой сферической поверхности устройством для МАО

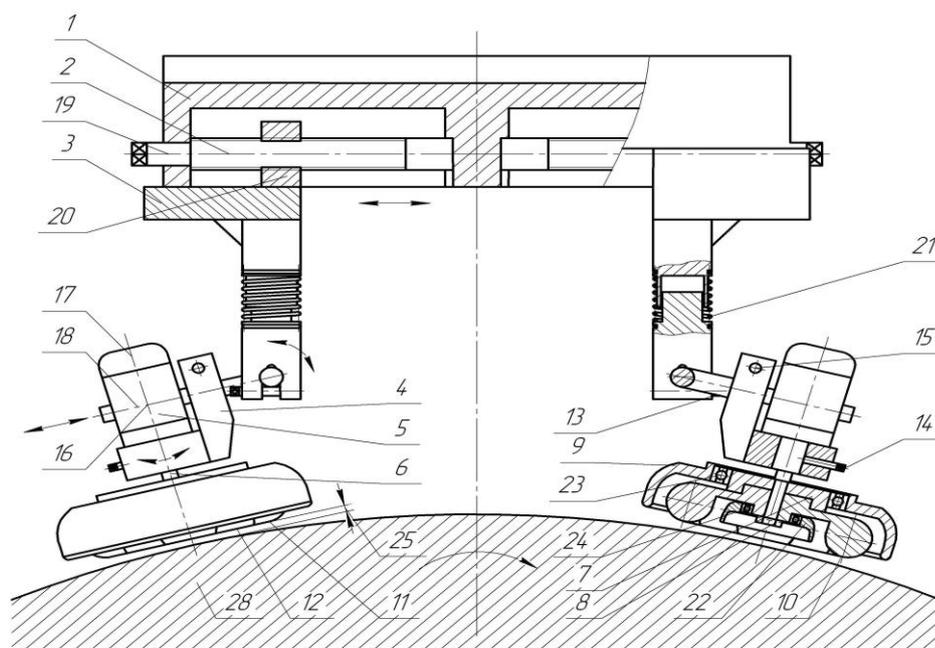


Рис. 4. Обработка выпуклой сферической поверхности устройством для МАО

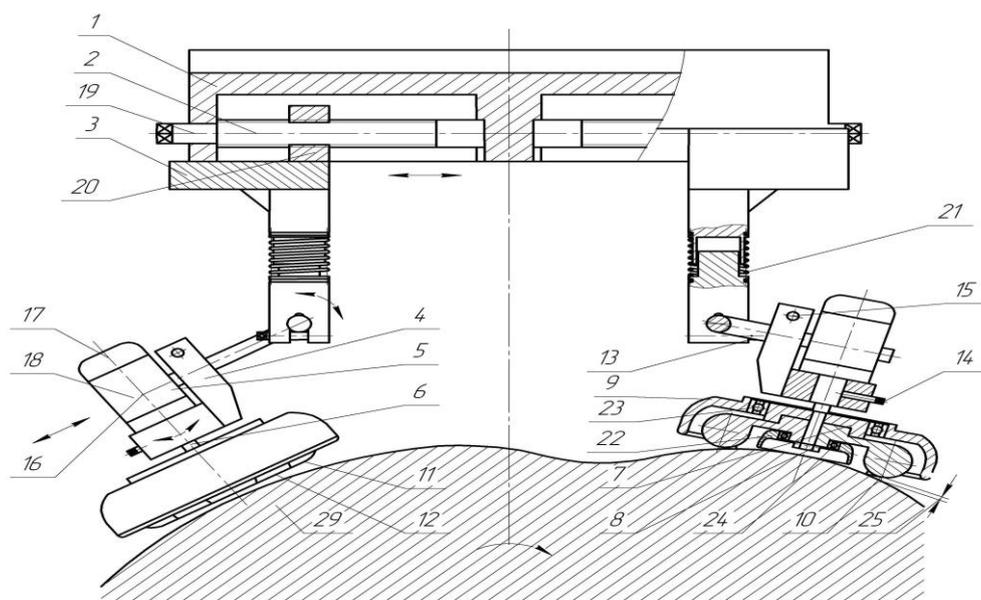


Рис. 5. Обработка поверхности сложного профиля устройством для МАО

#### Список литературы

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. 176 с.
2. Хомич, Н.С. Магнитно-абразивная обработка изделий: монография / Н.С. Хомич. Минск: БНТУ, 2006. 217 с.: ил.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПРОЦЕССА ТЕПЛООТДАЧИ В КАНАЛЕ  
КОЛЬЦЕВОГО СЕЧЕНИЯ  
В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛИЗАЦИИ ГОРЯЧЕГО  
ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ ПУЗЫРЬКАМИ ВОЗДУХА**

В.В. Гриценко

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

В данной работе представлена концепция лабораторной экспериментальной установки для исследования процесса теплопередачи в канале кольцевого сечения, в условиях турбулизации горячего теплоносителя пузырьками воздуха.

**Ключевые слова:** *Горячий теплоноситель, теплообмен, водно-воздушная смесь, коэффициент теплоотдачи.*

**EXPERIMENTAL DEVICE FOR INVESTIGATION OF HEAT  
TRANSFER PROCESS IN A CIRCULAR SECTION CHANNEL DURING  
HOT HEAT CARRIER TURBULIZATION BY AIR BUBBLES**

V.V. Gritsenko

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** This paper presents the concept of the laboratory experimental device for studying heat transfer in a circular section channel during turbulization of hot heat carrier by air bubbles.

**Key words:** *hot heat carrier, heat transfer, water-air mixture, coefficient of heat transfer.*

В настоящее время при производстве продуктов питания активно эксплуатируются тепловые и тепломассообменные процессы, которые протекают в соответствующем машинно-аппаратурном оформлении.

Следовательно, говоря о путях повышения эффективности процессов пищевых производств, необходимо особое внимание уделить вопросам повышения эффективности тепловых и тепломассообменных процессов.

Ранее в работах [1, 2, 3] автором проводились теоретические и экспериментальные исследования процесса теплообмена в греющей рубашке роторного распылительного испарителя (РРИ), представляющей собой цилиндрический канал кольцевого сечения, через который прокачивается горячий теплоноситель. Теплообмен между горячим теплоносителем и концентрируемым продуктом осуществляется через тонкую стенку внутреннего корпуса аппарата.

Для повышения интенсивности теплообмена в работах [1, 2, 3] был предложен способ обогрева РРИ с помощью водно-воздушной смеси. Достичь эффекта интенсификации теплоотдачи предполагалось, во-первых, за счет интенсивной турбулизации потока горячего теплоносителя пузырьками воздуха, что несомненно активизирует перенос тепла конвекцией, а во-вторых – за счет разрушения пузырьками пограничного слоя на теплообменной

поверхности, который, как известно, имеет наибольшее термическое сопротивление.

Как показали исследования, описанные в работах [1, 2, 3], применение в качестве горячего теплоносителя водно-воздушной смеси показало положительные результаты. Удалось повысить эффективность работы РРИ до 12,2%. По данным, полученным в результате проведения экспериментов, в среде пакета программ «STATISTICA-6,0», с применением методов статистического анализа построена экспериментально-статистическая модель, описывающая зависимость коэффициента теплоотдачи  $\bar{\alpha}_2$  в греющей рубашке РРИ от входных параметров:

$$\bar{\alpha}_2 = -1296,69 - 16,33 \cdot V_{\text{ВОЗД}} + 30,18 \cdot t_{\text{ВН}}, \quad (1)$$

при  $R=95,98\%$ ,

где  $V_{\text{ВОЗД}}$  – расход воздуха в смеси, м<sup>3</sup>/с;  $t_{\text{ВН}}$  – температура воды на входе в греющую рубашку °С;  $R$  – коэффициент множественной корреляции, который показывает, что модель приспособленно объясняет 95,98% изменчивости коэффициента теплоотдачи.

Но уравнение (1) справедливо при расходе горячей воды  $V_{\text{В}} = 8,33 \cdot 10^{-4}$  м<sup>3</sup>/с в следующих диапазонах входных параметров:  $t_{\text{ВН}} = 84 \dots 100$ °С,  $V_{\text{ВОЗД}} = (0 \dots 6,17) \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с, что ограничивает применение данного выражения.

Получить зависимость, пригодную для проведения инженерных расчетов при проектировании тепломассообменных аппаратов, имеющих греющую рубашку кольцевого сечения и обогреваемых с помощью водно-воздушной смеси, можно с помощью применения методов теории подобия.

Исходя из вышеизложенных соображений в работе [4] были проведены теоретические исследования процесса теплоотдачи в кольцевом канале цилиндрической греющей рубашки, обогреваемой водно-воздушной смесью с применением метода анализа размерностей.

В результате проведенной работы было получено обобщенное критериальное уравнение, описывающее процесс теплоотдачи в кольцевом канале, обогреваемом водно-воздушной смесью, имеющее следующий вид:

$$Nu = f(Re_{\text{В}}, Re_{\text{ВОЗД}}, Re, Fr, We, Eu, \Gamma, D, M, C, L, \Pi). \quad (2)$$

Уравнение 2 имеет следующие безразмерные комплексы:

- критерий Нуссельта –  $Nu = \frac{q_w \cdot d_{\text{Э}}}{\lambda \cdot \Delta t}$ ;
- критерий Пекле для воды –  $Re_{\text{В}} = \frac{d_{\text{Э}} \cdot U \cdot \rho_{\text{В}} \cdot c_{\text{В}}}{\lambda_{\text{В}}}$ ;
- критерий Пекле для воздуха –  $Re_{\text{ВОЗД}} = \frac{d_{\text{Э}} \cdot U \cdot \rho_{\text{ВОЗД}} \cdot c_{\text{ВОЗД}}}{\lambda_{\text{ВОЗД}}}$ ;
- критерий Рейнольдса –  $Re = \frac{U \cdot d_{\text{Э}} \cdot \rho_{\text{В}}}{\mu_{\text{В}}}$ ;

- критерий Фруда –  $Fr = \frac{U^2}{g \cdot d_3}$ ;

- критерий Вебера –  $We = \frac{\rho_B \cdot U^2 \cdot d_3}{\sigma_B}$ ;

- критерий Эйлера –  $Eu = \frac{\Delta p}{\rho_B U^2}$ ;

- симплексы геометрического подобия –  $\Gamma = \left( \frac{h}{d_3} \right)$ ,  $\Delta = \left( \frac{d_1}{d_3} \right)$ ;

параметрические критерии, характеризующие свойства и состав водно-воздушной смеси –  $M = \left( \frac{\mu_{ВОЗД}}{\mu_B} \right)$ ,  $C = \left( \frac{c_{ВОЗД}}{c_B} \right)$ ,  $L = \left( \frac{\lambda_{ВОЗД}}{\lambda_B} \right)$ ,  $\Pi = \left( \frac{V_{ВОЗД}}{V_B} \right)$ .

В состав критериев подобия выражения (2) входят следующие физические величины.

Искомой размерной величиной является тепловой поток через поверхность теплопередачи –  $q_w$ , Вт/м<sup>2</sup>. Величина  $q_w$  является функцией независимых между собой размерных величин:

1. Геометрические параметры, определяющие поверхность теплопередачи:  $h$  – высота, м;  $d_1$  – диаметр внутренней трубы корпуса, м.

2. Параметры, определяющие условия барботажа и течения газожидкостной смеси в рубашке:  $d_3$  – эквивалентный диаметр кольцевого канала рубашки РРИ, м;  $\Delta p$  – перепад давления в греющей системе, Па;  $U$  – скорость потока, м/с;  $V_B$  – объемный расход жидкости (воды), м<sup>3</sup>/с;  $V_{ВОЗД}$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

3. Физико-химические и теплофизические свойства газожидкостной смеси, определяющие эффективность теплоотдачи:  $\rho_B$  – плотность жидкости (воды), кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_B$  – динамическая вязкость воды, Па·с;  $\sigma_B$  – поверхностное натяжение воды, н/м;  $c_B$  – теплоемкость воды, Дж/(кг·К),  $\lambda_B$  – теплопроводность воды, Вт/(м·К);  $\rho_{ВОЗД}$  – плотность газа (воздуха), кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_{ВОЗД}$  – динамическая вязкость воздуха, Па·с;  $c_{ВОЗД}$  – теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К),  $\lambda_{ВОЗД}$  – теплопроводность воздуха, Вт/(м·К).

4. Параметр, характеризующий величину движущей силы процесса теплоотдачи в греющей рубашке:  $\Delta t$  – средняя разность температур в центре потока теплоносителя и на нагреваемой поверхности, °С.

В явном виде функция (2) может быть найдена только после проведения экспериментальных исследований процесса теплообмена в кольцевом канале и их математической обработки.

Для выполнения данных исследований предлагается принципиальная схема экспериментальной лабораторной установки, представленная на рисунке 1.

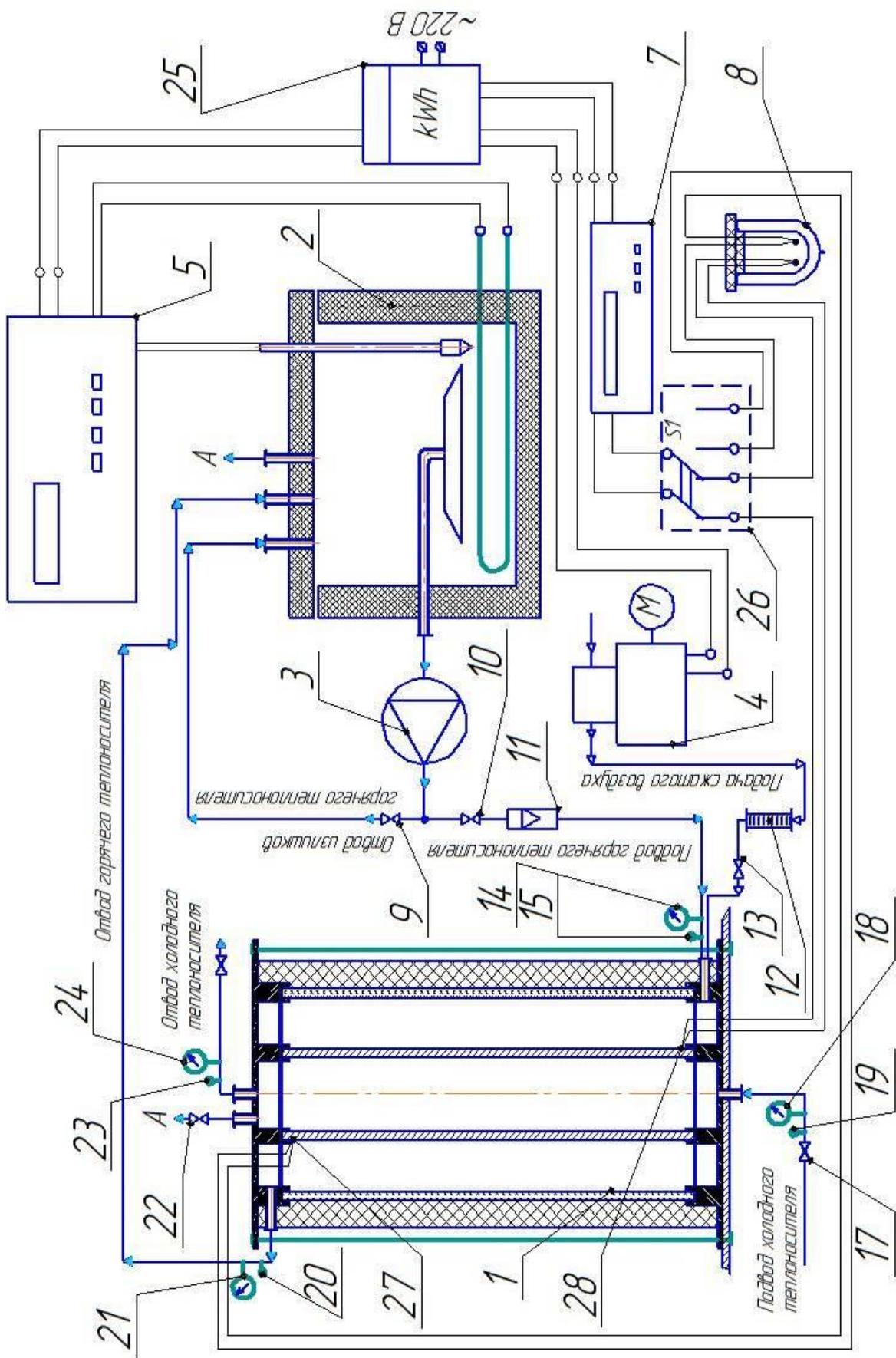


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной лабораторной установки для исследования процесса теплоотдачи в цилиндрическом канале кольцевого сечения

Основным элементом установки является модель цилиндрического канала кольцевого сечения 1, который состоит из двух труб – внутренней и наружной, покрытой термоизоляционным материалом. Торцы труб герметично закрыты верхней и нижней крышками. В нижней крышке выполнен патрубок для подачи холодного теплоносителя. В верхней крышке расположены два патрубка – для слива холодного теплоносителя и стравливания воздуха. Расход холодного теплоносителя регулируется вентилем 17, перепад давления на входе и выходе холодного теплоносителя контролируется манометрами 18 и 24, температура – термометрами 18 и 23.

В пространство между внутренней и наружной трубами, представляющее собой цилиндрический канал кольцевого сечения, снизу (радиально или тангенциально) подается горячий теплоноситель – водно-воздушная смесь. Горячая вода подводится из термоизолированного водонагревателя 2, оборудованного трубчатым электронагревателем и системой термостатирования 5, с помощью водяного насоса 3. Регулирование расхода горячей воды осуществляется с помощью вентиля 9 и 10, контроль за расходом – с помощью расходомера 11. Подача воздуха обеспечивается поршневым компрессором 4, величина подачи регулируется вентилем 13 и контролируется с помощью ротаметра 12. Смешивание горячей воды и воздуха происходит на входе в нижний патрубок. Горячая водно-воздушная смесь, пройдя через рабочее пространство модели, отводится через верхний патрубок обратно в водонагреватель, где воздух отделяется от смеси в верхней части его рабочего пространства (не заполненной водой) и выводится в атмосферу через патрубок в крышке водонагревателя. Давление горячего теплоносителя на входе в канал и выходе из него контролируется манометрами 14 и 21, температура – с помощью термометров 15 и 20.

В начале и в конце канала осуществляется измерение температуры его внутренней стенки с помощью двух хромель-копелевых термопар 28 и 27. «Горячие» спаи термопар зачеканены в стенку, а «холодные» помещены в сосуд Дьюара 8. ТермоЭДС каждой термопары измеряется цифровым вольтметром 7, например модели Щ68003. Подключение – отключение термопар к вольтметру производится по очереди, с помощью шестиконтактного переключателя 26.

Общий расход электроэнергии, потребляемой на работу установки (нагрев и подачу горячей воды, подачу воздуха, питание контрольно-регулирующей аппаратуры), контролируется с помощью электросчетчика 25.

С помощью данной лабораторной установки планируются множительные и степенные коэффициенты безразмерных комплексов, входящих в уравнение (2) в диапазоне изменения чисел Рейнольдса от 230 до 10000, т.е. при ламинарном и переходном режимах течения горячего теплоносителя в канале.

Кроме того, предполагается расширить диапазон изменения соотношения фаз в водно-воздушной смеси (по сравнению с диапазоном, использованным в работах [1, 2, 3]), с целью определения оптимальных границ этого диапазона.

Температуру водно-воздушной смеси горячего теплоносителя, исходя из априорной информации, полученной в работах [1, 2, 3], планируется устанавливать в пределах от 50 до 100°C.

#### Список литературы

1. Сорокопуд, А.Ф. Теплообмен в роторных испарителях и пути его интенсификации / А.Ф. Сорокопуд, В.В. Гриценко // М., 2008. – 13 с. – Деп. в ЦИ и ТЭИагропром 18.02.08, №1 ВС.

2. Сорокопуд, А.Ф. Интенсификация теплообмена в роторном распылительном испарителе / А.Ф. Сорокопуд, В.В. Гриценко, Н.А. Шеменова // Продукты питания и рациональное использование сырьевых ресурсов: сб. науч. работ // Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Вып. 18. Кемерово, 2009. С. 32-33.

3. Гриценко, В.В. Совершенствование машинно-аппаратурного оформления процессов производства жидких концентрированных пищевых продуктов с использованием роторного распылительного выпарного аппарата: Монография / В.В. Гриценко / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2014. 135 с.

4. Гриценко, В.В. Применение метода анализа размерностей для исследования процесса теплоотдачи в кольцевом канале греющей рубашки роторного распылительного испарителя / В.В. Гриценко // М., 2009. 7 с. Деп. в ВИНТИ 08.07.09. №457– В2009.

### **ПОЛУЧЕНИЕ ЭКСТРАКТОВ ИЗ ПЛОДОВОГО СЫРЬЯ В ВИБРАЦИОННОМ АППАРАТЕ**

Н.В. Дубинина

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Представлены результаты исследования процесса получения экстрактов из замороженных плодов боярышника кроваво-красного в аппарате с вибрационной тарелкой. Получены уравнения множественной регрессии для расчета содержания сухих веществ, эффективности процесса и удельных энергозатрат.

**Ключевые слова:** *Вибрационный аппарат, плоды боярышника кроваво-красного, эффективность и удельные энергозатраты процесса, содержание сухих веществ.*

### **PRODUCING EXTRACTS FROM FRUIT RAW MATERIALS IN THE VIBRATORY DEVICE**

N.V. Dubinina

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The paper presents the results of studying the process of producing extracts from frozen blood-red hawthorn fruit in the device with a vibratory plate. The results include the

equations of multiple regressions to calculate the content of dry substances, the efficiency of the process and the specific energy consumption.

**Key words:** *Vibratory device, blood-red hawthorn, efficiency and specific energy consumption of the process, content of dry substances.*

В основе современных представлений о питании лежит концепция оптимального питания, предусматривающая необходимость полного обеспечения потребностей организма микро- и макроэлементами. Как показывает мировой и отечественный опыт, наиболее эффективным и экономически доступным путем обеспечения населения витаминами и минеральными веществами является обогащение ими продуктов питания [1, 2]. Перспективным направлением в разработке технологии производства качественно новых продуктов с направленно заданным составом и свойствами является использование местного плодово-ягодного сырья в пивобезалкогольной, ликероводочной, консервной, кондитерской отраслях пищевой промышленности [3].

Объемы переработки местного растительного сырья недостаточны с точки зрения использования существующей сырьевой базы. Это в определенной степени связано с низкой эффективностью традиционных методов извлечения из сырья целевых компонентов и обеспечения их сохранности в процессе переработки.

Одним из современных способов переработки плодово-ягодного сырья является экстрагирование водными и водно-спиртовыми растворителями с последующим концентрированием.

Способов проведения процесса экстрагирования большое множество, что обусловлено широким многообразием сырья и его свойствами. Поэтому для выбора способа экстрагирования применительно к определенному сырью необходимо учитывать ряд факторов, оказывающих влияние на процесс.

К факторам, определяющим скорость процесса экстрагирования, относятся: степень измельчения растительного сырья; полярность экстрагента; вязкость и поверхностное натяжение растворителя; температура процесса экстрагирования; соотношение твердой и жидкой фаз; количество экстракций; физическое воздействие (низкочастотные механические колебания, ультразвук, перемешивание и др.); порозность; продолжительность экстрагирования. На процесс экстрагирования также оказывают влияние размер молекул извлекаемых веществ; заряд коллоидных частиц протоплазмы клетки; наличие живой протоплазмы; наличие воздуха в сырье; удельная загрузка экстрактора (загрузочная плотность); скорость подачи экстрагента и другие факторы [4].

Среди многочисленных способов интенсификации процесса экстрагирования особое место занимает метод наложения на систему поля низкочастотных механических колебаний [5, 6, 7].

Для исследования влияния факторов, определяющих скорость процесса экстрагирования методом наложения низкочастотных механических колебаний, была изготовлена экспериментальная установка, в основу конструкции которой положен емкостный экстрактор с вибрационной тарелкой [6].

Основным элементом установки является экстрактор периодического действия с вибрационной тарелкой (рисунок 1).

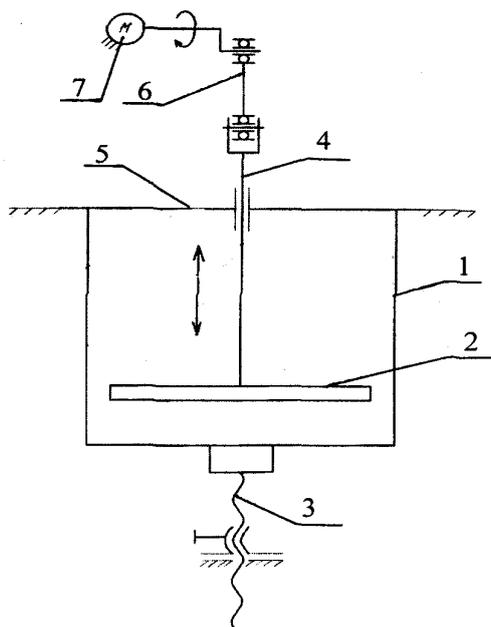


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

- 1 – камера аппарата; 2 – тарелка перфорированная; 3 – домкрат; 4 – шток;  
5 – крышка экстрактора; 6 – механизм кривошипно-шатунный;  
7 – электродвигатель

Камера аппарата представляет собой цилиндрическую емкость 1, выполненную из нержавеющей стали с внутренним диаметром 0,139 м. В верхней части установки на раме жестко закреплена крышка экстрактора 5 с патрубком для отбора проб. В камере установлен с возможностью возвратно-поступательного движения в вертикальной плоскости шток 4 с жестко закрепленной на нем горизонтальной перфорированной тарелкой 2, снабженной по периферии кольцом. Штоку сообщаются возвратно-поступательные движения при помощи кривошипно-шатунного механизма 6 от электродвигателя переменного тока АИРМ71В6У3.

Тарелка 2 представляет собой перфорированный цилиндрическими отверстиями диск диаметром 0,135 м, выполненный из нержавеющей стали, толщиной 0,003 м. К нижней стороне диска коаксиально жестко прикреплено кольцо шириной 0,01 м. Плоскость диска тарелки параллельна днищу аппарата. Камера экстрактора устанавливается и фиксируется в расточенном пазу крышки при помощи домкрата 3.

Для регулирования частоты колебаний тарелки и фиксирования значений мощности в установке предусмотрен привод АСН 550-01.

В качестве способа экстрагирования выбран способ, разработанный на кафедре «Машины и аппараты пищевых производств» Кемеровского технологического института пищевой промышленности [8]. Особенность

данного способа заключается в том, что экстрагированию в вибрационном экстракторе подвергается замороженное плодово-ягодное сырье.

Для экстрагирования использовали плоды боярышника кроваво-красного. Эта плодовая культура известна своими полезными свойствами и богатым химическим составом. Благодаря высокой концентрации биологически активных веществ плоды боярышника давно применяются в народной и научной медицине для профилактики и лечения заболеваний сердца и сосудов [9].

Экстрагирование проводили следующим образом. Замороженные при температуре  $-18^{\circ}\text{C}$  плоды помещали в рабочий объем экстрактора под вибрационную тарелку. В качестве экстрагента использовалась вода температурой  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Во всех опытах объем обрабатываемой суспензии составлял 1,0 л. Тарелка приводилась в возвратно-поступательное движение в течение 40 минут. Через определенные промежутки времени (1...5 мин) из аппарата отбиралась проба экстракта. Отделение от проб твердой фазы проводилось фильтрацией через бумажный фильтр; количество извлекаемых сухих веществ в образцах определялось рефрактометром типа «РЛ-2»; отжатый на фильтре шрот взвешивали. Взвешивание плодов, экстрагента, шрота осуществлялось с помощью весов марки MW-120 с погрешностью измерения  $\pm 0,01$  г.

На процесс экстрагирования, как отмечалось выше, оказывает влияние множество факторов, которые в свою очередь зависят от конструктивных и эксплуатационных особенностей аппарата, а также от способа проведения процесса.

Принимая во внимание вышеизложенное, выделили ряд факторов, которые как отдельно, так и в совместном взаимодействии оказывают основное влияние на процессы, протекающие в экстракторе. К таким факторам относятся: соотношение фаз (сырье/экстрагент) –  $j$ , кг/кг; амплитуда колебаний тарелки –  $A$ , м; частота колебаний тарелки –  $n$ , Гц; диаметр отверстий в тарелке –  $d_0$ , м; доля свободного сечения тарелки –  $\epsilon$ , %.

Соотношение фаз (сырье/экстрагент) определялось исходя из следующих условий. Увеличение доли твердой фазы ведет к повышению плотности суспензии, и, как следствие, ухудшаются условия для переноса водорастворимых веществ в экстрагент. Уменьшение доли твердой фазы приводит к разбавлению экстракта, что нежелательно с точки зрения последующих процессов технологического цикла. Помимо этого увеличение доли экстрагента ведет к ускорению размораживания сырья, а также к более тонкому его измельчению. Серия предварительных экспериментов показала, что экстрагирование необходимо вести при соотношениях фаз  $j=1/2$  и  $j=1/3$  кг/кг. В процессе проведения дальнейшей экспериментальной работы было выявлено, что наиболее оптимальным соотношением фаз является  $j=1/2$  кг/кг.

Амплитуда и частота колебаний тарелки являются факторами, определяющими интенсивность процесса экстрагирования [6]. Эти факторы оказывают влияние одновременно на ряд характеристик процесса: степень измельчения плодов, температура процесса и интенсивность физического

воздействия. При этом необходимо отметить, что увеличение значений данных параметров в целом ведет к интенсификации процесса. Однако увеличение данных параметров также ведет к негативным последствиям, а именно к излишнему измельчению сырья и, как следствие, затруднению последующей фильтрации, а также к увеличению энергетических затрат. При этом амплитуда и частота колебаний тарелки являются определяющими факторами для процесса измельчения и времени размораживания ягод. Учитывая рекомендации [6], значения этих факторов принимались:  $A=0,016; 0,018; 0,02$  и  $0,022$  м;  $n=10,83\pm 2,5$  Гц.

Изменение диаметра отверстий в тарелке влияет на интенсивность процесса экстрагирования и степень измельчения сырья. Уменьшение размеров отверстий приводит к увеличению скоростей истечения жидкости, что в свою очередь интенсифицирует процессы размораживания и дополнительного измельчения фрагментов, увеличивая тем самым поверхность контакта фаз. Однако уменьшение диаметра отверстий повышает вероятность их «засорения» частицами плодов и их семенами, что приводит к снижению эффективности процесса в целом. При приведении экспериментов  $d_0$  принимался равным  $0,0025; 0,003; 0,004$  и  $0,005$  м при доле свободного сечения тарелки  $\epsilon=16,5\%$  [6].

Основными показателями интенсивности исследуемого процесса являются время насыщения (достижения равновесия) экстрагента  $t_p$ , величина достигаемой равновесной концентрации  $C_{св.р}$  и мощность, потребляемая за время экстрагирования  $N$  [7]. Важным ограничивающим параметром является количество неразрушенных ягод после наступления состояния равновесия в системе –  $m$ , % масс.

При проведении экспериментов максимальное значение концентрации сухих веществ в экстракте боярышника составило  $5,6\%$  масс. Для выбора рациональных режимов процесса из результатов экспериментов были исключены режимы, при которых максимальное значение концентрации сухих веществ в экстракте составило менее  $4,6\%$  масс.

При экстрагировании на некоторых режимах остается до  $63\%$  неразрушенных плодов. Режимы, при которых остается более  $3\%$  неразрушенных плодов, были признаны нерациональными и исключены из результатов экспериментов.

Анализ результатов экспериментов позволил сделать вывод, что для определения наиболее эффективных режимов экстрагирования необходимо комплексно учитывать режимные и энергетические параметры процесса. Для решения данной задачи в качестве критериев оценки были приняты следующие параметры: 1) Равновесная концентрация сухих веществ  $C_{св.р}$ , % масс.; 2) Эффективность процесса экстрагирования  $\mathcal{E}$ , кг/(Дж·с), которую определяли следующим образом:

$$\mathcal{E} = \frac{P}{E}, \quad (1)$$

где  $P$  – производительность экстрактора, кг/с;  $E$  – энергетические затраты, Дж.

$$\Pi = \frac{M_c - M_{ш}}{\tau_p} \cdot \frac{C_{св.р}}{100}, \quad (2)$$

где  $M_c$  – масса смеси плодов и экстрагента, кг;  $M_{ш}$  – масса шрота после экстрагирования, кг;  $\tau_p$  – время достижения состояния равновесия системы, с;  $C_{св.р}$  – равновесная концентрация сухих водорастворимых веществ в экстракте, % масс.

$$E = \bar{N} \cdot \tau_p, \quad (3)$$

где  $\bar{N}$  – среднее значение полезной мощности, потребляемой при экстрагировании, Вт.

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i}{n}, \quad (4)$$

где  $N_i$  – значение полезной мощности при  $i$ -м измерении, Вт;  $n$  – количество  $i$ -х измерений.

Полезная мощность – разность между общими энергозатратами и энергозатратами на холостой ход.

3) Удельные затраты на процесс экстрагирования,  $E_{уд}$ , Дж / % масс., которые определяли как

$$E_{уд} = \frac{E}{C_{св.р}}. \quad (5)$$

Анализ результатов экспериментов, а также расчеты эффективности и удельных энергозатрат процесса получения экстракта боярышника позволили сделать следующие выводы: при приготовлении экстракта из плодов боярышника факторы, влияющие на процесс, должны выбираться из следующих диапазонов:  $A \in [0,018; 0,022]$  м;  $p \in [10,83; 13,33]$  Гц;  $d_0 \in [0,0025; 0,004]$  м и  $\tau_p \in [450; 1200]$  с.

После обработки экспериментальных данных на ЭВМ в среде статистического пакета «STATISTICA-8,0» были получены уравнения регрессии, описывающие процесс получения экстрактов, которые имеют следующий вид.

Для экстракта из плодов боярышника в диапазонах  $C_{св.р} \in [4,6; 5,6]$  % масс.,  $\Theta \in [0,57 \cdot 10^{-9}; 2,59 \cdot 10^{-9}]$  кг/(Дж·с) и  $E_{уд} \in [3782; 8234]$  Дж / % масс.:

$$C_{св.р} = 0,3074 + 91,4 \cdot A + 0,0916 \cdot n + 478,5 \cdot d_0 + 0,000201 \cdot \tau_p, \quad R=94\%; \quad (6)$$

$$\Theta \cdot 10^9 = 2,587 + 49,4 \cdot A - 0,094 \cdot n + 198,95 \cdot d_0 - 0,002716 \cdot \tau_p, \quad R=90\%; \quad (7)$$

$$E_{уд} = -4924,34 + 201650 \cdot A + 494,8 \cdot n - 883220 \cdot d_0 + 6,27 \cdot \tau_p, \quad R=93\%; \quad (8)$$

Диапазоны  $C_{св.р}$ ,  $\Theta$  и  $E_{уд}$  были определены экспериментально.

Анализируя данные уравнения, можно заметить следующее: при экстрагировании плодов боярышника увеличение в указанных пределах амплитуды колебаний  $A$  ведет к увеличению выхода сухих растворимых

веществ  $C_{св.р}$  (уравнение (6)), что объясняется интенсификацией перемешивания фаз. По той же причине увеличение частоты колебаний  $\omega$  ведет к росту величины  $C_{св.р}$ . Рост концентрации  $C_{св.р}$  с увеличением диаметра отверстий  $d_0$  обуславливается структурой и размерами плодов боярышника, содержащими по 2-5 косточек. Размер косточки в несколько раз меньше размеров самого плода. Поэтому отверстия с меньшим диаметром могут частично перекрываться не разрушающимися при работе экстрактора косточками, в результате чего ухудшается гидродинамическая обстановка и снижается выход сухих растворимых веществ  $C_{св.р}$ . Увеличение времени экстрагирования, в указанных пределах, ведет к росту величины  $C_{св.р}$  за счет увеличения продолжительности контакта фаз.

Из уравнения (8) можно заметить, что увеличение  $A$  и  $\omega$  ведет к увеличению  $E_{уд}$  – вследствие возрастания затрат мощности, потребляемой на перемещение рабочим органом. Увеличение  $\tau_r$  также ведет к росту потребления энергии. В отличие от перечисленных факторов увеличение  $d_0$  ведет к снижению энергозатрат, так как уменьшается сопротивление перемещению тарелки со стороны среды.

Рост значений  $A$  и  $d_0$  ведет к росту показателя эффективности  $\mathcal{E}$  (уравнение (7)) – за счет роста величины  $C_{св.р}$ . Увеличение  $\omega$  и  $\tau_r$  ведет к снижению  $\mathcal{E}$  – благодаря увеличению удельных энергозатрат  $E_{уд}$ .

При оценке комплекса факторов, влияющих на процесс экстрагирования, необходимо учитывать, что величины  $C_{св.р}$  и  $\mathcal{E}$  должны стремиться к максимальным значениям, а  $E_{уд}$  – к минимуму. Полученные уравнения регрессии делают возможным решение задачи оптимизации, которая формулируется следующим образом: найти такие значения входных факторов, которые обеспечивают как можно больший показатель эффективности процесса при наиболее возможном выходе сухих веществ и наименьших удельных энергозатратах.

#### Список литературы

1. Андросова, Н.Л. Новые комбинированные кисломолочные продукты для питания детей различного возраста / Н.Л. Андросова, Н.К. Никонова // Хранение и переработка сельхозсырья, 1999. №2. С. 44.
2. Позняковский, В.М. Разработка рецептур и технологий сухих плодово-ягодных и молочных киселей нового поколения / В.М. Позняковский, М.М. Карданова, А.Н. Австриевских // Хранение и переработка сельхозсырья, 2003. №3. С. 63-65.
3. Маюрникова, Л.А. Применение экстрактов растительного сырья в качестве биологически активных добавок к пище / Л.А. Маюрникова, Г.А. Гореликова, В.М. Позняковский, С.К. Щипицын // Хранение и переработка сельхозсырья, 2000. №5. С. 41-42.
4. Плотников, И.Б. Совершенствование способа получения экстрактов из замороженного ягодного сырья в аппарате с вибрационной тарелкой: дисс.... канд. техн. наук: 05.18.12: защищена 24.06.2011 / И.Б. Плотников. Кемерово, 2011. 150 с.

5. Городецкий, И.Я. Вибрационные массообменные аппараты / И.Я. Городецкий, А.А. Васин, В.М. Олевский, П.А. Луапанов. М.: Химия, 1980. 192 с.

6. Иванов, П.П. Разработка технологии и аппаратного оформления производства концентрированных плодово-ягодных экстрактов для молочной промышленности: дисс.... канд. техн. наук: 05.18.04 и 05.18.12: защищена 16.11.2002 / П.П. Иванов. Кемерово, 2002. 135 с.

7. Сорокопуд, А.Ф. Интенсификация экстрагирования плодово-ягодного сырья с использованием низкочастотного вибрационного воздействия / А.Ф. Сорокопуд, В.А. Помозова, А.С. Мустафина // Хранение и переработка сельхозсырья, 2000. №5. С. 24-27.

8. Пат. 2341979 Российская Федерация, МПК51 А23L 1/212. Способ получения экстрактов / Сорокопуд А.Ф., Суменков М.В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – № 2007116408/13; заявл. 02.05.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. №36. 4 с.

9. Сорокопуд, А.Ф. Целесообразность использования плодов боярышника кроваво-красного и калины обыкновенной для обогащения продуктов питания массового потребления / А.Ф. Сорокопуд, Н.В. Дубинина. М., 2008. 9 с. Деп. в ЦИиТЭИагропром 18.02.08, №2 ВС.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Д.Н. Катусов

*Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова*

**Аннотация:** В статье описан комплекс инженерно-технологических исследований, направленных на совершенствование технологии и оборудования производства колбасных изделий, даны рекомендации для руководителей и ведущих специалистов мясоперерабатывающих предприятий, занимающихся подбором и эксплуатацией технологического оборудования.

**Ключевые слова:** колбасные изделия, дефростация, куттерование, перемешивание, когезия.

## THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MAKING SAUSAGES

D.N. Katusov

*Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov*

**Abstract:** The article reviews a complex of engineering and technological studies aimed at the development of the technology of making sausages and the equipment improvement. It also contains recommendations for heads and leading experts of meat-processing businesses who are engaged in selection and operation of processing equipment.

**Key words:** sausages, defrosting, cutting, mixing, cohesion.

Современный мировой продовольственный рынок насыщен разнообразным ассортиментом колбасных изделий, и в условиях жесткой конкурентной борьбы между производителями первостепенную роль играют качественные показатели готовой продукции. Отечественными производителями также выпускается довольно широкий ассортимент колбасных изделий, для качественного приготовления которых требуется не только использование высококачественного сырья, но и жесткое соблюдение всех требований технологического процесса производства, а также рациональный подбор и грамотная эксплуатация технологического оборудования.

В настоящее время, в силу целого комплекса производственно-экономических причин, основным сырьём для отечественных мясоперерабатывающих предприятий является блочное мороженое мясо как отечественного, так и (чаще всего) импортного производства. В соответствии с этим, возникает задача максимального сохранения качественных характеристик дефростируемого мясного сырья при одновременной минимизации его неизбежных количественных потерь. Применение классических методов дефростации с поверхностным способом подвода тепла имеет целый ряд недостатков (большая длительность процесса, приводящая, во-первых, к высоким потерям мясного сока, а вместе с ним солей и микроэлементов, а во-вторых, к развитию патогенных микроорганизмов и окислительным процессам при длительном воздействии кислорода воздуха, а также нерациональное использование производственных площадей и энергоресурсов), делающих такие методы в настоящее время абсолютно неэффективными.

В современном мире инновационных технологий экономически выгодно применять такой метод дефростации, в котором тепло сообщается путем высокочастотного или микроволнового подогрева. В настоящее время наиболее перспективным является способ СВЧ-дефростации, который позволяет наиболее эффективно и равномерно размораживать продукты, не приводя к существенному снижению их качественных показателей [1].

Основными преимуществами способа СВЧ-дефростации являются высокая скорость и равномерность нагрева по всему объему мясного сырья без существенных потерь. При таком способе, как правило, блоки помещаются в камеру дефростера и устанавливаются на поддон или на конвейер. Вращение поддона, на котором размещаются блоки внутри дефростера, увеличивает однородность температурного поля. Для более равномерного нагрева блока микроволны направляются на него сверху и снизу. Размораживание мясных блоков происходит при высокочастотном нагреве (при частоте 27 МГц) или микроволновом нагреве (при частоте 915 МГц). При размораживании от  $-18^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$  в промышленных установках неравномерность температуры внутри блока будет колебаться всего на  $1-2^{\circ}\text{C}$ . При этом время размораживания составляет 5-8 мин [1], в отличие от классического способа, продолжительность которого составляет около 24 часов. Современные СВЧ-аппараты обеспечивают производительность от 1,5 до 6 т блочного мяса в час, что абсолютно недостижимо при классическом методе дефростации. Благодаря

быстрому размораживанию, продукты сохраняют свои органолептические свойства. С микробиологической точки зрения важно, чтобы размораживание происходило как можно быстрее, а температура поверхности продуктов не поднималась выше  $-2^{\circ}\text{C}$ . Поэтому метод СВЧ-дефростации значительно снижает или исключает риск бактериологического заражения сырья.

Следующим важнейшим этапом приготовления каждого вида колбасных изделий является операция измельчения исходного сырья, качество проведения которой зависит, в первую очередь, от грамотного подбора соответствующего измельчающего оборудования и его режимных параметров [2, 3]. В настоящее время самой распространенной и востребованной машиной для измельчения компонентов колбасного фарша на любом предприятии является куттер. Вне зависимости от особенностей конструктивного исполнения куттера сам процесс куттерования обеспечивается быстровращающимся ножевым устройством, состоящим из набора серповидных ножей.

Известно, что вид ножа, его форма, правильная заточка режущей кромки очень сильно влияют не только на продолжительность куттерования и длительность безотказной эксплуатации ножевой головки, но и, в первую очередь, на качественные показатели измельчаемого продукта, его дальнейшие функционально – технологические свойства.

Проведенные нами исследования выявили существование большого ассортимента куттерных ножей, даже для одной, конкретной модели куттера, отличающихся друг от друга по форме профилей. Кроме того, ножи одного типа, но для разных моделей куттеров значительно отличаются между собой формами профилей. Однако нигде не удалось найти чётких, научно обоснованных рекомендаций по их использованию. Для получения фаршевой системы, обладающей определенными характеристическими свойствами, изначально приобретаемыми при куттеровании, необходимо создание рабочего органа соответствующего конкретного профиля [4]. Для создания профиля куттерного ножа, соответствующего технологическим требованиям и реологическими характеристиками обрабатываемого сырья, целесообразно использовать методику, описанную в статье [5], опирающуюся на алгоритм построения профиля куттерного ножа [6].

Следующей, не менее значимой с технологической точки зрения операцией по приготовлению колбасного фарша, особенно для структурно неоднородных колбасных изделий, является операция перемешивания рецептурных компонентов, при выполнении которой важно не столько соблюдать режимные параметры, сколько учитывать свойства исходных компонентов объекта, причем для получения однородной, равномерно распределенной массы перемешивание не только должно быть эффективным, но и при этом на фаршевую систему должно быть произведено минимальное механическое воздействие, приводящее к негативным изменениям структурно-механических свойств исходных компонентов.

Фарш колбасных изделий представляет собой сложную полидисперсную систему, состоящую в основном из белка, жира и воды. Качество готовых изделий определяется соотношением этих показателей, определяющих

стойкость получаемых при диспергировании эмульсий. Часть влаги и жира, не создающие стойкие эмульсии при тепловой обработке, образуют бульонные или жировые отеки под оболочкой, и особенно у концов колбасных батонов, что приводит к браку колбасных изделий. Чтобы исключить эти нежелательные дефекты, необходимо тщательное, равномерное перемешивание исходных компонентов фарша, но при этом необходимо обеспечить условия для сохранения целостности формы таких составляющих фаршевой системы, как кусочки шпика, грудинки или языка, что зачастую является серьезной задачей как для технологов, так и для производителей фаршеперемешивающего оборудования [7].

Вообще, качество фаршевой системы определяется довольно сложными совокупными показателями технологических, реологических, физико-химических и органолептических факторов. Одним из вариантов инструментальной оценки качественных показателей в производственных условиях является измерение комплексного показателя реологических характеристик фаршевой системы – показателя «условной когезии». Когезия обусловлена силами межмолекулярного (межатомного) притяжения различной природы. Их преодоление при разъединении гомогенного тела на части требует совершения работы, называемой работой когезии. Когезионные характеристики сырья используются для оценки качества в процессе его приготовления. Для измерения вышеназванных свойств различного сырья в настоящее время используют такие приборы, как пенетрометры и вискозиметры. Однако в производственных условиях, чтобы не прерывать технологический процесс, часто требуется провести экспресс-анализ данного показателя. Для этих целей нами разработано и опробовано устройство для измерения условной когезии [8].

Соблюдение технологических требований к процессу формования и грамотный подбор формирующего оборудования [9], с учетом его конструктивно-режимных параметров, оптимальных для того или иного вида колбасных изделий, также позволит минимизировать негативные изменения структурно-механических свойств исходных компонентов фаршевых систем.

Немаловажное значение на качественные показатели колбасных изделий оказывают и оптимально подобранные режимные параметры диффузионной и тепловой обработки [10]. Наиболее перспективными группами оборудования в данном случае являются аппараты, с использованием энергии СВЧ [11] и электростатического поля [12-15].

Использование такого комплексного подхода к достижению совокупных качественных показателей при выполнении основных технологических операций по подготовке сырья, приготовлению фаршевых систем и их дальнейшей обработке позволит добиться производства колбасных изделий с заданными стабильными качественными характеристиками, что является наиважнейшей задачей, стоящей перед отечественными производителями для выживания в современных условиях жесткой конкурентной борьбы.

## Список литературы

1. Катусов, Д.Н. Перспективы использования СВЧ-излучения в мясной промышленности / Д.Н. Катусов, Ю.Е. Бабкина, Д.В. Зуева // Технология и продукты здорового питания: Материалы VII Международной научно-практической конференции / Под ред. Ф.Я. Рудика. Саратов: Издательство «Буква», 2013. С. 61-63.
2. Кузнецова, Л.В. Совершенствование технологии и оборудования для измельчения мясного сырья / Л.В. Кузнецова, О.В. Журавлева, Д.Н. Катусов // Специалисты АПК нового поколения: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции под ред. И.Л. Воротникова. Саратов: Издательство «КУБиК», 2010. С. 102-103.
3. Катусов, Д.Н. Использование новых конструктивных решений в мясорезательных машинах / Д.Н. Катусов, Т.Г. Прядко / Материалы Всероссийской конференции по итогам научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2007 год. Саратов: Издательский центр «Наука», 2008. С. 89-90.
4. Ангелюк, В.П. Исследование статических параметров куттерных ножей / В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, К.К. Дусмагулов // Технология и продукты здорового питания: Материалы VI Международной научно-практической конференции / Под ред. Ф.Я. Рудика. Саратов: Издательство «КУБиК», 2012. С. 6-8.
5. Ангелюк, В.П. Проектирование профиля куттерного ножа для рыбного сырья / В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, К.К. Дусмагулов // Научное обозрение. 2013. №6. С. 44-48.
6. Ангелюк, В.П. Информационный образовательный ресурс локального доступа «Алгоритм исследования статических параметров куттерных ножей» / В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, К.К. Дусмагулов. Свидетельство о регистрации электронного ресурса №17655 от 7.12.2011 Инв. номер ВНТИЦ № 50201151522 от 07.12.2011.
7. Катусов, Д.Н. Анализ конструкций фаршемешалок / Д.Н. Катусов, Н.И. Ярыгина / Материалы Всероссийской конференции по итогам научно-исследовательской и производственной работы студентов за 2007 год. Саратов: Издательский центр «Наука», 2008. С. 91-93.
8. Патент №125346 РФ на полезную модель G01N33/12. Устройство для измерения условной когезии / Ангелюк В.П., Попов П.С., Катусов Д.Н. и др. Заявлено 08.06.2012; Опубл. 27.02.2013.
9. Катусов, Д.Н. Сравнительный анализ шприцов для наполнения колбасных оболочек фаршем / Д.Н. Катусов, Д.А. Лимачко, А.Ю. Барулина // Актуальные проблемы производства продукции животноводства: материалы Международной научно-практической конференции. Саратов: изд-во «Научная книга», 2007. С. 37-40.
10. Горбунова, Н.В. Инновационный способ копчения пищевых продуктов / Н.В. Горбунова, В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов // Специалисты нового поколения пищевой и перерабатывающей промышленности: Материалы Международной студенческой научно-практической конференции,

посвященной 100-летию «СГАУ им. Н.И. Вавилова». Под ред. А.А. Морозова. Саратов, 2013. С. 13-16.

11. Катусов, Д.Н. Перспективные способы обработки мясного сырья / Д.Н. Катусов, Е.А. Матказина // Безопасность и качество товаров: Материалы VI Международной научно-практической конференции. / Под ред. С.А. Богатырева. Саратов: Издательство «КУБиК», 2012. С. 42-43.

12. Ангелюк, В.П. Экспериментальная электростатическая коптильная установка периодического действия / В.П. Ангелюк, Д.Н. Катусов, А.А. Шатов, М.В. Бирюков // Наука о питании: технологии, оборудование и безопасность пищевых продуктов: Материалы Международной научно-практической конференции / под ред. Ф.Я. Рудика. Саратов: ИЦ «Наука», 2013. С. 6-7.

13. Катусов, Д.Н. Перспективы использования электростатического поля при производстве продуктов питания / Д.Н. Катусов, Э.А. Алимова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: материалы XV международной научно-практической конференции / сост.: В.П. Тарасов, А.А. Глебов, Д.С. Коркин; Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2014. С. 64-67.

14. Катусов, Д.Н. Перспективы применения электростатического поля при производстве продуктов питания / Д.Н. Катусов, А.А. Шатов // Materialy X mezinarodni vědecko – prakticka konference «Věda a technologie: krok do budoucnosti. 2014». Díl 28. Zemědělství.: Praha. Publishing House «Education and Science» Stran.

15. Патент РФ на полезную модель №143458 A23B4/00. Установка электростатического копчения с возможностью внесения вкусоароматических добавок / Шатов А.А., Скотников Д.А., Катусов Д.Н., Романов Д.М. Заявлено 09.04.2014; Опубл. 20.06.2014.

## **МИНИМИЗАЦИЯ ПРИПУСКА НА ОСНОВЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЦЕНТРИРОВАНИЯ ЗАГОТОВОК**

**А.В. Королев, О.В. Захаров, С.М. Усынин**

*Саратовский государственный технический университет  
имени Ю.А. Гагарина*

Обоснована методика минимизации припуска при обработке круговых поверхностей на токарно-карусельных станках и обрабатывающих центрах. Методика построена на оптимальном центрировании заготовки по окружности минимальной зоны. Для этого предложен и реализован простой и эффективный алгоритм контроля круглости. По результатам сравнения со значениями, полученными для средней и прилегающей базовых окружностей, гарантируется минимальное значение круглости. Работа выполнена при поддержке грантов: ФЦП (проект №2014-14-576-0050-065), Госзадания Минобрнауки России (контракт №9.896.2014/К), Президента РФ (МД-1377.2014.8).

**Ключевые слова:** *минимизация припуска, оптимальное центрирование, круглость, окружность минимальной зоны.*

## MINIMIZATION OF AN ALLOWANCE BASED ON OPTIMAL CENTERING OF WORKPIECES

A.V. Korolev, O.V. Zakharov, S.M. Usynin

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov*

**Abstract:** The paper substantiates a technique of minimizing machining allowance in processing circular surfaces by vertical lathes and machining centers. The method is based on the optimal centering of workpieces around Minimum Zone tolerance circle. A simple and effective algorithm of circularity accuracy control has been proposed and implemented. The minimum value of circularity is guaranteed as a result of comparison with those obtained for the Least Squares Circle or Maximum Inscribed Circle. Financial support was provided by the President of the Russian Federation (grant MD-1377.2014.8), the Federal Program-Agreement (grant 2014-14-576-0050-065) and the Government job of the Ministry of education of Russia (grant 9.896.2014/K).

**Key words:** *minimization of allowance, optimal centering, circularity, Minimum Zone tolerance circle.*

Более половины деталей имеют круговые поверхности (цилиндрические, конические, сферические, тороидальные) и используются в ответственных соединениях машин и механизмов. Наибольшие трудности при изготовлении вызывает обеспечение точности формы, от которой во многом зависит качество сопряжения. Номинальная форма поперечного сечения круговых поверхностей представляет собой окружность, а комплексный показатель, регламентирующий отклонение формы – круглость (отклонение от круглости), показывает, насколько реальный профиль отличается от базовой окружности.

Актуальными задачами следует считать научно обоснованный выбор базовой окружности при контроле, разработку эффективных алгоритмов нахождения центра и радиуса базовых окружностей и методик обработки результатов измерения. Это позволит, с одной стороны, более качественно проводить предварительные измерения, а с другой стороны, назначать меньшие припуски при обработке с гарантированным исправлением погрешностей формы заготовок. Областью практического применения данного подхода является обработка крупногабаритных заготовок на токарно-карусельных станках и обрабатывающих центрах.

На практике получили применение три вида базовых окружностей: средняя, наружная и внутренняя прилегающие, минимальной зоны. Традиционно используемые в отечественном стандарте ГОСТ 24642-81 (заменен ГОСТ Р 53442-2009) прилегающие окружности воспроизводят идеальный сопрягаемый профиль, что можно считать справедливым для соединений с зазором. Преимущество средней окружности заключается в простом и однозначном математическом определении ее параметров методом наименьших квадратов, а физический смысл обычно интерпретируется как равномерное распределение площадей материала в сопряжениях с прессовыми посадками. Недостатком является зависимость получаемых результатов от числа и расположения контролируемых точек на профиле. Окружность минимальной зоны, предлагаемая в качестве основного варианта в стандарте ISO 12181-1:2011, можно представить как зону траектории движения в

процессе обработки и измерения детали. Преимущества окружности минимальной зоны по сравнению с другими в настоящее время не нашли достаточного отражения в технической литературе.

Решение задачи нахождения центра и радиусов средней и прилегающих окружностей достаточно полно изложено в литературе [1-5]. Расчет окружности минимальной зоны более сложен и реализуется исключительно итерационными методами. Общие рекомендации дает стандарт ISO 12181-2:2011, однако вопрос об эффективности конкретных методик и алгоритмов до сих пор остается открытым [6, 7]. В связи с этим в статье рассматривается простой и эффективный алгоритм поиска окружности минимальной зоны и дается сравнение получаемых результатов с использованием других баз.

Согласно определению, зоной минимальной ширины называют зону, образованную двумя концентричными окружностями, охватывающими профиль детали извне и изнутри, причем радиальное расстояние между этими окружностями минимально.

При этом ширина зоны и определяет величину круглости. Таким образом, наилучший результат соответствует минимальному значению круглости. Это значение целесообразно использовать при сравнении как методов, использующих различные базовые окружности, так и конкретных алгоритмов, реализующих данные методы.

Сущность предлагаемого итерационного метода заключается в минимизации собственно ширины кольцевой зоны (рис. 1).

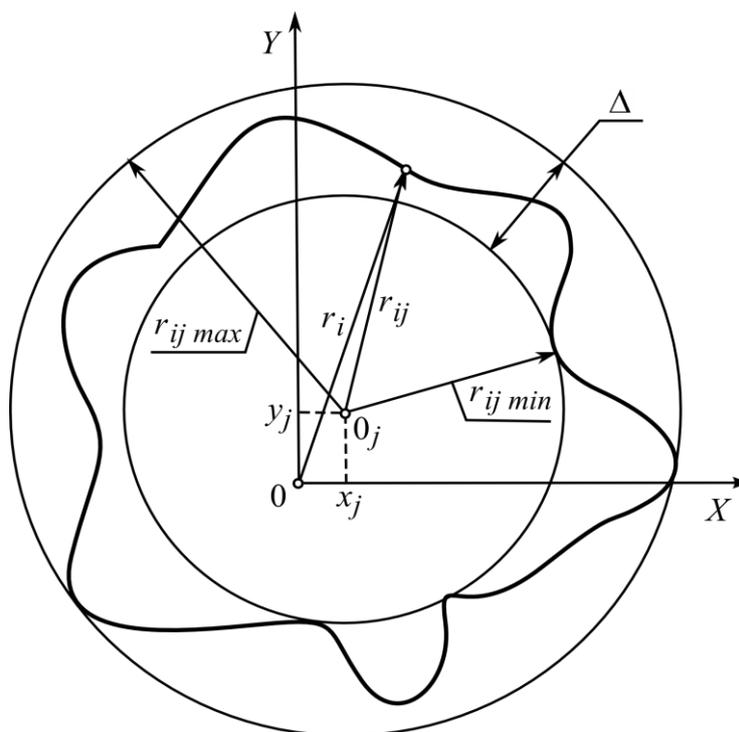


Рис. 1. Расчетная схема контроля круглости

Для этого вначале профиль детали задается в декартовой системе координат  $(X, Y)$  с известными координатами  $(x_j, y_j)$  центра  $O_j$  относительно

начала 0 исходной системы координат. Затем находится целевая функция  $F$  (ширина кольцевой зоны), которая минимизируется итерационной процедурой:

$$F = \{r_{ijmax} - r_{ijmin}\} \rightarrow \min,$$

где  $r_{ijmax}$ ,  $r_{ijmin}$  – максимальное и минимальное значение радиусов  $r_{ij}$  профиля детали на  $j$ -м шаге варьирования координат центра  $(x_j, y_j)$ .

Алгоритм расчета параметров окружности минимальной зоны показан на рис. 2. Исходными данными выступают координаты  $(x_i, y_i)$  профиля детали. Вначале в интерактивном режиме вводятся параметры: начальные координаты  $(x_0, y_0)$  центра окружности; величины шагов по координатам  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ; коэффициент пропорциональности шага  $n$ , минимальная величина шага  $\Delta$ . Анализ показал, что целевая функция от двух переменных  $F(x_j, y_j)$  имеет только один локальный минимум, овражный эффект отсутствует, поэтому выбор начального приближения не столь важен.

Процедура поиска центра  $O_j$  окружности минимальной зоны реализуется в следующей последовательности. Рассчитывается начальное значение целевой функции  $F$  для введенных исходных данных. Затем последовательно выполняются шаги по координатам  $x_j$ ,  $y_j$  и определяются значения соответственно  $g_j$ ,  $F_j$ ,  $F_j'$  на каждом шаге. В зависимости от результатов сравнения значений  $F$ ,  $F_j$ ,  $F_j'$  выбирается направление последующих шагов.

Если целевая функция не уменьшается после перебора всех направлений, то минимум находится в окрестности этой точки, поэтому уменьшают шаги  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  на величину  $n$ , тем самым сужая область поиска. В качестве критерия окончания поиска выступает уменьшение величины шага по координатам (принимаются равными для  $x$ ,  $y$ ) до значения  $\Delta$ .

На основе рассмотренного алгоритма разработана программа в среде Matlab. Пример моделирования представлен на рис. 3, где профиль детали задан 500 точками, увеличение 5000 раз, фильтр 50 и ширина зоны 10 мм. Расчет круглости для средней и прилегающей окружностей реализован по известным формулам.

Проверка разработанного алгоритма на тестовых примерах (приведенных в ISO 12181-2:2011, для эллипса Косини, незамкнутых профилей), а также различных реальных деталей показала его надежность и высокое быстродействие. Обеспечивается хорошая сходимость в случаях неравномерного расположения измеренных точек на профиле (например, при неточном центрировании на кругломере) или для дуг окружностей с углами 90-180°.

Проведены исследования контроля круглости при использовании различных баз. В качестве объекта были выбраны две партии по 50 роликов подшипников диаметром 16 мм после бесцентрового шлифования. Допуск на круглость составлял 2 мкм. Измерения проводились на приборе Talyrond 73 (Taylor Hobson, Великобритания), оснащенный компьютером, в условиях ОАО «Саратовский подшипниковый завод». Результаты контроля после статистической обработки даны в табл. 1.

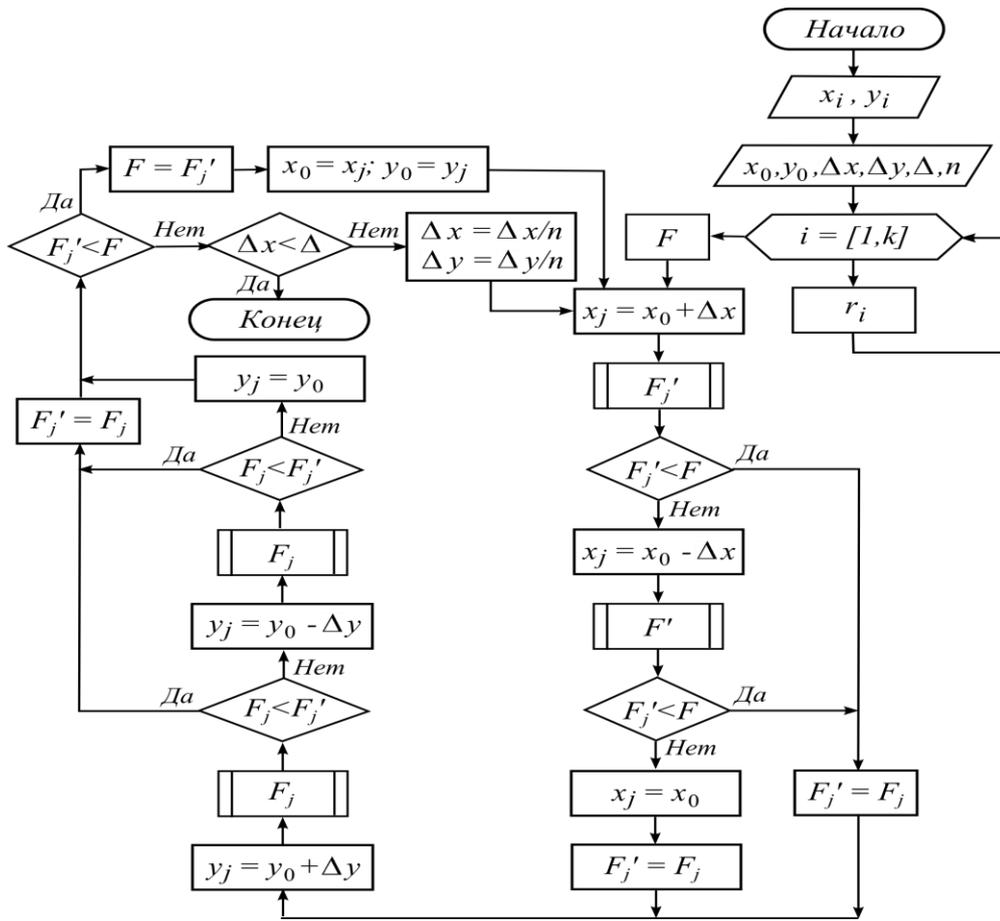


Рис. 2. Алгоритм расчета окружности минимальной зоны

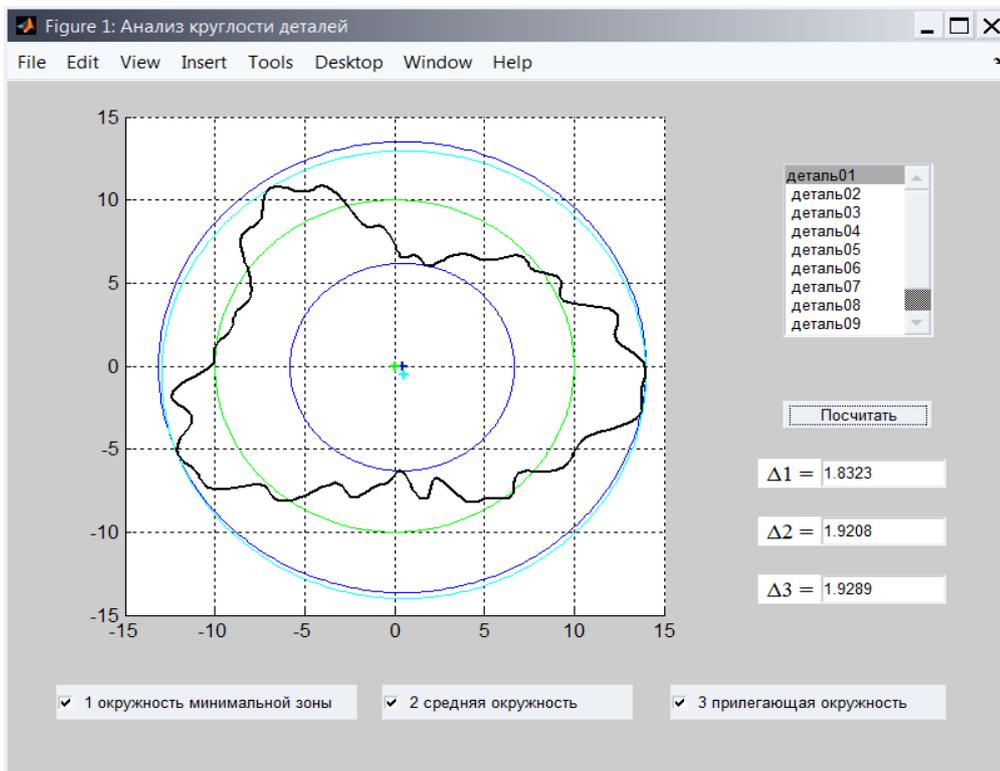


Рис. 3. Моделирование контроля круглости

## Результаты контроля круглости роликов подшипников

| Параметры  | Базовая окружность |             |                  |
|--|--------------------|-------------|------------------|
|  | средняя            | прилегающая | минимальной зоны |
| Среднее значение круглости, мкм                    | 1,49               | 1,50        | 1,34             |
| Стандартное отклонение круглости, мкм <sup>2</sup> | 0,33               | 0,33        | 0,26             |
| Процент забракованных деталей, %                   | 12                 | 16          | 4                |

Анализ результатов контроля показал, что наилучший результат обеспечивает база в виде окружности минимальной зоны. По сравнению со средней и прилегающей наружной окружностью, которые в данном примере показывают примерно равные результаты, снижается среднее значение на 10,6 % и стандартное отклонение на 21,2%. В итоге процент забракованных деталей в партии уменьшается в 3 раза по сравнению со средней окружностью и в 4 раза по сравнению с прилегающей окружностью. Это позволило повысить число годных подшипников при селективной сборке.

Таким образом, обоснована и реализована методика минимизации припуска на основе оптимального центрирования заготовок с применением окружности минимальной зоны. Данная методика наилучшим образом отвечает физическому смыслу и обеспечивает минимальное значение круглости. Основными направлениями практического использования являются центрирование деталей при измерении на кругломерах и центрирование заготовок при установке на токарно-карусельных станках и обрабатывающих центрах.

## Список литературы

1. Авдулов, А.Н. Контроль и оценка круглости деталей машин / А.Н. Авдулов. М.: Изд-во стандартов, 1974. 176 с.
2. Гебель, И.Д. Выбор базовой окружности при измерении формы профиля тел вращения / И.Д. Гебель // Измерительная техника. 1971. №10. С. 20-24.
3. Курносенко, А.И. Об алгоритмах обработки координатных измерений круглых профилей и сферических поверхностей / А.И. Курносенко // Измерительная техника. 1992. №1. С. 25-27.
4. Довица, М. Сравнение методов анализа отклонений от круглости / М. Довица, Я. Буша, Р. Паленчар, С. Дюриш, Л. Шоош, И. Врба, Т. Келеменова, Т. Шковранек // Измерительная техника. 2013. №9. С. 37-39.
5. Никольский, А.А. Точный метод измерений на кругломерах формы поперечных сечений сложного профиля без предварительного центрирования / А.А. Никольский, В.В. Королев // Измерительная техника. 2011. №6. С. 24-29.
6. Changcai, Cui. An iterative neighborhood search approach for minimum zone circularity evaluation from coordinate measuring machine data / Cui Changcai, Wei

Fan, Fugui Huang // Measurement Science and Technology. 2010. V. 21. N. 2. p. 027001.

7. Rossi, A. Fast genetic algorithm for roundness evaluation by the minimum zone tolerance (MZT) method / A. Rossi, M. Antonetti, M. Barloscio, M. Lanzetta // Measurement. 2011. vol. 44. №7. pp. 1243-1252.

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РАСТВОРОВ ЖЕЛАТИНА, ПРИГОТОВЛЕННЫХ НА ОБЛУЧЕННОЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ ВОДЕ

М.И. Минин, И.Е. Стась

*Алтайский государственный университет*

В работе изучено влияние электромагнитного поля на реологические свойства растворов желатина, показано увеличение их вязкости и нарастание эффекта при увеличении концентрации желатина.

**Ключевые слова:** *электромагнитное поле, раствор желатина, вязкость.*

## THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF GELATIN SOLUTIONS PREPARED ON WATER IRRADIATED BY ELECTROMAGNETIC FIELD

M.I. Minin, I.E. Stas

*Altai State University*

**Abstract:** In this paper we study the effect of electromagnetic field on the rheological properties of gelatin solutions which consists in an increase in their viscosity and becomes more significant in increasing the concentration of gelatin.

**Key words:** *electromagnetic field, gelatin solution, viscosity.*

В настоящее время магнитные и электромагнитные поля нашли широкое применение в различных технологических процессах. Многочисленные исследования, проведенные в последние годы, показали возможность эффективного применения электромагнитной обработки водных систем – технической и природной вод, растворов и суспензий.

При электромагнитной обработке водных систем происходит:

- ускорение коагуляции – слипание взвешенных в воде твердых частиц;
- образование и усиление адсорбции;
- образование кристаллов солей при выпаривании не на стенках сосуда, а в объеме;
- ускорение растворения твердых тел;
- изменение смачиваемости твердых поверхностей;
- изменение концентрации растворенных газов.

Так как вода является активным участником всех биологических и подавляющего большинства технологических процессов, изменение ее свойств под действием электромагнитного поля с успехом используют в пищевой технологии, в медицине, химии, биохимии, а также в сельском хозяйстве [1-9].

Одним из важнейших физико-химических свойств воды является вязкость. Вязкостью, или внутренним трением, называют свойство жидкости

сопротивляться взаимному перемещению ее частиц, вызываемому действием приложенной к жидкости силы. Так как вязкость сильно меняется с температурой, измерять ее стоит при строго определенной температуре. Вязкость растворов высокомолекулярных соединений (ВМС) зависит как от концентрации, так и от их молекулярной массы: при одинаковой концентрации растворов вязкость повышается с увеличением молекулярной массы полимера. Вязкость является важной технической характеристикой и в значительной мере обуславливает области применения полимерных продуктов [10].

Желатин – высокомолекулярное соединение, продукт переработки коллагена, распространённого в природе белкового вещества, образующего главную составную часть соединительной ткани позвоночных, особенно в коже, оссеине костей и в сухожилиях. По аминокислотному и элементарному составу желатин близок к коллагену. Основными критериями качества желатина являются вязкость раствора, прочность студня, температура его плавления и застудневания, измеренные при определённых условиях. В концентрированных растворах некоторых веществ желатин растворяется на холоде. Эти же вещества препятствуют образованию студня. В зависимости от степени чистоты и качества различают фотографический, пищевой и технический желатин. Первый применяют в производстве фото- и киноплёнок, фотопластинок и фотобумаги. Пищевой желатин используют в кулинарии, в кондитерском деле, в виноделии и пивоварении; технический – в бумагоделательной, полиграфической и в других отраслях промышленности. Желатин применяется также в медицине и в качестве питательной среды для культивирования бактерий.

Ранее нами было показано изменение скорости и степени набухания желатина при использовании облученной электромагнитным полем воды [11].

Целью данной работы явилось изучение возможности увеличения вязкости растворов желатина при приготовлении их на облученной электромагнитным полем воде.

#### **Методика эксперимента**

Облучение воды проводили в ячейке емкостного типа (объем 50 см<sup>3</sup>) с помощью генератора высокочастотных (ВЧ) сигналов. Напряжение на ВЧ электродах составляло 11 В. Для исследований выбрана частота 180 МГц, т.к. ранее было показано, что воздействие поля именно этой частоты в максимальной степени изменяет физико-химические свойства воды, такие как электропроводность, рН [12] и поверхностное натяжение. В результате электромагнитного воздействия электропроводность воды возрастала в 4-5 раз – с 2,3-2,5 до 10-12 мк См. Время облучения – 3 часа. При хранении облученной воды не наблюдалось релаксации ее проводимости к исходным значениям за время проведения эксперимента.

Серию растворов желатина разных концентраций (0,5...5,0%) готовили следующим образом. Навески желатина помещали в конические колбы, добавляли небольшой объем (~10 мл) дистиллированной (контроль) или облученной воды, выдерживали в течение 30 мин для набухания. Затем растворы нагревали на водяной бане (~60°C) при перемешивании. После

растворения желатина их остужали до комнатной температуры, переносили в мерные колбы и довели объем раствора до 50,0 см<sup>3</sup>, используя необлученную и облученную воду.

Вязкость приготовленных растворов определяли при термостатировании (25°C) с помощью капиллярного вискозиметра типа ВПЖ-2 с диаметром капилляра 1,31 мм по времени истечения раствора.

### Обсуждение результатов

Проведенные исследования, прежде всего, подтвердили значительный рост вязкости растворов при увеличении концентрации желатина, что соответствует литературным данным [13]. В диапазоне концентраций 0,5-3,0% вязкость растворов линейно зависит от концентрации желатина. При дальнейшем ее увеличении на кривой наблюдается излом. Использование более высоких концентраций растворов желатина оказалось невозможным, т.к. наблюдалось их застудневание при температуре эксперимента, что не позволяло определять вязкость.

Было установлено, что вязкость растворов, полученных с использованием облученной воды, выше вязкости растворов, приготовленных на необлученной воде (рисунок 1). Приведенные значения кинематической вязкости являются средним значением из 10 измерений. Заметные различия измеряемой величины проявляются в 3 и 5% растворах желатина, достигая 16,2 и 41,8% соответственно.

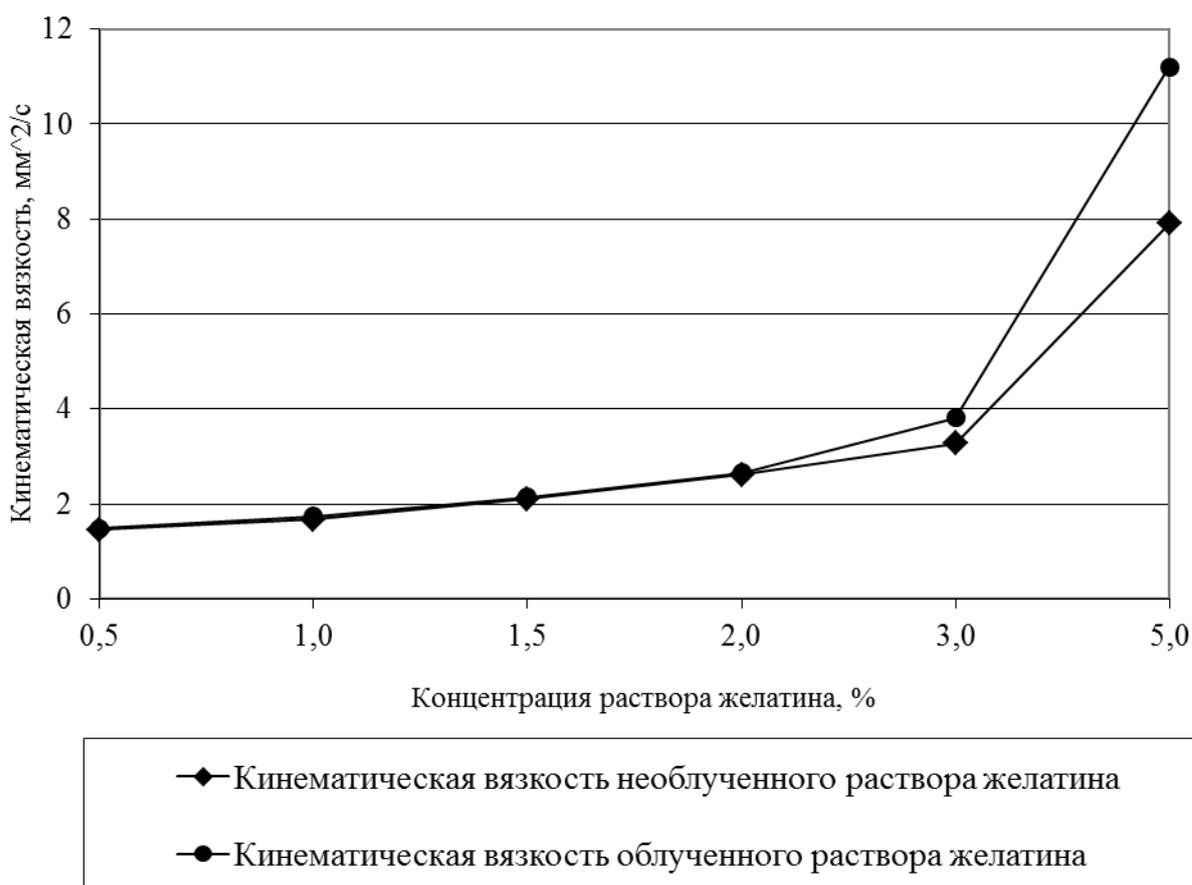


Рис. 1. Зависимость кинематической вязкости растворов желатина от концентрации

Поскольку на рисунке 1, вследствие выбора масштаба, различия реологических свойств необлученных и облученных растворов при малых концентрациях желатина неочевидны, соответствующие данные представлены также в таблице 1. Видно, что в области разбавленных растворов вязкость облученных систем также выше на 1,14-3,57%. Однако четкая концентрационная зависимость отсутствует.

Таблица 1

Зависимость кинематической вязкости растворов желатина от концентрации

| $\eta_{\text{кинematич}}$ \ C, % | 0,5       | 1,0       | 1,5       | 2,0       | 3,0       | 5,0      |
|----------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| Необлученный раствор             | 1,46±0,02 | 1,68±0,02 | 2,10±0,02 | 2,62±0,01 | 3,28±0,02 | 7,9±0,3  |
| Облученный раствор               | 1,48±0,01 | 1,74±0,01 | 2,14±0,02 | 2,65±0,02 | 3,81±0,02 | 11,2±0,3 |
| $\Delta$                         | 0,020     | 0,060     | 0,040     | 0,030     | 0,53      | 3,3      |
| $\Delta$ %                       | 1,37      | 3,57      | 1,90      | 1,14      | 16,2      | 41,8     |

Полученные результаты можно интерпретировать следующим образом. Известно, что в растворах полимеров обнаруживается аномальная вязкость: она очень высока. Большая вязкость растворов ВМС зависит от степени сродства между молекулами: силы сцепления гидрофильных молекул белков и полисахаридов с молекулами воды очень высоки, и вязкость их даже в очень разбавленных растворах также высока. С увеличением концентрации вязкость растворов резко возрастает, т.к. при этом растворенные макромолекулы образуют структуры [13]. Объем свободного растворителя быстро уменьшается, потому что часть его оказывается иммобилизованной в петлях структур. Вязкость раствора полимера зависит от природы растворителя. Это объясняется тем, что растворитель влияет на форму макромолекул в растворе. В хороших растворителях молекула ВМС сольватирована, что придает ей жесткость, и, следовательно, она имеет вытянутую форму. В плохих растворителях сольватация макромолекулы мала и ее отдельные части взаимодействуют друг с другом, в результате макромолекула сворачивается в более или менее плотный клубок. Чем лучше полимер растворяется в данном растворителе, тем более вытянуты макромолекулы и тем больше вязкость раствора [14]. Следовательно, исходя из теоретических представлений, можно предположить, что в облученной электромагнитном полем воде растворимость компонентов желатина возрастает за счет увеличения степени гидратации макромолекул, и макромолекулы принимают вытянутую форму. В результате усиливаются процессы образования пространственных структур, и вязкость растворов желатина возрастает.

Полученные результаты могут найти практическое применение для получения пленок желатина из более разбавленных растворов. Данные пленки находят широкое применение, в частности, в фармацевтической промышленности [15].

### Список литературы

1. Евсеев, Л.М. Магнитоэлектрический эффект в растворах электролитов / Л.М. Евсеев // Журнал физической химии. – 1974. – №7. – С. 1610-1611.
2. Аглемерьян, Т.Х. Влияние омагничивания раствора ОП-11 на устойчивость эмульсий / Т.Х. Аглемерьян, Л.Н. Ефанов, Л.И. Крот // Коллоидный журнал. – 1977. – Т. 39. – №3. – С. 525-527.
3. Классен, В.И. Изучение смачиваемости твердых тел водой после воздействия на нее магнитного поля / В.И. Классен // ДАН СССР. – 1966. – Т. 166. – №6. – С. 1383-1385.
4. Тебенихин, Е.Ф. Влияние окислов железа на процессы кристаллизации дигидрата сульфата кальция под воздействием магнитного поля / Е.Ф. Тебенихин, В.А. Кишневский // Труды Московского энергетического института. – 1975. – Т. 238. – С. 89.
5. Тебенихин, Е.Ф. Исследование влияния магнитного поля на интенсивность накипеобразования / Е.Ф. Тебенихин, В.А. Кишневский // Труды Московского энергетического института. – 1975. – Т. 238. – С. 94.
6. Аболин, О.Э. Влияние омагничивания на кристаллизацию сульфата кальция / О.Э. Аболин, Л.Н. Ефанов, В.М. Левинсон // Рукопись представлена редколлегией журнала Известия вузов. – 1980. – №58. – 11 с.
7. Суфьянов, Р.Р. Исследование воздействия высокочастотного электромагнитного поля на нефтяные шламы: диссертация кандидата технических наук: 01.04.14 Уфа, 2005 131 с.: 61 05-5/2570.
8. Комаров, В.С. Усиление коалесценции капель жидкости под действием электрического поля / В.С. Комаров, Н.С. Репина, С.Л. Дулько // Весці АН Беларусі. Сер. хім. н. – 1995. – №3. – С. 18-22, 122.
9. Комаров, В.С. Влияние продолжительности действия электрического поля на структуру полученных адсорбентов / В.С. Комаров, Н.С. Репина, Е.В. Карпинчик // Журнал прикладной химии. – 1995. – Т. 68. – №5. – С. 854-856.
10. Торопцева, А.М. Лабораторный практикум по химии и технологии высокомолекулярных соединений / А.М. Торопцева, К.В. Белгородская, В.М. Бондаренко. Л.: Химия, 1972. 414 с.
11. Стась, И.Е. Набухание биополимеров в облученной электромагнитным полем воде / И.Е. Стась, В.Ю. Чиркова, Р.Н. Тхоренко // Матер. VI Всерос. конф. с междунар. участием «Новые достижения в химии и хим. технологии растительного сырья». Барнаул, 22-24 апреля 2014. С. 109-111.
12. Стась, И.Е. Изменение физико-химических свойств воды под воздействием электромагнитного излучения радиочастотного диапазона / И.Е. Стась, Л.Ю. Репейкова // Сб. науч. трудов Сибирского ин-та знания / И.Е. Стась, Л.Ю. Репейкова // Сб. науч. трудов Сибирского ин-та знания / И.Е. Стась, Л.Ю. Репейкова // Сб. науч. трудов Сибирского ин-та знания «Интеллектуальный потенциал ученых России», 2010. Вып. 10. С. 284-289.
13. Равич-Щербо, М.И. Физическая и коллоидная химия / М.И. Равич-Щербо, В.В. Новиков. М.: Высшая школа, 1975. С. 221-222.
14. Лукьянов, А.Б. Физическая и коллоидная химия / А.Б. Лукьянов. М.: Химия, 1988. С. 257.

15. Ананьев, В.Н. и др. Желатиновые пленки как нанотехнологическая матрица механизма действия и доставки лекарственных препаратов / В.Н. Ананьев // Здоровье и образование в XXI веке, 2009. Т. 11. №1. С.18-22.

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ МИКРОПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ ИМПРЕГНИРОВАННЫМИ КРУГАМИ

Р.Ф. Мустафаев<sup>1</sup>, Н.С. Алексеев<sup>2</sup>, В.А. Капорин<sup>2</sup>, С.В. Иванов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ООО «Научные исследования и химические продукты», г. Новосибирск

<sup>2</sup>Рубцовский индустриальный институт (филиал) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова», г. Рубцовск

**Анотация:** Представлены результаты исследований режущей способности кругов из электрокорунда при шлифовании плазменных покрытий на никелевой и железной основе в зависимости от состава импрегнатора.

**Ключевые слова:** абразивный инструмент, шлифование, плазменные покрытия, пропитка, состав, стойкость кругов, режущая способность, импрегнатор.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF GRINDING MICROPOROUS COATINGS BY IMPREGNATED DISCS

R.F. Mustafaev, N.S. Alexeev, V.A. Kapurin, S.V. Ivanov

<sup>1</sup>ООО «Research and chemical products », Novosibirsk

<sup>2</sup>Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University

**Abstract:** The paper presents a study of electrocorundum discs cutting ability in grinding nickel and iron - based plasma coatings, depending on the composition of the impregnator.

**Key words:** grinding tool, grinding, plasma coating, impregnation, composition, discs stability, cutting ability, impregnator.

Во многих случаях стандартный абразивный инструмент (АИ) не в состоянии обеспечить необходимую производительность операции шлифования микропористых покрытий восстановленных деталей при обеспечении высокого качества обработанной поверхности прежде всего из-за низкой стойкости шлифовальных кругов (ШК) вследствие их «засаливания», интенсивного затупления и износа.

Обычные пути борьбы с этими трудностями: применение специальных СОЖ, регулирование режимов резания и характеристик инструмента – зачастую недостаточно эффективны. Поэтому в последнее время большое внимание уделяется различным методам улучшения эксплуатационных свойств АИ, в том числе связанным с использованием его нережущих элементов: связки и пор [1]. Особенно полезными для практики оказываются методы использования пор круга путем так называемой пропитки (импрегнирования)

его специальными веществами, улучшающими режущие свойства АИ. В машиностроении при изготовлении деталей из монолитных (однородных) материалов для пропитки кругов применяется сера, фенолформальдегидная смола «бакелизация». Известны пропитка парафином, стеарином, графитом [2]. Однако, применительно к обработке износостойких микропористых покрытий восстановленных деталей, в технической литературе отсутствуют работы по этим вопросам.

Рубцовский индустриальный институт совместно с ООО «Научные исследования и химические продукты» (г. Новосибирск) проводит широкие исследования влияния импрегнаторов на процессы шлифования труднообрабатываемых плазменных покрытий восстановленных деталей.

Пропиточными составами для кругов служили растворы, содержащие поверхностно-активные (ПАВ) и химически-активные (ХАВ) вещества. Импрегнаторы вводились в поры круга в жидком виде путем свободного капиллярного поднятия. Жидкие импрегнаторы значительно упрощают операцию пропитки и создают условия для непосредственного влияния на процесс шлифования путем участия в контактных процессах зоны резания. В основе контактных процессов лежит взаимодействие поверхностей абразивного и обрабатываемого материалов, т.е. образование поверхностных связей, их работа и разрушение. Практическим результатом такого взаимодействия является схватывание инструментального и обрабатываемого материала, которое часто приводит к «засаливанию» кругов. Оно обусловлено потенциальной реакционной способностью контактирующих тел. Импрегнатор, создавая прослойку между абразивным и обрабатываемыми материалами, препятствует схватыванию и ликвидирует «засаливание» кругов.

По результатам проведенных предварительных исследований влияния импрегнирования на режущие свойства АИ были отобраны составы трех групп:

- водорастворимые полимеры;
- амины и жирные кислоты;
- карбамиды.

В итоге для исследований влияния импрегнаторов на режущую способность кругов при шлифовании плазменных покрытий были подготовлены следующие пропиточные составы (указаны в процентах):

**Состав №0:** без пропитки (базовый).

**Состав №1:** 0,01% -й раствор полиакриламида.

**Состав №2:** масло индустриальное – 8,9;

|                |        |
|----------------|--------|
| ПАВ            | – 2,4; |
| жирные кислоты | – 2,7; |
| вода           | – 86.  |

**Состав №3:** карбометилцеллюлоза – 0,45;

|  |          |
|--|----------|
| водный раствор силиката натрия (жидкое стекло) | – 9,0;   |
| вода   | – 90,55. |

**Состав №4:** карбометилцеллюлоза – 1,0;

|  |         |
|--|---------|
| водный раствор силиката натрия (жидкое стекло) | – 50,0; |
| вода   | – 49,0. |

- Состав №5:** полиакриламид – 0,02;  
неонол – 0,45;  
вода – 99,53.
- Состав №6:** полиакриламид – 0,08;  
тиокарбамид – 0,05;  
вода – 99,87.
- Состав №7:** полиакриламид – 0,1;  
тиокарбамид – 1,0;  
вода – 98,9.
- Состав №8:** триэтаноламин – 27,8;  
олеиновая кислота – 5,2;  
0,01% -й раствор полиакриламида – 67.
- Состав №9:** триэтаноламин – 7,0;  
олеиновая кислота – 1,3;  
0,01% -й раствор полиакриламида – 91,7.
- Состав №10:** триэтаноламин – 40;  
вода – 60.
- Состав №11:** триэтаноламин – 60;  
вода – 40.
- Состав №12:** тиокарбамид – 1,0;  
вода – 99,0.
- Состав №13:** тиокарбамид – 5,0;  
вода – 95,0.
- Состав №14:** карбамид – 5;  
тиокарбамид – 5;  
вода – 90.
- Состав №15:** триэтаноламин – 6,0;  
олеиновая кислота – 4,0;  
вода – 90.
- Состав №16:** триэтаноламин – 7,0;  
олеиновая кислота – 1,3;  
вода – 91,7.
- Состав №17:** триэтаноламин – 27,8;  
олеиновая кислота – 5,2;  
вода – 67.
- Состав №18:** триэтаноламин – 69,6;  
олеиновая кислота – 13,1;  
вода – 17,3.
- Состав №19:** триэтаноламин – 41,7;  
олеиновая кислота – 7,9;  
вода – 50,4.

Общим для перечисленных импрегнаторов является наличие в их составах ПАВ И ХАВ, а также способность в процессе сушки кристаллизоваться в

порах инструмента, что обеспечивает надежное удержание импрегнаторов в инструменте при вращении с рабочей окружной скоростью.

Технологические испытания указанных составов проведены на плоскошлифовальном станке модели 3601 периферией круга методом врезного шлифования с использованием абразивных кругов формы 1 150 x 20 x 32 ГОСТ P52781-2007 с характеристикой 25AF60O6V35 (25A25HCT16K7).

Обработке подвергали широко распространенные плазменные покрытия из порошка марки ПВ-Н85Ю15 на никелевой основе (далее просто ПВ), а также из порошковой композиции на железной основе состоящей из 10% по массе порошка интерметаллида марки ПВ-Н85Ю15, 10% самофлюсующего порошкового сплава ПР-НХ17СР4, остальное – железный порошок ПЖРВ 2.200.26 (далее просто ПЖ). Твердость покрытий ПВ и ПЖ составляла 25...30 HRC и 40...42 HRC соответственно. Материалы обоих покрытий относятся к интерметаллидным соединениям соответственно систем Ni-Al и Fe-Ni.

Обрабатывались плазменно-напыленные образцы призматической формы с размерами 100 x 70 x 22 мм. Режимы шлифования: скорость резания – 22 м/с; скорость продольного хода стола – 7 м/мин; вертикальная подача – 0,01 мм/дв. ход. Шлифование производилось без охлаждения.

Для оценки технологической эффективности различных импрегнаторов использовали следующие критерии:

- период стойкости  $T$ , мин, абразивного круга определяемый по появлению следов дробления или прижогов на шлифованной поверхности покрытий;
- коэффициент шлифования по объему  $K_{ш}$ , мм<sup>3</sup>/мм<sup>3</sup>;
- удельную мощность шлифования  $K_N$ , Вт·мин/мм<sup>3</sup>;
- комплексный критерий  $K_m$ , мм<sup>3</sup>/мин·Вт·мкм;
- параметр шероховатости шлифованных образцов Ra, мкм.

Продолжительность каждого опыта равнялась периоду стойкости круга. Размерный износ абразивных кругов измеряли индикатором часового типа с ценой деления 0,001 мм. Шероховатость шлифованной поверхности контролировалась на профилографе – профилометре АБРИС-ПМ7. Для замера мощности шлифования применялся однофазный лабораторный ваттметр Д539.

Каждую серию испытаний повторяли не менее трех раз, что обеспечивало достоверность полученных результатов с вероятностью  $P = 0,95$ . По каждой серии экспериментов определялись средние значения показателей. Усредненные результаты по выбранным показателям для всех испытанных пропиточных составов при шлифовании плазменных покрытий представлены в табл. 1.

Из результатов испытаний (табл. 1) видно, что, варьируя составами импрегнаторов при шлифовании покрытий ПВ и ПЖ, можно более чем в 4 раза изменить значение  $T$ , более чем в 1,3 раза – энергетические затраты, более чем в 3,3 раза – размерный износ круга.

Очевидно, для практических целей оценка импрегнаторов по одному критерию неприемлема, а по нескольким критериям одновременно затруднен выбор их рационального состава. Однако можно избежать затруднения, если использовать рейтинговый метод оценки результатов испытаний [3]. В табл. 2

представлены результаты оценки испытаний при ранжировании составов импрегнаторов по важнейшим критериям: периоду  $T$  стойкости круга, коэффициентам шлифования по объему  $K_{ш}$  и комплексному критерию  $K_m$ , характеризующим энергетические затраты, производительность и шероховатость шлифованных поверхностей. Число баллов, характеризующее каждый критерий, равно единице для состава, имеющего по данному критерию наименьшую технологическую эффективность и максимальное значение для импрегнатора, показавшего лучшие результаты.

Таблица 1

Усредненные показатели плоского врезного шлифования плазменных покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 25AF60O6V, пропитанным различными импрегнаторами

| Состав импрегнаторов | $T$ , мин | $Ra$ , мкм | $K_{ш}$ , мм <sup>3</sup> /мм <sup>3</sup> | $K_N$ , $\frac{Вт \cdot мин}{мм^3}$ | $\frac{K_m}{мин \cdot Вт \cdot мкм}$ , мм <sup>3</sup> |
|----------------------|-----------|------------|--|-------------------------------------|--|
| №0                   | 0,35/0,68 | 0,62/0,42  | 7,7/13,3                                   | 0,79/0,85                           | 2,05/2,81  |
| №1                   | 0,28/0,57 | 0,63/0,53  | 6,1/11,8                                   | 0,86/0,88                           | 1,85/2,14  |
| №2                   | 0,32/0,68 | 0,61/0,49  | 7,4/16,0                                   | 0,86/0,86                           | 1,90/2,36  |
| №3                   | 0,30/0,62 | 0,73/0,50  | 7,1/12,1                                   | 0,96/0,92                           | 1,43/2,16  |
| №4                   | 0,22/0,53 | 0,68/0,47  | 5,8/10,0                                   | 1,34/0,87                           | 1,10/2,45  |
| №5                   | 0,28/0,66 | 0,65/0,50  | 6,8/12,6                                   | 0,93/0,96                           | 1,66/2,08  |
| №6                   | 0,35/0,52 | 0,67/0,51  | 8,6/12,1                                   | 0,96/0,92                           | 1,56/2,13  |
| №7                   | 0,50/0,73 | 0,61/0,49  | 11,7/15,3                                  | 0,90/0,89                           | 1,81/2,30  |
| №8                   | 0,46/0,73 | 0,69/0,46  | 10,7/17,4                                  | 0,78/0,90                           | 1,86/2,41  |
| №9                   | 0,41/0,69 | 0,66/0,49  | 10,0/15,9                                  | 0,87/0,90                           | 1,73/2,26  |
| №10                  | 0,68/0,90 | 0,60/0,48  | 15,6/20,8                                  | 0,82/0,91                           | 2,04/2,29  |
| №11                  | 0,70/0,92 | 0,62/0,48  | 16,1/21,5                                  | 0,85/0,89                           | 1,90/2,34  |
| №12                  | 0,52/0,74 | 0,59/0,46  | 12,7/16,4                                  | 0,83/0,93                           | 2,04/2,34  |
| №13                  | 0,63/0,86 | 0,56/0,46  | 14,1/18,6                                  | 0,83/0,90                           | 2,16/2,42  |
| №14                  | 0,81/0,95 | 0,56/0,51  | 17,9/22,7                                  | 0,86/0,89                           | 2,09/2,19  |
| №15                  | 0,50/0,72 | 0,66/0,52  | 10,9/16,9                                  | 0,84/0,90                           | 1,79/2,14  |
| №16                  | 0,46/0,79 | 0,66/0,47  | 10,6/17,4                                  | 1,04/0,89                           | 1,46/2,39  |
| №17                  | 0,56/0,82 | 0,61/0,50  | 14,2/19,5                                  | 0,86/0,87                           | 1,90/2,29  |
| №18                  | 0,93/1,03 | 0,58/0,51  | 19,5/24,1                                  | 0,86/0,93                           | 2,00/2,11  |
| №19                  | 0,86/0,97 | 0,61/0,45  | 18,5/22,6                                  | 0,86/0,91                           | 1,91/2,43  |

Из табл. 2 видно, что при шлифовании покрытия ПВ к лучшему импрегнатору относится состав №18 (55 баллов), а при обработке покрытия ПЖ наибольшую технологическую эффективность показал состав №19 (55 баллов).

Ранговый критерий оценки можно использовать также и для выбора универсальных импрегнаторов, предназначенных для шлифования плазменных покрытий различных типов кругами на керамической связке (табл. 2).

Видно, что наиболее универсальным импрегнатором для шлифования плазменных покрытий на никелевой и железной основе кругами на керамической связке является состав №19 (107 баллов) на основе

триэтанолamina и олеиновой кислоты. Хорошие результаты получены также при использовании импрегнаторов №11 (92,5 балла) и №14 (99 баллов).

Таблица 2

Рейтинговая оценка различных импрегнаторов при плоском шлифовании плазменных покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 25AF6006V

| Состав импрегнаторов | Число баллов, характеризующих критерии |                       |  | Суммарное число баллов | Суммарное число баллов при обработке двух видов испытанных покрытий |
|----------------------|--|-----------------------|--|------------------------|---|
|                      | периода стойкости $K_T$                | износа круга $K_{ки}$ | энергетических затрат и качества $K_{к,м}$ |                        |   |
| №0                   | 6,5/6,5                                | 6/6                   | 18/20                                      | 30,5/32,5              | 63  |
| №1                   | 2,5/3                                  | 2/2                   | 9/4,5                                      | 13,5/9,5               | 23  |
| №2                   | 5/6,5                                  | 5/9                   | 12/14                                      | 22/29,5                | 51,5  |
| №3                   | 4/4                                    | 4/3,5                 | 2/6  | 10/13,5                | 23,5  |
| №4                   | 1/2                                    | 1/1                   | 1/19                                       | 3/22                   | 25  |
| №5                   | 2,5/5                                  | 3/5                   | 5/1  | 10,5/11                | 21,5  |
| №6                   | 6,5/1                                  | 7/3,5                 | 4/3  | 17,5/7,5               | 25  |
| №7                   | 11,5/10,5                              | 12/7                  | 8/11                                       | 31,5/28,5              | 60  |
| №8                   | 9,5/10,5                               | 10/13                 | 10/16                                      | 29,5/39,5              | 69  |
| №9                   | 8/8                                    | 8/8                   | 6/8  | 22/24                  | 46  |
| №10                  | 16/16                                  | 16/16                 | 16,5/9,5                                   | 48,5/41,5              | 90  |
| №11                  | 17/17                                  | 17/17                 | 12/12,5                                    | 46/46,5                | 92,5  |
| №12                  | 13/12                                  | 13/10                 | 16,5/12,5                                  | 42,5/34,5              | 77  |
| №13                  | 15/15                                  | 14/4                  | 20/17                                      | 49/36                  | 85  |
| №14                  | 18/18                                  | 18/19                 | 19/7                                       | 55/44                  | 99  |
| №15                  | 11,5/9                                 | 11/11                 | 7/4,5                                      | 29,5/24,5              | 54  |
| №16                  | 9,5/13                                 | 9/12                  | 3/15                                       | 21,5/40                | 61,5  |
| №17                  | 14/14                                  | 15/15                 | 12/9,5                                     | 41/38,5                | 79,5  |
| №18                  | 20/20                                  | 20/20                 | 15/2                                       | 55/42                  | 97  |
| №19                  | 19/19                                  | 19/18                 | 14/18                                      | 52/55                  | 107   |

### Выводы

1. В основном предложенные импрегнаторы (№1 – №19) оказались эффективнее непропитанного круга. Эффект от импрегнированного круга больше при сухом шлифовании микропористых покрытий, чем при работе с охлаждением.

2. Импрегнирование инструмента оказывает влияние на все показатели операции шлифования микропористых покрытий, но больше всего на стойкость круга между правками и среднюю скорость износа круга.

3. Исследования показали, что наиболее эффективным при шлифовании микропористых покрытий на никелевой и железной основе является импрегнатор №19: стойкость кругов увеличивается в 1,5-2,5 раза, коэффициент шлифования возрастает в 1,7- 2,4 раза при низкой шероховатости шлифованной поверхности.

### Список литературы

1. Чирков, Г.В. Особенности обработки импрегнированными шлифовальными кругами / Г.В. Чирков. Техника машиностроения, 1996. №2 (8). С. 60-62.
2. Мубаракшин, Р.М. Применение кислород- и фторсодержащих импрегнаторов для пропитки шлифовальных кругов / Р.М. Мубаракшин, Ю.В. Доронин, В.И. Бардин, С.А. Гребенкин // Современные способы повышения качества абразивно-алмазной и упрочняющей обработки: Межвуз. сб. науч. тр. Пермь: ППИ, 1985. С. 94-97.
3. Киселев, Е.С. Современные смазочно-охлаждающие жидкости / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин, З.С. Курзанова, М.А. Кузнецова // Вестник машиностроения, 1996. №7. С. 30-34.

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПРИ ТОЧЕНИИ

В.Н. Некрасов, Ф.М. Сукаева

*Алтайский государственный технический университет*

Рассматривается идея моделирования формообразования микронеровностей на обработанной поверхности после токарной обработки.

**Ключевые слова:** *Моделирование, микронеровности, токарная обработка.*

### THE STUDY OF MICROGEOMETRY FORMATION PROCESS DURING LATHE MACHINING

V.N. Nekrasov, F.M. Sukaeva

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper considers the idea of modeling microroughnesses formation on the surface processed by lathe machining.

**Key words:** *Modeling, microroughnesses, lathe machining.*

Повышение эффективности прикладных научных исследований становится важным фактором ускорения научно-технического прогресса. Особое значение для повышения эффективности технологических процессов приобретает автоматизация их проектирования и управления ими, позволяющие получать изделия с заданным качеством в указанные сроки. Это связано в первую очередь с тем, что повышаются требования к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей – точности получаемых размеров, отклонений формы, взаимного расположения поверхностей, их волнистости и шероховатости.

На поверхностях деталей после обработки режущим инструментом на металлорежущих станках всегда остаются неровности [1]. Совокупность микронеровностей, образующихся на поверхности детали, называют шероховатостью поверхности. Для изучения процесса формирования микрогеометрии при точении следует выявить факторы, оказывающие определяющее влияние на шероховатость. Высота и характер

микронеровностей зависят от обрабатываемого материала, режимов резания, геометрии режущих инструментов и других параметров. Изменяя геометрические параметры режущего инструмента и режимы резания, можно значительно менять величины шероховатости поверхности. В таком случае, если смоделировать предполагаемый микропрофиль обрабатываемой поверхности, то можно назначить необходимые и правильные режимы резания.

Как правило, для моделирования обработанной поверхности при точении предлагается за основу взять геометрические параметры инструмента и скорость подачи инструмента. Таким образом мы получим профиль поверхности сформированный геометрических копированием профиля инструмента в профиль заготовки.

Но, как известно, помимо микронеровностей, получаемых от инструмента, на обработанной поверхности всегда присутствуют микронеровности, получаемые в результате пластического течения металла, сколов, вырывов, местных дефектов [2]. Их параметры зависят от свойств обрабатываемого и обрабатывающего материалов, скорости резания, глубины резания, степени износа инструмента и других факторов.

Приближенно их можно описать треугольниками с разной геометрией. Для их определения предлагается ввести в модель дополнительные параметры, которые будут определять характеристики таких треугольников. Для упрощения модели используются равнобедренные треугольники, чтобы их описать, достаточно знать длину основания и высоту. Также необходимо указать координаты расположения треугольника, которая будет жестко привязана к регулярному профилю. Эти параметры можно получить из геометрического анализа настоящей обработанной поверхности, полученной экспериментальным путем при заданных условиях. В результате моделирования должна получиться следующая картина (рис. 1). Учитывая только самый верхний контур, образованный треугольниками, получим ожидаемый в результате моделирования профиль обработанной поверхности.

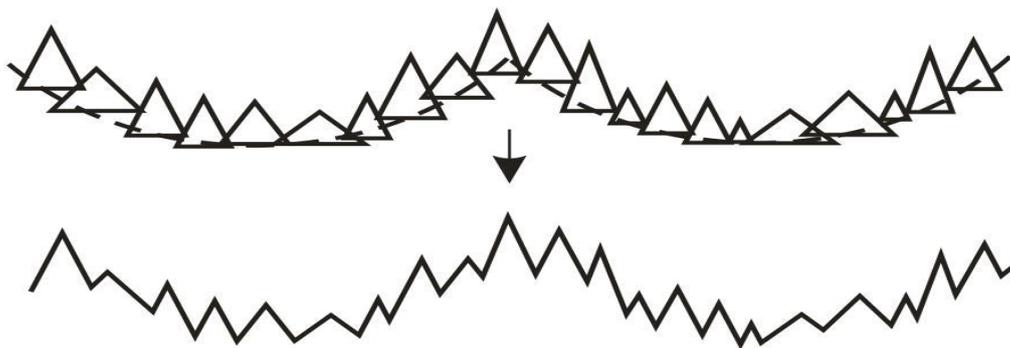


Рис. 1. Профиль образованный треугольниками

#### Список литературы

1. Панкин, А.В. Обработка металлов резанием / А.В. Панкин // М.: Гос. науч.-техн. изд-во машиностроительной литературы, 1961. 524 с.

2. Якобсон, М.О. Шероховатость, наклеп и остаточные напряжения при механической обработке / М.О. Якобсон // М., 1969. 272 с.

## **РОТОРНЫЙ РАСПЫЛИТЕЛЬНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ**

Е.С. Нечаева

*ФГБОУ ВПО «Кемеровский технологический институт  
пищевой промышленности»*

Приведены результаты исследований гидравлических сопротивлений, брызгоуноса и эффективности пылеулавливания в роторном распылительном пылеуловителе диаметром 0,25 м в зависимости от частоты вращения распылителя, приведенной скорости газа и диаметра распыливающих отверстий. В качестве модельной жидкости использована вода. Представлены результаты математической обработки. В качестве модельных продуктов использовались пыли сухого молока, лактозы, сахара и угля.

**Ключевые слова:** *эффективность пылеулавливания, роторный распылительный пылеуловитель, брызгоунос, гидравлические сопротивления.*

## **ROTARY SPRAY-TYPE DUST COLLECTOR**

E.S. Nechaeva

*Kemerovo Institute of Food Science and Technology*

**Abstract:** The paper quotes the results of studying the hydraulic resistance, sprays deflector and dust collecting efficiency in the rotary spray-type dust collector of 0,25m in diameter depending on the rotational speed of the sprayer, the specified gas flow velocity and the diameter of sprayer outlets. Water is used as a model liquid. Results of mathematical processing are presented. Sprays of powdered milk, lactose, sugar and coal are used as model products.

**Key words:** *dust collecting efficiency, rotary spray-type dust collector, sprays deflector, hydraulic resistance.*

В помещении, где производится сушка и упаковка сахара, лактозы, сухого молока и т.д., возможно присутствие в воздухе пыли данных продуктов, являющейся при определенной концентрации взрывоопасной. Все места образования пыли в помещении сушки должны быть оборудованы аспирацией. Современные аспирационные системы обеспечивают эффективное обеспыливание воздуха и утилизацию отходов.

В пищевой промышленности зачастую для пылеочистки взрывоопасных воздушно-пылевых смесей применяются воздушные сепараторы и аспирационные установки во взрывозащищенном исполнении. Различные фильтрующие и пылеулавливающие агрегаты могут также исполняться из нержавеющей стали.

Пылеуловители делятся на две категории: аппараты без применения жидкости и с ее применением. Такое деление принято в ГОСТ 12.2.043-80 «Оборудование пылеулавливающее. Классификация».

Аппараты мокрой очистки газов имеют ряд достоинств [1, 2, 3]:

1. Мокрые фильтры отличаются сравнительно небольшой стоимостью и более высокой эффективностью улавливания взвешенных частиц по сравнению с сухими механическими аппаратами.

2. Некоторые типы мокрых фильтров (турбулентные газопромыватели) могут быть применены для очистки газов от частиц размером до 0,1 мкм.

3. Мокрые пылеуловители не только могут успешно конкурировать с такими высокоэффективными пылеуловителями, как рукавные фильтры, но и использоваться в тех случаях, когда рукавные фильтры не применяются, например, при высокой температуре и повышенной влажности газов, при опасности возгораний и взрывов очищаемых газов или улавливаемой пыли.

4. Аппараты мокрой очистки газов одновременно с взвешенными частицами могут улавливать парообразные и газообразные компоненты.

Однако метод мокрой очистки имеет ряд недостатков [4]:

1. Улавливаемый мокрыми пылеуловителями продукт выделяется в виде шлама, что связано с необходимостью обработки сточных вод и, следовательно, с удорожанием процесса очистки.

2. При охлаждении очищаемых газов до температуры, близкой к точке росы, а также при механическом уносе из газоочистного аппарата газовым потоком капель жидкости пыль может осаждаться в газопроводах.

3. В случае очистки агрессивных газов аппаратуру и коммуникации необходимо защищать антикоррозионными материалами.

Несмотря на эти недостатки, мокрые пылеочистные аппараты могут применяться в различных отраслях промышленности.

Одними из наиболее эффективных аппаратов мокрого пылеулавливания по праву можно считать роторные аппараты с внутренней циркуляцией рабочей жидкости. Они обеспечивают степень очистки газов от частиц пыли размером 1-5 мкм на 95-99% при незначительных удельных энергозатратах и невысокой плотности орошения.

Как отмечается в [2], оснащение систем очистки газов от пыли пищевых продуктов аппаратами «мокрой» пылеочистки роторного типа с внутренней циркуляцией и самоорошением позволит снизить потери продукта без существенного роста его себестоимости.

Основным направлением в совершенствовании аппаратов мокрой пылеочистки следует считать снижение энергозатрат на их работу при повышении фракционной эффективности.

Нами были исследованы основные рабочие характеристики роторного распылительного пылеуловителя (РПИ) с внутренней циркуляцией и самоорошением рабочей жидкостью [5]: эффективность пылеочистки, брызгоунос и гидравлическое сопротивление.

Пылеуловитель (рисунок 1) содержит вал 1, подшипниковую опору 2, сепаратор 3, крыльчатку-сепаратор 4, корпус 5, транспортирующий цилиндр 6 с насосным устройством 14, вокруг которого соосно установлен направляющий цилиндр с сеткой для отделения нерастворившихся частиц уловленной пыли 12. В нижней части пылеотделителя установлен бункер 11 с гидрозатвором 9 и

патрубком удаления шлама 10. На корпусе установлен патрубок ввода орошающей жидкости 13.

Пылеуловитель работает следующим образом. Очищаемый газ по патрубку вводится тангенциально в аппарат и в результате возникающей центробежной силы прижимается к поверхности жидкости, залитой в бункер 11. Частицы пыли, соприкасаясь с поверхностью жидкости, смачиваются и оседают на дно бункера 11.

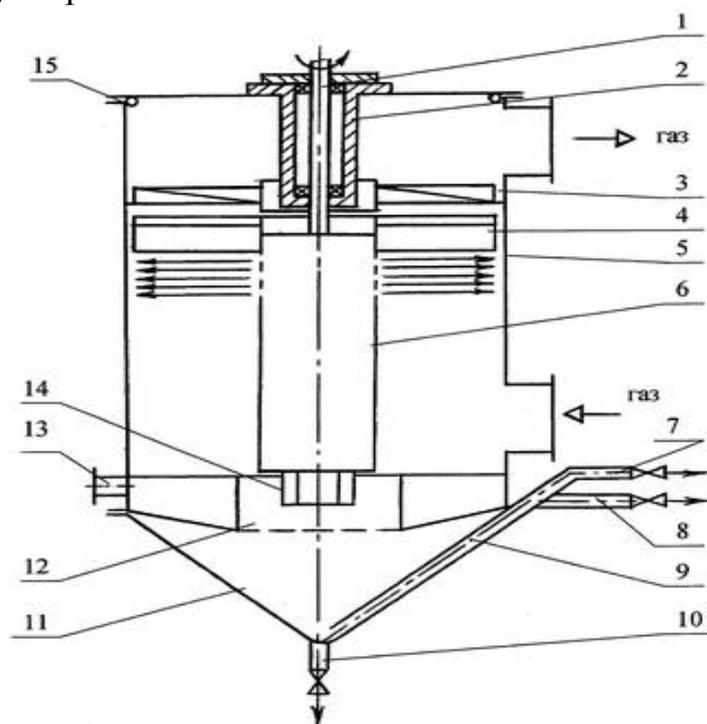


Рис. 1. Роторный распылительный пылеуловитель

В результате контакта с поверхностью жидкости, залитой в бункер 11, образуется дополнительная поверхность взаимодействия частиц пыли с жидкостью, что положительно сказывается на эффективности пылеочистки.

Закрученное движение газ сохраняет по всей высоте аппарата, т.к. движется вслед за распыляемой транспортирующей жидкостью, захватывается крыльчаткой-сепаратором 4, а в сепараторе 3 проходит по лабиринтным каналам, образованным отбойными элементами. Газ выходит из сепаратора – 3 и прижимается к стенке в верхней части корпуса 5, а далее выводится по тангенциально установленному к корпусу 5 патрубку. Закрученное движение газа обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление его прохождению через аппарат.

Рабочая жидкость с помощью насосного устройства 14 непрерывно подается в транспортирующий цилиндр 6, в верхней части которого расположены в необходимом количестве распыливающие отверстия. При диспергировании жидкости транспортирующим цилиндром 6 образуется слой струй и капель, достигнув стенок корпуса 5 и пластинок пристенного каплеотбойника, капли ударяются о них, в результате появляются вторичные

капли, а на пластинках каплеотбойника и стенке корпуса 5 образуется пленка турбулизированной жидкости, стекающая по корпусу 5 в бункер 11.

Пристенный каплеотбойник (на рисунке 1 не показан) представляет собой набор пластин, вертикально установленных на высоту факела распыла. Пластины изготовлены из нержавеющей стали и установлены под углом 15-20° к касательной, проведенной к окружности распылителя, с шагом, в 2 раза большим их ширины.

Очищаемый газ, отразившись от поверхности жидкости, залитой в бункер 11, контактирует со стекающей по корпусу 5 пленкой, со струями и каплями жидкости, распыленной транспортирующим цилиндром 6, и проходит через зону удара капель жидкости о стенку корпуса и пластинки каплеотбойника. На всем пути газ встречает высокоразвитую и интенсивно обновляющуюся поверхность жидкости, что обеспечивает высокую степень очистки газа от пыли. Пройдя факел распыла, газ очищается от капель рабочей жидкости и подкручивается крыльчаткой-сепаратором 4, что создает зону разрежения и обеспечивает снижение гидравлического сопротивления аппарата.

Рабочая жидкость вместе с частицами уловленной пыли собирается в бункере 11 пылеуловителя, где частицы пыли растворяются, и шлам непрерывно выводится в виде суспензии или раствора через патрубки 7, 8 гидрозатвора 9. Подпитка аппарата свежей рабочей жидкостью с учетом компенсации потерь ее на испарение и с выгружаемым шламом осуществляется как непрерывно, так и периодически через патрубков 13. Уловленная в сепараторе 3 жидкость сливается вдоль стенок корпуса вниз. Для промывки лабиринтных каналов в сепараторе 3 предусмотрено специальное орошающее устройство 15.

Направляющий цилиндр 12 служит для предотвращения раскручивания жидкости в бункере 11 и улучшения работы насосного устройства 14.

Расход рабочей жидкости (воды) принимали минимально достаточным для удовлетворительной работы пылеуловителя, так как количество жидкости в бункере не оказывает влияния на эффективность пылеочистки. Было установлено, что расход рабочей жидкости должен быть  $L_{ж}/F_a \geq (0,4 \div 120) \cdot 10^{-5}$ , м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>с,  $L_{ж} \geq 1,5 \cdot 10^{-5}$  м<sup>3</sup>/с, где  $F_a$  – площадь сечения аппарата, при этом из сливного патрубка непрерывно отводится незначительная ее часть.

Повышение эффективности очистки достигается за счет создания постоянного подпора жидкости в насосном устройстве и постоянного отвода суспензии (шлама) при помощи гидрозатвора 9. Снижение вероятности забивания распыливающих отверстий частицами пыли еще не растворившегося продукта – за счет установки решетки на направляющем цилиндре 12. Улучшение сепарации газа от капель рабочей жидкости и уменьшение гидравлического сопротивления аппарата – за счет установки крыльчатки-сепаратора 4. Повышение нагрузки по газу – за счет снижения брызгоуноса и гидравлического сопротивления аппарата. Улучшение отмеченных выше показателей в совокупности обеспечит улучшение и технических характеристик пылеуловителя.

В качестве основных модельных использованы пыли: сухого молока, лактозы, сахара. В целях экономии дорогостоящих пылевидных продуктов на первом этапе применяли угольную пыль марки К – коксующийся, взятую с угольного предприятия ОАО ЦОФ «Березовская» г. Березовский, Кемеровская область. Исходные пыли измельчались на вибрационной мельнице МВ – 60 с рабочими органами в виде стержней. После каждого прохода измеряли размер частиц на цифровом микроскопе марки Levenhuk D870T снабженным программным обеспечением для определения размера частицы.

Гранулометрический состав полученных пылей представлен в таблице 1. Концентрация пылей задавалась исходя из требований норм ПДК для каждого продукта и соответствовала 2,5-10 мг/м<sup>3</sup>.

Таблица 1

Дисперсный состав пылей

| Вид пыли     | Содержание частиц пыли<br>(в % от их общего количества) |       |       |       |       |       |       | Медиан-<br>ный<br>размер<br>частиц,<br>d <sub>50</sub> , мкм |
|--------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
|              | <1 мкм  | 2 мкм | 3 мкм | 4 мкм | 5 мкм | 6 мкм | 7 мкм |  |
| угольная     | 65  | 13    | 14    | 3,5   | 2     | ~1    | ~1,5  | 1,4  |
| сахарная     | 70  | 15    | 11    | 3     | 1     | -     | -     | 1,9  |
| лактоза      | 96,3  | 3,5   | 0,2   | -     | -     | -     | -     | 1,3  |
| сухое молоко | 81  | 7     | 6     | 2,7   | 2     | 1     | 1,3   | 1,9  |

Эксперименты проводились при варьировании параметров в следующих пределах: диаметр диспергирующих отверстий  $d_0 = 1,4 \dots 2,5$  мм с одинаковым окружным ( $t_{окр}$ ) и осевым ( $t_{ос}$ ) шагом  $t_{ос} = t_{окр} = 2,5d_0$ , отверстия расположены в 6 рядов в шахматном порядке; скорость газа в аппарате –  $U_{ап} = 1 \dots 4$  м/с; частота вращения распылителя задавалась из условий его устойчивой работы –  $n = 800 \dots 1000$  об/мин, что обеспечивало скорость истечения жидкости в пределах  $U_{ж} = 3,14 \dots 4$  м/с. Эксперименты выполнены на системе воздух – вода при температуре  $18 \pm 20^\circ\text{C}$ .

При исследовании пылеочистки было установлено, что во всем диапазоне варьирования параметров на всех модельных пылях эффективность составляла не менее 99%. Обработка опытных данных позволила получить уравнение для расчета эффективности:

$$\eta = 98,91 + 0,14d_0 + 0,37U_{ж} + 0,059C_n + 0,27U_{г} - 0,098d_0U_{ж} + 0,008d_0C_n - 0,04d_0U_{г} - 0,02U_{ж}C_n - 0,0965U_{ж}U_{г} - 0,007C_nU_{г}$$

$$R^2 = 0,94, \quad (1)$$

где  $R^2$  – коэффициент корреляции.

Физико-химические характеристики рабочей жидкости [таблица 2] (плотность,  $\rho_{ж}$ , кг/м<sup>3</sup>; вязкость,  $\mu_{ж} \cdot 10^3$ , Па\*с; поверхностное натяжение,  $\sigma_{ж} \cdot 10^3$ , Н/м) замерены при работе РРП и составили:

Результаты исследования брызгоноса представлены на графиках, рис. 2-3.

Обобщенная формула для расчета брызгоноса в исследованном диапазоне изменений параметров имеет вид

$$e = 0,2451 \cdot 10^{-6} \cdot d_0^{2,07} \cdot U_{ж}^{1,60} \cdot U_{г}^{0,24}, R^2 = 0,942, c/o; \quad (2)$$

Таблица 2

Физико-химические свойства рабочей жидкости

| Вид пыли     | $\rho_{ж}$        | $\mu_{ж} \cdot 10^3$ | $\sigma_{ж} \cdot 10^3$ |
|--------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
|              | кг/м <sup>3</sup> | Па*с                 | Н/м                     |
| Уголь        | 1008              | 1,34                 | 68,53                   |
| Сухое молоко | 886               | 57,1                 | 44,75                   |
| Лактоза      | 887               | 50,4                 | 40,61                   |
| Сахар        | 1039              | 16,2                 | 28,1                    |

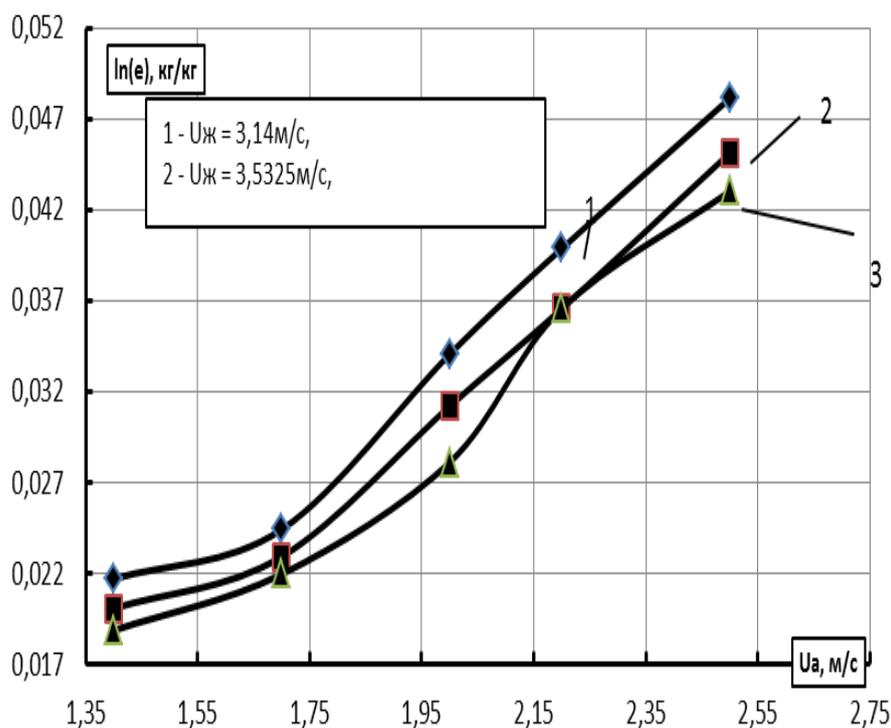


Рис. 2. Зависимость брызгоноса от скорости газа в аппарате при  $d_0 = 2,0$  мм, вода

Из графиков на рис. 2, 3 можно сделать вывод, что с увеличением частоты вращения ротора (увеличивается скорость капель факела распыленной жидкости), в результате ударного взаимодействия этих капель с пленкой жидкости на пристенном каплеотбойнике происходит более интенсивно и количество мелкодисперсных капель, полученных при этом взаимодействии, увеличивается. Эти капли больше подвержены брызгоносу. Увеличение

скорости газовой фазы в аппарате увеличивает брызгоунос;  $d_0$  оказывает наибольшее влияние на брызгоунос, что связано с увеличением производительности распылителя.

Во всем исследованном диапазоне относительный брызгоунос (кг жидкости на 1 кг газа) не превышает 0,05, что допустимо [6].

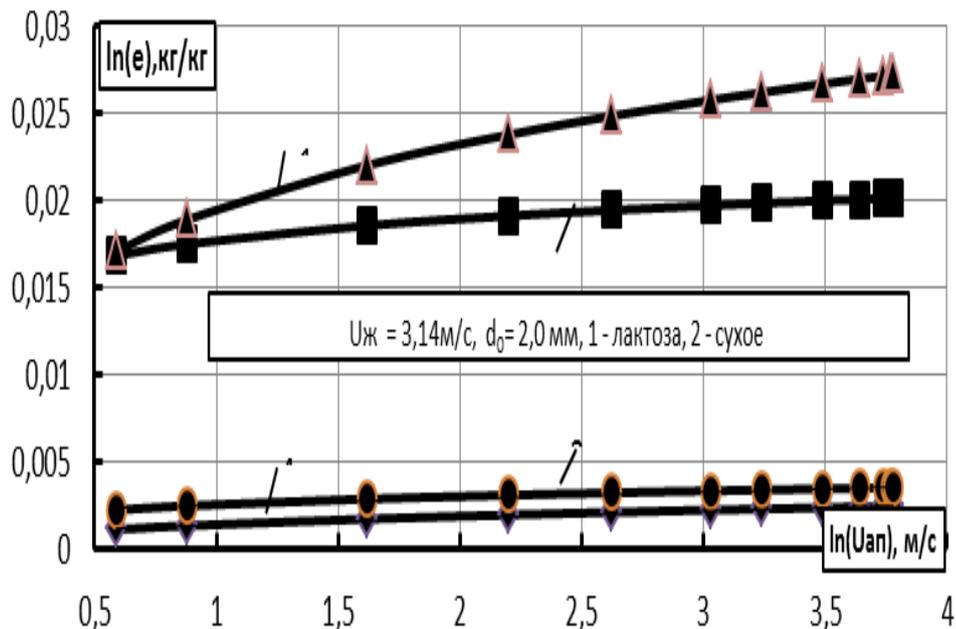


Рис. 3. Зависимость брызгоуноса от скорости газа в аппарате

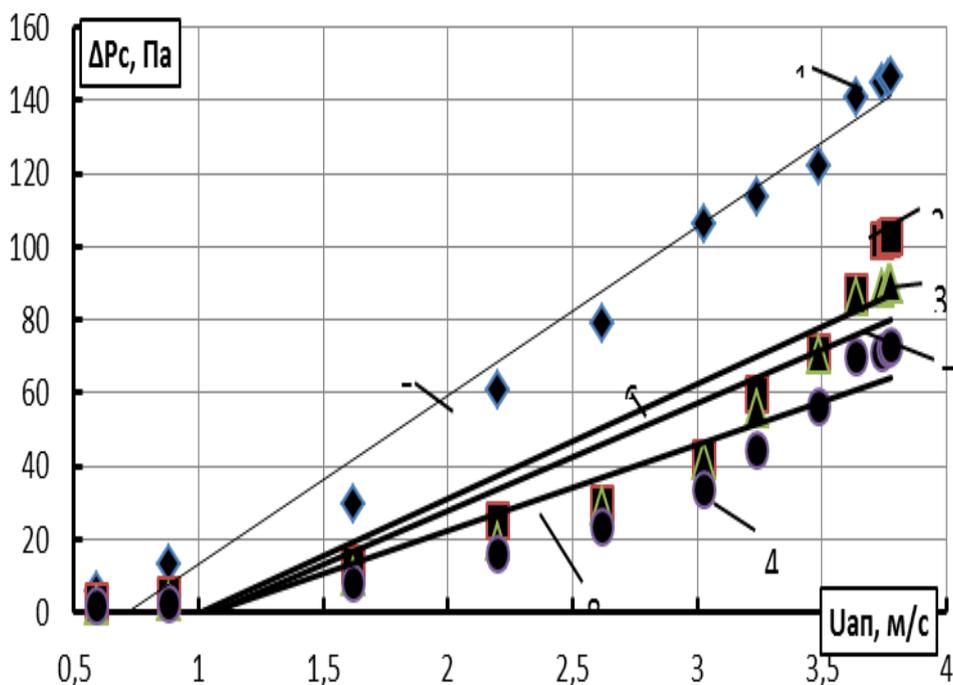


Рис. 4. Зависимость гидравлического сопротивления сухого аппарата от скорости газа: Экспериментальные данные: 1 –  $n = 800$  об/мин; 2 –  $n = 900$  об/мин; 3 –  $n = 1000$  об/мин; 4 –  $n = 0$  об/мин. Результат математической обработки: 5 –  $U_{ж} = 3,14$  м/с; 6 –  $U_{ж} = 3,53$  м/с; 7 –  $U_{ж} = 3,9$  м/с; 8 –  $n = 0$  об/мин

Полученные экспериментальные данные обрабатывались в программе Microsoft Office Excel 2007. Из данных, представленных на рис. 4, следует, что вращающийся распылитель в неорошаемом (сухом) аппарате создает определенное гидравлическое сопротивление проходу воздуха. Причем с увеличением частоты вращения сопротивление снижается. Данное явление можно объяснить вентиляционным эффектом, создаваемым вращающимся распылителем и крыльчаткой. При скорости воздуха в РРП 3,5 м/с потери напора возрастают на 10-15% за счет вращения распылителя с частотой  $n = 900 - 1000$  об/мин.

В целом гидравлическое сопротивление неорошаемого РРП при  $n = 900$  и  $1000$  об/мин остается невысоким.

Анализируя данные на рис. 4 и 5, можно сделать выводы, что  $\Delta P_{\phi}$  в РРП достаточно велико и в несколько раз превышает  $\Delta P_{\text{сух}}$ , а с увеличением частоты вращения распылителя  $\Delta P_0$  несколько снижается. На наш взгляд, это также можно объяснить вентиляционным эффектом, создаваемым вращающимся распылителем и факелом жидкости.

Математическая обработка данных, представленных на рис. 4, позволила получить уравнение.

$$\Delta P_{\text{ор}} = 486,5537 + 103,2143 \cdot U_{\text{ап}} - 31,8471 U_{\text{ж}} + 0 \cdot d_0, \text{ Па}, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,99.$$

Из анализа уравнения (3) следует, что влиянием  $d_0$  на  $\Delta P_{\text{ор}}$  можно пренебречь. Учитывая, что  $\Delta P_{\text{сух}} \ll \Delta P_{\text{ор}}$ , уравнение (3) можно рекомендовать для расчетной практики.

Как показывают данные на рис. 5, в диапазоне  $U_{\text{ап}} = 1,0 \dots 4,0$  м/с гидравлическое сопротивление исследуемого РРП меняется в пределах 460...790 Па.

Близким по конструктивному решению является роторный распылительный газопромыватель (РРГ), сопротивление которого в диапазоне скоростей газа  $U_{\text{ап}} = 1,5 \dots 3,1$  м/с составляет  $\Delta P_{\text{ор}} = 150 \dots 730$  Па. РРП при  $U_{\text{ап}} = 2,5 \dots 3,8$  м/с имеет практически одинаковое с РРП  $\Delta P_{\text{ор}}$ .

Энергозатраты на работу аппарата складываются из затрат на электроэнергию, на работу системы «мокрой» очистки, стоимости орошающей жидкости, затрат на амортизацию, текущий ремонт и из затрат на утилизацию шлама. При многократном использовании орошающей жидкости весомые затраты приходятся на энергозатраты при работе пылеуловителя [2].

Поэтому основным направлением в совершенствовании аппаратов «мокрой» очистки следует считать снижение энергозатрат на их работу при повышении фракционной эффективности.

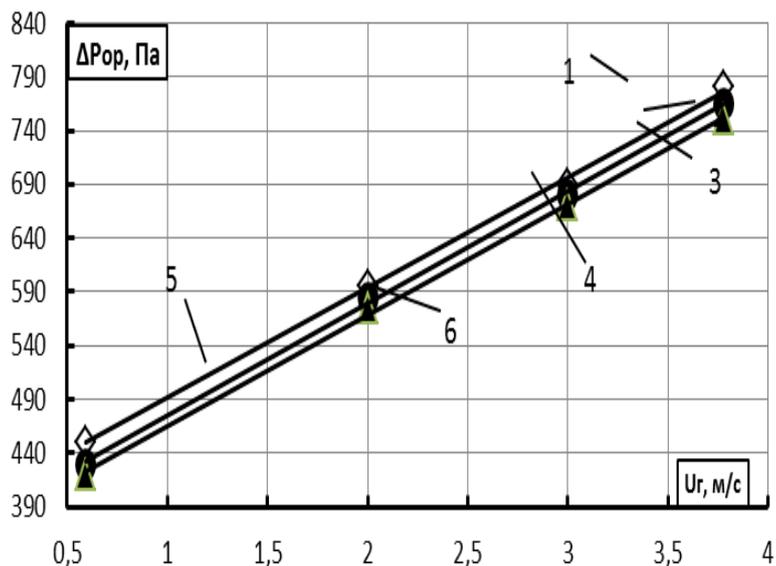


Рис. 5. Зависимость гидравлического сопротивления орошаемого аппарата от скорости воздуха ( $d_0 = 2 \cdot 10^{-3}$  м, вода). Экспериментальные данные: 1 –  $n = 1000$  об/мин, 2 –  $n = 900$  об/мин, 3 –  $n = 800$  об/мин. Результат математической обработки: 4 –  $U_{ж} = 3,9$  м/с; 5 –  $U_{ж} = 3,53$  м/с; 6 –  $U_{ж} = 3,14$  м/с

#### Список литературы

1. Штокман, Е.А. Очистка воздуха от пыли / Е.А. Штокман. Ростов-на-Дону, 1987. 107 с.
2. Сорокопуд, А.Ф. Техничко-экономические предпосылки выбора рационального пылеуловителя / А.Ф. Сорокопуд, С.А. Максимов, М.И. Даниленко. / Хранение и переработка сельхозсырья. 2002. №10. С. 64-66.
3. Варваров, В.В. Проблемы улавливания пылевидных фракций в технологии сыпучих пищевых продуктов / В.В. Варваров. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1988. – 136 с.
4. Даниленко, М.И. Разработка и исследование роторного газопромывателя с целью интенсификации процесса пылеочистки. / М.И. Даниленко. Дис.... канд. техн. наук. Кемерово, 1997. – 192 с.
5. Пат. 229610 Российская Федерация, МПК В 01 D 47/16. Роторный пылеотделитель / Сорокопуд А.Ф. и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности» (Ru). №95109057/25; заявл. 02.06.1995; опубл. 27.04.1998.
6. Сугак, Е.В. и др. Очистка газовых выбросов в аппаратах с интенсивными гидродинамическими режимами / Е.В. Сугак. Казань: РИЦ «Школа». 1999. 224 с.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПОНОВОК МАЛОГАБАРИТНЫХ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ СТАНКОВ

С.П. Пестов

*Филиал ФГБОУ ВПО «ЮУрГУ» (НИУ), в г. Златоусте*

Рассмотрены особенности проектирования на основе модульного принципа компоновок малогабаритных реконфигурируемых станков с компьютерным управлением.

**Ключевые слова:** проектирование, компоновки, станки малогабаритные, станки реконфигурируемые, модульный принцип, компьютерное управление.

## DESIGNING LAYOUTS OF SMALL-SIZED RECONFIGURABLE MACHINES

S.P. Pestov

*Zlatoust branch of National Research South Ural State University*

**Abstract:** The paper contains information on peculiarities of designing based on modular principle of layouts of small-sized reconfigurable computer control machines.

**Key words:** designing, layout, small-sized machines, reconfigurable machines, modular principle, computer control.

Задачи расширения технологических возможностей металлорежущих станков и снижения затрат на их изготовление, стоящие перед станкостроительной отраслью, требуют разработки новых методов проектирования такого высокоэффективного технологического оборудования, как реконфигурируемые станки, станки модульной конструкции. При этом всё большее значение на начальных стадиях проектирования получают методы синтеза и оценки компоновок этих станков, в том числе и автоматизированные методы. Особые трудности возникают при разработке компоновок малогабаритных реконфигурируемых станков, так как малая масса модулей (блоков), из которых komponуется станок, и деталей, обрабатываемых на них, позволяют выявлять компоновочные решения, которые недопустимы при проектировании станков нормальных и больших габаритных размеров. Малогабаритные станки могут быть оснащены системами компьютерного управления.

Рассмотрим общую методику проектирования компоновок малогабаритных реконфигурируемых станков. Эта методика положена в основу автоматизированной системы проектирования компоновок таких станков [1].

1. Функциональное описание оборудования. Процесс проектирования станков начинается с составления функционального описания создаваемого оборудования. Здесь, исходя из функций, выполняемых станком, формируется концептуальная модель, которая будет включать общее описание конструкции и состав модулей (блоков). Функции, которые обеспечивает станок, определяются параметрами обрабатываемых деталей. Если ограничиться проектированием компоновок малогабаритных станков токарной, фрезерной и токарно-фрезерной групп, то детали представляют собой валы и плиты

различного профиля и исполнений. Из этого следует, что типовой набор модулей (блоков), из которых komponуется реконфигурируемый станок, может содержать станины, столы, фрезерные и сверлильные головки, резцедержатели, а также направляющие и стойки различных исполнений.

2. Функциональное описание компоновки. После задания типа детали, её исполнения и размеров формируется функциональное описание компоновки. Эта модель содержит в себе все параметры детали, информацию о движениях формообразования, необходимых для получения заданного профиля и минимальный необходимый для этого набор модулей (блоков).

3. Генерация массива компоновок. На основе функционального описания, используя полученный выше состав модулей, генерируют массив возможных компоновок станка, отвечающих заданным функциям. Генерация массива компоновок ведётся с использованием методов и алгоритмов комбинаторики, а именно – применяется метод перебора комбинаторных объектов в лексикографическом порядке. Следует учитывать, что чем больше модулей содержит концептуальная модель, тем большее количество компоновок будет сгенерировано. Точное количество компоновок находится как факториал от числа модулей.

4. Поиск и отбор компоновок по заданным условиям. На основе таблицы структурных условий отбора компоновок ведётся поиск таких компоновок, которые отвечают всем заданным условиям. При этом следует учитывать то, что количество прошедших отбор компоновок может варьироваться в зависимости от жёсткости критериев отбора – от всего множества компоновок до нуля.

Критерии отбора компоновок подобраны на основе таблицы структурных условий отбора, приведённой в работе Ю.Д. Врагова [2]. Данные в этой работе критерии были адаптированы под особенности конструкции малогабаритных реконфигурируемых станков, то есть к станкам более простой конструкции и сравнительно малой массе, в отличие от их крупногабаритных аналогов. Перечень критериев позволяет подобрать компоновки станков определённой конфигурации, указать степени свободы и расположение заданных модулей (блоков), располагая их по величине хода или указывая жёсткое месторасположение модуля (блока) в компоновке.

Процесс отбора основан на двумерном варианте алгоритма Бойера-Мура, который считается наиболее быстрым и достоверным среди алгоритмов общего назначения, применяемых для поиска подстроки в строке. Отбор является многоитерационным процессом, и количество итераций зависит от количества выбранных критериев и широты их охвата. Во время каждой итерации отбора алгоритм отсеивает не удовлетворяющие заданным условиям компоновки и помещает остальные в буферный двумерный массив для следующей итерации.

5. Расчёт станка выбранной компоновки и обоснования его технических характеристик. Процесс расчёта станка выбранной компоновки и обоснования его технических характеристик обеспечивается на основании заданных параметров инструмента и режимов резания. Алгоритм обоснования технических характеристик определяет следующие параметры станка:

габаритные предельные размеры обрабатываемого изделия; оптимальные режимы обработки; предельные значения частот вращения шпинделя и подач; силы резания и эффективную мощность привода и электродвигателя.

В разработанной системе автоматизированной компоновки малогабаритных реконфигурируемых станков была принята концепция первичности структурного синтеза, потому что данный подход представляется более логичным, необходимым и естественным для конструктора на начальных стадиях проектирования. Так как, имея только информацию об обрабатываемой поверхности, инженер может получить ряд рациональных компоновок и при этом определить необходимые нормативные требования к точности, которые следует обеспечить на последующих стадиях проектирования. Также присутствие эвристического фактора как при синтезе, так и при оценке получаемых структур станков позволяет гибко формулировать требования к компоновке.

Алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы проектирования компоновок малогабаритных реконфигурируемых станков состоит из четырёх основных алгоритмов:

- алгоритм генерации компоновок на основе исходной детали;
- алгоритм отбора компоновок по заданным критериям;
- алгоритм генерации эскизного изображения компоновки;
- алгоритм обоснования технических характеристик станка.

Программное обеспечение автоматизированной системы компоновки малогабаритных реконфигурируемых станков разработано на языке Delphi в интегрированной среде Code Gear RAD Studio 2009.

При разработке этой системы была принята строгая иерархия в передаче и обработке информационных потоков. Компьютерная программа состоит из четырёх расчётных модулей, каждый из которых имеет свой указанный выше алгоритм и получает входные данные для расчёта от предыдущих. Однако если уже известен, к примеру, код какой-либо компоновки, то этот вариант можно ввести отдельно, не получая его расчётным путём. Также имеется возможность при необходимости корректировки вернуться к началу и выбрать другую структуру компоновки станка.

Таким образом, разработан метод проектирования малогабаритных металлорежущих реконфигурируемых станков на основе синтеза и оценки компоновок. Для гибкости формулирования требований к компоновке и для дальнейшей ее конструкторской проработки в предлагаемой автоматизированной системе присутствует эвристический фактор не только при синтезе, но и при оценке структур станков. В конечном итоге это позволяет значительно ускорить процесс проектирования, а также обеспечить его высокое качество на начальных стадиях.

#### Список литературы

1. Пестов, С.П. Особенности проектирования компоновок малогабаритных станков модульной конструкции / С.П. Пестов, А.В. Фазылов // Автоматизация

и информатизация в машиностроении: тематический сб. науч. тр. №5. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. С. 109-114.

2. Врагов, Ю.Д. Анализ компоновок металлорежущих станков / Ю.Д. Врагов. М.: Машиностроение, 1978. 208 с.

## РАЗРАБОТКА ПУЛЬТА ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ РАДИОПРИЕМНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Т.С. Тузова, В.В. Ковалев

*Уральский федеральный университет имени первого  
Президента России Б.Н. Ельцина*

Разработан пульт дистанционного управления профессиональными радиоприемными устройствами, позволяющий снизить трудоемкость проведения отбраковочных испытаний, повысить качество и достоверность результатов испытаний.

**Ключевые слова:** *пульт дистанционного управления (ПДУ), радиоприемное устройство (РПУ), отбраковочные испытания, микроконтроллер.*

## THE DEVELOPMENT OF THE REMOTE CONTROL OF RADIO RECEIVERS

T.S. Tuzova, V.V. Kovalev

*Ural Federal University*

**Abstract:** The remote control panel of the professional radio receivers has been developed. It allows reducing the complexity of screening tests and increasing the accuracy and reliability of the test results.

**Key words:** *remote control (panel), radio receiver, screening test, microcontroller.*

В данной научно-исследовательской работе проведена разработка специализированного устройства – автоматизированного пульта дистанционного управления. Пульт обеспечивает одновременное управление четырьмя профессиональными радиоприемными устройствами [1]. ПДУ снижает трудоемкость проведения отбраковочных испытаний, являющихся составной частью технологического процесса изготовления радиоприемных устройств, позволяет получить достоверные результаты испытаний, улучшить качество изделий РПУ, повысить надежность и снизить стоимость испытательного оборудования.

В ходе работы проведен поиск аналогов разрабатываемого устройства. В качестве аналогов были выбраны устройства дистанционного управления радиоприемными устройствами: Р-160, «Бригантина-М», ПТ-100ПРМ, «Циклоида», «Сапфир-04», Р-774К1, «Сосна», Р-397П.

Оценка аналогов осуществлялась экспертной комиссией по шести наиболее значимым характеристикам:

- функциональность, обеспечение заданных требований без дополнительных устройств сопряжения,

- возможность оперативного перепрограммирования режимов устройств дистанционного управления,
- возможность одновременного управления несколькими РПУ от одного устройства дистанционного управления,
- наибольшее допустимое расстояние от устройств дистанционного управления до РПУ,
- уровень цены.

В качестве прототипа был выбран лучший из аналогов – устройство дистанционного управления РПУ «Бригантина-М».

Разработаны модели прототипа и предлагаемого решения (концептуальные, структурные, алгоритмические, информационные), на основе анализа которых и критики прототипа определены пути реализации ПДУ как автоматизированной системы.

В процессе инженерной реализации системы были разработаны структурная, функциональная и принципиальная схемы. Структурная схема, приведенная на рисунке 1, включает в себя: микроконтроллер, коммутатор портов, обеспечивающий подключение к микроконтроллеру РПУ, четыре тракта передачи и приема данных на четыре РПУ, монитор, органы управления ПДУ.

Функциональная схема, изображенная на рисунке 2, состоит из микроконтроллера, коммутатора портов, построенного на 8 оптоэлектронных ключах, четырех каскадов на транзисторных оптопарах, четырех усилительных каскадов, восьми согласующих элементов НЕ по числу трактов приема и передачи, ЖК символьного индикатора, выполняющего роль монитора, клавиатуры управления ПДУ, выполненной в виде четырех кнопок.

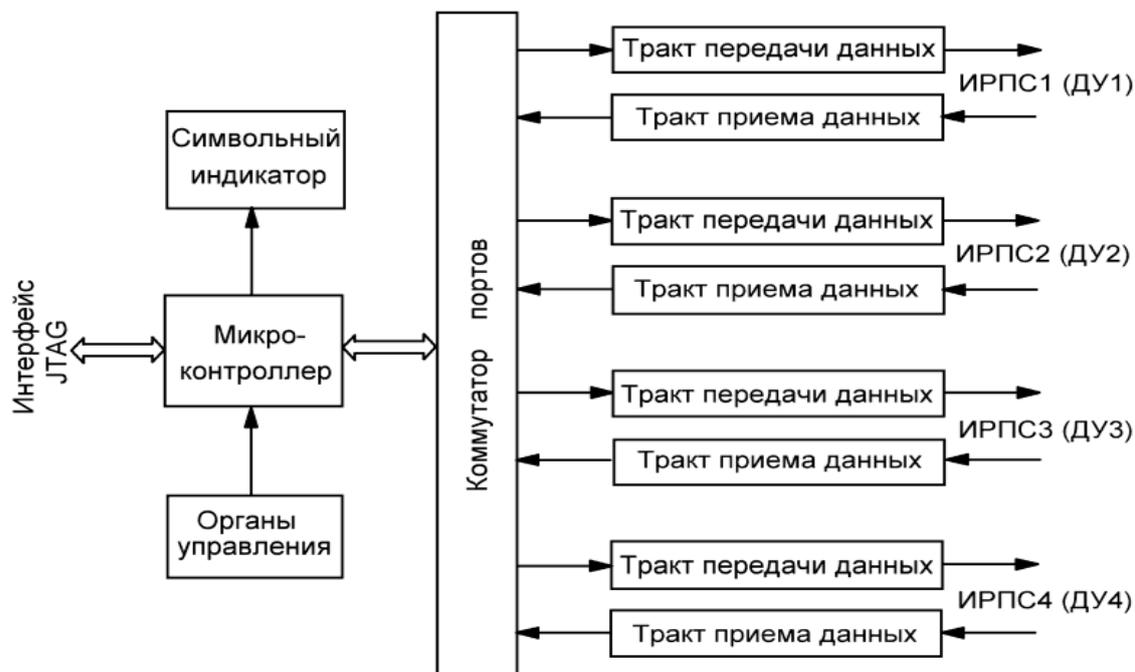


Рис. 1. Структурная схема ПДУ

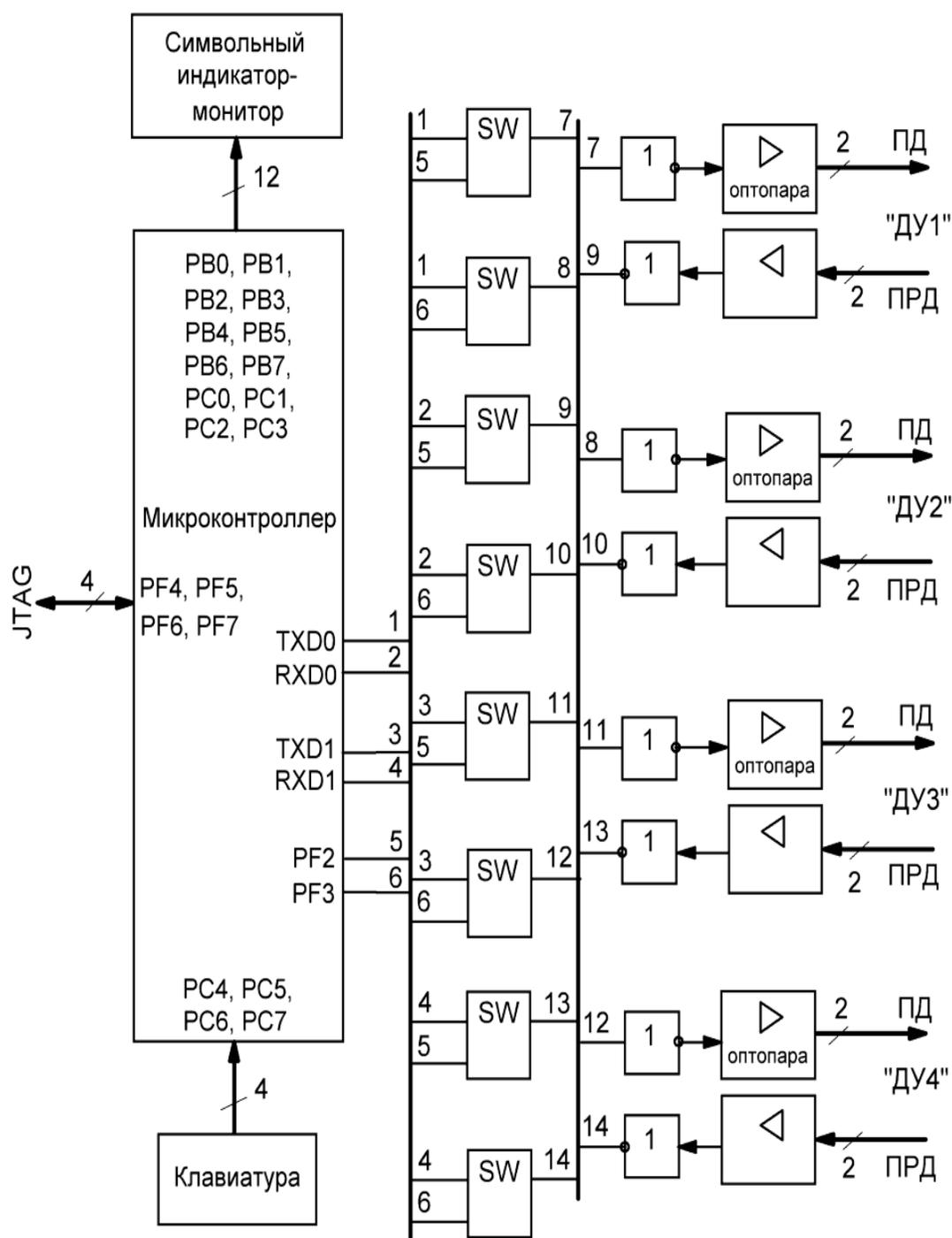


Рис. 2. Функциональная схема ПДУ

В электрической принципиальной схеме используется микроконтроллер Atmega 128-16AI [2]. Разработаны алгоритмы работы (рисунок 3) и программное обеспечение (ПО) устройства, отработано программирование микроконтроллера при помощи программного продукта AVRStudio 4 от компании Atmel.

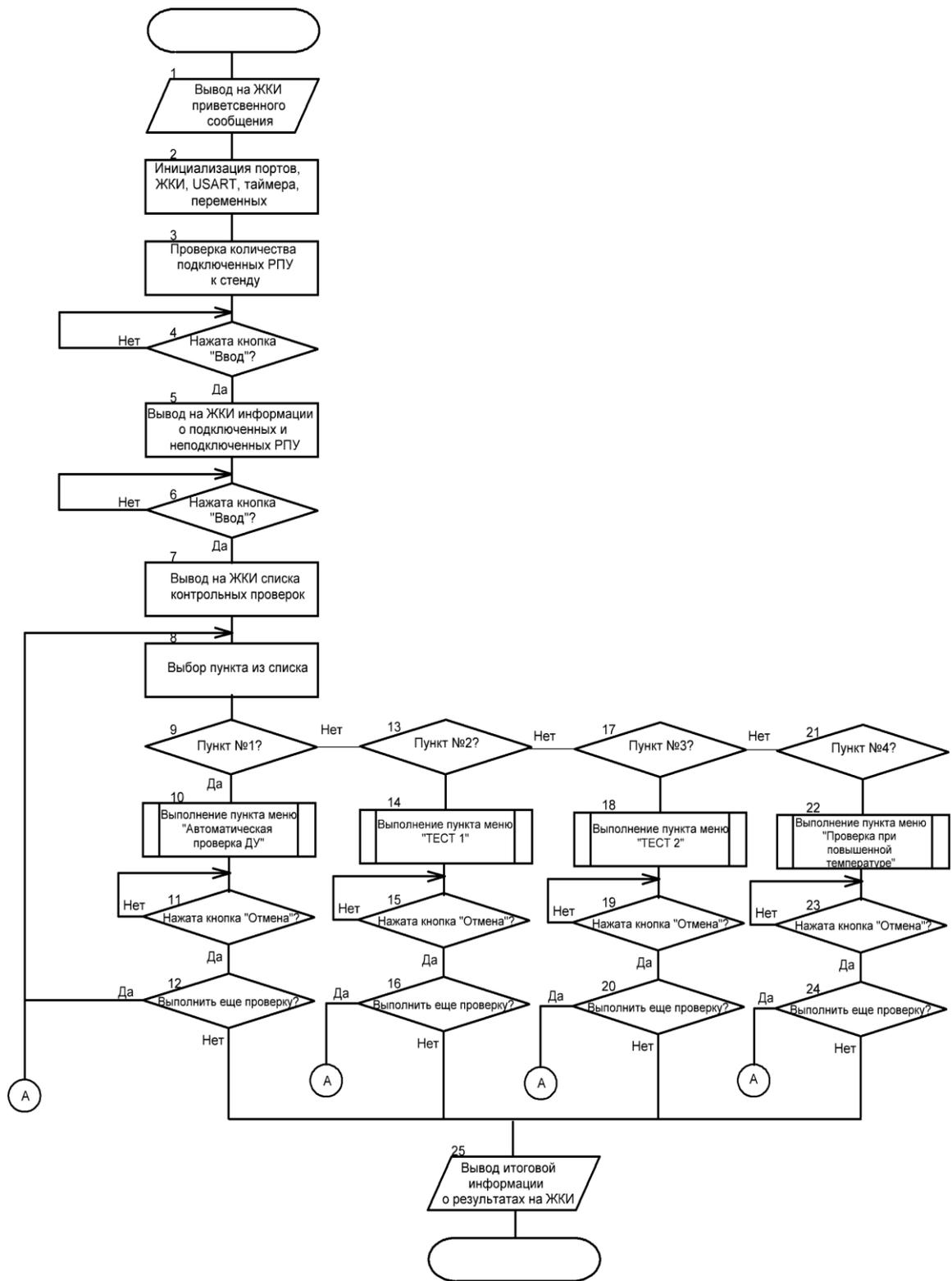


Рис. 3. Общий алгоритм работы программы

После подачи на ПДУ электропитания на экране появляется первоначальное сообщение с информацией о версии прошитой в микроконтроллер программы (рисунок 4) и приглашением к дальнейшей работе – «Далее нажмите кнопку ВВОД».



|   |                  |        |    |         |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|---|------------------|--------|----|---------|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 1 | РПУ1 - ИСПРАВНО  |        |    |         |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | РПУ2 - ОБНАРУЖЕН | ДЕФЕКТ | НА | КОМАНДУ | Е80 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | РПУ3 - ОБНАРУЖЕН | ДЕФЕКТ | НА | КОМАНДУ | А4  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|   | РПУ4 - ИСПРАВНО  |        |    |         |     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Рис. 7. Пример отображения результата проверки по пункту 1

При испытаниях РПУ в условиях воздействия повышенной температуры в течение 64 часов устанавливается режим по пункту 4 списка контрольных проверок, при котором контроль по команде ТЕСТ2 осуществляется через каждый час с отображением результата контроля и количества проработанных РПУ часов наработки (рисунок 8).

|   |                  |        |  |  |  |             |    |     |
|---|------------------|--------|--|--|--|-------------|----|-----|
| 4 | РПУ1 - ИСПРАВНО  |        |  |  |  | - НАРАБОТКА | 46 | ЧАС |
|   | РПУ2 - ИСПРАВНО  |        |  |  |  | - НАРАБОТКА | 46 | ЧАС |
|   | РПУ3 - ОБНАРУЖЕН | ДЕФЕКТ |  |  |  | - НАРАБОТКА | 42 | ЧАС |
|   | РПУ4 - ИСПРАВНО  |        |  |  |  | - НАРАБОТКА | 46 | ЧАС |

Рис. 8. Пример отображения промежуточного результата проверки по пункту 4 списка контрольных проверок

Для отладки ПО и проверки правильности разработанных технических решений был изготовлен макет ПДУ. Испытания макета дали положительные результаты.

#### Список литературы

1. Фомин, Н.Н. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, О.В. Головин. М.: Горячая линия-Телеком, 2007. 520 с.
2. Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «ATMEL» / А.В. Евстифеев. М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. 560 с.

## ЭЛЕКТРОННАЯ МОБИЛЬНАЯ ТОРГОВЛЯ

С.В. Федорова, Ю.С. Шустова

*Иркутский государственный технический университет*

**Аннотация:** Объектом исследования являются мобильные продажи как сектор электронной торговли, а предмет исследования - преимущества и недостатки мобильной торговли, перспективы развития мобильной торговли, рассмотрение наиболее востребованных систем мобильных продаж.

**Ключевые слова:** Мобильная торговля, продажи, электронная торговля.

## ELECTRONIC M-COMMERCE

S.V. Fedorova, U.S. Shustova

*Irkutsk State Technical University*

**Abstract:** The object of research are mobile sales as a sector of electronic commerce, and the subject of research are advantages and shortcomings of mobile commerce, the prospects of its development and most popular systems of mobile sales.

**Key words:** *Mobile commerce, sales, electronic commerce.*

Любое предприятие розничной или оптовой торговли стремится к адекватной автоматизации своих бизнес-процессов. Два основных мотивирующих фактора в данной сфере, в общем, давно известны – это глобальное снижение издержек и рост эффективности компании. Безусловно, к самому процессу улучшения систем относятся по-разному. Можно действовать с размахом: везде, где нужно, поставить компьютеры, объединить их в проводную сеть, закупить необходимое количество промышленных терминалов для склада, установить специальное ПО. Это дорого, но, как правило, эффективно – особенно если на предприятии точно знают, работу какого участка нужно улучшить. Другой вариант – полная противоположность: автоматизироваться по минимуму, поставив лишь нужную технику в бухгалтерии и в службе сбора заказов, сделать Интернет-сайт с формой заказа, а доставкой руководить по телефону. Но, как правило, все ищут свою золотую середину. В этом смысле система, где используются мобильные устройства с преднастроенным ПО, оказывается как нельзя кстати: она сочетает в себе гибкие возможности масштабирования (стационарная техника устанавливается только в офисе компании, а все мобильные сотрудники оснащаются портативными устройствами), ее несложно эксплуатировать (первичное обучение персонала чаще всего минимально – интерфейс у подобных систем довольно прост), а благодаря небольшой стоимости оконечных устройств (500-1000 долл. за рабочее место) инсталляция такой системы не требует крупных денежных вложений. Вдобавок карманные компьютеры позволяют автоматизировать учет в таких областях, где раньше это было просто невозможно – к примеру, в курьерских службах, при обслуживании мелких торговых точек, не имеющих выхода в Интернет.

По данным экспертов, этот рынок в России пока только формируется – его объем составляет порядка 200 млн. долл. в год, а в стране существует около 22 тыс. корпоративных клиентов, которым подобные проекты могут быть интересны. По различным оценкам, в настоящее время системы автоматизации, имеющие мобильную составляющую, установлены только у 10-12% из них. Прошлый год, как считают многие опрошенные нами игроки рынка, можно было считать прорывом в области применения мобильных технологий в корпоративном секторе. На начало года нынешнего порядка 70% всех крупных и средних компаний, работающих в сфере производства и продажи товаров массового повседневного спроса (пищевые продукты, напитки, косметика и парфюмерия, табачные изделия), находились в стадии внедрения или определялись с выбором. Среди тех, кто такие системы уже внедрил, можно

отметить, к примеру, представительства иностранных фирм Nestle, Pepsi, Procter & Gamble, Schwarzkopf & Henkel, а также российский завод соков "Лебедянский", компанию "Кристалл", крупного поставщика табачной продукции фирму "Мегаполис", предприятие "Русский алкоголь".

В большинстве случаев торговые компании автоматизируют деятельность торговых представителей, мерчендайзеров, супервайзеров, т.е. полевых сотрудников, которые по роду своей деятельности большую часть рабочего времени должны находиться вне офиса (в торговых точках, на маршруте), но в то же время оставаться на связи с офисом – скидывать заказы, получать новые задания и т.д. Мотивация как для самих работников "в поле", так и для супервайзеров и руководства компании в целом очевидна – это оптимизация работы всего отдела сбыта. Вдобавок крупные компании, с разветвленной дистрибьюторской сетью на обширных территориях, получают от внедрения системы автоматизации еще и мощнейший инструмент удаленного управления региональными офисами в режиме реального времени. Увеличению количества "мобилизованных" компаний способствует несколько факторов. Самый важный показатель в данном случае – потенциальный рост продаж за счет более быстрой и эффективной работы торгового представителя. Вооруженный автоматизированным инструментом, он на месте совершает сделки, может автоматически рассчитать скидки, наценки и т.д. Канал беспроводной связи с офисом обеспечивает оперативную передачу заказов непосредственно в электронном виде, что снимает нагрузку с операторов или вообще позволяет избавиться от них. Одновременно торговый представитель получает оперативный доступ ко всей необходимой ему информации из офисной системы по каждой конкретной торговой точке (история продаж, прайс-листы, балансы с клиентами, проходящие рекламные акции), что значительно ускоряет его работу по сравнению с тем, когда он использовал бумажные носители. Таким образом, если раньше на формирование заказа для среднего по размеру магазина уходило до 1 ч, то теперь это занимает 5-10 мин. Вдобавок торговые представители с КПК или коммуникаторами в руках и выглядят солиднее (а значит, повышается лояльность клиентов), они и работают быстрее, и заказы выполняют точнее. Автоматизированная система экономит их время – им нет необходимости ежедневно посещать офис, отстаивать очередь к оператору, вбивающему заказы, не нужно возить с собой кипы документов с маршрутными и прайс-листами.

Особенно заметен эффект от применения автоматизированной системы мобильной торговли при организации контроля над правильностью выполнения торговыми представителями своей работы. Это вечная проблема всех торговых компаний – своевременно предупредить ошибки торгового представителя при работе вне офиса. Теперь всю сложную черновую работу за торгового агента выполняет автоматизированное решение мобильной торговли (определяет порядок заполнения документов, для уменьшения ошибок выдает формы с конечным числом ответов), а заодно контролирует, чтобы он не продал товар ниже минимальной цены при использовании сложных скидок, не превысил

лимит отгрузки и заказа, не отдал товар в кредит покупателю с отрицательным балансом и еще многое другое.

Объем продаж увеличивается еще и за счет того, что в системе реализована функция контроля деятельности агентов. Они перестают воровать (теперь это просто невозможно) или намеренно пропускать менее прибыльные точки. Их маршрут изначально выстраивается очень жестко, отклониться от него нереально (технологический контроль, учет времени посещения и длительности работы в точке, фиксация фактов реального посещения точки продаж с помощью средств GPS, GSM или цифрового фотоаппарата), и это тоже дает немалый прирост продаж. По мнению поставщиков подобных решений, все эти меры повышают производительность труда на 30-90%, начиная с предзаказа и заканчивая прямыми продажами (торговлей "с колес").

Подобные системы, в конечном счете, позволяют снижать уровень издержек как в больших компаниях, так и в малых (по данным производителей, на 20-40%).

Сэкономить можно и на количестве операторов по вводу информации от торговых представителей: если до внедрения системы приходилось держать целый штат таких работников, то после автоматизации нужен только один оператор, контролирующий правильность ввода данных.

В целом, по мнению экспертов, вложения в систему автоматизации прямых продаж окупаются за шесть-восемь месяцев.

Наиболее востребованным мобильным решением для российского рынка является автоматизация прямых продаж товара (Van Selling, или "торговля с колес" – прямо с автомобиля). Основная идея подобного типа продаж формулируется так: "Товар немедленно доставляется туда, где он необходим". Что-то аналогичное есть в розничной концепции поставки "just-in-time" (доставка точно вовремя), которая позволяет розничным компаниям в Японии и США работать без оперативного склада на торговых точках, но в России до этого еще далеко. У нас в стране все иначе: имея сервис мобильной торговли, поставщик приезжает в магазины регулярно и без предварительной договоренности, где предлагает выбрать товар из того, что у него есть в наличии, оформляя финансовые документы прямо на месте. Вся информация по продажам в режиме реального времени автоматически выгружается из терминала в центральную базу, интегрированную с общей системой оперативного или бухгалтерского учета на предприятии.

Следующий процесс, который поддается мобильной автоматизации, – Pre Selling, т.е. продажи на основе предварительного сбора заказов. Торговый представитель информирует клиента об имеющихся товарах, об их ценах, о доступном текущем количестве на складе и т.д. Он оформляет предварительный заказ, который в торговую точку затем доставит экспедитор. То есть фактически заключает договор поставки. Чтобы заключить сделку, он должен привести нужные аргументы, правильно подсчитать стоимость заказа, дать торговой точке справедливую скидку – именно в этих вопросах ему поможет клиентский модуль информационной системы. Таким образом, для преселлинга чрезвычайно важна связь с корпоративной учетной системой, из

которой агент может загрузить на свой карманный компьютер все данные по мере их необходимости. Причем вся информация будет самой актуальной – к примеру, если нужного товара нет, то с помощью программы мобильной торговли его можно заменить на какой-либо аналог или заказать на будущее с четким сроком поставки. При этом все действие может занять считанные минуты.

Третий процесс, для усиления которого можно использовать системы автоматизации, – это Merchandising, т.е. сбор маркетинговой информации. Не секрет, что почти все дистрибьюторы собирают данные о конкретной продукции (причем не только своей, но и конкурентов) самостоятельно, заполняя для этого специальные анкеты. Данные эти могут быть самыми разными: выкладка, рекламная продукция конкурентов, их цены и т.д., а позиции исследуемой продукции нередко исчисляются сотнями. Ничто не мешает использовать для этого системы мобильной торговли, ведь возможность создавать специальные анкеты с закрытыми вопросами, с помощью которых можно понять состояние дел в торговых точках, и централизованно отправлять их (в некоторых случаях даже с фотографиями выкладки товара) есть в большинстве из них. Аналогичным образом данные через беспроводную сеть доставляются в офисную учетную систему, где они сразу готовы для анализа.

Вопрос повышения эффективности работы торговых представителей стоит в дистрибьюторских компаниях наиболее остро.

Сектор электронной торговли с помощью мобильных телефонов находится в таком же затруднительном положении, как и другие сегменты рынка Интернет – коммерции: множество блестящих проектов, малое количество заказчиков и отсутствие доходов. Несмотря на то, что беспроводная связь стремительно распространилась, процесс внедрения беспроводных услуг, в частности мобильной торговли, идет очень вяло. Некогда мобильную торговлю преподносили как "убойное приложение" отрасли беспроводных технологий, но на сегодняшний день она находится на уровне поверхностных представлений о ней и едва ли проникла глубже развертывания основных сервисов.

Буквально пару лет назад поставщики рекламировали приложения для мобильной торговли, которые, по их мнению, могли заинтересовать потребителей. Эти приложения должны были позволить осуществлять при помощи сотовых телефонов покупку товаров, заказ авиабилетов, проверку банковских счетов. Плата за транзакции должна была стать основным источником дохода, получаемого от услуг мобильной коммерции, и рассматривалась как залог успеха на рынке.

Исследователи отмечают, что прогнозируемый потребительский спрос на решения в области мобильной коммерции не материализовался.

Дело не только в отсутствии заметного спроса. Мобильная торговля была основана на шаткой бизнес – модели – предполагалось, что потребители будут совершать большое количество транзакций, а они оказались не готовы к этому. Если при этом оценить те немалые затраты, которых требует развитие

инфраструктуры, то становится понятным, почему такое количество предприятий мобильной торговли потерпели неудачу. Многие компании, строившие первоначально большие планы, разорились. Подобная судьба постигла, например, компанию SNAZ, разработчика программного обеспечения для мобильной торговли. Несмотря на все проблемы, аналитики в отношении мобильной торговли настроены оптимистично. По их мнению, при определенных серьезных изменениях на рынке эта отрасль сможет раскрыть свой потенциал. Но начинать надо не с потребительского, а с корпоративного сектора, так как именно он подтолкнет мобильную торговлю и обеспечит основную долю прибыли. Согласно опросам, многие компании готовы использовать в своей деятельности мобильную торговлю, чтобы сократить расходы, получать прибыль и повысить эффективность бизнеса. Специальные мобильные приложения позволят профессионалам осуществлять транзакции в "полевых условиях". А такие новинки, как сотовые телефоны со встроенными считывателями штрих-кода, дадут возможность сканировать товары для получения информации о них в реальном времени. Подобные решения (и те, которые еще находятся в стадии разработки) подстегнут рост корпоративной мобильной торговли.

Вместе с тем мобильная коммерция для индивидуальных потребителей зачастую понимается слишком узко. Основное внимание поставщиков услуг сконцентрировано на проведении транзакций. А поиск других возможностей и создание новых перспективных приложений ими, к сожалению, игнорируется. Необходимы такие беспроводные услуги, как доставка на мобильные телефоны электронной почты, предоставление информации о погоде, задержках рейсов и курсах ценных бумаг. И именно их надо рассматривать как средство на пути к завоеванию потребителей.

Однако в этих приложениях недооценивается реальное влияние беспроводных услуг. Будущее за теми приложениями, которые смогут изменить образ жизни. Только им удастся создать рынок больший, чем можно сегодня представить. Например, предсказывают, что даже паспорта и бумажники дополнят или заменят специальными мобильными устройствами. Они будут служить удостоверениями личности, обеспечивать проверку банковских счетов и заказов на бронирование билетов. При этом вся информация будет предоставляться через недорогую беспроводную связь.

В ближайшей перспективе основная задача мобильной торговли состоит в том, чтобы с помощью капиталовложений в инфраструктуру, приложения и услуги стать устойчивым бизнесом. Но одних только транзакций для этого будет недостаточно. Важным средством достижения цели станут новые технологии, например приложения, основанные на знании местоположения клиента: конкретные товары и услуги будут предлагаться пользователю там и тогда, где и когда он больше всего в них нуждается. Транзакции будут включены в другие приложения и тем самым превратятся из самостоятельных операций в неотъемлемую часть решения задачи. В результате предприятия возьмут на вооружение услуги мобильной торговли, что будет стимулировать разработку более привлекательных приложений. И в конечном счете мобильная

коммерция достигнет своих заветных целей. Но это произойдет лишь в том случае, если идти путем решения реальных проблем и обеспечивать при этом такие выгоды и удобства, которые привлекут как индивидуальных потребителей, так и корпоративных клиентов.

#### Список литературы

1. Рачковски, Гильда. Мобильная торговля: мечты и реальность / Гильда Рачковски // Мобильные телекоммуникации. 2009. №2 (10). 57 с.
2. Проиндустрия: электронный журнал / М.: ООО "Пром Медиа". ([www.prodindustry.ru](http://www.prodindustry.ru))
3. Казанские ведомости: электронный журнал / Казань: ОАО «ТАТМЕДИА» ([www.kazved.ru/article/22419.aspx](http://www.kazved.ru/article/22419.aspx))
4. Раскрути свой бизнес: сайт ([www.oborot.ru](http://www.oborot.ru)).
5. Моби-С: официальный сайт системы автоматизации мобильной торговли ([www.mobi-c.ru](http://www.mobi-c.ru)).

### ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛООБРАБОТКИ ПО ПАРАМЕТРАМ КАЧЕСТВА ПРОДУКЦИИ

А.В. Шашок

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Рассматривается математическая модель для оценки вероятности безотказной работы технологических процессов по параметрам качества продукции. Технологический процесс рассматривается как многоканальная система массового обслуживания нормируемых параметров качества обрабатываемой заготовки, с различной интенсивностью их обслуживания. Получено решение системы дифференциальных уравнений, описывающих функционирование технологического процесса как системы массового обслуживания, позволяющее рассчитать вероятность одновременного обеспечения всех параметров качества при известных частных вероятностях обеспечения каждого параметра качества в отдельности.

**Ключевые слова:** *Технологический процесс, параметры качества, система массового обслуживания.*

### A METHOD OF CALCULATING RELIABILITY OF METAL WORKING TECHNOLOGICAL PROCESSES BY THE PRODUCTS QUALITY PARAMETERS

A.V. Shashok

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The paper focuses on the mathematical model for estimating the probability of failure-free operation of technological processes by the products quality parameters. The technological process is considered as a multiserver queueing system of normalized product quality parameters, with alternating intensity of service. The obtained solution of the system of differential

equations describing the operation of technological process as a queueing system allows calculating the probability of simultaneous ensuring of all quality parameters for the known particular probabilities which ensure each quality parameter separately.

**Key words:** *technological process, quality parameters, queueing system.*

Согласно ГОСТ 27.202-83 «Технологические системы. Методы оценки надежности технологических систем по параметрам качества изготавливаемой продукции» задача обеспечения заданного качества изделий машиностроительных производств может быть рассмотрена как задача обеспечения надежности проектируемых технологических процессов металлообработки (ТПМ) по параметрам качества (ПК) изготавливаемых деталей. Одним из основных показателей, характеризующих надежность ТПМ по ПК деталей, является вероятность выполнения задания одновременно по  $m$  ПК  $P_n$ , определяемая как

$$P_n = P\left(x_1^{min} \leq X_1 \leq x_1^{max}, \dots, x_m^{min} \leq X_m \leq x_m^{max}\right), \quad (1)$$

где  $X_j$  –  $j$ -й ПК детали, рассматриваемый как случайная величина (СВ);  $x_j^{min}$ ,  $x_j^{max}$  – наибольшее и наименьшее предельные значения  $j$ -го ПК детали или нижняя и верхняя границы его поля допуска соответственно, устанавливаемые требованиями конструкторской документации.

В общем случае величина  $P_n$  должна рассчитываться по формуле:

$$P_n = \int_{x_1^{min}}^{x_1^{max}} \dots \int_{x_m^{min}}^{x_m^{max}} \varphi(X) dx_1 \dots dx_m, \quad (2)$$

где  $X = (X_1, \dots, X_m)$  – вектор обеспечиваемых ПК детали;  $\varphi(X)$  – функция плотности распределения системы ПК  $X = (X_1, \dots, X_m)$ . В дальнейшем величину  $P_n$  будем называть вероятностью безотказной работы ТПМ по ПК продукции (детали).

Одной из наиболее существенных проблем использования формулы (2) является практическая невозможность точного определения функции плотности распределения системы  $X = (X_1, \dots, X_m)$  и, как следствие, невозможность точного расчета значения величины  $P_n$ . При этом, на основании расчетных методов или методов статистического моделирования, часто удается получить частные (маргинальные) плотности распределения каждого из ПК.

Известно [1], что в общем случае плотность распределения системы СВ по частным плотностям распределения СВ, входящих в систему, можно определить в том случае, если они являются независимыми либо известна ковариационная матрица системы СВ. В противном случае решение указанной задачи является невозможным.

В случае если СВ, входящие в  $X = (X_1, \dots, X_m)$ , являются независимыми, то расчет величины  $P_n$  может быть произведен по известным частным

вероятностям нахождения каждого  $j$ -го ПК в границах поля допуска  $P_j$  с использованием формул:

$$P_n = \prod_{j=1}^m P_j; \quad P_j = P(x_j^{\min} \leq X_j \leq x_j^{\max}) = \int_{x_j^{\min}}^{x_j^{\max}} \varphi_j(x_j) dx_j, \quad (3)$$

где  $\varphi_j(x_j)$  – частная плотность распределения  $j$ -го ПК.

Если же ПК являются стохастически связанными (а естественно предполагать, что между ПК, формируемыми в одной и той же технологической системе, будут формироваться стохастические связи), то расчет величины  $P_n$  по формуле (3) будет приводить к заниженным результатам.

Для получения зависимостей, учитывающих возможные стохастические связи между формируемыми в процессе обработки детали ПК, будем рассматривать ТПМ как систему массового обслуживания (СМО), выполняющую для каждой обрабатываемой заготовки одинаковую последовательность действий (технологических операций и переходов), предназначенных для формирования у готовой детали вектора ПК, заданных ее чертежом. Заготовки, поступающие на вход ТП для обработки, рассматриваются как требования, поступающие для обслуживания в СМО, а процесс механической обработки заготовки считается ее обслуживанием. Требования на обслуживание поступают на вход СМО с постоянной интенсивностью  $\lambda$ , обратно пропорциональной такту выпуска деталей  $\tau_e$ .

Будем считать, что у рассматриваемой СМО имеется только два возможных состояния «0» и «1», которые интерпретируются следующим образом: «0» – состояние «готовности к обслуживанию» требования или состояние отказа в обслуживании требования; состояние «1» – состояние «завершенного обслуживания» требования. Будем считать, что состояние «1» соответствует тому, что в момент времени окончания обработки заготовки на заключительной операции ТП значения всех обеспечиваемых ПК одновременно находятся в установленных для них границах полей допусков. Состояние «0» СМО соответствует противоположному событию и означает возникновение отказа в обслуживании заготовки, т.е. означает возникновение брака по одному или нескольким ПК детали.

Из состояния «1» в состояние «0» СМО может переходить разными путями. Количество таких путей предлагается принять равным количеству ПК, которые должны быть обеспечены при реализации ТП. Будем считать, что переход СМО из состояния «1» в состояние «0» по каждому из возможных путей происходит с различной интенсивностью  $\mu_{10,j}$ . Граф состояний СМО, соответствующий описанной дисциплине ее функционирования, представлен на рисунке 1.

Параметры СМО  $\lambda$  и  $\mu_{10,j}$  предлагается оценивать следующими выражениями:

$$\lambda = \frac{1}{\tau_6}; \quad \mu_{10.j} = \lambda \frac{1 - P_j}{P_j}; \quad j = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где  $\tau_6$  – такт выпуска деталей;  $P_j$  – частная вероятность нахождения  $j$ -го ПК детали в границах поля допуска; общее количество обеспечиваемых ПК детали. Так как состояние «1» СМО соответствует получению годной детали, то вероятность этого состояния должна быть принята равной ВБР ТПМ по ПК детали, т.е. величине –  $P_n$ . Примем, что потоки случайных событий, переводящие рассматриваемую СМО из состояния в состояние, являются пуассоновскими, т.е. характеризуются свойствами ординарности, стационарности и отсутствия последействия. Такой случай соответствует условиям налаженного ТП, когда в процессе его функционирования отсутствуют приработочные и катастрофические отказы подсистем и элементов ТП.

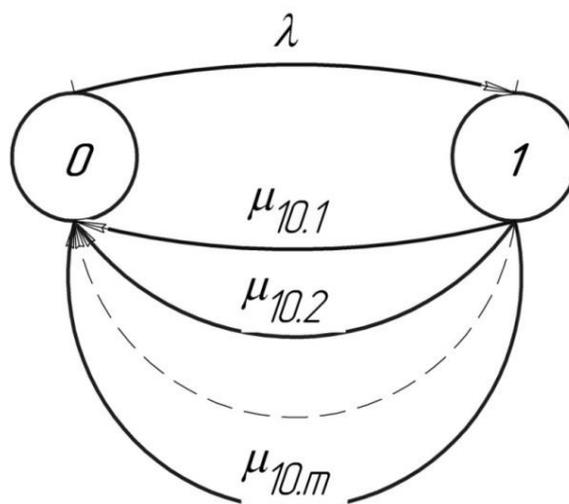


Рис. 1. Граф состояний СМО, моделирующей процесс обеспечения заданных значений ПК детали в ходе реализации ТП:

$\lambda$  – интенсивность потока заготовок, поступающих на вход ТП;  
 $\mu_{10.m}$  – интенсивность потока отказов по  $m$ -му ПК детали

В этом случае функционирование представленной СМО описывается системой дифференциальных уравнений Колмогорова, имеющей следующий вид:

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{d\tau} = -P_0 \cdot \lambda + P_1 \cdot \sum_{j=1}^m \mu_{10.j} \\ \frac{dP_1}{d\tau} = P_0 \cdot \lambda - P_1 \cdot \sum_{j=1}^m \mu_{10.j} \end{cases} \quad (5)$$

Система (5) решается при начальных условиях  $P_0(0) = 0$ ,  $P_1(0) = 1$  с учетом условия нормировки:

$$P_0 + P_1 = 1. \quad (6)$$

Решение системы (5) с учетом (6) приводит к следующей зависимости для определения вероятности состояния «1» или ВБР ТП по ПК детали:

$$P_n = P_1(\tau) = \frac{\lambda}{\lambda + \sum_{j=1}^m \mu_{10,j}} \cdot \left\{ 1 + \frac{\sum_{j=1}^m \mu_{10,j}}{\lambda} \cdot e^{-\left(\lambda + \sum_{j=1}^m \mu_{10,j}\right)\tau} \right\}. \quad (7)$$

Принимая в (7)  $\tau = \tau_e$  и выполнив преобразования, окончательно имеем:

$$P_n = \frac{1}{A_m} \left[ 1 + (A_m - 1)e^{(-A_m)} \right]; \quad A_m = \sum_{j=1}^m \frac{1}{P_j} - (m - 1). \quad (8)$$

Зависимость (8) представляет собой решение, описывающее функционирование СМО в нестационарном режиме. Решение для стационарного режима может быть получено из условия, когда в (5) соответствующие производные вероятностей состояний равны нулю. Последнее равносильно тому, что в (7) необходимо положить  $\tau = \infty$ . Тогда имеем:

$$P_n = P_1(\tau) = \frac{\lambda}{\lambda + \sum_{j=1}^m \mu_{10,j}}. \quad (9)$$

Выражение (9) при  $\lambda = 1$  (последнее означает, что такт выпуска деталей принимается в качестве единицы временного интервала) путем несложных преобразований приводится к зависимости для оценки  $P_n$  следующего вида:

$$\frac{1}{P_n} = \sum_{j=1}^m \frac{1}{P_j} - (m - 1). \quad (10)$$

Интересно отметить, что формула (10) уже приводилась в ряде работ по надежности сложных технических объектов [2, 3] и рассматривалась в качестве зависимости для расчета надежности объекта по нескольким критериям работоспособности в предположении об их коррелированности.

#### Список литературы

1. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. М.: Наука, 1969. 512 с.
2. Кузнецов, А.А. Надежность конструкций баллистических ракет / А.А. Кузнецов. М.: Машиностроение, 1978. 256 с.
3. Решетов, Д.Н. Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. М.: Высшая школа, 1988. 236 с.

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКЕ

Т.А. Шрайнер, Е.Ю. Татаркин

*«Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

Разработана математическая модель траектории движения порции магнитно-абразивного порошка в форме окружности, участвующей в процессе магнитно-абразивной обработки деталей с плоской обрабатываемой поверхностью. Данная модель позволяет в зависимости от величины минутной подачи стола станка, частоты вращения и радиуса цилиндрического магнитного индуктора определить оптимальный размер порции абразивного порошка, обеспечивающий требуемую производительность процесса обработки. Предложенную модель можно использовать для прогнозирования параметров обработки плоских поверхностей деталей сложной конфигурации, где режимы обработки постоянно корректируются, что характерно для процессов магнитно-абразивной обработки, из-за отсутствия стандартных значений режимов резания.

**Ключевые слова:** *математическое моделирование, магнитно-абразивная обработка, многономенклатурное производство, групповой технологический процесс, станки с числовым программным управлением, технологическая оснастка.*

## MATHEMATICALLY MODELED PROCESS OF FORMING A SURFACE BY MAGNETIC ABRASIVE MACHINING

T.A. Schreiner, E.Y. Tatarkin

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper presents a mathematically modeled trajectory of the circular magnetic-abrasive powder portion which is concerned in the process of magnetic-abrasive machining of parts having a flat surface. This model allows determining an optimal size of the abrasive powder portion providing the desired performance of the process in dependence of the minute supply flow rate of the machine, speed and radius of the cylindrical magnetic inductor. The proposed model can be used to predict the parameters of processing flat surfaces of irregular shaped parts when processing modes are constantly adjusted, which is typical for magnetic-abrasive machining because of lack of standard cutting parameters values.

**Key words:** *mathematical modeling, magnetic-abrasive machining, multiproduct manufacture, batch technological process, machine tools with numerical control, processing tooling.*

Неотъемлемой частью современного этапа развития промышленности является расширение номенклатуры производства выпускаемой продукции. В связи с этим возникает необходимость проведения технологической подготовки производства, которая включает в себя проектирование групповых технологических процессов изготовления деталей, универсальной технологической оснастки, режущего и вспомогательного инструмента, выбор станочного оборудования и т.д.

Технологическая подготовка производства на высоком уровне автоматизации невозможна без проектирования новых устройств и

приспособлений для станков с числовым программным управлением. Основными особенностями станков с ЧПУ и используемой технологической оснастки является гибкость и быстрая переналаживаемость на новый вид изготавливаемой продукции.

Существующую технологическую оснастку не всегда можно применить в условиях многономенклатурного автоматизированного производства, поэтому возникает необходимость совершенствования уже известной либо проектирования новой технологической оснастки, удовлетворяющей современным требованиям производства.

Одним из перспективных направлений финишной обработки деталей является магнитно-абразивная обработка (МАО). Технология магнитно-абразивной обработки объединяет в себе совокупность абразивного резания и использование магнитного поля непосредственно в зоне обработки. Магнитное поле удерживает порошок на индукторе и обеспечивает гибкую связь между зернами. В процессе обработки материал заготовки подвергается не только механическому абразивному воздействию, но также воздействию переменного магнитного поля, которое благоприятно отражается на эксплуатационных свойствах поверхностного слоя детали.

Расширение технологических возможностей МАО во многом зависит от успеха проектирования технологической оснастки, применяемой на станках с числовым программным управлением. Проектируемая оснастка должна удовлетворять современным тенденциям развития технических систем, которые заключаются в усовершенствовании существующих систем в направлении повышения уровня функциональности, технологичности, экономичности и производительности.

Одним из ключевых этапов проектирования технологической оснастки для МАО является моделирование процесса обработки, которое включает в себя математическое описание модели с целью выявления кинематики процесса обработки, принципа работы оборудования, получения требуемых конструктивно-геометрических параметров детали и инструмента, а также необходимого качества поверхности детали.

Важнейшей задачей математического моделирования является нахождение зависимостей между входными и выходными параметрами исследуемой технической системы. Входными параметрами для процесса магнитно-абразивной обработки являются: исходное качество обрабатываемой поверхности заготовки, объем и зернистость абразивного порошка, геометрическая форма и размеры магнитного индуктора и заготовки; выходными – требуемое качество поверхности детали, величина съема материала и производительность обработки.

С помощью разрабатываемой математической модели появляется возможность более детально и глубоко рассмотреть следующие вопросы:

1. Исследовать технологические возможности спроектированных инструментов, оснастки и способов МАО;
2. Моделирование МАО в условиях обработки на станках с ЧПУ с варьируемым размером порции магнитного порошка;

3. Оценка работоспособности предложенных решений и их применение в условиях группового технологического процесса.

В процессе моделирования требуется найти математическую зависимость  $f(x)$  между величиной радиуса индуктора  $R_u$ , радиусом порции абразивного порошка  $r_n$ , подачей  $S$  и частотой вращения  $n$  индуктора:

$$f(x) = f(R_u, r_n, S, n)$$

с целью выбора оптимального радиуса порции порошка для достижения необходимой производительности обработки.

Требуется решить прямую задачу поиска рациональной траектории движения инструмента, обеспечивающей максимальную производительность процесса обработки и обратную задачу поиска режимов обработки для обеспечения требуемого качества поверхности детали.

В ходе моделирования приняты следующие допущения: порция магнитно-абразивного порошка в форме окружности принимается абсолютно жесткой и в процессе обработки не распадается на отдельные элементы. Отсутствует внутреннее трение в массиве порции магнитного порошка.

На рисунке 1 приведена схема процесса обработки. Цилиндрический магнитный индуктор 1 радиуса  $R_u$ , порция магнитно-абразивного порошка 2 в форме окружности радиуса  $r_n$ , расположенная на расстоянии  $l$  от оси вращения индуктора, в начальном положении под углом  $\varphi$  к оси абсцисс и заготовки 3 с плоской обрабатываемой поверхностью в форме равностороннего треугольника со стороной  $a$ . Магнитный индуктор вращается с частотой вращения  $n$ , стол станка движется плоско-параллельно вдоль основания треугольника с минутной подачей  $S$ .

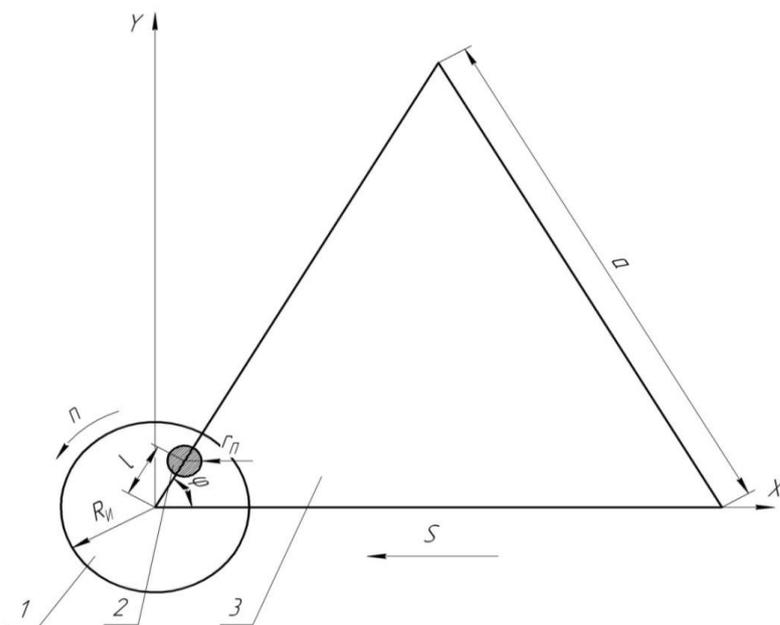


Рис. 1. Схема процесса обработки:

- 1 – цилиндрический магнитный индуктор;
- 2 – порция магнитно-абразивного порошка в форме окружности;
- 3 – заготовка с плоской обрабатываемой поверхностью

Выразим математическое описание траектории движения единичной порции абразивного порошка. Центр порции порошка движется вокруг оси вращения индуктора при нулевой подаче ( $S=0$ ) по траектории, описываемой уравнением окружности:

$$\begin{cases} x_c = l \cos \omega \tau \\ y_c = l \sin \omega \tau. \end{cases} \quad (1)$$

При подаче  $S>0$  центр порции порошка совершает сложное одновременное равномерное вращательное и поступательное движение и описывает частный случай трохоиды – циклоиду.

Совместное уравнение сложного движения порции порошка в форме окружности описывается системой уравнений:

$$\begin{cases} x_c = S\tau + l \cos \omega \tau \\ y_c = l \sin \omega \tau. \end{cases} \quad (2)$$

где  $l$  – расстояние между осью вращения индуктора и центром порции абразивного порошка в форме окружности;

$\omega$  – угловая скорость вращения магнитного индуктора;

$S$  – минутная подача стола станка.

На рисунке 2 показан пример траектории, построенной при помощи средств Microsoft Office Excel.

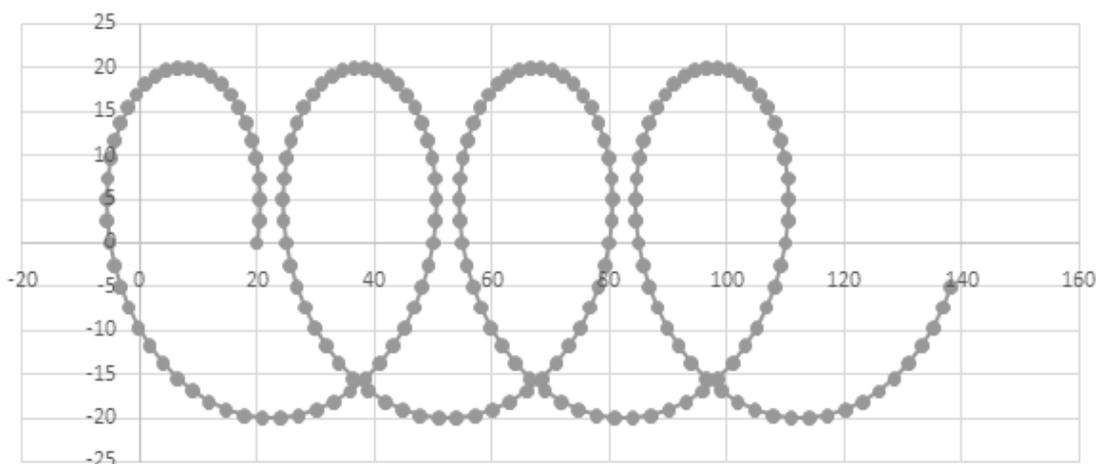


Рис. 2. Пример построения траектории движения центра порции абразивного порошка

Для описания полосы, являющейся траекторией движения порции порошка, опишем траекторию движения крайней внешней точки, дополнив формулу (2) значением радиуса порции порошка:

$$\begin{cases} x_{внеш} = S\tau + (l + r_n)\cos \omega\tau \\ y_{внутр} = (l + r_n)\sin \omega\tau. \end{cases} \quad (3)$$

Аналогично для крайней внутренней точки:

$$\begin{cases} x_{внеш} = S\tau + (l - r_n)\cos \omega\tau \\ y_{внутр} = (l - r_n)\sin \omega\tau. \end{cases} \quad (4)$$

На рисунке 3 показан пример траектории движения порции магнитного порошка.

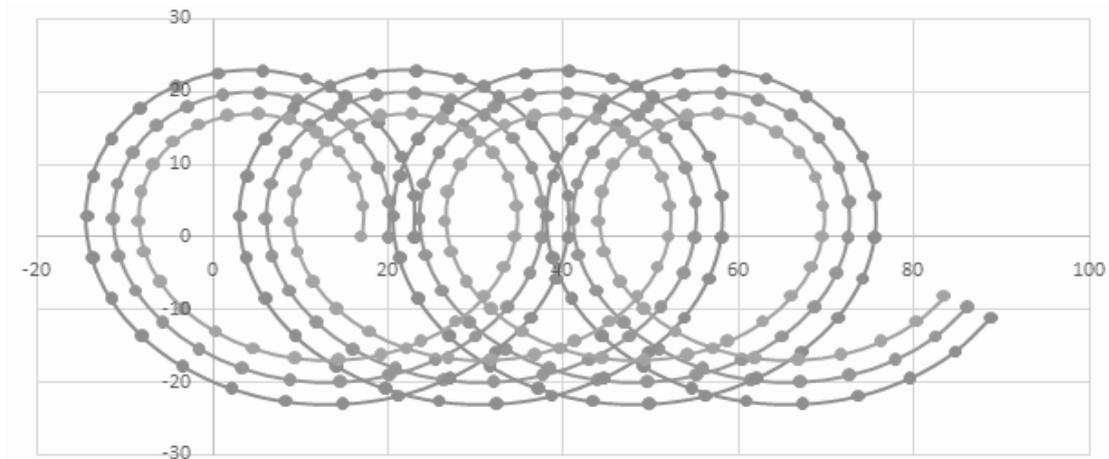


Рис. 3. Траектория движения порции магнитно-абразивного порошка

На графике явно видно наличие необработанных участков при магнитно-абразивной обработке исследуемой порцией порошка. В связи с этим требуется положить условие перекрытия следов обработки – совпадение крайней внешней точки траектории и крайней внутренней точек траектории на двух ближайших витках:

$$x_{1внутр} = x_{2внеш} + b, \quad (5)$$

$$x_{1внутр} = S\tau + (l + r_n)\cos \omega\tau, \quad (6)$$

$$x_{2внеш} = S(\tau + T) + (l - r_n)\cos \omega(\tau + T). \quad (7)$$

Данное выражение в условиях статики примет вид (при  $\tau = 0$ ):

$$x_{1внутр} = l + r_n, \quad (8)$$

$$x_{2внеш} = ST + l - r_n, \quad (9)$$

$$T = \frac{1}{n}. \quad (10)$$

С учетом величины перекрытия  $b$  получим:

$$l + r_n = ST + l - r_n + b. \quad (11)$$

Как следствие, получена зависимость между радиусом порции абразивного порошка и величинами подачи и частоты вращения индуктора:

$$2r_n \geq \frac{S}{n} + b. \quad (12)$$

Определим ширину полосы обработки. Полагая, что порция порошка движется по траектории, близкой к окружности, рассмотрим точку пересечения окружностей, представляющих собой два витка, центры которых смещены на величину подачи на оборот (рис. 4).

Уравнение 1-й окружности имеет вид:

$$x^2 + y^2 = (l + r_n)^2. \quad (13)$$

Уравнение 2-й окружности с учетом смещения на величину подачи  $S$ :

$$(x - S)^2 + y_2^2 = (l + r_n)^2. \quad (14)$$

Верхние дуги окружностей описываются уравнениями:

$$y_1 = \sqrt{(l + r_n)^2 - x^2}, \quad (15)$$

$$y_2 = \sqrt{(l + r_n)^2 - (x - S)^2}. \quad (16)$$

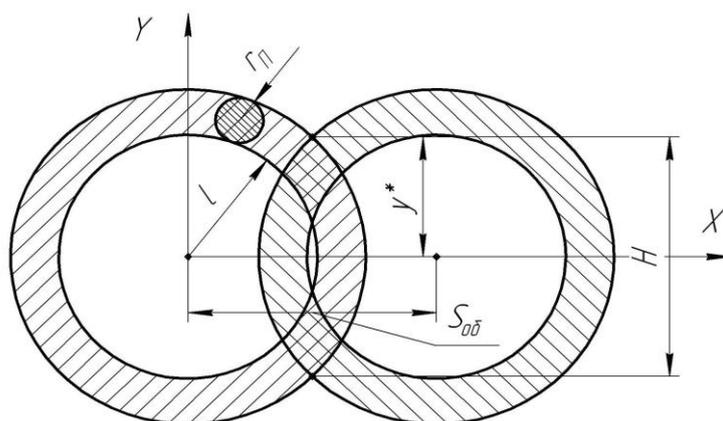


Рис. 4. Два витка траектории движения порции абразивного порошка:  
 $r_n$  – радиус порции абразивного порошка;  $l$  – расстояние от оси вращения индуктора до порции порошка;  $S$  – продольная подача на оборот индуктора;  
 $H$  – ширина полосы обработки;  
 $y^*$  – ордината точки пересечения двух окружностей

Отсюда точка пересечения двух окружностей  $y_1 = y_2$  вычисляется при  $x = S/2$ . При этом ордината точки пересечения  $y^*$ :

$$y^* = \sqrt{(l + r_n)^2 - \frac{S^2}{4}}. \quad (17)$$

Ширина полосы обработки:

$$H = 2y^* = 2\sqrt{(l + r_n)^2 - \frac{S^2}{4}}. \quad (18)$$

Фактическая ширина полосы обработки должна быть меньше этой величины:

$$H_{\phi} < 2\sqrt{(l + r_n)^2 - \frac{S^2}{4}} . \quad (19)$$

Анализ полученных траекторий движения порции абразивного порошка показал, что число абразивных зерен, проходящих через центр полосы обработки, меньше, чем через периферию, а следовательно, и изменение шероховатости внутри полосы будет иметь обратно пропорциональный характер: чем дальше от центра полосы, тем ниже шероховатость. Установлено, что для обеспечения стабильности полосы обработки и качества обработанной поверхности при повышении величины подачи стола станка, например с 100 до 200 мм/мин, необходимо увеличить размер порции абразивного порошка или частоту вращения магнитного индуктора в 2 раза.

Полученные зависимости для определения размеров порции абразивного порошка, участвующего в процессе формирования поверхности детали при магнитно-абразивной обработке, позволяют решить технологические задачи по поиску наиболее выгодных режимов, траекторий обработки деталей и технического нормирования на уровне проектирования операций МАО, что особенно важно при освоении многономенклатурных групповых технологических процессов.

Используя полученные данные, технолог может оценить влияние нескольких параметров процесса (радиуса индуктора, радиус порции абразивного порошка, подача привода стола станка, частота вращения индуктора и др.) на производительность обработки. Предложенную модель можно использовать для прогнозирования параметров обработки плоских поверхностей деталей сложной конфигурации, где режимы обработки постоянно корректируются, что характерно для процессов МАО, из-за отсутствия стандартных значений режимов резания.

#### Список литературы

1. Барон, Ю.М. Магнитно-абразивная обработка изделий и режущих инструментов / Ю.М. Барон. Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1986. 176 с.
2. Сакулевич, Ф.Ю. Основы магнитно-абразивной обработки / Ф.Ю. Сакулевич. Минск.: Наука и техника, 1981. 328 с.
3. Колесов, А.Г. Разработка математической модели процесса полирования для обработки прецизионных деталей приборов / А.Г. Колесов, С.Е. Сазонов, С.М. Братан // Вестник Севастопольского национального технического университета. 2013. №139. С. 111-116.
4. Степанов, Ю.С. Моделирование числа абразивных зерен, участвующих в процессе формирования поверхности детали при резании сверхзвуковой гидроабразивной струей / Ю.С. Степанов, Г.В. Барсуков, А.В. Михеев // Вестник Брянского государственного технического университета. 2009. №1. С. 15-19.

## ВЫБИВКА ЛИТЕЙНЫХ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ФОРМ

В.П. Штокаленко

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) АлтГТУ*

Проведено аналитическое исследование изменения факторов, влияющих на выбор метода выбивки литейных форм из песчано-глинистых смесей при изготовлении отливок.

**Ключевые слова:** *литейное производство, литейные формы, песчано-глинистые смеси, отливки, выбивка, выдавливание кома, выбивная решетка, выбивной барабан.*

## THE KNOCKOUT OF FOUNDRY SAND AND CLAY MOLDS

V.P. Shtokalenko

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper presents an analytical study of changing factors determining the method used for knockout of foundry molds out of sand and clay mixtures when making castings.

**Key words:** *foundry, molds, sand and clay mixtures, castings, knockout, squeezing, shakeout grate, knockout drum.*

Изготовление литейных форм из песчано-глинистых смесей (ПГС) широко распространено на предприятиях, производящих стальные и чугунные отливки различной массы и серийности для вагоностроительной, автомобильной, тракторной, сантехнической и других отраслей промышленности. Этому способствует изученность технологий смесеприготовления и формовки, меньшая стоимость ПГС, хорошая экологичность и выбиваемость наряду с достаточно высоким уровнем механических и технологических свойств.

На базе различных экспертных заключений объёмы модернизации производства железнодорожных отливок в последние годы составили около 50-70% от общего объёма модернизации производства литья в разовые песчаные формы и позволили нашей стране войти в тройку лидеров по их производству из стали [1].

ПГС представляет собой смесь кварцевого песка со связующей глиной, водой и технологическими добавками, которая способна уплотняться с применением различных методов. Современные литейные цехи внедряют все больше автоматизированного и автоматического оборудования, в первую очередь автоматических формовочных литейных линий (АФЛ).

АФЛ последовательно выполняют технологические операции формовки, простановки стержней, сборки форм, заливки их металлом, охлаждения и выбивки, то есть удаления затвердевших и охлажденных до определенной температуры отливок из разовой литейной формы.

После заливки литейной формы металлом он затвердевает и определенное время охлаждается вместе с формой, так как прочность металла при высокой температуре мала. Выбивка отливки при высокой температуре не производится еще и потому, что охлаждение ее на воздухе происходит неравномерно, что

может вызвать внутренние напряжения в отливках, их коробление и появление трещин. Возможно возникновение напряжений двух видов:

- температурных, связанных с усадкой металла при охлаждении;
- фазовых, вызванных структурными превращениями.

Стальные и чугунные отливки выбивают из формы при температуре ниже  $727^{\circ}\text{C}$ , когда заканчивается превращение аустенита в перлит. Продолжительность охлаждения крупных и сложных по форме отливок может достигать нескольких суток, а температура выбивки  $500^{\circ}\text{C}$ .

Выполнение операций выбивки в настоящее время возможно с применением различных способов, использование которых зависит от условий производства, типоразмеров применяемых опок, требуемой производительности литейного конвейера, прочности литейной формы.

Распределение твердости, а следовательно, и прочности формовочной смеси после уплотнения чаще всего неравномерно по высоте опоки (рисунок 1). Чем выше уровень этих свойств, тем сложнее обеспечить выбивку.

Оборудование для выбивки является неотъемлемым элементом технологической базы любого, даже небольшого литейного цеха. Решающее значение для выбора схемы выбивной установки [2] имеет, с одной стороны, применяемый метод формовки (опочная, безопочная) и тип нижних опок (с крестовинами или без них), с другой стороны, – расположение формовочных машин на литейном конвейере (групповое или комплексное). Именно эти факторы и определяют конструктивную сложность установок.

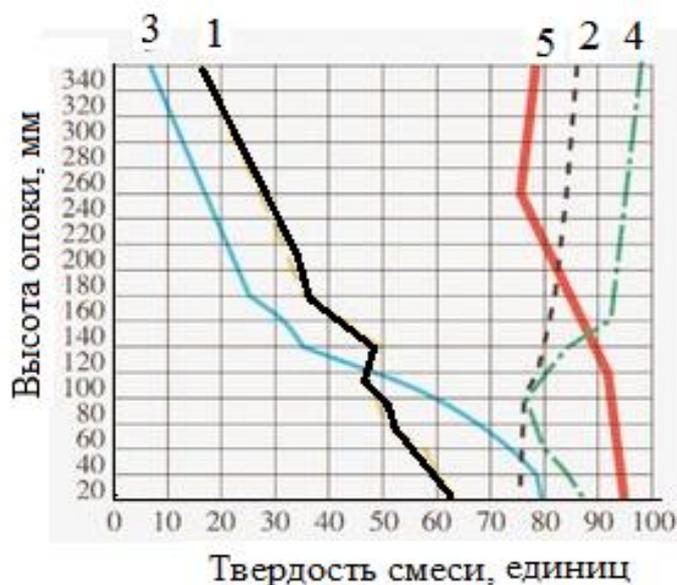


Рис. 1. Твердость формовочной смеси при различных методах её уплотнения [3]:

- 1 – встряхивание; 2 – встряхивание с дополнительным прессованием;
- 3 – воздушное уплотнение; 4 – воздушное уплотнение с дополнительным прессованием; 5 – методом Formimpress

Исходя из этого автор делил существующие установки на три большие класса:

- установки для выбивки безопочных форм;
- установки для выбивки форм без крестовин в нижней опоке;
- установки для выбивки форм с крестовинами в нижней опоке.

Существует мнение [4], что для рациональной механизации и автоматизации процесс выбивки отливок должен быть расчленен на операции и переходы, определяемые технологией формовки и металлоемкостью формы. При этом схема выбивки крупных форм может быть выполнена в двух вариантах. Первый вариант предусматривает разрушение формы за одну операцию, второй вариант предусматривает разделение этой работы на две операции. В каждом конкретном случае этот вопрос в зависимости от местных условий решается индивидуально.

Изготовление литейных форм из ПГС в последние два десятилетия претерпело изменения следующего характера:

- увеличился размер опок в «свету». Например, на АФЛ фирмы Savelli для выпуска отливок «рама боковая» и «балка надрессорная» используются самые крупные опоки, применяемые для форм из ПГС, с размерами в свету, равными 3000x1800x500/500 мм [5];

- снизилось применение опок с крестовинами;

- расширилось применение новых методов уплотнения литейных форм из ПГС. На современных АФЛ применяют Сейатсу-процесс (уплотнение воздушным импульсом с дополнительным прессованием) [6], Formimpres-процесс (нижнее прессование с дополнительным уплотнением многоплунжерной головкой) [7], Airpress plus (верхнее прессование с вакуумированием опоки при заполнении смесью) [8];

- возросла прочность уплотненной смеси, равномерность ее распределения по высоте полуформ. Прочность при сжатии ПГС для АФЛ находится в пределах 0,11-0,2 МПа [9];

- повсеместное использование технологий изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей (ХТС);

- особое внимание в эти годы уделяли достижению высокой гибкости АФЛ для производства широкой номенклатуры отливок. Среди инжиниринговых решений по этому вопросу следует отметить возможность комбинирования разных по высоте и габаритам опок в одной формовочной линии с одной формовочной машиной, использование двух типов опок разных габаритов на одной формовочной машине, изготовление на одной АФЛ отливок из разных сплавов.

Перечисленные изменения имеют самое непосредственное влияние на выбор способа выбивки форм и технические характеристики устройств для их реализации.

Иностранные и российские фирмы, специализирующиеся на литейном оборудовании, разрабатывают участки выбивки, отличающиеся даже для опок одного типоразмера различными компоновками, набором оборудования и конструктивными решениями. Широко используются в узлах выбивки

зарубежных автоматических формовочных линий (HWS-Sinto, Künkel-Wagner, Savelli, Georg Fisher) прошивающие (выдавливающие) механизмы. В свое время применению прошивающих механизмов способствовало:

- создание конструкций, которые точно фиксируют положение опоки относительно пуансона, выдавливающего ком смеси с отливками;

- увеличение массы опок, за счет чего при ходе пуансона опоки остаются на конвейере, а не тянутся вверх за пуансоном.

Когда после затвердевания отливок и охлаждения литейные формы поступают на позицию выбивки, то выдавливают смесь с отливками из опок с помощью плиты-пуансона как сверху вниз, так и снизу вверх. Ком формовочной смеси с отливками в первом случае, будучи выдавленным, из опок попадает на выбивную решетку, где разрушается, и отливки отделяются от формовочной смеси. При недостатке рабочей площади можно использовать многоуровневый охлаждающий конвейер, где ком смеси с отливками будет храниться на охлаждающей тележке и затем уже поступит на выбивную решетку [10].

Во втором случае выбивка форм осуществляется в следующем порядке. Из комплекта опок снизу вверх выдавливается ком смеси с заключенными в нем отливками и сталкивается толкателями либо в виброжелоб для перемещения на разделительную вибрационную решетку, либо на специальный пластинчатый транспортер для дополнительного охлаждения. После охлаждения формы, освобожденные от опок, также сталкиваются на вибрационную разделительную решетку.

Интересным решением является автоматическая сортировка массивных и легких отливок или отливок с толстыми и тонкими ребрами, а также отливок, изготовленных из разных сплавов (чугуна или Al-сплавов) по разным участкам финишной обработки, для чего на некоторых современных АФЛ установлены две выбивные решетки. Такое решение реализовано на АФЛ, установленной на заводе Daimler Chrysler в Германии [11].

При выдавливании кома снизу вверх снижается опасность повреждения отливок, вероятность вследствие остаточных напряжений в отливках, но возрастают энергетические затраты на выдавливание.

Большинство прошивающих механизмов для удаления кома смеси с отливкой из опок без крестовин имеют выдавливающие плиты с плоской рабочей поверхностью, приводимые в действие пневмо- и гидроприводами, при этом требуются значительные усилия выдавливания, особенно для форм с повышенной прочностью смеси. Находят применение фигурные выдавливающие плиты, а также сочетающие продавливание с вибрацией [12].

Выдавливающие установки имеют явные преимущества – бесшумность работы, высокую производительность. Но при прошивании формовочная смесь остается на стенках и буртах опоки, и для ее удаления необходимо применять дополнительную энергию в виде вибрации или встряхивания (с ударом) либо очистку щетками, обдув из сопел. Как показал опыт некоторых заводов – эта энергия достаточно велика, так как смесь у стенок, видимо, дополнительно уплотняется при выдавливании кома.

Развитие промышленного производства в России требует внедрения на отечественных заводах новых технологических процессов, позволяющих получать качественные отливки при использовании экологически чистых, менее энергоемких и более производительных методов обработки.

К таким методам можно отнести методы выбивки сырых песчано-глинистых литейных форм с использованием скоростного вакуумирования. Исследования в этой области проводили на кафедре «Машины и технология литейного производства» МГТУ «МАМИ» под руководством профессора В.С. Мысовского.

Метод вакуумного разрушения предназначен для выбивки только залитых и не остывших до температуры окружающей среды литейных форм, помещенных в специальную вакуумируемую камеру. Процесс обеспечивает разрушение формы и доведение ПГС до дисперсного состояния, кроме той смеси, которая потеряла влагу при заливке форму металлом. Это позволяет отказаться от применения дробилки после выбивной установки.

Второе исследование процесса вакуумной выбивки заключается в создании вакуума под формой, в специальной камере, по объему равной объему литейной формы [12]. Методы вакуумной выбивки экологичные, сравнительно бесшумные, но пока не востребованные в реальном производстве.

Выбивные решетки автоматических линий отличаются от обычных выбивных решеток функциональным назначением [11]. В обычных решетках, применяемых в единичном производстве, технологический процесс выбивки осуществляется обычно следующим образом. Залитая литейная форма, подлежащая выбивке, подается на полотно выбивной решетки, работающей непрерывно или же включаемой периодически после установки на нее очередной опоки. От соударений опоки с вибрирующим полотном решетки набивка формы разрушается, ком смеси с отливкой (отливками) выпадает на полотно, распадается, отливки отделяются от смеси. По окончании процесса выбивки освободившиеся отливки и пустая опока остаются на решетке, с которой затем и удаляются специальными толкателями. Таким образом, обычные решетки выполняют только функции выбивки, т.е. разрушение набивки формы и отделение отливок от смеси, без последующего автоматического транспортирования решеткой выбитых отливок по полотну. Такие решетки различной грузоподъемности применяют в условиях единичного и мелкосерийного производства.

Выбивные решетки, применяемые в автоматических линиях, в силу особенностей их назначения одновременно выполняют как функцию выбивки, так и автоматическое транспортирование выбитых отливок по полотну решетки для передачи их по дальнейшей технологической цепочке. Указанные отличия функционального назначения накладывают особенности на конструкцию, а значит, выбивные решетки с транспортированием выполняют только инерционными. В них применяют вибровозбудители как кругового, так и направленного действия.

## Список литературы

1. Модернизация литейного производства России для производства железнодорожных отливок внедрением инновационных технологий Сейатцу и Вакуум-процесс: Российский сайт литейщиков. ([http://rsl.npp.ru/articles/innov/innov\\_8682.html](http://rsl.npp.ru/articles/innov/innov_8682.html)).
2. Кудин, Д.А. Инновационные технологии фирм «Savelli S.p.A.» (Италия) и «АНВ Giessereitechnik GmbH» (Германия) при производстве крупного вагонного литья на основе опыта предприятия ОАО «Алтайвагон» – Рубцовский филиал, г. Рубцовск, Алтайский край / Д.А. Кудин, Н. Колоско // Литейщик России. 2008. – №11. – С. 23-25.
3. Орлов, Г.М. Автоматические установки для выбивки литейных форм / Г.М. Орлов. М.: Машгиз, 1961. – 131 с.
4. Пономарев, Н.Г. Особенности выбивки отливок из прочных форм / Н.Г. Пономарев, А.В. Кузин // Литейное производство. 1981. – №10. – С. 15.
5. Кушаков, С.В. Передовые литейные технологии – основа надежности новых грузовых вагонов / С.В. Кушаков, И.А. Рогозников // Евразия Вести. 2013. – №8. (<http://www.eav.ru/publ1.php?publid=2013-08a17>).
6. Буданов, Е.Н. Инновационная технология Сейатцу – процесс для модернизации литейного производства России / Е.Н. Буданов // Союз литье. Информационный ресурс по литейному производству. (<http://lityo.com.ua>).
7. Интернет-сайт фирмы Savelli. (<http://www.savelli.it/?lang=ru>).
8. Интернет-сайт Российской ассоциации литейщиков. (<http://www.ruscastings.ru/work/168/170/7912/9060>).
9. Трухов, А.П. Технология литейного производства: Литье в песчаные формы: Учебник для студ. высш. учеб. заведений / А.П. Трухов, Ю.А. Сорокин, М.Ю. Ершов и др.; Под ред. А.П. Трухова. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 528 с.
10. Формовочные линии стандартного исполнения с формовочной машиной по Сейатцу-процессу. Проспект фирмы HWS-Sinto. ([http://wagner-sinto.de/pdfAllgemein/Standard\\_Formanlagen\\_russ.pdf](http://wagner-sinto.de/pdfAllgemein/Standard_Formanlagen_russ.pdf)).
11. Буданов, Е.Н. Производство чугуновых отливок по SEIATSU-процессу на заводе Luitpoldhütte, Германия и опыт HWS-Sinto по внедрению АФЛ для «блоков цилиндров» / Е.Н. Буданов, И.Я. Мельников // Интернет-сайт Российской ассоциации литейщиков. (<http://www.ruscastings.ru/work/168/2130/2132/5537>).
12. Штокаленко, В.П. Механизм процесса вакуумного прошивания и определение рациональных параметров выбивной установки. Автореферат канд. диссертации / В.П. Штокаленко. Московский государственный технический университет «МАМИ». Москва, 1999 г.
13. Барчан, Е.Н. Анализ конструкций и условий нагружения виброударных машин для выбивки литья / Е.Н. Барчан, А.Г. Приймаков, А.В. Ткачук, Л.Н. Бондаренко, А.В. Грабовский // Вестник Национального технического университета "ХПИ". №23. – 2013. (996) (<http://vestnik.pp.ua>).

### СЕКЦИЯ 3. НАЗЕМНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

**Председатель секции:** кандидат технических наук, профессор кафедры «Наземные транспортные системы» Площаднов Александр Николаевич

#### РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРУЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ С КОМБИНИРОВАННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКОЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Е.В. Ван, В.С. Карабцев, А.Н. Муллахметов  
*Россия, Республика Татарстан, город Набережные Челны,  
Научно-технический центр ОАО «КамАЗ»*

**Аннотация:** В данной статье проведен сравнительный анализ расчетных показателей топливной экономичности на переходных режимах движения, скоростных свойств и динамических характеристик грузового автомобиля КамАЗ с комбинированной энергоустановкой (КЭУ) и без нее. Выявлен процент экономии топлива при установке КЭУ.

**Ключевые слова:** математическая модель, комбинированная энергоустановка, двигатель внутреннего сгорания, показатели скоростных свойств и топливной экономичности, динамическая характеристика.

#### MATHEMATICAL MODELING OF A COMBINED POWER PLANT TRUCK FOR CARRYING OUT COMPUTATIONAL RESEARCH

E.V. Van, V.S. Karabcev, A.N. Mullahmetov  
*Scientific-technical center of OJSC «KAMAZ» in Naberezhnye  
Chelny, Republic of Tatarstan, Russia*

**Abstract:** This article provides a comparative analysis of the estimated fuel economy in transient motion, speed and dynamic characteristics of a KamAZ truck with a combined power unit (CPU) and without it. The percentage of fuel savings when installing the CPU has been calculated.

**Key words:** mathematical model, combined power plant, internal combustion engine, speed and fuel efficiency figures, dynamic performance.

Одной из важнейших мотиваций для производителей автомобилей с комбинированной энергоустановкой (КЭУ) является возможность объединения преимуществ электрического автомобиля, таких как уменьшение токсичности и экономия топлива, с преимуществами обычного автомобиля, использующего двигатель внутреннего сгорания (ДВС). Автомобиль с КЭУ позволяет сделать базовый автомобиль более привлекательным для потребителя, т.к. добавляет возможности:

- рекуперации или восстановления части кинетической энергии при торможении и движении на спуске для последующего использования [1];
- выключения двигателя на холостом ходу и малых нагрузках без ущерба функциональным характеристикам автомобиля;
- движения на электротяге в мегаполисах;
- оптимизации распределения энергии между электродвигателем и ДВС [2];

- уменьшения размеров ДВС и увеличения его КПД, т.к. электродвигатель может работать на коротких фазах ускорений [3].

Разработаны следующие математические модели грузового автомобиля в программной среде LMS Imagine.Lab AMESim rev.10:

- ✓ базовая модель грузового автомобиля с дизельным двигателем;
- ✓ базовая модель грузового автомобиля с газовым двигателем;
- ✓ базовая модель грузового автомобиля с дизельным двигателем + КЭУ;
- ✓ базовая модель грузового автомобиля с газовым двигателем + КЭУ.

При разработке моделей созданы упрощенные модули ДВС, электродвигателей, батареи, трансмиссии и автомобиля, предназначенные для формирования и преобразования крутящего момента и сил сопротивления, приведенных к колесу.

Проведены расчетные исследования по определению показателей топливной экономичности, скоростных свойств и динамических характеристик и рассчитана экономия топлива при установке КЭУ на базовый грузовой автомобиль.

Расчетные исследования проведены при следующих условиях:

- параметры, использованные при разработке расчетной модели, взяты с записей натурных испытаний грузового автомобиля КамАЗ;

- расчеты проведены с газовым и дизельным двигателями;

- при проведении исследований использованы стандартные настройки и стандартные блоки из библиотек программы LMS Imagine.Lab AMESim rev.10;

- при проведении расчетных исследований грузового автомобиля использовалась схема параллельно-последовательной КЭУ;

- расчетные исследования проведены в условиях наличия постоянного заряда батареи, т.е. в процессе функционирования модели не происходит заряд и разряд батареи;

- при определении показателей топливной экономичности и скоростных свойств не используются модели электродвигателей привода колес передней оси, т.к. тяга передних колес подключается только в тяжелых дорожных условиях;

- при определении скоростных свойств использован верхний ряд ступеней коробки передач;

- при переключении передач коробки передач использована номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя;

- для построения динамических характеристик разработан программный модуль в среде матричных вычислений Matlab, график семейства динамических характеристик гибридного грузового автомобиля с дизельным двигателем приведен на рисунке 1;

- для верификации расчетной модели выполнено сравнение с результатами ранее проведенных испытаний грузового автомобиля КамАЗ с дизельным двигателем, максимальная относительная погрешность достигнута в пределах 3%, а абсолютная – 1,4 л/100 км.

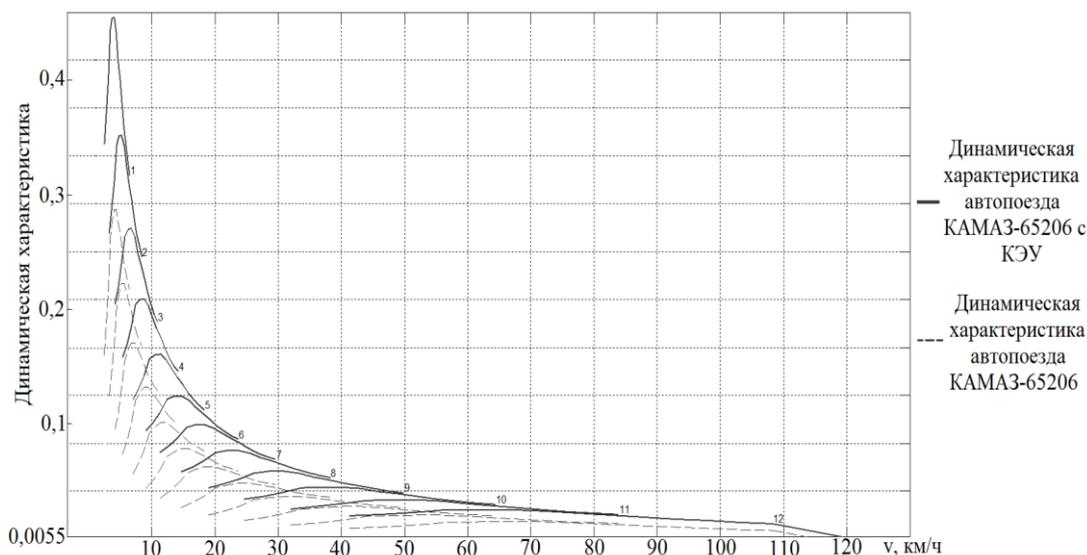


Рис. 1. Динамическая характеристика гибридного грузового автомобиля с дизельным двигателем

Анализ расчетных исследований показал, что установка КЭУ на грузовой автомобиль:

- с дизельным двигателем приводит к уменьшению среднего расхода топлива на 13,2% на пути 1 км и 11,5% – на пути 2 км. В процессе разгона до скорости 60 км/ч средний расход топлива уменьшается на 6,9% и до скорости 80 км/ч – на 2,4%. Максимальная скорость грузового автомобиля с КЭУ дизельным двигателем увеличивается на 3,5%, а время разгона в среднем уменьшается на 30%.

- с газовым двигателем приводит к уменьшению среднего расхода топлива на 16,2% на пути 1 км и 13% – на пути 2 км. В процессе разгона до скорости 60 км/ч средний расход топлива уменьшается на 6,2%, а до скорости 80 км/ч средний расход топлива практически не изменяется. Максимальная скорость грузового автомобиля с КЭУ газовым двигателем увеличивается на 2,8%, а время разгона в среднем уменьшается на 39%.

Разработанную модель планируется доработать для обеспечения возможности учета привода колес передней оси, который будет осуществляться посредством не связанных между собой обращенных электромашин с промежуточными редукторами. Данная модель будет использована при разработке адаптивной системы управления силовыми установками гибридного автомобиля.

#### Список литературы

1. Larminie, James. Electric vehicle technology explained / James Larminie, John Lowry. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England. 2003.
2. Dhameja, Sandeep. Electric vehicle battery systems / Sandeep Dhameja. Newnes, 2002.

3. Крутиков, А.А. Ультраконденсаторы улучшают КПД электромобилей и гибридных автомобилей / А.А. Крутиков // Силовая электроника. 2006. №1. С. 18-19.

## РЕЖИМЫ НАГРУЖЕНИЯ НАВЕСНОГО ТОЛКАТЕЛЯ МАШИНЫ ДЛЯ СОРТИМЕНТНОЙ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ

А.С. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
“Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”*

**Аннотация:** Обоснована технология с применением самосвальных сортиментовозов. Рассмотрено уравнение тягового баланса сортиментовоза, определены усилия на толкателе.

**Ключевые слова:** сортиментовоз, толкатель.

## LOADING CONDITIONS OF THE HINGED PUSHER OF THE MACHINE FOR CUT-TO-LENGTH LOGGING

A.S. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The paper substantiates the technology of using short log truck tippers. The equation of traction balance for a short log truck has been discussed and the pusher force has been determined.

**Key words:** short log truck, pusher.

В настоящее время в Рубцовском индустриальном институте АлтГТУ им. И.И. Ползунова (РИИ АлтГТУ) при активном участии автора ведется разработка нового лесотранспортного средства – гусеничного трактора-сортиментовоза на базе манипуляторной трелевочной машины производства ОАО “Алтайское тракторостроительное объединение” [1...11]. Такое лесотранспортное средство, обладая повышенной опорной проходимостью, существенно отличается от широко известных колесных сортиментовозов зарубежного производства возможностью движения в тяжелых почвенно-климатических условиях, характерных для лесозаготовительного производства в районах Сибири и Дальнего Востока.

Известно, что на верхнем складе стрелеванные сортименты подлежат перегрузке на лесовозные автомобили для последующей вывозки. При данной операции выполняется штучная или микропачками разгрузка сортиментов с грузовой платформы форвардера. Анализ показал, что одной рейсовой нагрузки (примерно 10...12 м<sup>3</sup>) разрабатываемого гусеничного сортиментовоза может оказаться недостаточно для полной загрузки лесовозного автомобиля. Таким образом, для повышения эффективности вывозки сортиментов возможно использование двух вариантов перегрузки сортиментов:

1. Одновременное применение двух и более гусеничных сортиментовозов для обеспечения номинальной рейсовой нагрузки каждого лесовозного автомобиля.

2. Создание на верхнем складе достаточного запаса сортиментов путем их временного штабелирования на грунте.

Использование первого варианта проблематично, так как требует наличия большего количества техники и согласования графиков движения сортиментовозов и лесовозных автомобилей.

Использование второго варианта также имеет ряд отрицательных последствий: увеличение объема погрузочно-разгрузочных работ на верхнем складе, возможное повышение степени загрязненности сортиментов и др. Однако отсутствие жесткой привязки графиков движения сортиментовозов и лесовозных автомобилей позволяет добиться достаточной эффективности работы.

Проведенный в РИИ АлтГТУ анализ показал, что для реализации второго варианта целесообразно приспособить гусеничный сортиментовоз к пакетной разгрузке сортиментов, например, самосвальным методом. Проблема решена с участием автора на патентном уровне: предложен ряд оригинальных конструкций гусеничных сортиментовозов самосвального типа (патенты РФ №№ 91251, 2418695, 2461472).

Все сортиментовозы самосвального типа в качестве заключительного этапа технологического цикла, выполняемого на разгрузочной площадке (верхнем складе) у лесовозной автодороги, будут иметь бульдозерные операции: выравнивание комлей и штабелевку стрелеванной пачки сортиментов, рис. 1.

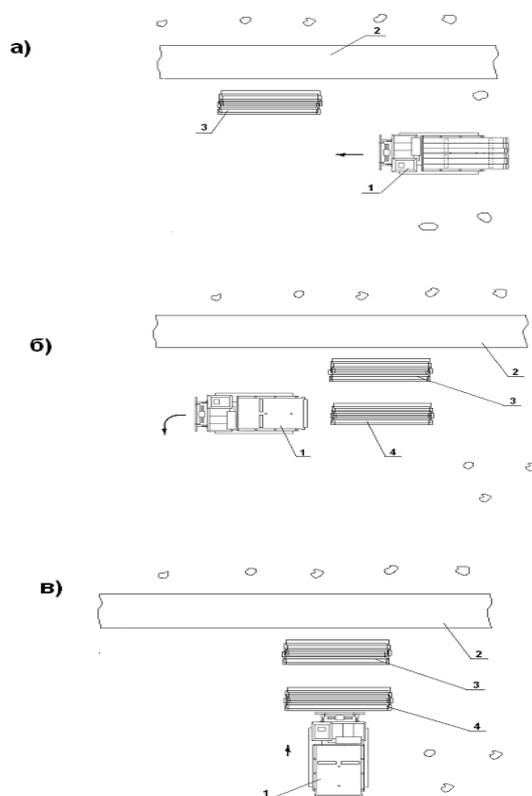


Рис. 1. Фазы работы сортиментовоза на верхнем складе:  
а – прибытие на склад, б – самосвальная разгрузка, в – штабелевка;  
1 – сортиментовоз; 2 – лесовозная автодорога; 3 – штабель сортиментов;  
4 – стрелеванная пачка сортиментов

Выравнивание комлей при умелой самосвальной разгрузке сортиментовоза может быть исключено. Штабелевка, позволяющая окучить сортименты после их разгрузки на грунт, целесообразна с точки зрения повышения производительности лесовозных автомобилей, занятых вывозкой древесины на деревообрабатывающие предприятия (нижние склады).

Режим бульдозерных нагрузок сортиментовоза при штабелевке можно оценить, используя методику, изложенную в [12]. Схема сил, действующих на сортиментовоз при штабелевке, представлена на рис. 2.

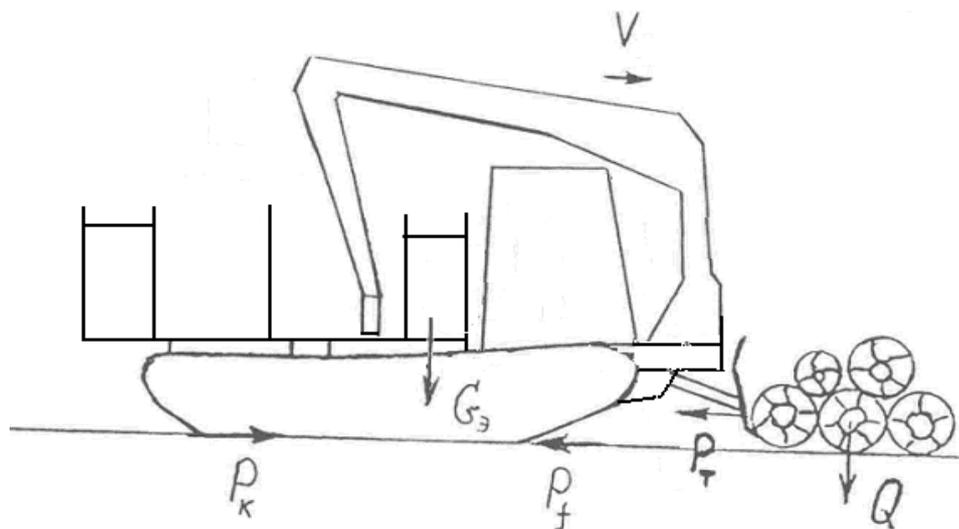


Рис. 2. Силы, действующие на сортиментовоз при штабелевке

Усилие  $P_T$  на толкателе, являющееся реакцией штабелюемой пачки весом  $Q$  на ее перемещение, составляет:

$$P_T = Q \cdot f_3, \quad (1)$$

где  $f_3$  – коэффициент сопротивления поперечному перемещению пачки. Численные значения коэффициента  $f_3$  ориентировочно могут быть приняты в пределах 0,6...0,9.

Учитывая, что штабелевка выполняется на выровненных площадках, уравнение тягового баланса сортиментовоза в режиме установившихся бульдозерных нагрузок можно записать следующим образом:

$$P_k = f_1 \cdot G_3 + P_T, \quad (2)$$

где  $f_1$  – коэффициент сопротивления качению сортиментовоза. Численные значения коэффициента  $f_1$  ориентировочно могут быть приняты в пределах 0,15...0,2.

Зная мощность  $N_e$  двигателя сортиментовоза и принимая скорость движения  $V$ , например, в пределах 3...4 км/ч, можно определить значение касательной силы тяги  $P_k$  по двигателю:

$$P_k = 3,6 \frac{N_e \cdot \eta_{me}}{V}, \quad (3)$$

где  $\eta_{мэ}$  – КПД силовой передачи с учетом потерь на ведущем участке гусеничного движителя.

При равенстве значений  $P_{кэ}$ , полученных по формулам (2) и (3), и учитывая формулу (1), можно получить предельный вес  $Q_{пред}$  штабелюемой пачки сортиментов:

$$Q_{пред} = \frac{3,6 \cdot N_e \cdot \eta_{мэ} - f_1 \cdot G_э}{f_3 \cdot V} . \quad (4)$$

На рис. 3 представлены графически зависимости  $Q_{пред}$  от мощности двигателя  $N_e$  сортиментовоза и усилия  $P_T$  на толкателе.

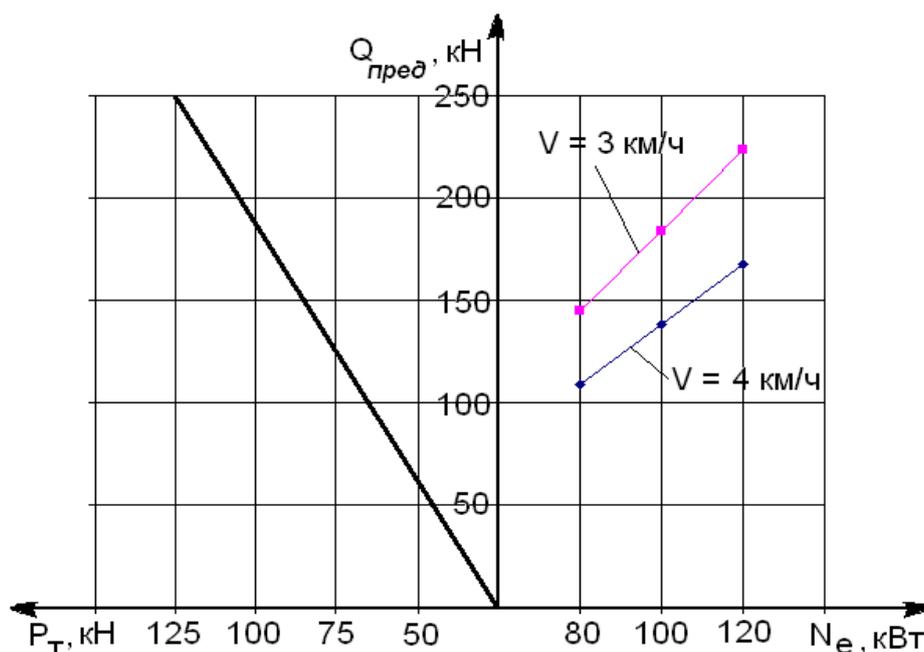


Рис. 3. Номограмма к определению усилий на толкателе сортиментовоза

Из анализа рис. 3 можно сформулировать предложения по повышению производительности сортиментовоза: если по условиям эксплуатации производится трелевка сортиментов пачками  $8...9 \text{ м}^3$ , то целесообразно штабелевку проводить только на четных рейсах. Тяговые возможности машины будут достаточны для окучивания двойных пачек, при этом средняя продолжительность цикла сортиментовоза снизится не менее чем на 8%.

Возросший уровень нагрузок на толкателе при штабелевке двойных пачек сортиментов должен быть учтен при его проектировании. Данный вывод дополняет рекомендации, изложенные в [13].

#### Список литературы

1. Войнаш, С.А. Гусеничный сортиментовоз самосвального типа / С.А. Войнаш, А.С. Войнаш // Проблемы и достижения автотранспортного комплекса: сборник материалов IX Всероссийской научно-технической конференции. Екатеринбург: УрФУ, 2011. С. 46-49.

2. Войнаш, А.С. Метод исследования эксплуатационных режимов трактора-сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Тракторы и сельхозмашины. 2011. №5. С. 27-28.
3. Войнаш, А.С. Исследование влияния рейсовой нагрузки на проходимость гусеничного сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Известия вузов. Лесной журнал. 2011. №5. С. 47-53.
4. Войнаш, А.С. О выборе типа сортиментовоза / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Известия ВолгГТУ: межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. Волгоград. 2011. №12. С. 15-17. (Сер. Наземные транспортные системы. Вып. 4).
5. Войнаш, А.С. Гусеничный форвардер с системой пакетной выгрузки лесоматериалов / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Строительные и дорожные машины. 2012. №9. С.13-16.
6. Войнаш, А.С. Высокопроизводительный сортиментовоз / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Международная научно-практическая инновационно-инвестиционная конференция МИИК-2012 (18-19 мая 2012 г.): Сборник статей / Под ред. Г.М.Тарана / Рубцовский индустриальный институт. – Рубцовск. 2012. С. 14-22.
7. Войнаш, А.С. Перспективная технология сортиментной заготовки древесины в районах Сибири и Дальнего Востока / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Труды Рубцовского индустриального института: Выпуск 21 / Под ред. А.А. Апполонова / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск. 2013. С. 37-41.
8. Войнаш, А.С. Гусеничный сортиментовоз самосвального типа / V выставка “Ярмарка инноваций. Алтайский край 2013”: Каталог инновационных / под общ. ред. М.П. Щетинина. – Барнаул: Азбука, 2013. С. 32.
9. Войнаш, С.А. Система унифицированных машин на базе гусеничного форвардера ЛЗ-5 / С.А. Войнаш, А.С. Войнаш // Строительные и дорожные машины. 2013. №12. С. 6-9.
10. Патент № 2418695 РФ на изобретение, МПК В 60 Р 3/40, В 60 Р 1/52, А 01 G 23/08. Сортиментовоз / Войнаш С.А., Войнаш А.С.; заявитель и патентообладатель: Войнаш С.А., Войнаш А.С. (RU). № 2010107069/11; заявл. 25.02.10; опубл. 20.05.11. Бюл. №14. С. 547.
11. Патент № 2461472 РФ на изобретение, МПК В 60 Р 3/41. Сортиментовоз / Войнаш С.А., Войнаш А.С.; заявитель и патентообладатель: Войнаш С.А., Войнаш А.С. (RU). – № 2011118266/11; заявл. 05.05.11; опубл. 20.09.12. Бюл. №26.
12. Войнаш, А.С. К вопросу оснащения базовых лесопромышленных тракторов толкателями / А.С. Войнаш, В.Р. Ситников // Известия вузов. Лесной журнал. 1998. №4. С. 66-71.
13. Войнаш, А.С. Многофункциональность навесных толкателей лесозаготовительных машин / Современная техника и технологии: проблемы, состояние и перспективы: Материалы III всероссийской научно-технической конференции 18-19 декабря 2013 г. / Под ред. к.т.н., доцента Н.И. Черкасовой / Рубцовский индустриальный институт. Рубцовск, 2013. С. 163-166.

# ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ “ПОЕЗДА” ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК

С.А. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
“Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”*

**Аннотация:** Рассмотрена методика и результаты лабораторных исследований “поезда” макетов вспомогательных грузовых тележек, имитирующего технологическое средство для уборки картофеля при малых формах хозяйствования.

**Ключевые слова:** *автотрактор, технологическое средство для уборки картофеля, вспомогательная грузовая тележка.*

## LABORATORY TESTS OF THE “TRAIN” OF AUXILIARY CARGO BOGIES

S.A. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The article discusses the methodology and the results of laboratory studies of the “train” of auxiliary cargo bogey models simulating a technological vehicle for potato harvesting in small agricultural business entities.

**Key words:** *auto-tractor, technological vehicle for potato harvesting, auxiliary cargo bogey.*

В РИИ АлтГТУ предложено при копке картофеля в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) населения организовать процесс горизонтального перемещения затаренного в мешки картофеля за счет применения набора (“поезда”) вспомогательных грузовых тележек (ВГТ) с приводом от каната тяговой лебедки автотрактора, установленного неподвижно у кромки поля [1,2,3]. Затаренный картофель перемещается к кромке поля, где производится погрузка на транспортные средства для последующего вывоза, рис. 1. При использовании лебедки достаточной канатоемкости обеспечиваются расстояния транспортировки картофеля в несколько десятков метров.

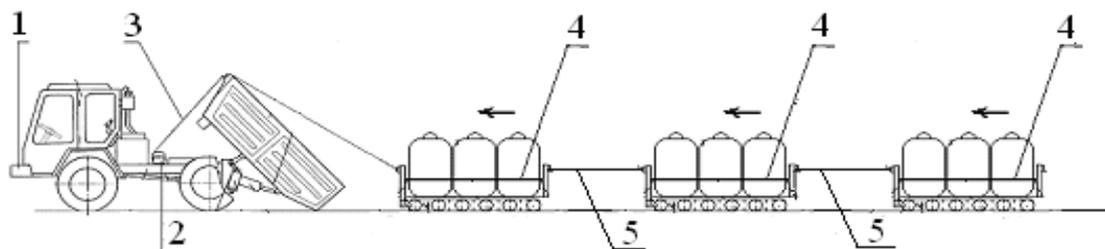


Рис.1. Технологическая схема перемещения затаренного картофеля:

1 – автотрактор, 2 – тяговая лебедка, 3 – канат лебедки, 4 – ВГТ, 5 – сцепка

В настоящее время ведется подготовка к полевым испытаниям предложенного технологического средства для уборки картофеля при малых формах хозяйствования: по разработанной конструкторской документации

намечено изготовление натуральных образцов ВГТ, по предложенной математической модели рабочего процесса горизонтального перемещения затаренного картофеля “поездом” ВГТ с канатным приводом разрабатывается программа-методика испытаний.

Для предварительной “прогонки” процесса полевых испытаний с целью отработки их режимов и параметров было принято решение о проведении комплекса лабораторных исследований на макетных образцах ВГТ. Схема лабораторных исследований представлена на рис.2.

Макеты ВГТ представляют собой простейшие деревянные рамки одинаковой ширины  $a$  и длины  $b$ , соединенные друг с другом с помощью веревочных сцепок. “Поезд” 6 макетов ВГТ располагался на плоскости лабораторного стола 1, снабженного координатной сеткой 2. Крайний макет ВГТ при помощи каната 5 связывался с тяговой лебедкой 3, привод которой осуществлялся от электродвигателя 4. Набором тарированных грузов производилось весовое нагружение макетов ВГТ с целью имитации условий грузового хода технологического средства для уборки картофеля.

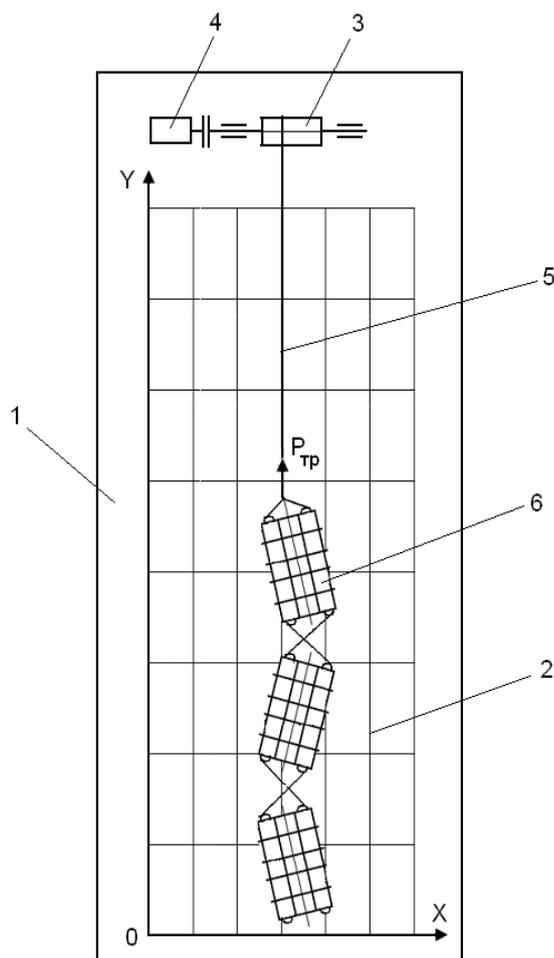


Рис. 2. Схема проведения лабораторных исследований “поезда” ВГТ:  
 1 – лабораторный стол; 2 – координатная сетка; 3 – тяговая лебедка;  
 4 – электродвигатель; 5 – канат лебедки; 6 – “поезд” макетов ВГТ

Перед началом заезда макеты в “поезде” 6 устанавливались таким образом, чтобы их продольные оси симметрии пересекались друг с другом под некоторым углом  $\alpha_{ik}$ , где  $i$  – номер предыдущего макета ВГТ, а  $k$  – номер последующего макета ВГТ. Для установки угла  $\alpha_{ik}$  применялось специальное приспособление, снабженное транспортиром. Например, угол  $\alpha_{23} = -5^\circ$  означает, что второй и третий макеты ВГТ установлены на лабораторном столе так, что их продольные оси симметрии пересекаются с образованием острого угла  $5^\circ$ , отсчитываемого от оси второго макета в направлении против часовой стрелки. При лабораторных исследованиях углы  $\alpha_{ik}$  варьировались в диапазоне от  $-10^\circ$  до  $+10^\circ$ . “Поезд” 6 макетов ВГТ устанавливался так, чтобы канат 5 тяговой лебедки 3 располагался примерно параллельно оси  $Y$ . Угол  $\alpha_{01}$  между канатом 5 и продольной осью симметрии первого макета ВГТ фиксировался тем же специальным транспортным приспособлением с учетом изложенного правила знаков. С помощью координатной сетки 2 устанавливалось расстояние от точки прицепа “поезда” 6 макетов ВГТ до оси вращения барабана лебедки 3.

Во время исследований при помощи видеосъемки каждого заезда изучалась длина пути  $L$ , проходимого точкой прицепа “поезда” 6 макетов ВГТ до положения, когда все углы  $\alpha_{ik}$  становились равными нулю. Результаты математической обработки результатов исследований представлены графически на рис. 3.

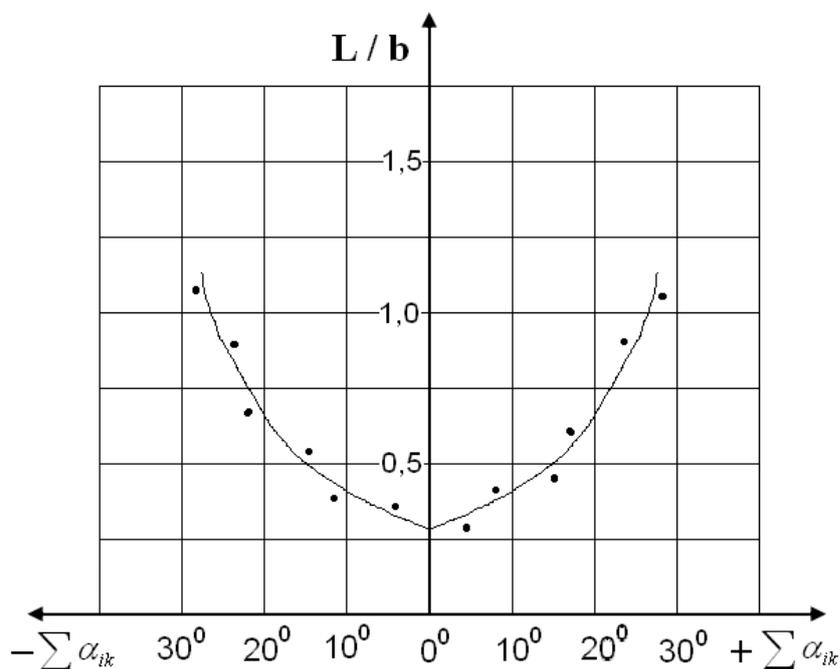


Рис. 3. Результаты лабораторных исследований “поезда” ВГТ

#### Список литературы

1. Патент №134859 РФ на полезную модель, МПК В 60 Р 1/00. Погрузочно-транспортное средство / Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего профессионального образования “Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова” (АлтГТУ) (RU). – №2013113807/11; заявл. 27.03.2013; опубл. 27.11.2013. Бюл. №33.

2. Войнаш, А.С. Механизация транспортировки картофеля с поля при малых формах хозяйствования / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш, Т.А. Жарикова // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П.Горячкина (Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г.). Ч.2. – М.: ВИМ, 2013. С.189-191.

3. Площаднов, А.Н. Технологическое средство для уборки картофеля при малых формах хозяйствования / А.Н. Площаднов, С.А. Войнаш, А.С. Войнаш, А.С. Зейгерман, И.В. Курсов // Технология колесных и гусеничных машин – Technology of Wheeled and Tracked Machines. 2014. №4. С. 35-39.

## **МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ “ПОЕЗДА” ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВЫХ ТЕЛЕЖЕК**

С.А. Войнаш, А.Н. Площаднов

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО “Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”,  
г. Рубцовск, Россия*

**Аннотация:** Рассмотрена методика и оборудование полевых исследований “поезда” вспомогательных грузовых тележек в составе технологического средства для уборки картофеля при малых формах хозяйствования.

**Ключевые слова:** *автотрактор, технологическое средство для уборки картофеля, вспомогательная грузовая тележка, испытания.*

## **FIELD TEST TECHNIQUE FOR THE “TRAIN” OF AUXILIARY CARGO BOGIES**

S.A. Voynash, A.N. Ploshchadnov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The paper presents the technique and equipment for the field tests of the "train" of auxiliary cargo bogies as a part of technological vehicle for potato harvesting in small agricultural business entities.

**Key words:** *auto-tractor, technological vehicle for potato harvesting, auxiliary cargo bogey, tests.*

В РИИ АлтГТУ предложено при копке картофеля в личных подсобных хозяйствах (ЛПХ) населения организовать процесс горизонтального перемещения затаренного в мешки картофеля за счет применения набора (“поезда”) вспомогательных грузовых тележек (ВГТ) с приводом от каната

тяговой лебедки автотрактора, установленного неподвижно у кромки поля [1,2,3].

В процессе исследований предложенного технологического средства для уборки картофеля особое внимание уделялось проработке методики полевых испытаний.

На основе изучения опыта организации исследовательских испытаний подобных объектов, например [4], были сформулированы основные требования к методике как совокупности приемов целесообразного проведения испытаний, в том числе:

- возможность получения максимального объема данных при минимальном количестве заездов испытуемого “поезда” ВГТ;
- минимальная трудоемкость имитации весового нагружения отдельных тележек и установки тележек в заданные исходные положения;
- возможность проведения испытаний при различных конфигурациях полевых участков и др.

С учетом современных тенденций предусмотрено широкое использование вычислительной техники при проведении испытаний: при заездах “поезда” ВГТ сигналы с датчиков, установленных на отдельных тележках, сцепках, тяговом канате лебедки и на силовых агрегатах автотрактора, поступают на модуль аналого–цифрового преобразования ZET-220 и далее на ноутбук, где регистрируются (рис. 1). Образец осциллограммы, получаемой при заезде “поезда” ВГТ, представлен на рис. 2.

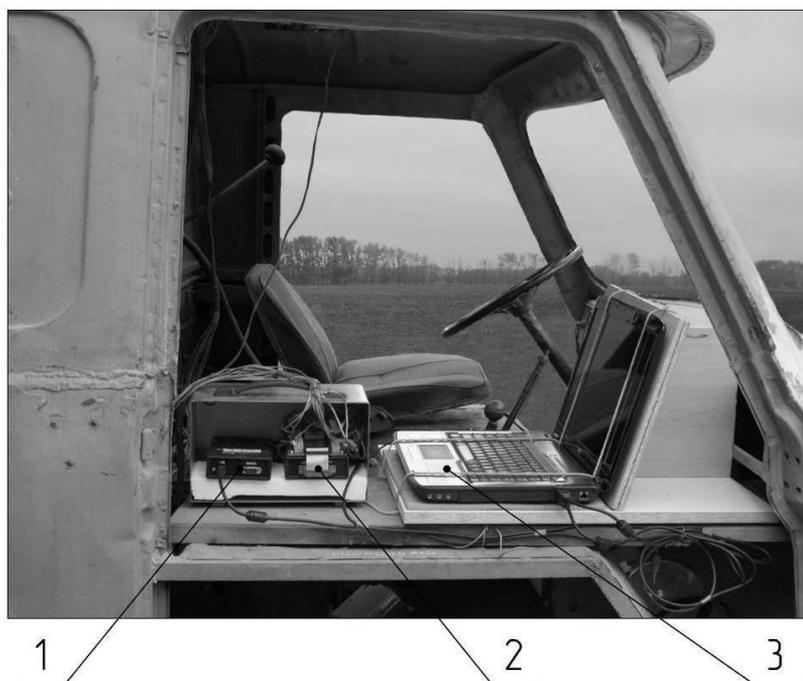


Рис. 1. Крепление измерительной и регистрирующей аппаратуры в кабине автотрактора: 1 – предварительный усилитель ZET-412; 2 – модуль аналого-цифрового и цифро-аналогового преобразования ZET-220; 3 – ноутбук

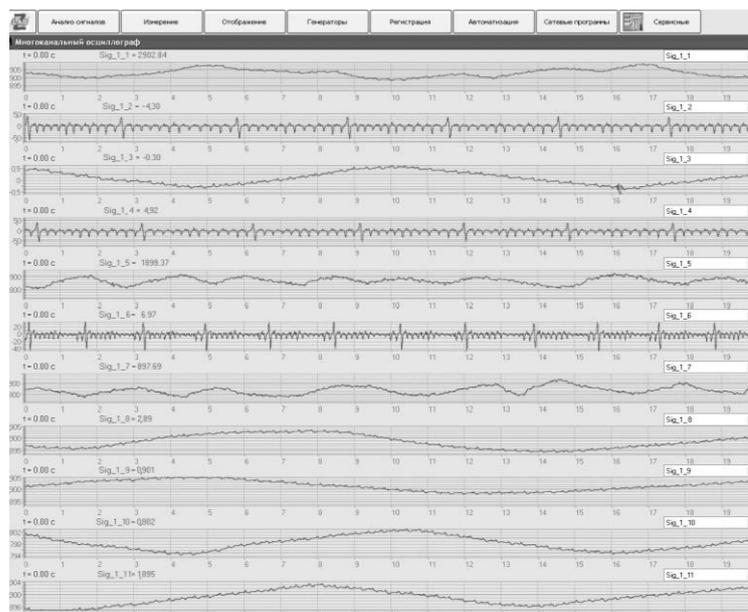


Рис. 2. Образец осциллограммы движения “поезда” ВГТ

Методикой полевых испытаний определен перечень параметров, подлежащих экспериментальному определению: массогабаритные показатели ВГТ, моменты инерции ВГТ; усилие и линейная скорость каната лебедки, параметры поверхности движения (влажность, плотность, высота и распределение микронеровностей) и др.

С целью накопления данных по работе в реальных производственных условиях методикой предусмотрено определение затрат времени цикла работы ВГТ: холостой ход, загрузка (установка мешков на настил ВГТ, рабочий ход, разгрузка на кромке поля).

#### Список литературы

1. Патент №134859 РФ на полезную модель, МПК В 60 Р 1/00. Погрузочно-транспортное средство / Войнаш А.С., Войнаш С.А., Жарикова Т.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова” (АлтГТУ) (RU). – №2013113807/11; заявл. 27.03.2013; опубл. 27.11.2013. Бюл. №33.

2. Войнаш, А.С. Механизация транспортировки картофеля с поля при малых формах хозяйствования / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш, Т.А. Жарикова // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции, посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина (Москва, ВИМ, 17-18 сентября 2013 г.). Ч.2. – М.: ВИМ, 2013. С. 189-191.

3. Площаднов, А.Н. Технологическое средство для уборки картофеля при малых формах хозяйствования / А.Н. Площаднов, С.А. Войнаш, А.С. Войнаш,

А.С. Зейгерман, И.В. Курсов // Технология колесных и гусеничных машин – Technology of Wheeled and Tracked Machines. 2014. №4. С. 35-39.

4. Яковлев, П.Ю. Повышение управляемости и устойчивости движения машинно-тракторного агрегата с фронтально навешенным орудием за счет модернизации навесного устройства: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. – Барнаул: АлтГТУ, 2014. 20 с.

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН**

Ю.В. Галышев, А.П. Григорьев, Р.Ю. Добрецов, А.В. Лозин

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Аннотация:** Проанализированы результаты опытно-конструкторских работ над замкнутыми следящими системами управления поворотом гусеничных машин. Особенностью разработанных систем является применение широтно-импульсной модуляции давления в гидросистеме управления многодисковыми тормозами. Показаны перспективы развития тематики в современных условиях.

**Ключевые слова:** *Гусеничная машина, замкнутая система управления поворотом, буксование, широтно-импульсная модуляция, коэффициент заполнения.*

## **ADVANCED CONTROL SYSTEMS FOR TRACKED VEHICLE STEERING**

*Yu.V. Galishev, A.P. Grigoriev, R.Yu. Dobretsov, A.V. Lozin*

*Saint-Petersburg State Polytechnical University*

**Abstract:** The results of experimental work on closed tracking control systems by steering the tracked vehicles are examined. The distinctive feature of designed systems is application of pulse-width modulation hydraulic pressure in hydraulic control of multi-disk brake. Prospects of development in modern conditions are shown.

**Key words:** *Tracked vehicle, closed-loop steering control system, slipping, pulse-width modulation, fill factor.*

Цель настоящей статьи – показать состояние вопроса о разработке замкнутой системы управления поворотом быстроходной гусеничной машины в СПбГПУ, обозначить имеющиеся приоритеты и перспективы развития данной и сопряженных тем [1].

Основными функциями системы управления поворотом гусеничной машины являются обеспечение наилучшей управляемости транспортного средства, устойчивости движения, получение высоких скоростей движения и минимизация затрат мощности при повороте. Реализовать эти функции система управления не может без объектов управления – механизмов поворота.

Подробное описание конструкции механизмов поворота и анализ кинематических и силовых соотношений в традиционной постановке приводятся в [2,3]. Современный подход к анализу кинематики и построению мощностного баланса механизма поворота описан в статье [4]. Применение

этих методов позволяет расчетным путем определять нагрузки, действующие на входной и выходные валы реальной трансмиссии, а в стендовых условиях – задавать значения нагрузок, близкие к реальным.

Для однозвенной гусеничной машины наиболее широко применяется силовое управление поворотом за счет изменения соотношения сил тяги на отстающем и забегающем бортах. Применяемые при этом механизмы поворота относятся к независимым или бортовым (бортовые фрикционы, бортовые коробки передач и др.) – изменение скорости одной гусеницы не связано с изменением скорости другой.

Кинематическое управление поворотом (управление скоростями вращения ведущих колес при отсутствии буксования в механизме поворота) требует более сложных механизмов, хотя для быстроходной машины оно предпочтительнее – улучшаются управляемость и устойчивость движения, снижаются энергозатраты на поворот. Применяемые механизмы обычно являются зависимыми или дифференциальными – изменение скоростей бортов взаимосвязаны. В качестве примера можно упомянуть двойной дифференциал, хотя сегодня более актуально применение двухпоточных дифференциальных трансмиссий с гидростатической передачей в параллельном потоке мощности.

Кинематический способ управления поворотом на отечественных гусеничных машинах применяется достаточно редко. Актуальной остается проблема повышению качества управления поворотом без существенного усложнения схемы трансмиссии и увеличения ее стоимости. Такой подход обуславливает поиск технических решений, позволяющих радикально улучшить устойчивость и управляемость движения машины, используя силовой способ управления поворотом и серийно выпускаемые агрегаты трансмиссии.

Применение замкнутой системы управления поворотом является примером такого подхода. Традиционная система управления поворотом является разомкнутой – положение органа управления, которое задает механик-водитель, не соответствует конкретному значению радиуса поворота. Механик-водитель вынужден постоянно корректировать траекторию машины. Это снижает скорость движения, сопровождается дополнительными энергозатратами (как следствие, увеличивается расход топлива), повышает утомляемость механика-водителя.

Замкнутая система управления поворотом этих недостатков практически лишена. Величиной, по которой осуществляется обратная связь, является, например, угловая скорость поворота машины. Объектами управления могут являться серийно выпускаемые агрегаты трансмиссии (например, бортовые коробки передач) или специально разработанные механизмы (например, фрикционный механизм поворота (ФМП) для двухпоточной трансмиссии). Затраты на модернизацию системы управления относительно невелики.

Применение замкнутой системы управления поворотом делает возможным качественное дистанционное управление гусеничной машиной (в том числе и танком при решении боевых задач).

Применительно к гусеничным машинам с бортовыми коробками передач к настоящему времени вопросы автоматизации управления поворотом и

внедрения замкнутых систем управления решались при модернизации танка Т-72 в Чехословакии, работы велись в Китае и др. странах. В России в последнее время также обозначился интерес к проблеме автоматизации управления поворотом (работы по модернизации Т-72 в УКБТМ [5], продолжаются начатые в 70-х годах XX века исследования в МВТУ им. Н.Э. Баумана [6,7]).

Для получения однозначной связи между положением органа управления (штурвала или традиционных рычагов) и угловой скорости поворота машины необходимо контролировать буксование дисков фрикционных элементов управления в механизме поворота. Для обеспечения такого контроля необходимо получить плавное и устойчивое изменение скорости буксования пакета дисков в зависимости от положения органа управления. Для этого использован принцип широтно-импульсной модуляции [8] давления в гидроцилиндрах буксующих элементов управления.

Уместно заметить, что в механизмах с тремя степенями свободы (например, бортовых коробках передач) для получения режима работы требуется включить одновременно два фрикционных элемента управления. Но при теоретических исследованиях и стендовых испытаниях можно сделать допущение, что пробуксовывать при повороте с радиусом меньше расчетного (фиксированного) будет пакет дисков только одного элемента (имеющего меньший коэффициент запаса по передаваемому моменту).

Состав, структуру и принципы работы системы управления поясним на схеме (рис. 1).

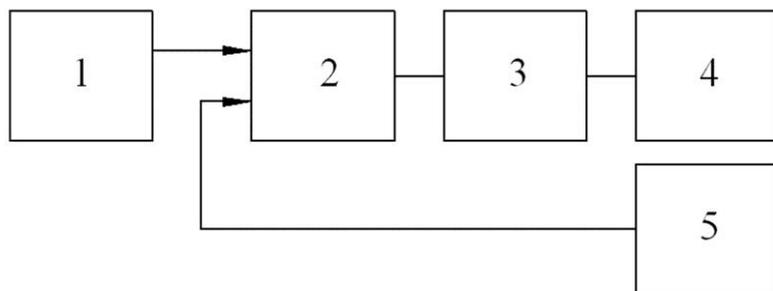


Рис. 1. Структура следящей системы управления поворотом, использующей широтно-импульсную модуляцию давления:  
1 – задатчик; 2 – дифференциальный усилитель;  
3 – широтно-импульсный модулятор; 4 – объект управления (фрикционный элемент управления); 5 – датчик обратной связи

Основными элементами системы являются задатчик 1, связанный с органом управления машиной, дифференциальный усилитель 2, модулятор давления 3, исполнительный орган 4 – в данном случае электромагнитный клапан в магистрали фрикционного элемента управления; датчик обратной связи 5.

При прямолинейном движении орган управления поворотом находится в исходном положении, сигналы задатчика 1 и датчика обратной связи 5 равны. Дифференциальный усилитель при равенстве сигналов на входе выдает на выходе нулевое напряжение, и на модулятор давления 3 выдается сигнал с

нулевым коэффициентом заполнения (бесконечной скважностью), то есть импульсы напряжения на входе модулятора отсутствуют. Электромагнит модулятора 3 обесточен, золотник находится в положении слива, элемент управления 4 выключен.

Для ввода машины в поворот водитель перемещает орган управления, что приводит к появлению сигнала ошибки на выходе дифференциального усилителя 2. Коэффициент заполнения сигнала на входе модулятора 3 становится близким или равным единице. Электромагнит модулятора включается и перебрасывает золотник в положение нагнетания. Происходит заполнение гидроцилиндра элемента управления и его включение.

Как только начнется замедление выходного вала механизма поворота, машина войдет в поворот. При этом сигнал ошибки с усилителя 2 снизится, что приведет к уменьшению значения коэффициента заполнения импульсов на входе модулятора 3. Модулятор 3 входит в режим модуляции и начинает попеременно подключать гидроцилиндр к магистрали нагнетания или слива. Далее наступит динамическое равновесие системы, и работающий элемент управления будет пробуксовывать с постоянной скоростью, осуществляя поворот с заданным радиусом.

Перемещение органа управления в обратную сторону приведет к уменьшению значения коэффициента заполнения до нуля. Элемент управления отключается, машина выходит из поворота.

Система управления описанной структуры применялась при работах над остановочными тормозами, механизмом поворота с бортовыми коробками передач и при разработке фрикционного механизма поворота. В разное время в работах над проблемой принимали участие к.т.н., профессор А.В. Бойков; к.т.н., с.н.с. А.П. Григорьев; к.т.н., доценты А.Д. Элизов и Н.Н. Демидов, д.т.н., профессора В.Б. Шеломов и Р.В. Русинов, инженер И.П. Дубовиков и м.н.с. В.В. Цветков, а также др. сотрудники кафедры «Колесные и гусеничные машины» ЛПИ-ЛГТУ.

В ходе работ были не только предложены варианты структуры системы управления и конструкция узла модулятора, проведен выбор основных параметров, но созданы экспериментальный стенд и макетный образец системы для ходовых испытаний. В настоящее время стенд используется в основном в учебных целях, но без существенных доработок может быть применен для работы над макетом выполненной на современной элементной базе системы управления поворотом гусеничной машины.

Кинематическая схема стенда, созданного на кафедре для исследования процесса управляемого буксования, показана на рис. 2.

Привод стенда осуществляется от трехфазного асинхронного электродвигателя 1 мощностью 125 кВт при 1450 об/мин. Управляемым фрикционным узлом на стенде является дисковый тормоз 5. Для включения тормоза имеется бустер, в который подается масло из испытуемой системы управления давлением.

Для имитации инерционных масс машины, трансмиссии и ходовой части установлен маховик 3 с изменяемым моментом инерции. Вращение к маховику

3 передается от двигателя 1 через постоянно замкнутую фрикционную муфту 2. Понижающий редуктор 4 устанавливается за маховиком 3 и служит для получения требуемых скоростей буксования. За счет пробуксовки муфты 2 частота вращения вала 6 тормоза 5 может регулироваться в диапазоне от 0 до 400 об/мин.

Регулирование радиуса поворота на стенде сводится к регулированию частоты вращения вала 6 управляемого тормоза 5. Для получения заданного радиуса поворота в реальной машине при силовом управлении требуется создать определенную тормозную силу на отстающем борту, значение которой зависит от свойств грунта. Эта тормозная сила создается включаемым элементом управления, причем момент, который должен уравновесить силы трения в фрикционном элементе управления, подводится к его валу извне трансмиссии со стороны ведущего колеса. На стенде этот момент создается буксующей муфтой 2 путем регулирования в ней управляющего давления.

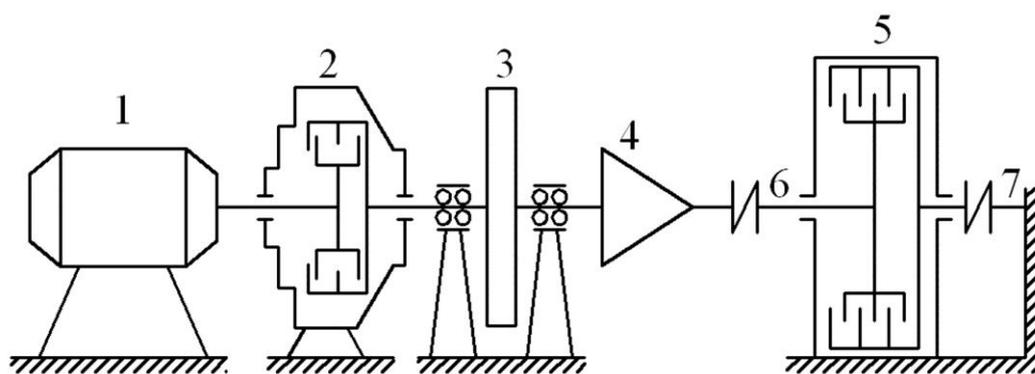


Рис. 2. Кинематическая схема стенда для испытаний ФЭУ и СУП:  
 1 – электродвигатель; 2 – фрикционная муфта для нагружения стенда;  
 3 – маховик; 4 – понижающий редуктор; 5 – испытываемый ФЭУ;  
 6 – входной вал муфты 5; 7 – тензометрический вал

Особенностью поворота гусеничной машины на большинстве грунтов является то, что момент на ведущем колесе отстающей гусеницы обратно пропорционален радиусу поворота. Это обстоятельство требует того, чтобы момент муфты 2 на стенде менялся в зависимости от частоты вращения вала управляемого тормоза.

На стенде измеряются величины хода органа управления; частоты вращения вала управляемого тормоза; давления в гидроцилиндре управляемого тормоза; момента на тормозе 5.

Поскольку стенд содержит только один управляемый тормоз, на нем отсутствует принципиальная возможность исследовать непрерывно весь диапазон регулирования радиусов поворота от бесконечности до фиксированного для случая имитации поворота машины с планетарными бортовыми коробками передач, имеющими три степени свободы.

По этой причине все режимы испытаний были разбиты на два поддиапазона по радиусам поворота: от бесконечности до свободного, то есть поворот при регулируемом выключении фрикциона передачи прямолинейного

движения; от свободного до фиксированного, то есть поворот при регулируемом включении фрикциона пониженной передачи.

На каждом из поддиапазонов по радиусу поворота программа испытаний предусматривала проведение серии опытов для изучения реакции системы управления на различные виды воздействий через орган управления: ступенчатое перемещение в сторону уменьшения радиуса поворота наоборот с выдержкой, необходимой для завершения переходных процессов; импульсное воздействие (перемещение органа управления на 25...50% его полного хода с последующим возвращением в исходное положение); ручное отслеживание заданной траектории движения с переменными по пути радиусами поворота.

На каждом из режимов испытаний проверялось влияние на качество управления несущей частоты модуляции от 1...2 Гц (нижняя граница) до максимального уровня, который мог отработать исполнительный электрогидравлический элемент (при заданной глубине регулирования). Практически этот верхний уровень не превышал в опытах 15 Гц (при глубине регулирования 0,1...0,9).

В результате испытаний различных вариантов системы управления поворотом было установлено, что наиболее точно контролировать давление в гидроцилиндре элемента управления позволяет вариант замкнутой следящей системы с использованием широтно-импульсной модуляции управляющего давления в гидросистеме. Кроме того снижается величина пульсаций давления в гидроцилиндре.

Была экспериментально подтверждена устойчивость работы системы во всем диапазоне изменения радиусов поворота и выявлен оптимальный диапазон рабочей частоты модуляции.

Результаты стендовых испытаний были позже подтверждены и на комплексном моторно-трансмиссионном стенде в лаборатории ВНИИ Трансмаш. На основе стендовых исследований был создан действующий макет замкнутой системы управления, прошедший испытания на реальной гусеничной машине в условиях полигона. По результатам этих испытаний были сделаны следующие основные выводы (цитируется по рукописному отчету из архива кафедры).

Применение дискретной следящей системы управления поворотом повышает качество управления поворотом машины с бортовой коробкой передач по всем параметрам. При этом предложенная система управления поворотом, по сравнению с серийной, показала абсолютную устойчивость во всем диапазоне радиусов поворота от бесконечности до фиксированного; в 3...5 раз меньшее время запаздывания входа в поворот; в 3...4 раза лучшую стабильность курса машины в повороте; в 2...5 раз меньшую амплитуду воздействий на орган управления при движении с большими радиусами; почти полное использование хода рычага поворота для управления машиной. Повышение частоты модуляции улучшает управление (в опытах частота составляла 8...15 Гц в зависимости от типа применяемых электромагнитов). Применение более быстродействующих электромагнитов может позволить поднять несущую частоту модуляции и повысить качество работы системы.

В качестве иллюстрации приведем для сравнения статические характеристики базовой и опытной систем управления (рис. 3).

Статическая характеристика дискретной системы управления поворотом без обратной связи качественно не отличается от статической характеристики серийной системы.

При серийной системе управления поворотом зависимость скорости буксования  $U_6$  дисков фрикционного элемента управления от положения органа управления  $\bar{\alpha}_{\text{оуп}}$  очень нестабильная, поэтому система управления имеет очень «расплывчатую» статическую характеристику.

Дискретная следящая система управления поворотом позволяет получить устойчивое управление скоростью буксования дисков элемента управления, поэтому на ее статической характеристике видно, что при перемещении органа управления (в пределах, соответствующих включению одной передачи), скорость буксования  $U_6$  монотонно изменяется. Необходимо отметить, что путем настройки системы была получена заданная статическая характеристика.

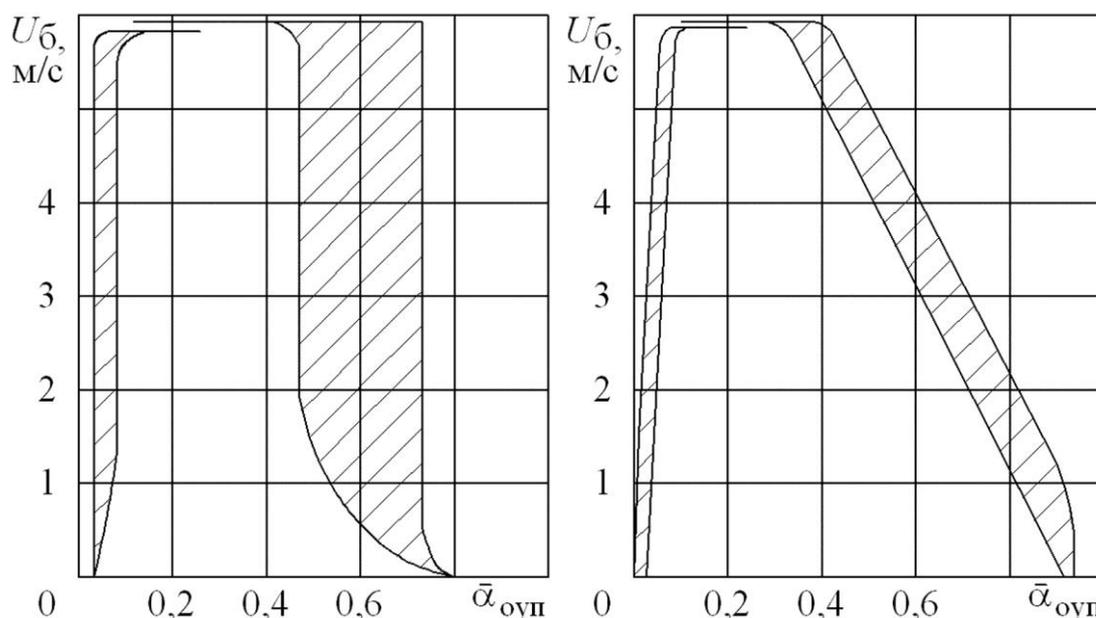


Рис. 3. Статическая характеристика (зависимость скорости буксования дисков  $U_6$  элемента управления в коробке передач от положения органа управления  $\bar{\alpha}_{\text{оуп}}$ ): для серийной системы управления поворотом (слева) и опытного образца замкнутой системы (справа)

Применение следящих систем, позволяющих контролировать буксование дисков фрикционного элемента управления, позволило начать работы в смежном направлении – разработка макета ФМП. ФМП предназначен для замены гидростатической передачи в двухпоточном механизме поворота гусеничной машины (рис. 4). Целесообразность такой замены была обусловлена в первую очередь отсутствием отечественной технологии производства компактных гидростатических передач с необходимыми параметрами.

При прямолинейном движении мощность от двигателя 1, через суммирующие планетарные ряды 3, бортовые коробки передач 4 и бортовые редукторы 5 поступает на ведущие колеса бортов 6. Параллельный поток мощности остановлен за счет остановки выходного вала ФМП 2.

При повороте часть мощности поступает от двигателя на ФМП 2. Передаточное отношение, реализуемое ФМП, определяет изменение скоростей бортов и, соответственно, радиус поворота. Потоки мощности суммируются в механизмах 3. Связь между бортами обеспечивается за счет передачи 7 (передаточное отношение равно – 1).

Применение замкнутой системы управления в сочетании с принципом широтно-импульсной модуляции давления в гидросистеме включаемого элемента управления ФМП позволяет контролировать процесс буксования его дисков, а значит – обеспечить плавное изменение передаточного отношения механизма во всем реализуемом диапазоне, т.е. устойчивое движение при повороте с любым радиусом. Получить поворот вокруг центра тяжести для данной схемы трансмиссии невозможно.

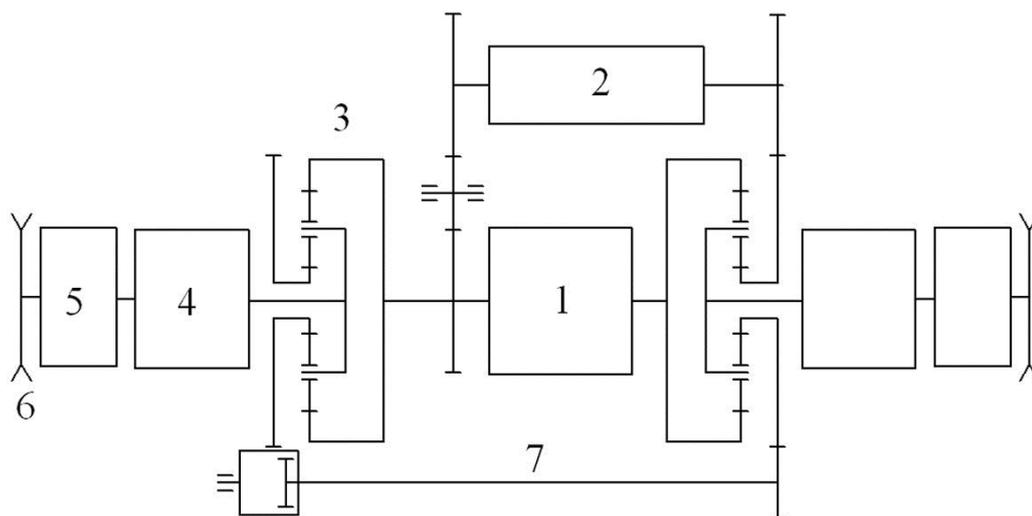


Рис. 4. Схема двухпоточной трансмиссии с фрикционным механизмом поворота: 1 – двигатель; 2 – ФМП; 3 – суммирующий планетарный ряд; 4 – бортовая коробка передач; 5 – бортовая передача; 6 – ведущее колесо борта; 7 – межбортовая связь

Одноступенчатый ФМП был изготовлен и прошел успешные испытания на ходовом макете. Программа испытаний была свернута в связи с недостатком финансирования. По тем же причинам двухступенчатый ФМП достиг только стадии эскизного проекта.

С точки зрения снижения энергозатрат при повороте машины [9,10] и уменьшения нагрузки на двигатель и элементы трансмиссии [10], применение следящей системы управления и широтно-импульсной модуляции давления в гидросистеме дает преимущества за счет снижения работы буксования. Некоторый выигрыш достигается и за счет ускорения выхода машины на заданную водителем траекторию. Но основные преимущества реализуются

именно за счет улучшения управляемости машины [6,7] и, как следствие, снижения утомляемости водителя.

Обращения к опыту Политехнического университета в области создания замкнутой системы управления представителей промышленности (в частности – ОАО «Спецмаш») показывает, что в существующем виде разработка не потеряла своей актуальности для военной промышленности.

Актуальным на ближайшую перспективу является реализация принципов работы созданной системы управления на современном наборе комплектующих (применение микроконтроллера, более надежных электромагнитных клапанов с большей частотой срабатывания, современных датчиков обратной связи и др.).

Отработка принципа контроля скорости буксования дисков фрикционного элемента управления является непосредственной основой для работы над механизмом распределения мощности для трансмиссии автомобиля. Полученные методики стендовых испытаний и математические модели [11] позволяют оценить параметры системы управления таким механизмом. В отечественном автомобилестроении эти задачи пока не решены.

Опыт работы с дискретными системами управления, использующими принцип широтно-импульсной модуляции может быть применен для работы над антиблокировочной системой тормозов (АБС) автомобилей. Отставание отечественной автомобильной промышленности в этой области от мирового уровня велико.

В итоге можно утверждать, что применение замкнутой системы управления поворотом гусеничной машины эффективно и целесообразно, а экспериментальная, методическая и теоретическая база, полученные при работе над системой, могут стать основой при работе над современными механизмами трансмиссий и систем управления автомобилей.

#### Список литературы

1. Галышев, Ю.В. Исследования и разработки ученых СПбГПУ в области оборонной техники (по материалам IX-й международной выставки вооружения, военной техники и боеприпасов) / Ю.В. Галышев, Р.Ю. Добрецов, Г.П. Поршнева, С.И. Худорожков // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». 2014. №1. С. 26-32.

2. Носов, Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин: Учебник для вузов / Н.А. Носов, В.Д. Галышев, Ю.П. Волков, А.П. Харченко; Под ред. Н.А. Носова. Л: Машиностроение, 1972.

3. Забавников, Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин / Н.А. Забавников. М.: Машиностроение, 1975.

4. Шеломов, В.Б. Мощности двигателя и буксования фрикционного элемента управления поворотом гусеничной машины / В.Б. Шеломов, Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». 2010. №2. Т.2. С. 87-91.

5. Авраменко, Д.Н. Модернизация системы управления движением танка с БКП / Д.Н. Авраменко, А.В. Вишня, Д.В. Юдинцев // Актуальные проблемы защиты и безопасности. 2011. Т.3. С. 213-218.

6. Красеньков, В.И. Кинематическое управление криволинейным движением гусеничной машины / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. 1971. №5. С. 17-22.

7. Красеньков, В.И. Сравнительная оценка систем управления поворотом гусеничной машины по фазовым частотным характеристикам / В.И. Красеньков, В.В. Егоркин // Вестник бронетанковой техники. 1972. №4. С. 10-14.

8. Иванов, В.А. Теория дискретных систем автоматического управления / В.А. Иванов, А.С. Ющенко. М.: Наука, 1981.

9. Добрецов, Р.Ю. Объективная оценка технических характеристик шасси транспортных гусеничных машин / Р.Ю. Добрецов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2011. №2. С. 19-23.

10. Добрецов, Р.Ю. Учет энергетических параметров механизмов поворота при комплексной оценке потерь мощности в шасси транспортных гусеничных машин / Р.Ю. Добрецов // Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия «Наука и образование». 2011. №1. С. 122-128.

11. Русинов, Р.В. К методу оценки частоты импульсного управления поворотом гусеничной машины / Р.В. Русинов и др. // Рабочие процессы компрессоров и установок с ДВС: Межвузовский сборник. Л.: Изд. ЛПИ, 1987. С. 73-78.

## **ОБ УЧЕТЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ГУСЕНИЧНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ОСНОВАНИЕ В МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ШАССИ ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ**

Р.Ю. Добрецов

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Аннотация:** Рассмотрена проблема учета интенсивности воздействия гусеничного движителя на опорное полотно пути в контексте модели оценки энергоэффективности шасси транспортной машины.

**Ключевые слова:** Оценка энергоэффективности, энергозатраты на передвижение, гусеничная машина, обобщенная функция желательности, метод Харрингтона.

## **REGARDING THE CATERPILLAR TRACKS IMPACT ON THE GROUND CONTACT AREA IN THE ENERGY EFFICIENCY VALUATION MODEL OF TRANSPORT VEHICLE CHASSIS**

R. Yu. Dobretsov

*Saint-Petersburg State Polytechnical University*

**Abstract:** The problem of regarding for the impact intensity of caterpillar tracks on the ground contact area in terms of the energy efficiency valuation model of transport vehicle chassis is examined.

**Key words:** energy efficiency evaluation; energy consumption for movement; tracked vehicle; generalized desirability function, Harrington method.

Методика количественной оценки энергоэффективности шасси транспортной гусеничной машины (ТГМ) создавалась для обеспечения возможности сравнения вариантов конструктивного исполнения однотипных шасси, а также машин различного назначения между собою [1,2].

Отличительной особенностью методики является возможность учета эффективности использования энергии двигателя на различных режимах работы узлов и агрегатов.

Кроме того, методика позволяет принять к рассмотрению разнородные параметры, характеризующие эксплуатационные свойства шасси.

В математической постановке проблема оценки энергоэффективности шасси оказалась близкой к задаче о построении отклика сложной системы. По результатам проведенного анализа спектра методов, применяемых при решении таких задач [2], в качестве математической основы (аппарата осреднения) был выбран метод Харрингтона [3], основанный на построении так называемых частных и общих функций желательности.

Сам по себе этот метод является весьма универсальным и применим в различных областях (вплоть до экономических, социологических и др. наук). Его отличительной чертой является получение значения обобщенного выходного параметра  $D$  (значения обобщенной функции желательности), как геометрического среднего частных входных параметров (частных функций желательности)  $d_j$ :

$$D = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k d_j(x_j)}.$$

В свою очередь значения частных функций желательности определяются [3] в зависимости от нормированных значений  $x_j$  параметров, характеризующих работу системы:

$$d_j(x_j) = \exp(-\exp(-x_j)).$$

Условия нормировки (границы интервала, способ преобразования величин) определяются постановкой задачи для каждого параметра индивидуально [2]:

$$\{P_i\} \rightarrow x_j(P_i).$$

В последнем выражении  $\{P_i\}$  – множество значений показателей эффективности работы систем шасси (например, относительные потери мощности при преобразовании энергии), отображаемых с помощью нормированного параметра  $x_j$ . В общем случае  $i \geq 1, i \neq j$ . Следует отметить, что значения параметров  $x_j$  могут оказаться взаимозависимыми, а также допускается применение ранговых параметров.

Применение метода в таком виде позволяет проводить сравнительную оценку эффективности преобразования энергии системами и агрегатами шасси (табл. 1, рис. 1), сравнивать между собой модификации машин (рис. 2) [1,2].

Принятые обозначения анализируемых шасси

| Обозначение на рис. 1 | Принятое в практике обозначение машины |  |
|-----------------------|--|--|
|                       | Обозначение шасси-аналога              | Назначение серийной машины на базе шасси-аналога |
| ТГМ1                  | Т-72                                   | основной танк                                    |
| ТГМ2                  | МТ-ЛБ                                  | транспортёр-тягач                                |
| ТГМ3                  | БМП-1                                  | вспомогательная машина                           |
| ТГМ4                  | Т-80                                   | основной танк                                    |
| ТГМ5                  | Т-90                                   | основной танк                                    |
| ТГМ6                  | Т-64Б                                  | основной танк                                    |

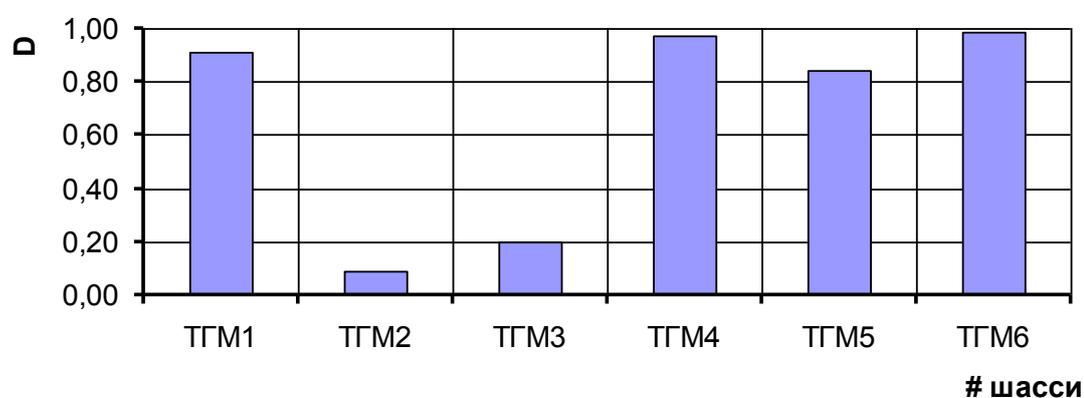
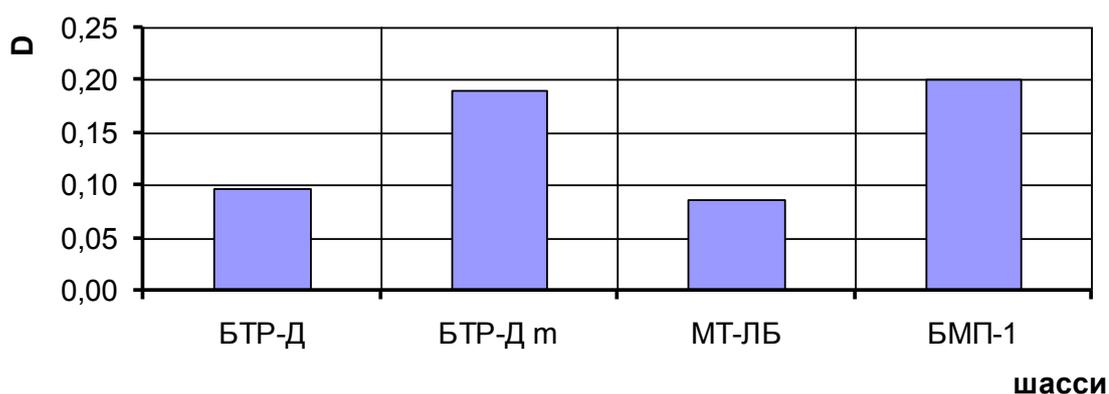
Рис. 1. Расчетные значения комплексного показателя  $D$  для серийных шасси

Рис. 2. Значения показателя эффективности для сравниваемых шасси: БТР-Д m – шасси с модернизированной гусеницей

Характер взаимодействия гусеничного движителя с грунтом зависит от конструктивных и кинематических особенностей ходовой системы, а также от условий нагружения обвода. При относительно малых тяговых усилиях (до 10...15% от веса машины) значимый вклад вносит эффект неустойчивости траков при прохождении по ним опорного катка [4]. Кроме того, существенно

различны модели взаимодействия траков с твердым (условно недеформируемым) основанием и деформируемым грунтами [5,6].

В контексте обобщающей модели оценки энергоэффективности гусеничного шасси [1,2] особенности взаимодействия движителя с грунтом предлагается учитывать с помощью следующих частных показателей.

*Оценка глубины колееобразования.* В отечественной и зарубежной литературе вопрос о глубине колееобразования при одно- и многократном прохождении гусеничного шасси поднимался многократно. Предложено достаточно много эмпирических и «полуэмпирических» зависимостей, позволяющих связать величину вертикальной осадки почвы с основными габаритно-массовыми характеристиками движителей различных типов.

Интерес представляет не величина заглубления, а то, насколько интенсивно этот процесс развивается для рассматриваемого шасси.

За показатель глубины колееобразования предлагается принять отношение:

$$P_H = q_{cp} / [q],$$

где  $q_{cp} = 0,5G_m / (L_{оп} b_r)$  – среднее удельное давление под траками [Па] ( $G_m$  – вес машины [Н];  $b_r$  – ширина гусеницы [м]),  $[q]$  – величина допускаемого удельного давления.

Допускаемое удельное давление можно выбрать, исходя из характерных для шасси данной категории по массе или из специальных требований. Если военно-транспортные машины целесообразно сравнивать, используя «коридоры» допускаемых удельных давлений, определенные практикой для различных по назначению машин, то для гражданских транспортеров-болотоходов предлагается выбрать значение  $[q] = 0,005$  МПа, поскольку при этом удельном давлении не происходит разрушения поверхностного слоя слабых грунтов тундры и лесотундры.

*Нанесение ущерба грунтам, связанного с юзом гусеницы.* Эффект юза траков сильно выражен на сыпучих грунтах, снеге, недеформируемом основании. Величина юза определяется не только геометрическими, кинематическими и силовыми особенностями движителя, но и характеристиками грунта. Поскольку затруднительно оценить потери энергии (и, соответственно, наносимый основанию ущерб), связанные с юзом траков в различных условиях, за безразмерный показатель целесообразно принять отношение положительного смещения трака  $\Delta L$  к длине опорной поверхности  $L_{оп}$  при движении шасси по недеформируемому основанию:

$$P_L = \Delta L / L_{оп}.$$

Методика определения величины юза траков приведена в работе [4].

*Оценка ущерба, наносимого твердым грунтам.* Показатель ущерба, наносимого движителем твердым грунтам (локализации нормальных давлений), определяется отношением пиковых нагрузок  $q_{max}$  под траками машины к среднему удельному давлению и может быть оценена по значению безразмерного показателя:  $P_q = q_{max} / q_{cp}$ .

Значение пиковой нагрузки определяется, когда на единственный трак приходится наибольшее нормальное усилие со стороны наиболее нагруженного опорного катка в момент разворота трака на максимальный угол. Этому моменту будет соответствовать максимальное заглубление трака в разрушаемое опорное основание.

При качении катка с наружной амортизацией нагрузка распределяется между смежными траками по некоторому закону. При наибольшем возможном угле поворота звена  $\varphi_i^{\max}$  на трак действует нормальная сила  $P_i(\varphi_i^{\max})$ :

$$q_{\max} = 0,5P_i(\varphi_i^{\max})/h_{\Gamma}b_{\Gamma}.$$

Здесь  $h_{\Gamma}$  – ширина грунтозацепа (предполагается, что длина грунтозацепа стремится к ширине гусеницы). Практически эта величина весьма мала, поэтому предлагается оценивать перегрузку основания по показателю:

$$P_q = q_{\max}^*/q_{\text{cp}}^* = P_i(\varphi_i^{\max})/G_m,$$

где  $q_{\text{cp}}^* = 0,5G_m/b_{\Gamma}$  и  $q_{\max}^* = 0,5P_i(\varphi_i^{\max})/b_{\Gamma}$  [Н/м] – удельная нагрузка по ширине гусеницы.

Анализ особенностей взаимодействия гусеничного движителя с грунтами различных типов и значимости потерь на опорной поверхности движителя в энергетическом балансе шасси привели к ряду конкретных технических предложений [7-9]. В частности, комплекс мероприятий по модернизации конструкции трака [8] позволяет рассчитывать на существенное увеличение энергоэффективности шасси гусеничной машины (см. рис. 2).

Экологические аспекты взаимодействия гусеничного движителя с почвой и пути снижения разрушающего воздействия на опорное основание рассматриваются в работах [10,11]. В частности, анализируется комплекс мер, позволяющих снизить вредное воздействие движителя на экосистему со снижением потерь мощности на передвижение машины.

### *Выводы*

1. Диссипация энергии в процессе взаимодействия движителя с полотном пути в значительной мере определяет энергоэффективность машины. При сравнительной оценке шасси машин с точки зрения эффективности использования энергии в заданных условиях эксплуатации необходимо учитывать особенности взаимодействия движителя с грунтом.

2. Предлагаемая система показателей охватывает случаи взаимодействия гусеницы с деформируемыми и недеформируемыми грунтами, учитывает кинематические и силовые особенности работы движителя конкретной транспортной машины. Вместе с тем отдельные показатели достаточно легко измеримы или определимы расчетным путем для конкретной конструкции движителя.

3. Используемый математический аппарат осреднения частных показателей позволяет корректно учесть влияние в том числе и процессов,

связанных с деформацией и разрушением полотна пути, на величину обобщенного показателя энергоэффективности шасси транспортной машины.

#### Список литературы

1. Добрецов, Р.Ю. Объективная оценка технических характеристик шасси транспортных гусеничных машин / Р.Ю. Добрецов// Тракторы и сельскохозяйственные машины – 2011. – №2 – С. 19-23.
2. Добрецов, Р.Ю. Научные основы комплексного снижения энергозатрат на передвижение транспортной гусеничной машины / Р.Ю. Добрецов // Вестник академии военных наук – 2011. – №2(35) – С. 102-106.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1976. – 279 с.
4. Добрецов, Р.Ю. Особенности работы гусеничного движителя в области малых удельных сил тяги / Р.Ю. Добрецов// Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2009. №6. С. 25-31.
5. Авотин, Е.В. Методика расчета нормальных давлений на опорной поверхности гусеницы транспортной машины / Е.В. Авотин, Р.Ю. Добрецов// Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Наука и образование. 2011. №3. С. 103-108.
6. Галышев, Ю.В. Эффективность использования опорной поверхности гусеничного движителя при передаче нормальных нагрузок / Ю.В. Галышев, Р.Ю. Добрецов// Научно-технические ведомости СПбГПУ, серия Наука и образование. 2013. №3 – С. 272-278.
7. Добрецов, Р.Ю. Новые конструкции гусениц для снего-болотоходной и сельскохозяйственной техники / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов// Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2011. №5. С. 10-14.
8. Пат. 2385815 РФ, МПК В62D 55/20. Гусеничная цепь ходовой части транспортного средства / Добрецов Р.Ю., Семёнов А.Г. – №2009109923/11 (013428); заявл. 18.03.2009; опубл. 10.04.2010. Бюл. №10.
9. Пат. 2446975 РФ, МПК В62D 55/54. Эластичная гусеница транспортного средства / Добрецов Р.Ю., Семёнов А.Г., Смирнов А.В. – №2010144101/11; заявл. 27.10.2010; опубл. 10.04.2012. Бюл. №10.
10. Добрецов, Р.Ю. Пути уменьшения экологической опасности взаимодействия гусеничных движителей с грунтами / Р.Ю. Добрецов// Экология и промышленность России. 2009. №5. С. 24-27.
11. Добрецов, Р.Ю. О снижении перепадов нагрузки на опорное основание при качении гусеничного движителя / Р.Ю. Добрецов, А.Г. Семенов // Экология и промышленность России. 2012. №5. С. 46-49.

## О ПРОЕКТЕ РЕКОГНОСЦИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ НА ОСНОВЕ КОЛЕСНО-ШАГАЮЩЕГО ШАССИ

Р.Ю. Добрецов, С.И. Матросов, Е.Г. Борисов

*Санкт-Петербургский государственный политехнический университет  
Научно-техническое ЗАО «Ровер» (Санкт-Петербург),  
Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций  
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича*

**Аннотация:** Представлено предложение по созданию наземного робота-разведчика на основе модульного шестиколесного адаптивного шасси. Преимуществами такой конструкции является высокая проходимость машины на неподготовленной местности, возможность работы в условиях высокой температуры, химического и радиационного заражения.

**Ключевые слова:** Автономная колесная машина, робот, планетоход, прогнозирование параметров препятствий.

## REGARDING THE PROJECT OF RECONNAISSANCE MACHINE ON THE BASIS OF WHEEL-STEP CHASSIS

*R.Yu. Dobretsov, S.I. Matrossov, E.G. Borisov*

*Saint-Petersburg State Polytechnical University*

*Science & Technology ROVER COMPANY LTD, RCL (Saint-Petersburg,)*

*The Bonch-Bruevich Saint-Petersburg State University of Communication*

**Abstract:** a proposal for development of the overland reconnaissance robot on the basis of a modular six wheel dynamic control chassis is introduced. The advantages of the construction are high off-the-road passability of the machine on the unprepared surface, capability to operate at high temperature conditions and in chemical and radiation contaminated areas.

**Key words:** Autonomous wheeled vehicle, robot, planetary vehicle, obstruction parameters prediction.

Вооруженные силы различных стран, в том числе и России, в настоящее время заинтересованы в использовании роботизированных боевых и разведывательных платформ. Помимо решения о роботизации существующих образцов танков и БМП, в стадии реализации находится достаточно много проектов гусеничных и колесных роботизированных шасси военного назначения. Примерами (часто упоминаемыми в открытых публикациях в СМИ) являются:

- мобильный робототехнический комплекс МРК-002-БГ-57, предназначенный для обнаружения и уничтожения стационарных и подвижных целей, огневой поддержки, войсковой разведки;
- робототехнический комплекс МРК ВН – для обнаружения и уничтожения диверсионно-разведывательных группы противника; робототехнический комплекс МРК-27 БТ;
- дистанционно управляемый роботизированный комплекс «Платформа-М» на гусеничном шасси; роботизированный комплекс «Арго», предназначен для проведения разведки, а также уничтожения техники и живой силы противника.

Работы в направлении роботизации военной техники ведутся и за рубежом (США, Германия, Китай, Южная Корея и др. страны).

Несмотря на востребованность робототехнических комплексов сверхвысокой проходимости, основной проблемой в данной области является то, что применяемые роботизированные транспортные платформы обладают ограниченными возможностями по проходимости в условиях пересечённой местности и сложного рельефа, что обусловлено применяемыми в них системами управления и типами двигателей.

В настоящее время применение на транспортных, разведывательных и других роботизированных платформах нашли следующие типы двигателей: колесный и гусеничный двигатели. Обладающий по сравнению с ними более высокой проходимостью на пересеченной местности колесно-шагающий двигатель (КШД) применялся в армейских автомобилях высокой проходимости, но (по известным данным) на роботизированных наземных платформах не использовался. Разработки в области применения такого двигателя более характерны для области проектирования планетоходов.

Применение КШД на транспортных машинах не распространено в связи со сложностью конструкции и относительно большой массой непродессоренных частей двигателя; обычно вопрос подвижности на пересеченной местности решается за счет наращивания габаритно-массовых и мощностных характеристик шасси; КШД открывает путь к миниатюризации платформы, способной работать в условиях реальной местности (в том числе при ведении боевых действий, в местах очагов природных и техногенных катастроф и т.д.).

Ключевыми особенностями, обеспечивающими преимущества рассматриваемого проекта платформы с КШД, являются:

- высокая профильная проходимость платформы за счет применения полноприводного бесклиренсного адаптивного колесно-шагающего шасси (высота преодолеваемого препятствия до двух диаметров колеса);

- высокая опорно-сцепная проходимость за счет применения цилиндроконических колес с развитыми грунтозацепами и оптимального распределения нагрузки между колесами за счет применения модульной трехсекционной компоновки шасси;

- низкое давление на грунт, малая масса (как преимущество при работе с опасными объектами, снабженными контактными взрывателями).

Дистанционно и автономно управляемые (роботизированные) транспортные и технологические машины с момента своего появления являются объектами, в которых чрезвычайно активно воплощаются принципиально новые технические решения. Эта особенность обусловлена не только спецификой требований, предъявляемых к разрабатываемым машинам, но и готовностью инвесторов идти на значительные затраты и даже риски при осуществлении проекта. Обычно в такой ситуации ведущим мотивом является не прямая экономическая целесообразность проекта, а косвенная. Проект на текущем этапе может быть даже в принципе затратным и не иметь близкой перспективы. Столь стратегический подход присущ обычно государственным структурам. Редкая частная компания, особенно в современной России, может

включиться в такое предприятие. В СССР ситуация была другой. Как следствие – абсолютное большинство нынешних российских технических достижений прямо опирается на затратные исследования, выполненные во второй половине XX века в Советском Союзе.

Работы над прототипами шасси современных транспортных и технологических роботов были начаты именно тогда. Причем многое теперь безвозвратно утрачено, поскольку работы обычно проходили под грифом секретности, а при снятии грифа материалы не передавались в открытый доступ, а просто уничтожались. Во второй половине XX века ОАО «ВНИИ Трансмаш» (в то время – ВНИИ-100) в Ленинграде начинает работу над шасси первых аппаратов серии «Луноход». Работы ОАО «ВНИИ Трансмаш» над планетоходами сейчас прочно связывают с А.Л. Кемурджианом, Н.А. Забавниковым, В.В. Громовым. Аппараты «Луноход» получили мировое признание. Проекты марсохода и зонда «Фобос» в конце XX века не были завершены по причине отсутствия финансирования.

Научно-техническое ЗАО «Ровер» ([www.rovercompany.ru](http://www.rovercompany.ru)) сформировано в 1992 г. на основе коллектива, занятого работой над макетами планетоходов и роботов для экстремальных ситуаций в ОАО «ВНИИТрансмаш». Заказчиками ЗАО «Ровер» являются в основном зарубежные фирмы, что показывает инвестиционную и инновационную привлекательность области проектирования и производства малогабаритных транспортных машин. В разное время были выполнены заказы компаний и университетов Германии, Финляндии, Голландии, Франции, Австралии, Англии и др. государств. Следует отметить, что на внутреннем рынке России представлены роботизированные шасси, разработанные в МВТУ и УКБТМ.

Развитие потребностей рынка привело в 2006 г. к образованию Российского научно-технологического консорциума. Помимо ЗАО «Ровер» в него вошли предприятия ЗАО «Рокад» и НПО ООО «ПЕТРОЭЛТЕК», Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. Приоритетные направления деятельности Консорциума – робототехника, планетоходы, специальные манипуляторы; электроприводные системы; двух- и трехступенные поворотные стабилизированные платформы; системы технического зрения, системы связи и навигации, нестандартное оборудование, механизмы и приборы.

К настоящему времени участие в проектах по созданию прототипов разведывательных машин военного и гражданского назначения, роботов для работы в экстремальных условиях (очаги пожаров, химического заражения, природных и техногенных катастроф), шасси спасательной и медицинской техники требует научно-теоретического сопровождения, что затруднительно реализовать, опираясь на штат инженеров-практиков. Эта потребность привела Консорциум к обращению на кафедру «Двигатели, автомобили и гусеничные машины» Санкт-Петербургского политехнического университета [1]. Основой такого сотрудничества является опыт, полученный сотрудниками кафедры в работе над планетоходами (проекты «Луноход», «Марс-96», «Фобос»),

проектировании и отработке тепловых режимов космических аппаратов по заказам ОАО «ВНИИ Трансмаш». Поводом для объединения усилий послужило предложение применить колесно-шагающее шасси с цилиндроконическими мотор-колесами (макет, рис. 1, разработан и испытан в ОАО «ВНИИ Трансмаш» под руководством и при непосредственном участии В.В. Громова [2]) в качестве прототипа разведывательной машины) [3]. При этом речь не идет об узко военно-техническом назначении машины: обладающее высокой проходимостью и хорошей подвижностью, шасси перспективно для применения в спасательных операциях, для научных целей и в др. областях деятельности человека. Весьма важно, что эта разработка является основой для создания адаптивной машины [4], шасси которой способно приспособливаться (за счет изменения величин дорожного просвета и базы, взаимного поворота секций) к широкому спектру дорожных условий. Фрагмент испытаний макета такого шасси на проходимость приведен на рис. 2.

Необходимо отметить, что многие теоретические вопросы, связанные с кинематикой колесно-шагающего движителя, управления поворотом, динамикой, были решены специалистами ОАО «ВНИИ Трансмаш» и МВТУ. Результаты этих работ были опубликованы [5,6], хотя и не являются общедоступными. Указанные книги стали библиографической редкостью. Кроме того, сейчас достаточно узок и круг специалистов, способных эффективно использовать эти литературные источники.

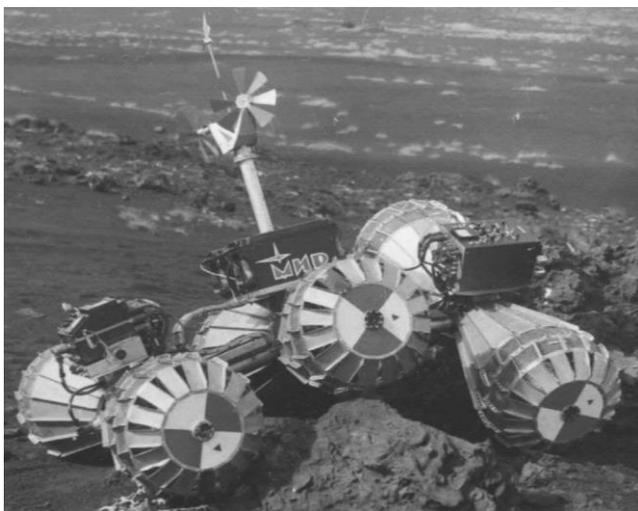


Рис. 1. Макет марсохода «Мир»: испытания на полигоне (п-ов Камчатка)

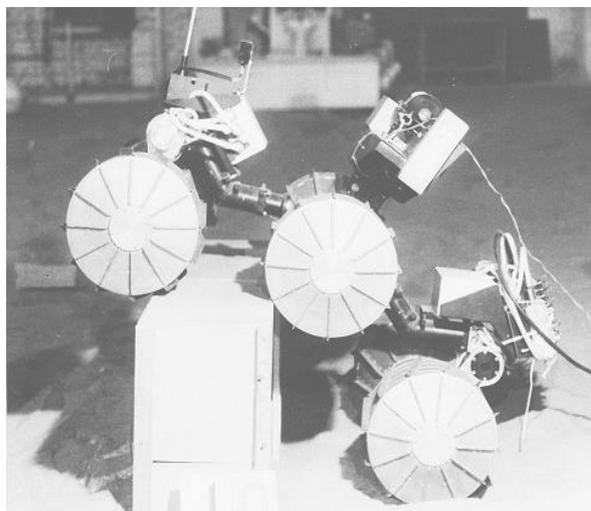


Рис. 2. Макет шестиколесного адаптивного шасси: преодоление препятствия

Инновационное предложение в настоящий момент можно описать следующим образом: полноприводное модульное (трехсекционное) шасси с шестью цилиндроконическими колесами (рис. 3), способное преодолевать препятствия высотой до двух диаметров колеса. Высокая проходимость шасси, устойчивость движителя к термическому и химическому воздействию, способность к плаванию (на фоне недостатка – относительно малой грузоподъемности) делает рациональным его использование в качестве

платформы под размещение оборудования для изучения местности в экстремальных условиях (театр военных действий, зоны разрушения после землетрясений, пожаров, химических и иных техногенных катастроф).

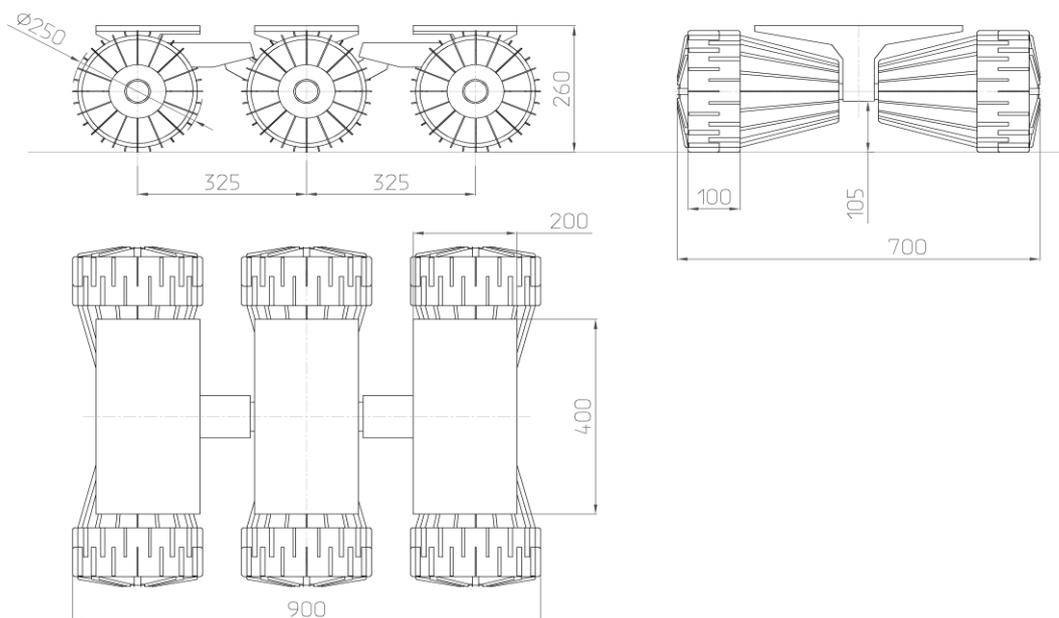


Рис. 3. Шасси прототипа рекогносцировочной машины:  
габаритные размеры

В настоящее время в распоряжении разработчиков имеется задел: работоспособный макет модульного шестиколесного шасси с колесно-шагающим движителем; опыт изготовления образцов специальных малогабаритных шасси: от планетоходов и технологических роботов (в том числе, работавших в зоне заражения Чернобыльской АЭС) до роботизированных колясок для людей с ограниченной подвижностью.

Основные характеристики шасси макета:

- тип – 6×6 (шестиколесное полноприводное шасси), бесклиренсное;
- мотор-колеса – закрытые жесткие цельнометаллические цилиндроконические;
- диаметр колеса – 0,25 м, высота преодолеваемого препятствия не менее 0,5 м;
- размещение полезной нагрузки – равномерное на трех секциях шарнирно-сочлененной рамы; размеры платформы полезной нагрузки (для каждой из трех секций) 0,25×0,4 м;
- масса (с аккумуляторами) не более 45 кг; полезная нагрузка не менее 30 кг;
- габариты (длина×ширина×высота) – 0,9×0,7×0,26 м;
- поворот бортовой, минимальный радиус поворота – 0 м.

Основные возможности системы управления:

- работа в режиме дистанционного управления и в автоматическом режиме;
- обеспечение автономного прохождения заданных маршрутов (в т.ч.

возврат при потере связи) и самостоятельное выполнение отдельных операций;

- передача данных на пункт управления;
- минимальный радиус действия – до 500 м (расширяется до 1000 м).

Ожидаемые результаты: проведение необходимых расчетно-теоретических исследований, подготовка пакета чертежно-конструкторской документации, создание и испытания опытного образца шасси робототехнического комплекса сверхвысокой проходимости, способного решать разведывательные и иные специальные задачи под дистанционным управлением на неподготовленной местности в экстремальных условиях.

В качестве основных недостатков нужно указать на относительно малую грузоподъемность шасси, относительно низкую энерговооруженность и высокую сложность конструкции. Наиболее простым (но неприемлемым для автономной машины) решением вопроса энергообеспечения шасси является подвод электрической энергии по кабелю. Поскольку, в отличие от случая планетохода, габаритно-массовые ограничения являются менее строгими, энергоемкость (и, как следствие – массу и габариты) бортовых накопителей можно увеличить. Таким образом, в случае использования шасси в качестве рекогносцировочной машины, указанные недостатки не являются критичными.

Важнейшим элементом современных робототехнических комплексов являются системы связи, навигации, технического зрения, вычислительное устройство и датчики измерители.

Обобщенная структура взаимодействия таких систем приведена на рис. 4.

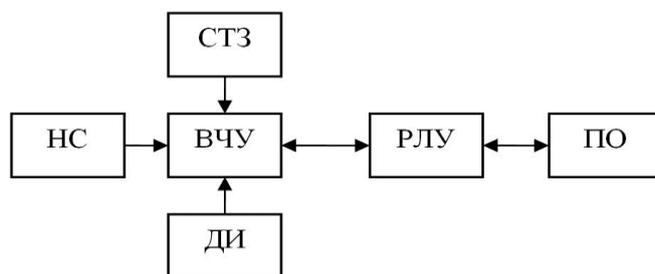


Рис. 4. Структурная схема взаимодействия технических систем мобильного робота

На рис. 4 обозначено: ПО – пульт оператора, РЛУ – радиолиния управления, ВЧУ – вычислительное устройство, СТЗ – система технического зрения, НС – навигационная система, ДИ – датчики-измерители.

Пульт оператора представляет собой портативный (Notebook) или стационарный компьютер со специализированным программным обеспечением и органами управления (джойстик, трекбол и т.д.). Пульт предназначен для дистанционного управления по цифровому радиоканалу движением робота и специальным бортовым оборудованием. Изображение, передаваемое системой технического зрения, отображается на мониторе в реальном времени. Отображению подлежат при необходимости показания датчиков измерителей, визуализация рубежа патрулирования, маршрута движения на электронной

карте или плане местности. Пульт оператора реализует функции контроля работоспособности систем робота, управление режимами их работы и настройки.

Радиолиния управления предназначена для передачи по радиоканалу команд управления оператором, передачу данных от систем технического зрения и иных блоков и узлов. Наряду с требованиями по дальности действия, скорости передачи информации и иным стандартным требованиям к РЛУ такого типа дополнительно могут выдвигаться ряд специфических требований. Например, требования по повышенной информационной скрытности, достижению автоматизированной настройки параметров радиосигнала в радиолиниях большой протяженности, обеспечение электромагнитной совместимости со смежными радиосредствами, работа в условиях плотной городской застройки и т.д.

Построение РЛУ с использованием технологии SDR (Software Defined Radio) позволяет решать такие проблемы, поскольку обеспечивает поддержку широкого спектра стандартов связи. Перепрограммирование передающего устройства для его адаптации под другой стандарт связи не влечет за собой изменения в аппаратной части. Отличительными чертами таких устройств являются: сверхширокополосная и малошумящая радиочастотная часть, обладающая большим динамическим диапазоном; высокоскоростной с большим динамическим диапазоном тракт аналого-цифрового преобразования; обладающий большой вычислительной мощностью сигнальный процессор и специализированный тракт цифровой обработки сигналов. Важнейшим преимуществом SDR технологии является то, что она позволяет принимать и передавать сигналы с использованием разных частот и стандартов, выбор которых зависит от самых различных факторов.

При проектировании РЛУ для робототехнических систем целесообразно использовать опыт, накопленный при использовании MIMO-технологий (Multiple Input – Multiple Output, множественный вход – множественный выход). MIMO-принцип позволяет уменьшить число ошибок при радиообмене данными без снижения скорости передачи в условиях множественных переотражений сигналов.

Используемые многоэлементные антенные устройства позволяют:

- расширить зоны покрытия радиосигналами и сглаживание в ней мертвых зон;
- использовать нескольких путей распространения сигнала, что повышает вероятность работы по трассам, на которых меньше проблем с замираниями, переотражениями и т.п.;
- увеличить пропускную способности РЛУ за счет формирования физически различных каналов (разделенных пространственно, с помощью ортогональных кодов, частот, поляризационных мод и т.д.).

Применительно к задаче телеуправления роботом целесообразно применить подход с использованием системы с несколькими передающими антеннами и одной принимающей антенной – MISO (Multiple Input Single Output) расположенной на объекте.

Система технического зрения (СТЗ) представляет собой сенсорные устройства, обеспечивающие получение изображений рабочих сцен и объектов, их преобразование, обработку и интерпретацию с помощью ВЧУ, а также передачу результатов системе управления роботом и оператору. Представляя собой совокупность аппаратных и программных средств получения, передачи, хранения и обработки изображений с функцией автоматического их анализа и формирования решений (например, измерение параметров объектов на изображении) или выработку сигналов управления, которые подаются на исполнительные механизмы (например, при организации движения мобильных роботов), данная система обычно оснащается современными видеокамерами различного типа.

Навигационная система (НС), решающая задачи маршрутизации и навигации робота, может быть построена по принципу комплексирования (комбинирования) данных спутниковых навигационных и инерциальных систем. Главные функциональная задача – навигация робота, позволяющая переводить решение задачи маршрутизации на решение на карте.

Вычислительное устройство (ВЧУ) кроме обработки данных от других подсистем реализует функцию системы управления.

Приведем далеко не полный перечень задач, решаемых НС совместно с системой управления, реализованной на ВЧУ:

- определение координат начальной точки и выбор оптимального маршрута движения;
- определение координат промежуточных и конечной целевых точек трассы;
- определение текущих координат робота;
- управление движением робота при выходе из критических ситуаций;
- сбор информации о текущих параметрах движения робота: направлении движения (курсовой угол), скорости, ускорениях, углах крена и тангажа и т.д.;
- планирование траектории движения при объезде непреодолимых препятствий.

Датчики измерители (ДИ), помимо решения задач определения дальности до объекта интереса и считывания рельефа поверхности, могут выполнять ряд специфических функций: измерение уровня радиации, контроль биологического заражения местности и т.д.

Помимо экономического и научного интереса, сотрудничество с предприятиями Консорциума представляет для кафедры «ДАиГМ» возможность привлечь студентов и аспирантов к выполнению работ над актуальной и перспективной тематикой дистанционно и автономно управляемых машин, что позволит подготовить выпускников, получивших первичные навыки и знания в одной из самых прогрессивных областей транспортного машиностроения.

Реализовать данный проект без взаимовыгодного сотрудничества Консорциума и коллектива кафедры «ДАиГМ» СПбГПУ – весьма проблематичная задача. Ее решение с привлечением иных соисполнителей

подразумевает многократное увеличение прямых расходов и косвенных потерь, связанных с коммерческими рисками. Привлечение в качестве заказчиков государственных структур России и крупных иностранных инвесторов позволит надеяться, что в ходе работ над проектами новых машин для различных областей применения удастся реализовать уже имеющиеся и отчасти апробированные решения и модели, а также даст толчок развитию технической мысли.

Нетривиальные результаты, имеющие на первый взгляд узкое применение, через десятки лет часто оказываются широко востребованными и внедряются на серийной технике. Проектирование малогабаритных роботизированных машин высокой проходимости – как раз та область транспортного машиностроения, в которой такое развитие событий весьма вероятно. Сохранившийся практический и теоретический задел в вопросах проектирования планетоходов позволяет России на равных с другими странами (а во многом все еще сохраняя значительное преимущество) определять развитие данного сектора науки и производства.

#### *Выводы*

1. Эволюция малогабаритных шасси (расширение условий эксплуатации, назначения машин, уровня реализуемых технических решений) требует научно-технического сопровождения проектов, которое возможно на уровне СПбГПУ (сопровождение проектов шасси) и СПбГУТ (разработка телекоммуникаций и систем управления).

2. Объединение практических достижений ЗАО «Ровер» и теоретической базы СПбГПУ повышает инвестиционную привлекательность разрабатываемых совместных проектов шасси специальных транспортных машин и позволяет выйти на принципиально новый уровень выбора партнеров для совместной работы.

3. Развитие связей Российского научно-технологического консорциума за счет присоединения российских и зарубежных партнеров открывает в первую очередь пути для внедрения авторских идей, технических предложений и изобретений, накопленных в последние десятилетия в России и не имеющих перспектив реализации без международного участия.

#### Список литературы

1. ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (<http://www.spbstu.ru/departments/base/ets/kgm/index.htm>) (дата обращения: 01.10.2014).

2. Патент №2019463 Россия. Сочлененное полноприводное транспортное средство и способ изменения направления его движения / Веткин Р.К., Громов В.В., Кемурджиан А.Л., Кучеренко В.И., Матросов С.И., Соломников В.С. и др. Опубл. Бюл. №17, 1994.

3. Авотин, Е.В. Выбор прототипа шасси наземного робота-разведчика / Е.В. Авотин, Р.Ю. Добрецов, С.И. Матросов, В.Н. Петрига // Вестник академии военных наук. 2013. №4(45). С. 116-123.

4. Авотин, Е.В. Адаптивные шасси подвижных роботов / Е.В. Авотин, Р.Ю. Добрецов, С.И. Матросов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер.: Наука и образование. 2013. №3(178). С. 230-237.

5. Передвижение по грунтам Луны и планет / Под. ред. А.Л. Кемурджиана. – М.: Машиностроение, 1986. 272 с.

6. Авотин, Е.В. Динамика планетохода / Е.В. Авотин, И.С. Болховитинов, А.Л. Кемурджиан и др. М.: Наука, 1979. 440 с.

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ МЕТРОПОЛИТЕНА С АЛЬТЕРНАТИВНЫМИ СИСТЕМАМИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Ле Суан Хонг

*Национальный исследовательский университет «Московский  
энергетический институт»*

**Аннотация:** В статье рассмотрены перспективы совершенствования систем тягового электропривода для повышения энергоэффективности вагонов метрополитена.

**Ключевые слова:** *электрический транспорт, потребление энергии, тяговый электропривод, асинхронные тяговые машины, тяговые машины постоянного тока, электроподвижный состав, собственные нужды трассы.*

## **IMPROVING THE ENERGY - EFFICIENCY OF SUBWAY ELECTRIC TRAINS WITH ALTERNATIVE TRACTION SYSTEMS**

Le Xuan Hong

*National Research University «Moscow Power Engineering Institute»*

**Abstract:** The article discusses the prospects of improving traction systems for energy efficiency of subway electric trains.

**Key words:** *electrical transport, energy consumption, traction system, asynchronous tractive machines (AC), DC tractive machines, electromobile composition, own tracks.*

Электрический транспорт играет важную роль в жизнедеятельности города. Его отличие от автомобильного вида транспорта заключается в высокой экологичности, большой провозной способности, достаточно высокой скорости движения, более низких тарифах за проезд.

Интерес к развитию электротранспорта в последнее время связан с тем, что он отчасти решает проблему автомобильных пробок, особенно в крупных городах, в частности в Москве. Развитие общественных пассажирских перевозок электротранспортом необходимо в связи с тем, что в г. Москве особенно остро стоит проблема экологии. Природные экологические факторы территории размещения города характеризуются как неблагоприятные.

При достигнутом уровне развития всех видов городского пассажирского транспорта только метрополитены в сочетании с наземными электропоездами способны решить указанные проблемы. Об этом свидетельствует опыт

создания единых транспортных систем "метрополитен – наземные электропоезда". В этих системах главную роль играют метрополитены. В частности, в Москве метрополитен был открыт уже 15 мая 1935, а сегодня его доля в перевозке пассажиров среди предприятий городского пассажирского транспорта столицы превышает 56%. По сведениям официального сайта Мосметрополитена [1], "его услугами с средним ежедневно пользуются более 7 млн. пассажиров, а в будние дни этот показатель превышает 9 млн. пассажиров. Это наивысший показатель в мире". В этом же сайте утверждается, что сегодня "по интенсивности движения, надёжности и объёмам перевозок Московский метрополитен стабильно занимает первое место в мире. Он в первой тройке метрополитенов мира практически по всем другим показателям".

Метрополитены становятся крупными потребителями электроэнергии, например, по известным данным, в 2007 г. длина линий Мосметрополитена составляла около 305 км, а потребление энергии из внешнего электроснабжения около 1,6 млрд. кВт.ч в год.

При этом "удельное" потребление электроэнергии составляло 5,246 млн. кВт.ч./км линий, и в случае сохранения существующих условий эксплуатации, включая и энергетические показатели метropоездов, приращение потребления или электроэнергии у внешнего электроснабжения при росте длины линий до 467 км (плановая цифра), т.е. на 162 км., составит  $162 \times 5,246$  около 850 млн. кВт.ч, а общее потребление энергии в контрольно – 2020 г. достигнет 2,5 млрд. кВт.ч. Эта же цифра, естественно, получится умножением удельного потребления энергии на 1 км пути и его плановой длины ( $467 \times 5,246 = 2,447$  млрд. кВт.ч). При цене электроэнергии около 3 руб./кВт.ч затраты Мосметрополитена на оплату потребляемой на тягу электроэнергии составят около 8 млрд. руб.

Таким образом, по известным данным, можно прогнозировать, что потребление энергии одним вагоном в год составит около 2,5 млн. кВт.ч стоимостью около 7,5 млн. руб. В связи с этим чрезвычайно актуальна проблема снижения удельного потребления метрополитенами электроэнергии на единицу транспортной работы.

Основным резервом сокращения общего потребления энергии метрополитенов является улучшение энергетических показателей электроподвижного состава (ЭПС), так как около 75% энергии расходуется на тягу поездов, примерно 20-22% на собственные нужды трассы и 3-5% на ремонтную базу. Следующими по значимости являются расходы на собственные нужды трассы: освещение, отопление, санитарно-технические установки и эскалаторы. Однако потребление на собственные нужды существенно зависит от энергетических показателей ЭПС. В частности, сантехнические установки расходуют около 40% энергии на собственные нужды трассы, причем значительную долю составляет потребление энергии вентиляторами туннелей. Последнее прямо зависит от тепловыделения в туннелях, основная часть которого определяется потерями энергии в ЭПС. Таким образом, улучшение энергетических показателей вагонов метрополитена (ВМ) позволяет как непосредственно сократить удельный расход энергии

метрополитенами, так и уменьшить ее потребление, чему способствует снижение интенсивности вентиляции туннелей.

Одним из технических решений указанной проблемы является совершенствование систем тягового электропривода (ТЭП) с наилучшими показателями. Основными показателями, определяющими технико-экономическую эффективность (ТЭЭ) систем ТЭП электропоездов метрополитена (ЭПМ), являются их стоимость и расход ими электроэнергии на выполнение одной и той же работы. Дополнительными показателями являются динамика ЭПМ, их надёжность и расходы на обслуживание в эксплуатации. Сегодня приоритетной задачей является оценка энергетической эффективности альтернативных систем ТЭП.

В связи с развитием полупроводниковой преобразовательной техники появилось много возможностей совершенствования ТЭП [2]. Среди них: использование на ЭПС с традиционными тяговыми машинами (ТМ) при электроснабжении постоянным током импульсного управления и при электроснабжении переменным током – плавного регулирования напряжения питания ТМ и рекуперативного торможения и на обоих типах ЭПС с коллекторными тяговыми машинами (КТМ) независимого возбуждения (НВ), а также – применение бесколлекторных ТМ – асинхронных, вентильных (ВТМ) и индукторных (ИТМ). К выбору рациональных систем ТЭП вагонов метрополитена необходимо сопоставление их ТЭЭ. После предварительных оценок показателей ТЭП с тяговыми машинами постоянного тока (ТМ ПТ) и с асинхронными тяговыми машинами (АТМ) можно перечислить их следующие преимущества и недостатки:

**Для систем тягового электропривода ЭПС постоянного тока**

– *При внедрении систем ТЭП с автоматически регулируемым независимым возбуждения тяговых машин (АР НВ ТМ):*

Выполненные в Московском энергетическом институте (МЭИ) и ВНИИ вагоностроения теоретические и экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность и практическую возможность реализации в короткие сроки теоретических преимуществ применения АР НВ ТМ на ВМ.

На рис. 1. показана разработанная на базе предложенного МЭИ технического решения схема силовых цепей ТЭП с НВ ТМ и дискретно-резисторным управлением (ДРУ) [3], обеспечивающая следующие режимы работы:

– реостатный пуск вагона с перегруппировкой групп ТМ с плавным ослаблением поля после выхода на безреостатную характеристику параллельного соединения ТМ в соответствии с ограничениями тяговой области;

– электрическое рекуперативно-реостатное торможение в диапазоне скоростей от конструкционной до близкой к нулю с сохранением максимальной тормозной силы до скоростей 2-3 км/ч, рекуперативного торможения до скоростей около 20 км/ч и замещение рекуперативного торможения реостатным без потери тормозной силы в случаях срыва рекуперации или снижения

скорости движения до значения, при котором нельзя обеспечить требуемую для рекуперации ЭДС ТМ.

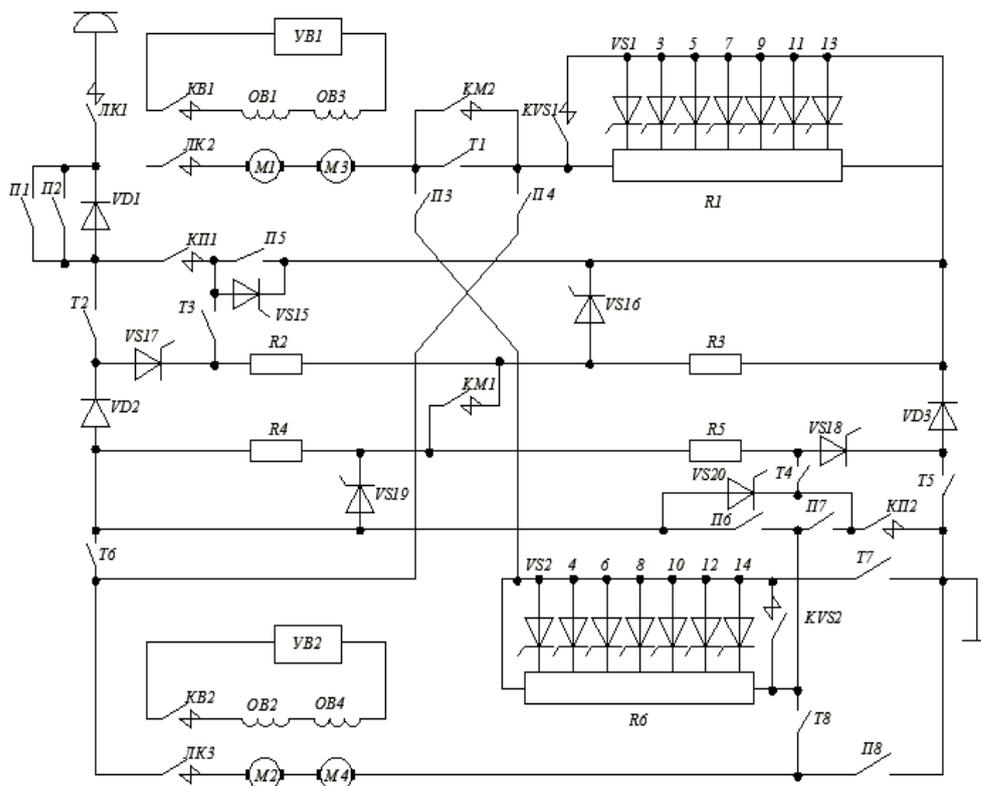


Рис. 1. Принципиальная силовая схема вагона метрополитена с НВ ТМ, разработанная кафедрой «Электрический транспорт» (МЭИ)

При использовании указанной системы реализуются:

- улучшение тяговых свойств в зоне ограничения силы тяги условиями сцепления и в зоне ослабления поля ТМ соответственно за счет повышения динамической жесткости тяговых характеристик и регулирования силы тяги согласно с фактически действующим ограничением при уменьшении разброса нагрузок параллельно включенных групп ТМ;
- повышение эффективности тормозного процесса за счет более плавного регулирования тормозной силы в зоне высоких скоростей движения и сохранения максимальной тормозной силы до существенно меньшей скорости движения; возможность использования более эффективных энергосберегающих алгоритмов управления в пусковых режимах;
- рекуперативное торможение, являющееся основным резервным повышением энергетической эффективности вагонов метрополитена, с осуществлением в этом режиме перегруппировки ТМ;
- возможность использования более эффективных энергосберегающих алгоритмов управления в пусковых режимах.

- При внедрении систем с бесконтактным реостатным контроллером имеются следующие преимущества:

- высокая надежность благодаря функциональной простоте и 5-10 кратным запасам тиристоров по напряжению и току;
- высокая точность и стабильность работы: более высокая надежность по сравнению с тягой на основе асинхронных двигателей и инверторов напряжения;
- возможность применения отечественных тиристоров и, соответственно, приемлемая стоимость бесконтактных тяговых аппаратов;
- сцепляемость с вагонами эксплуатируемого парка;
- отсутствие мешающих влияний на работу систем локомотивной сигнализации и связи.

Энергетические показатели ЭПМ с ТМ ПТ могут быть существенно улучшены при использовании на них отработанной на МВ наземных ЭП энергосберегающей системы тягового электропривода (ЭС ТЭП). Одной из особенностей рассматриваемой схемы по сравнению со схемами привода с НВ ТМ является замена группового кулачкового реостатного контроллера тиристорным коммутатором (ТК). Она обеспечивает снижение пусковых реостатных потерь практически вдвое и увеличивает эффективность рекуперации. Этим общие потери энергии при пуске в реальных условиях эксплуатации в Мосметрополитене уменьшаются с 8-10 до 4-5% [4]. Показатели ЭПМ могут быть дополнительно повышены при использовании возможных [5] усовершенствований конструкции их ТМ ПТ.

#### **Для систем тягового электропривода ЭПС переменного тока**

Практически с первых этапов электрификации железных дорог непрерывно ведется создание ЭПС (электровоз, электропоезд, трамвай, троллейбус, метрополитен...) с АТМ [6].

Основными достоинствами этих машин считают:

- Простота конструкции;
- Уменьшение затрат на эксплуатацию тяговых машин;
- Снижение массы или увеличение мощности тяговых машин при той же массе;
- Уменьшение стоимости и повышение надежности ТМ;
- Повышение тяговых свойств за счет более жестких динамических характеристик асинхронных тяговых машин по отношению к коллекторным машинам с последовательным возбуждением;
- Уменьшение количества контактной аппаратуры;
- Уменьшение массы неподрессоренных частей и тележек в целом;
- Уменьшение момента инерции вращающихся частей за счет меньшей массы ротора асинхронных тяговых машин и возможности снижения диаметра бандажей колесных пар;
- Снижение расхода энергии за счет более эффективного использования рекуперативного торможения.

Рассмотренные выше предполагаемые преимущества АТМ используются для обоснования перспективности использования предлагаемого типа ТЭП многими специалистами. Это привело к тому, что совершенствование ЭПС с КТМ практически прекратилась.

Но вместе с тем известно, что на построенных с конца 60-х годов многих опытных образцах отечественного ЭПС не удалось обеспечить даже приемлемую работоспособность ТЭП с АТМ. Например, электропоезда ЭД6, НЗ (НЭВЗ) не пошли в эксплуатацию, электровоз ВЛ86Ф был списан.

А в зарубежной практике электропоезда с АТМ стали развиваться успешнее. Настойчивость по внедрению ЭПС с АТМ, в частности в Германии и Японии, объяснены следующими обстоятельствами:

Немцы заменяют ТЭП с коллекторной однофазной тяговой машиной с частотой  $f=16\frac{2}{3}$  Гц на четырехквadrантный преобразователь с одиннадцатью последовательными импульсами в полупериод. Поэтому применение на ЭПС с АТМ дает несопоставимо больший эффект по сравнению с нашими условиями (частота  $f=50$  Гц, соответственно, импульсов в полупериод должно быть в 3 раза больше, это в свою очередь приведет к увеличению коммутационных потерь. Также в преобразователях такого типа появляется необходимость использования при частоте питающего тока  $f=50$  Гц полупроводниковых приборов с повышенным быстродействием). Четырехквadrантный преобразователь обеспечивает повышение коэффициента мощности до 0,98-0,99.

В Японии на железных дорогах используется колея шириной 1067 см. Однако узкая колея всё равно накладывает ограничение на скорость движения поездов, поэтому высокоскоростные линии Синкансэн имеют европейскую колею (1435 мм). Узкоколейные железные дороги были дешевле в постройке и эксплуатации, чем железные дороги со стандартной шириной колеи. Меньшие размеры локомотивов и вагонов позволяли строить более лёгкие мосты; при прокладке тоннелей для узкоколеек требовалось извлекать меньшую кубатуру грунта. Кроме того, на узкоколейках допускались более крутые кривые, чем на обыкновенных железных дорогах, что обусловило их популярность в горных районах. Недостатками узкоколейных железных дорог являются: меньший габарит и вес перевозимых грузов, меньшая устойчивость и меньшая максимально допустимая скорость. Однако самым важным недостатком узкоколеек было то, что они, как правило (по крайней мере, в Европе), не образовывали единой сети. Но в то же время при узкой колее намного труднее решается проблема повышения мощности ТМ. Это дает нашему ЭПС большие преимущества также и по отношению к ЭПС с западноевропейской колеей.

Сторонников и противников той или иной системы электропривода немало, у каждого найдутся свои веские основания в защиту своей идеи. Конечно, в каждой системе есть свои плюсы и минусы, но тем не менее приведенные в выполненном анализе сведения и соображения подтверждают, что:

- Реальные технико-экономические показатели электроподвижного состава с АТМ давно уже прогнозировались при обосновании его высокой эффективности и необходимости повсеместного применения;

- Резервы улучшения технико-экономических показателей ЭПС с ТМ ПТ далеко не исчерпаны, и при их использовании применение ЭПС с ТМ ПТ экономически более целесообразно;

- Применение ЭПС с АТМ целесообразно, если ЭПС с ТМ ПТ не может обеспечить требуемые технические характеристики, в частности – при скорости движения на магистральном транспорте более 200 км/ч;

- Тяговые свойства ЭПС с ТМ ПТ могут быть существенно улучшены при замене последовательного возбуждения тяговых машин независимым. Это техническое решение не требует больших затрат и может быть реализовано при модернизации эксплуатируемого парка;

- Энергетические показатели ЭПС с ТМ ПТ могут быть повышены за счет более эффективного применения рекуперативного торможения в случае замены в схеме силовых цепей контакторов тиристорными ключами [7];

- ЭПС с ТМ ПТ при его оборудовании автоматически регулируемым независимым возбуждением тяговых машин в зоне скоростей движения до 200 км/ч может реализовать силы тяги не меньше, чем ЭПС с АТМ;

- Энергетические показатели ЭПС с КТМ выше, чем у ЭПС с АТМ, особенно при оборудовании первого эффективным рекуперативным тормозом;

- ЭПС с АТМ по отношению к ЭПС с ТМ ПТ при оборудовании последнего независимым возбуждением тяговых машин и тиристорными коммутаторами вместо контакторных аппаратов не будет иметь лучших показателей надежности.

## **Вывод**

Сегодня в Мосметрополитене эксплуатируются более 5000 вагонов, большинство из которых ТМ ПТ. Из них около 4000 не отработали срок годности, но считаются морально устаревшими и не отвечающими ряду современных требований, в том числе по энергоэффективности. Это требует решения возникшей проблемы. Администрация Мосметрополитена и некоторые его специалисты без необходимых обоснований считали возможность заменить за 2 года все электропоезда (ЭП) с ТМ ПТ поездами с АТМ на основании очевидного предвидения возможности снижения экономии или электроэнергии. Такой поход не раз приводил к серьезным ошибкам.

ЭПС с АТМ имеет и ряд недостатков, часть из которых была выявлена в испытаниях и эксплуатации во Франции электровозов с АТМ и ТМ ПТ ещё в 70-80-е годы прошлого века, в которых было получено, что электровозы с АТМ уступают локомотивам с ТМ ПТ практически по всем показателям, включая энергетику и надёжность. В частности, в написанной на основе экспериментальных данных статье [8-9]. Французский инженер Ф. Нувьон подчёркивает, что даже при работе в идеальных условиях с питанием АТМ симметричным и стабильным синусоидальным напряжением они по «энергетической эффективности» имели худший на 3% показатель.

Асинхронные электрические машины по сравнению с машинами постоянного тока при равных мощности и частоте вращения имеют меньший КПД. Это обосновывается рядом их особенностей, а именно низким коэффициентом мощности. В подтверждение этого приведем данные, полученные в нашем проекте, данные из расчетов Солдатенко Д.А. [10] и других сторонних источников. Опираясь на все данные, можно сделать

первоначальные выводы о том, что КПД АТМ не больше, чем КПД ТМ ПТ, и для тяговых асинхронных машин значения КПД будут снижаться со значением мощности.

Применение АТМ оправдано лишь при мощности привода более 430 кВт и использовании для его питания источника синусоидального напряжения. Только в этом случае КПД АТМ будет на 2% выше КПД ТМ ПТ, что увеличит силу тяги примерно на 3 процента при движении ЭПС со скоростью в интервале от 20 до 40 км/ч.

Оценка эффективности тяговых машин по значениям их КПД на номинальных режимах работы показала, что при мощности привода до 300 кВт ТМ ПТ эффективнее АТМ, так как имеет более высокие значения КПД.

АТМ плохо охлаждаются из-за малого зазора ( $\delta < 2$  мм), что говорит о необходимости использовать вентиляторы большей мощности. Потребление энергии вентиляторами такой мощности, как известно, в процентном отношении значительно выше процентного значения их мощности в общей мощности ЭПС в номинальном режиме. Можно без ошибки предположить увеличение расхода энергии подвижным составом с АТМ в среднем на 10%.

Отсутствие у ЭПС с АТМ, эксплуатируемого в обычных сегодня условиях, весомых преимуществ перед ЭПС с ТМ ПТ, показано и в отечественных исследованиях последних лет, в частности, в публикации ведущих специалистов ВНИИЖТ, посвящённой рассматриваемой проблеме [11], указано, что электровозы с АТМ имеют худшие «цепные качества» по отношению к электровозам с ТМ ПТ, то есть имеют худшие тяговые свойства, а также сделан вывод, что в условиях РЖД электровозы с АТМ «не будут энергетически эффективнее», чем электровозы с ТМ ПТ.

Таким образом, объективные данные показывают, что при реализации на ЭП с ТМ ПТ простых и проверенных на опытных образцах технических решений по совершенствованию их ТЭП они не будут уступать поездам с АТМ ни по одному показателю. При цене, ориентировочно вдвое [12] меньшей, они будут существенно эффективнее. Важнейшим их преимуществом является возможность использования полученных результатов при модернизации эксплуатируемых ЭПМ, значительная часть которых ещё не отработала расчётного срока. Поэтому использование ТЭП с ТМ ПТ перспективно для повышения энергоэффективности электропоездов метрополитена.

#### Список литературы

1. Официальный сайт Мосметрополитена (<http://www.mosmetro.ru/about/information/>).

2. Пименова, А.А. Оценка технико-энергетической эффективности альтернативных систем тягового электропривода / А.А. Пименова, В.Д. Тулупов // Тезисы докладов. Четырнадцатая международная научно-техническая конференция студентов и аспирантов. Москва, 2008. С. 195-197.

3. Тулупов, В.Д. Схема силовых цепей вагонов метрополитена с независимым возбуждением тяговых машин и тиристорным реостатным

контроллером / В.Д. Тулупов, А.П. Марченков, С.И. Кабанец и другие. // Тр. МЭИ, 1992. Вып. 641. С. 36-45.

4. Тулупов, В.Д. Тяговый электропривод постоянного тока с наилучшими технико-экономическими показателями / В.Д. Тулупов // Сборник "Электросила", выпуск 41. Г. Санкт-Петербург, 2002. С. 196-210.

5. Электропривод постоянного тока. Состояние и тенденции // Докл. Научно-практического семинара. М.: Изд. МЭИ, 2002.

6. Ротанов, Н.А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко. М.: Транспорт, 1991. 336 с.

7. Тулупов, В.Д. Энергетические показатели новой системы тягового привода вагонов метрополитена / В.Д. Тулупов, Н.Д. Ляпунова, С.И. Кабанец // Тр. МЭИ, 1983. Вып. 608. С. 36-42.

8. Nouvion, F.F. Considerations on the use of d.c and three-phase traction motors and transmission system in the context of motive power development / F.F. Nouvion // Proc. Inst. Mech. Engrs. 1987, Vol.201. №2. P. 99-113.

9. Nouvion, F.F. Into the second century / F.F. Nouvion // Railway Gazette International. April 1979, P. 296-300.

10. Солдатенко, Д.А. Разработка методов выбора параметров тяговых приводов тепловозов по уровню энергетической эффективности. Автореф. ... канд. техн. наук. М., 2008.

11. Мугинштейн, Л.А. О выборе типа тягового электропривода электроподвижного состава / Л.А. Мугинштейн, В.А. Кучумов, О.Н. Назаров // Железнодорожный транспорт. 2005. №5. С. 42-48.

12. Ле Суан Хонг. Оценка экономической эффективности альтернативных систем тягового электропривода поездов Московского метрополитена / Суан Хонг Ле, В.Д. Тулупов // Экономические аспекты логистики и качества работы железнодорожного транспорта: Всероссийская научно-практ. конф. с международным участием, г. Омск, 2013. С. 8-12.

## **ВЛИЯНИЕ ЖЕСТКОСТИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ КОРРЕКТИРУЮЩИХ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ НА ДИНАМИЧЕСКУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ АВТОМОБИЛЯ**

С.В. Лузгин

*Набережночелнинский филиал Казанского федерального университета*

**Аннотация:** В данной статье рассматривается влияние жесткости корректирующих упругих элементов системы подрессоривания грузового автомобиля на динамическую устойчивость автомобиля.

**Ключевые слова:** динамическая устойчивость, корректирующие элементы, ФРУНД, виртуальный эксперимент, система подрессоривания.

# STIFFENING EFFECT OF ADDITIONAL CORRECTIVE ELASTIC ELEMENTS OF SUSPENSION SYSTEM ON DYNAMIC STABILITY OF THE VEHICLE

S.V. Luzgin

*Branch of Kazan Federal University in Naberezhnye Chelny*

**Abstract:** This article examines the stiffness influence of the elastic elements of the truck corrective suspension system on the dynamic stability of the vehicle.

**Key words:** *dynamic stability, corrective elements, FRUND, virtual experiment, suspension system.*

Функция изменения жесткости подвески может использоваться для выполнения следующих задач:

Корректировка упругой и амплитудно-частотной характеристик автомобиля в зависимости от его загрузки;

Повышение динамической устойчивости автомобиля.

Исследования проводились на математической модели грузового автомобиля полной массой 40 т с колесной формулой 8x8.

Влияние функции изменения жесткости подвески на динамическую устойчивость автомобиля проверялось на примере выполнения характерного маневра «переставка». Траектория движения автомобиля при выполнении данного маневра показана на рисунке 1.



Рис. 1. Траектория движения автомобиля при выполнении маневра «переставка»

Прохождение маневра «переставка» оценивалось по траекториям габаритных точек автомобиля – рисунки 2, 3 и по величине вертикальных реакций в шине автомобиля.

Повороты колёс задавались перемещением сошки. Закон перемещения сошки для показанного на рисунке движения автомобиля представляет собой эмпирическую зависимость. На рисунке 4 также показаны траектории габаритных точек и границы коридора.

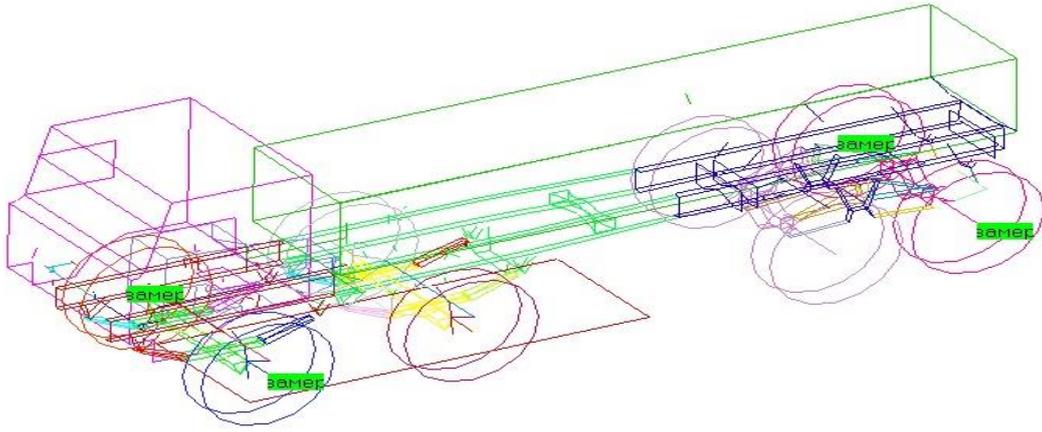


Рис. 2. Расположение габаритных контрольных точек на автомобиле

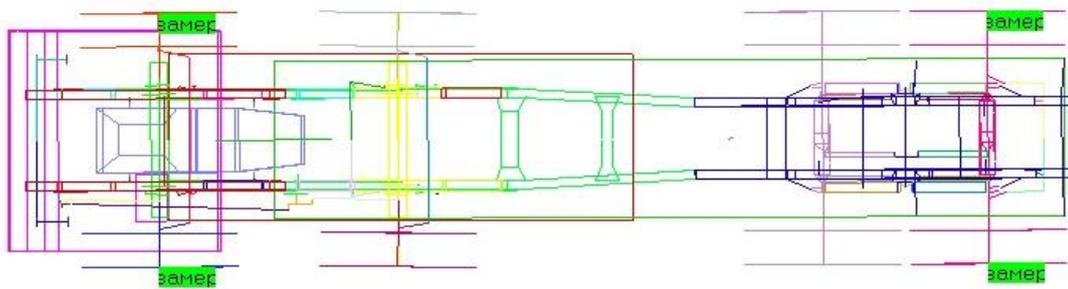


Рис. 3. Расположение габаритных контрольных точек на автомобиле

Критериями прохождения «переставки» являются вписывание в коридор и постоянный контакт шин с дорогой. Как следует из рисунка 4, габаритные точки автомобиля вписываются в заданный ограничивающий коридор.

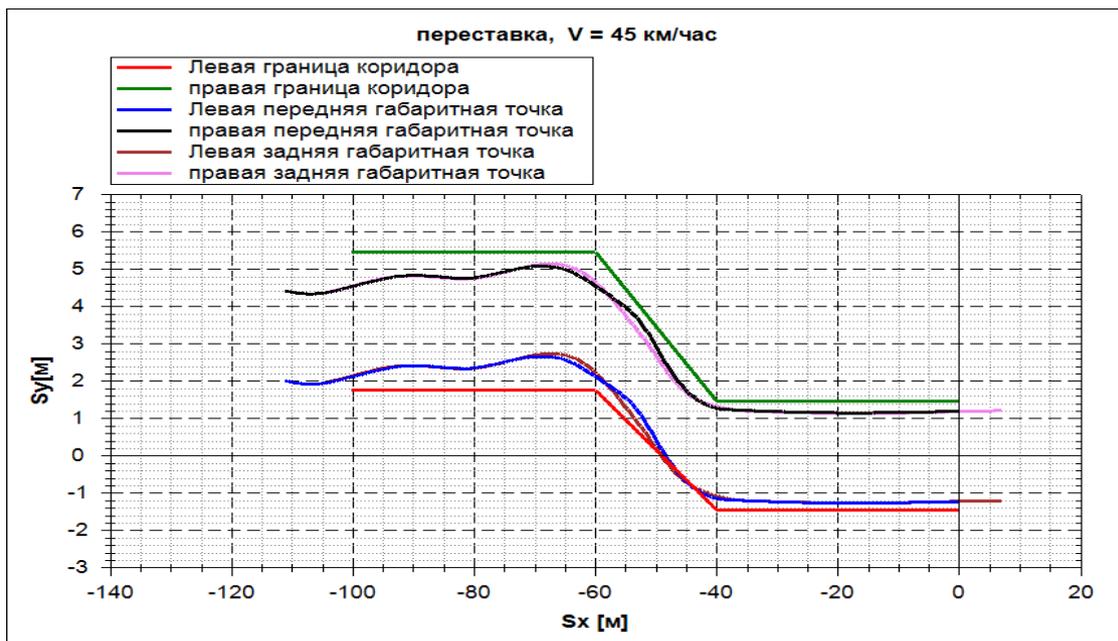


Рис. 4. Траектории точек автомобиля при прохождении маневра «переставка»

Влияние изменения жесткости подвески на динамическую устойчивость автомобиля оценивалось отдельно для комбинированной рессорно-пневмогидравлической и независимой пневмогидравлической подвески со следующими соотношениями загрузки автомобиля и статической жесткости подвески:

Максимальная загрузка автомобиля, статическая жесткость подвески максимальная;

Максимальная загрузка автомобиля, статическая жесткость подвески минимальная;

Снаряженная масса автомобиля, статическая жесткость подвески максимальная;

Снаряженная масса автомобиля, статическая жесткость подвески минимальная.

Угловые перемещения передней и задней частей рамы при комбинированной подвеске показаны на рисунках 5-6.

Как видно из рисунков 5-6, изменение жесткости подвески в случае комбинированной рессорно-пневмогидравлической подвески не оказывает существенного влияния на изменение углового перемещения при снаряженной массе автомобиля – в передней части автомобиля не более 20%, в задней не более 7%. В случае максимальной загрузки автомобиля разница угловых перемещений передней части рамы достигает 42%, для задней части рамы – 50%.

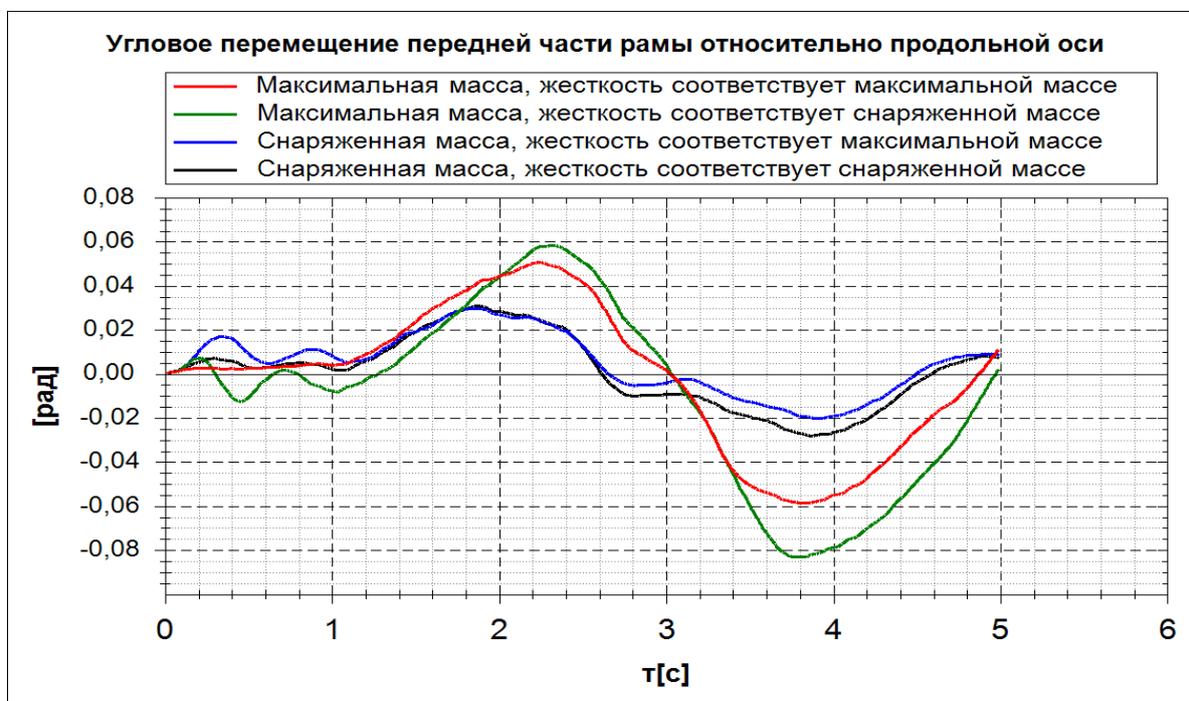


Рис. 5. Угловое перемещение передней части рамы относительно продольной оси

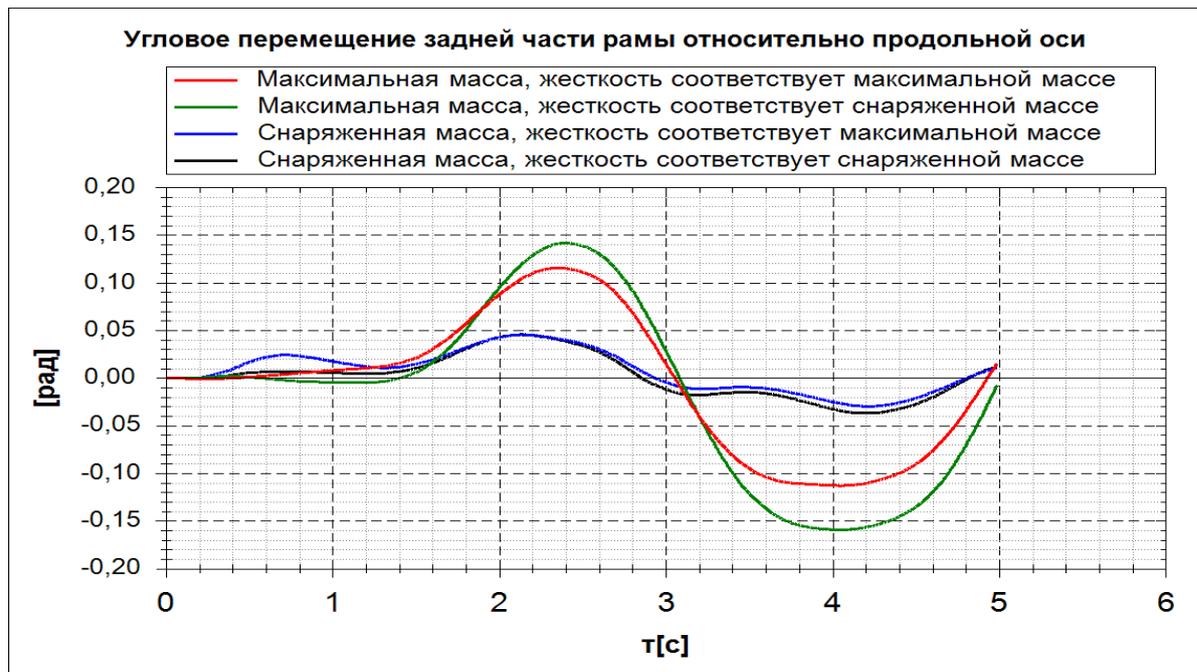


Рис. 6. Угловое перемещение задней части рамы относительно продольной оси

На рисунке 7 показаны графики изменения угловых перемещений задней части рамы для независимой пневмогидравлической подвески.

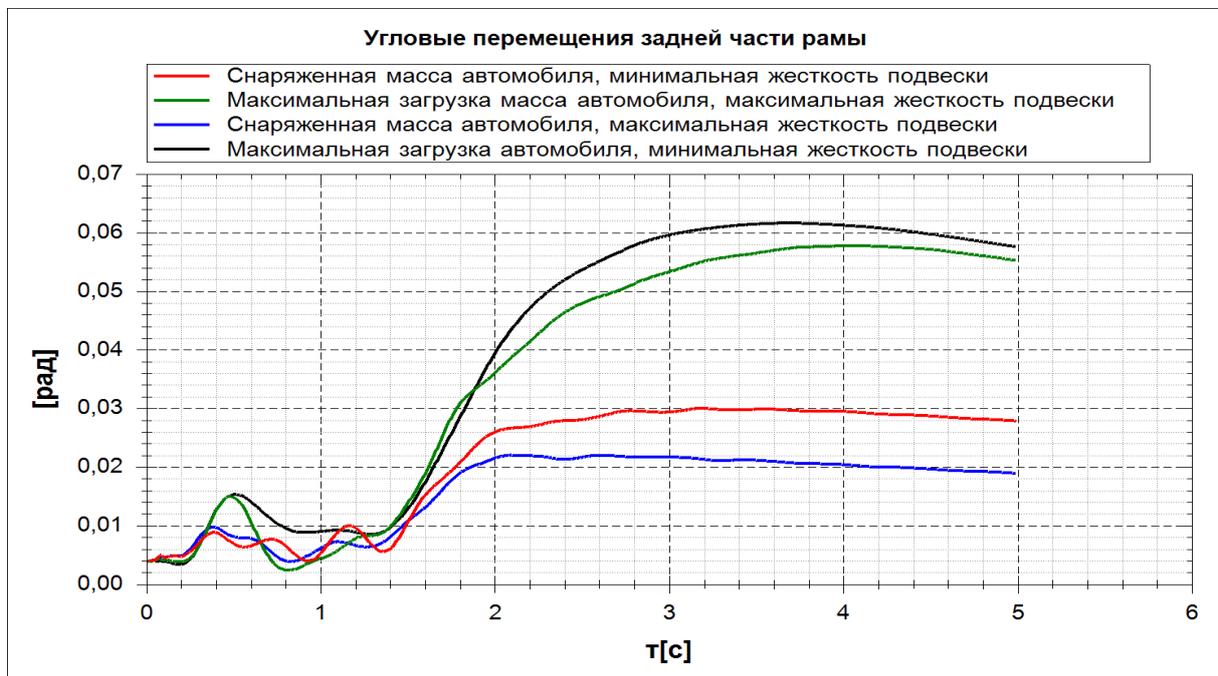


Рис. 7. Угловые перемещения задней части рамы

Рисунок 7 показывает, что изменение жесткости подвески оказывает более существенное влияние при снаряженной массе автомобиля – изменение углового перемещения задней части составляет 36%. При максимальной

загрузке автомобиля разница угловых перемещений задней части рамы меньше, чем для комбинированной подвески – 7%.

На основании вышеизложенных данных делаем заключение о целесообразности изменения степени жесткости дополнительных упругих элементов систем поддрессоривания для повышения динамической устойчивости грузовых автомобилей с высоким центром масс.

#### Список литературы

1. Кушвид, Р.П. Развитие теории управляемости и устойчивости автомобиля на базе пространственных компьютерных моделей: монография / Р.П. Кушвид, А.С. Горобцов, С.К. Карцов. М.: Машиностроение-1, 2004. 136 с.
2. Горобцов, А.С. Компьютерные методы построения и исследования математических моделей динамики конструкций автомобилей / А.С. Горобцов, С.К. Карцов, А.Е. Плетнев, Ю.А. Поляков. М.: Машиностроение, 2011. 462 с.

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ НАКОПЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ИНФОРМАЦИИ О ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫХ ПРОИСШЕСТВИЯХ**

С.А. Ляпин, В.Э. Клявин, В.В. Ситников

*Липецкий государственный технический университет*

В статье рассматриваются проблемы, связанные с процедурой регистрации дорожно-транспортных происшествий. Описываются элементы информационной системы, направленной на решение указанных проблем. Рассматривается возможность использования описываемой системы для прогнозирования и предотвращения ДТП.

**Ключевые слова:** дорожно-транспортное происшествие, анализ аварийности, информационная система.

### **IMPROVING PROCEDURES OF ACCUMULATION AND ANALYSIS OF ROAD ACCIDENT INFORMATION**

S.A. Lyapin, V.E. Klyavin, V.V. Sitnikov

*Lipetsk State Technical University*

**Abstract:** The article discusses modern problems associated with the procedure of road accidents registration. The elements of information system dealing with these problems are described. The possibilities of using the described system for predicting and preventing accidents are considered.

**Key words:** road accident, accident rate analysis, information system.

Проблема эффективной организации дорожного движения до сих пор остается актуальной: постоянное увеличение автомобильного парка приводит к увеличению плотности и интенсивности потоков транспортных средств. Повышение динамических свойств автомобилей, увеличение в потоке количества легковых автомобилей, управляемых их владельцами, не имеющими достаточных навыков управления, способствуют значительному

увеличению аварийных ситуаций, приводящих к дорожно-транспортным происшествиям (ДТП).

Нередко ДТП становится причиной образования затора на проезжей части: участники ДТП в течение процедуры регистрации аварии могут занимать значительную часть дороги, тем самым снижая ее пропускную способность во много раз. Образование подобных заторов несет за собой ряд негативных последствий, в числе которых нарушение графика работы общественного транспорта, повышение уровня шума на прилегающих к проезжей части территориях, нанесение экологического вреда из-за повышения выброса выхлопных газов и т.д.

В настоящее время ДТП принято классифицировать по ряду характеристик, например, по виду (столкновение, опрокидывание, наезд на препятствие и т.п.), по тяжести последствий, характеру (механизму), месту возникновения и т.д. Также аварии принято разделять на ДТП с пострадавшими и без пострадавших – с причинением материального ущерба. ДТП, в которых пострадали или погибли люди, находятся на особом контроле в ГИБДД и расследуются каждое в отдельности, причем часто на месте собирается и анализируется довольно большой объем информации, в то время как ДТП с причинением материального ущерба регистрируются лишь для отчетности и для предоставления документов страховым компаниям.

По данным Управления ГИБДД по Липецкой Области, ежегодно в Липецке происходит более 1000 ДТП с пострадавшими и порядка 19 000 ДТП без пострадавших. Также исследования показали, что в 84% случаев места концентрации ДТП с пострадавшими и без пострадавших совпадают [1]. Хотя количество ДТП с причинением материального ущерба в разы превосходит ДТП с пострадавшими и в большинстве случаев места концентрации аварий с пострадавшими и без таковых совпадают, на сегодняшний день информация о ДТП с причинением материального ущерба практически не используется для принятия мер по профилактике и предотвращению аварийности. Рассмотрение каждого конкретного случая ДТП будет отнимать слишком много времени и ресурсов, поэтому целесообразнее абстрагироваться от конкретного ДТП и исследовать массовые случаи аварий с причинением материального ущерба.

Для изучения большого количества случаев ДТП возможно выделение ряда общих характеристик (факторов), которые в совокупности давали бы более полную картину по аварийности на дорогах и её причинам. Такими факторами могут быть условия окружающей среды, относящиеся к улично-дорожной сети (УДС), при которых возникло ДТП, например, состояние освещения на дороге в момент аварии, погодные условия, виды ТС, участвовавших в ДТП и т.п. Информация в таком виде является жестко структурированной и исчисляемой, а следовательно, такую информацию можно обрабатывать математическими методами на предмет нахождения закономерностей и зависимостей между факторами окружающей среды и количеством ДТП, а впоследствии вырабатывать профилактические и упреждающие меры воздействия на выявленные негативные факторы. Также информацию, имеющую определенную структуру, удобно хранить в

электронном виде, нежели на бумажных носителях. Организация больших массивов информации в памяти ЭВМ в виде баз данных позволяет не только компактно и надежно хранить эти данные, но и производить автоматизацию операции по обработке данных. Для ускорения регистрации механического ДТП и передачи этой информации также возможна автоматизация данного процесса с применением прикладного программного обеспечения. При необходимости всю информацию, касающуюся определенного ДТП, можно в любой момент вывести на бумажный носитель. Автоматизация вышеописанных процессов также позволит избавиться от «человеческого фактора» при вводе и обработке информации.

Использование вычислительной техники и информационных технологий позволит не только эффективнее хранить информацию и формировать статистику по механическим ДТП, но и применять математические модели для анализа данных и прогнозирования аварийности, выявления пиковых значений, очагов аварийности, факторов, наиболее значимо влияющих на возникновение ДТП. В частности, могут применяться методы корреляционно-регрессионного анализа, имитационного моделирования, факторного анализа, технология OLAP.

Для лучшего восприятия данных предполагается их представление не только в виде сводных таблиц, но также с помощью графиков, диаграмм и т.п. Указание адреса ДТП в характеристиках аварии позволит использовать геоинформационные системы для наглядного представления данных на географической карте. С помощью процедуры геокодирования будет возможна локализация как отдельных ДТП, так и целых очагов аварийности визуально, что намного упростит анализ данных и принятие соответствующего управляющего решения.

Таким образом, очерчиваются границы комплексной системы учета и анализа ДТП с причинением материального ущерба, использующей современные информационные технологии для решения поставленных перед ней задач. Эта система состоит из подсистем (модулей) ввода и передачи информации, централизованного хранения, вывода итоговой (статистической) информации, обработки информации, геолокации. Модульность построения этой системы позволит по мере необходимости наделять ее дополнительными функциями.

Стоит также отметить, что перспективы использования данной системы не ограничиваются только лишь подразделениями ГИБДД МВД – информация об аварийности, обработанная в том или ином виде, будет интересна широкому кругу пользователей автомобильных дорог: организациям, занимающимся ремонтом и обслуживанием автомобильных дорог; организациям, осуществляющим фото-видеофиксацию нарушений скоростного режима; автомобильным перевозчикам; частным автомобилистам; пешеходам (рис. 1).

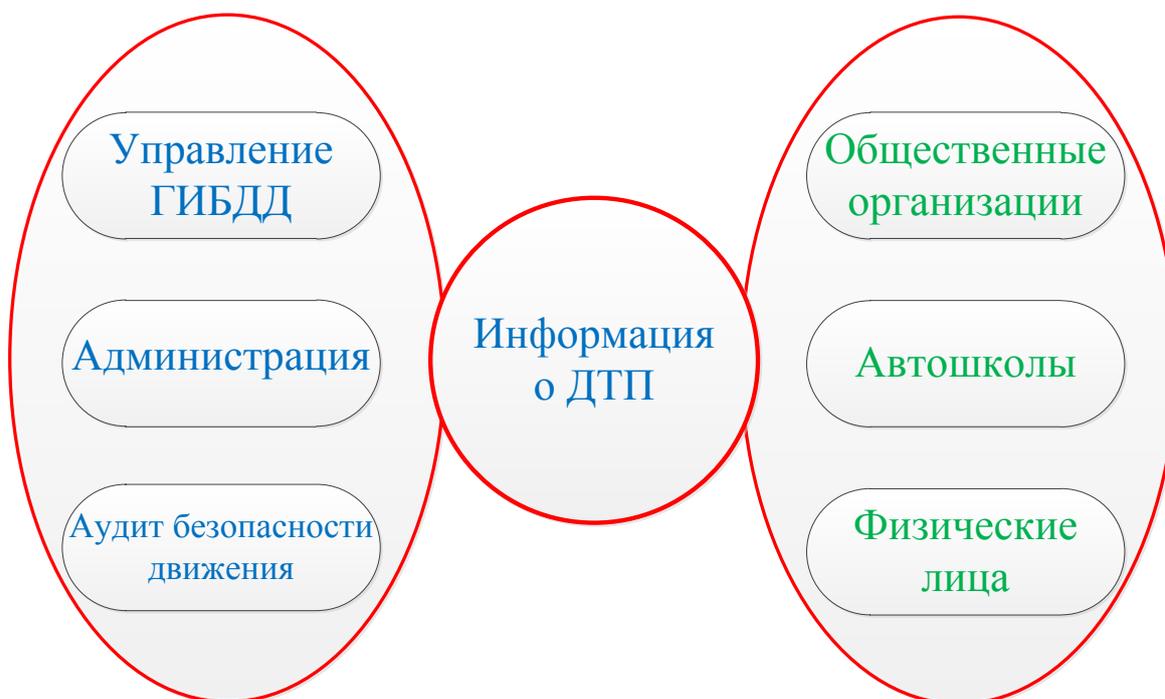


Рис. 1. Использование информации о ДТП

#### Список литературы

1. Клявин, В.Э.. Информатизация как средство снижения аварийности RS-10: итоги реализации первых этапов международного проекта, проблемы и пути их решения / В.Э. Клявин, В.А. Корчагин, А.В. Панасович, В.В. Двуреченский // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – 26-27 июля 2012 г. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2012. 122 с.
2. Кузьмин, О.Н. Анализ аварийности в управлениях (отделах) Госавтоинспекции МВД, ГУ МВД, УМВД России по субъектам Российской Федерации / О.Н. Кузьмин, С.Г. Бородина // М.: ФКУ НИЦ БДД МВД России, 2012. 48 с.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ГРУЗОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ С АНАЛОГАМИ КОНКУРЕНТОВ

Л.Р. Мамин

*Набережночелнинский институт Казанского  
(Приволжского) федерального университета*

**Аннотация:** в настоящей статье рассмотрены методики оценки потребительских свойств грузовых автомобилей и методы оценки качества автомобильной техники. Выявлены их основные недостатки. Предложена программа-методика оценки потребительских свойств грузовых автомобилей с использованием программного продукта реализованного в среде Microsoft Excel.

**Ключевые слова:** экономическая эффективность, потребительские свойства, качество, автомобиль, методика, транспорт, конкурентоспособность, весовые коэффициенты, эксплуатационная эффективность.

# COMPARATIVE ESTIMATION OF TRUCKS APPLICATION PROPERTIES WITH THOSE OF COMPETITORS EQUIVALENTS

L.R. Mamin

*Institute of Kazan (Volga Region) Federal University in Naberezhnye Chelny*

**Abstract:** The article considers the evaluation procedure for truck application properties and the methods for automobile quality assessment. The main disadvantages are revealed. The methodology program for truck application properties evaluation using the software solution implemented in the Microsoft Excel environment is proposed.

**Key words:** *economic efficiency, application properties, quality, vehicle, methodology, transport, competitiveness, weighting coefficients, operational efficiency.*

В настоящее время мировой автопарк составляет порядка 900 млн. единиц и приблизительно на 30% состоит из грузовых автомобилей, а на 70% – из легковых и автобусов. Каждый год в мире производится 40-45 млн. автомобилей, причем порядка 25 млн. заменяют выводимые из эксплуатации транспортные средства, а 20 млн. составляют ежегодный прирост мирового автопарка [3].

Параллельно количеству автомобилей непрерывно растут и требования к транспортным средствам. С одной стороны, действуют все более жесткие нормативные требования, оговаривающие безопасность транспортного средства к окружающей среде и к другим участникам дорожного движения. С другой стороны, растущая конкуренция стимулирует рост потребительских характеристик: цена, ремонтпригодность, эксплуатационные расходы, гарантийные условия, комфорт и т.д.

В современных условиях потребитель выбирает только тот товар, который наиболее полно удовлетворяет его требованиям. Поэтому необходимо иметь точный и удобный инструмент для оценки экономической эффективности и качества изделий не только на этапе их эксплуатации, но и на этапе разработки. К таким изделиям относится автомобильная техника.

Для оценки экономической эффективности и качества автомобильной техники предлагались различные решения. Они разрабатывались на уровне как отраслевой науки, так и академической.

Ранее в [2] рассмотрены прикладная программа «Авто-инвест» [1] и методика, предложенная ФГУП «НАМИ», позволяющие оценить экономическую эффективность и качество автомобильной техники, и приведены основные недостатки, которые заключались в следующем:

- отсутствует учет расхода горюче-смазочных материалов (ГСМ) современных автомобилей, оборудованных двигателями экологического уровня Евро-4 и Евро-5, системой SCR (Selective Catalyst Reduction), у которых наряду с затратами на ГСМ необходимо учитывать затраты на жидкость (Adblue) для обработки отработавших газов;

- требует уточнения методика расчета страхования – обязательного страхования автогражданской ответственности (ОСАГО) и транспортного налога;

- необходима доработка методики расчета затрат на выполнение транспортной работы автомобилями;

- применение метода «профилей», основной недостаток которого заключается в том, что он не учитывает весомость единичных показателей качества, т.е. все характеристики принимаются равноценными с точки зрения потребителя.

Для устранения приведенных выше недостатков в [2] предложена методика оценки потребительских свойств грузовых автомобилей, реализованная в виде программы в среде MS Excel, а именно:

1. Разработана матрица весовых коэффициентов по семействам грузовых автомобилей.

2. Сформирован единый лист по вводу исходных данных.

3. Уточнена методика расчета ГСМ для двигателей стандарта Евро-4 и Евро-5, оборудованных системой селективной каталитической нейтрализации (SCR).

4. Уточнена методика расчета страхования ОСАГО и транспортного налога и обновлены тарифные ставки.

5. Уточнена методика расчета затрат на выполнение транспортной работы автомобилями.

Разработанная методика базируется на экспериментальных (применительно к автомобилям КАМАЗ) и экспертных данных и является результатом учета положительных моментов вышеперечисленных методик, их адаптации с целью наиболее полного расчета эксплуатационной эффективности и определения уровня качества автомобиля.

Применение этой методики на практике показало, что, с одной стороны, большое количество параметров, по которым оценивается качество автомобилей, позволяет всецело рассмотреть сравниваемые автомобили, а с другой – усложняет и увеличивает время на подготовку исходных данных. В основном это относится к «субъективным» составляющим, т.е. весовым коэффициентам.

С целью повышения объективности результатов оценки предложены следующие решения:

1. Оптимизированы (минимизированы) параметры по оценке качества автомобилей.

2. Разработана новая матрица весовых коэффициентов.

3. Уточнена методика расчета комплексного критерия потребительских свойств сравниваемых автомобилей.

Результаты проведенного анализа представлены на рисунке 1.

Из расчетов видно, что по коэффициенту качества из числа рассмотренных лидирующую позицию занимает автомобиль Volvo FM400 с двигателем экологического уровня ЕВРО-4 (коэффициент качества с учетом весов 0,7440).

На втором месте автомобиль MAN TGA 26.320 ЕВРО-4 (0,7361).

Третье место занимает автомобиль КамАЗ 65115 ЕВРО-4 (0,7005).

Четвертое и пятое место принадлежит автомобилям КамАЗ 65115 с двигателем экологического уровня ЕВРО-3 и DongFeng DFL3251A-375 ЕВРО-4 (коэффициент качества с учетом весов 0,6479 и 0,6252 соответственно).

Самым экономически эффективным является автомобиль КамАЗ 65115 ЕВРО-4 с групповым коэффициентом качества с учетом весов 0,0816, следом автомобили Volvo и MAN (соответственно 0,0809 и 0,0757). По размерным и силовым показателям, лидирующую позицию занимает автомобиль Volvo (соответственно 0,1088 и 0,1155).

В группе показателей надежности два лидера – автомобили MAN и Volvo (групповой коэффициент качества 1,068), следом автомобиль КамАЗ 65115 ЕВРО-4 (0,1138).

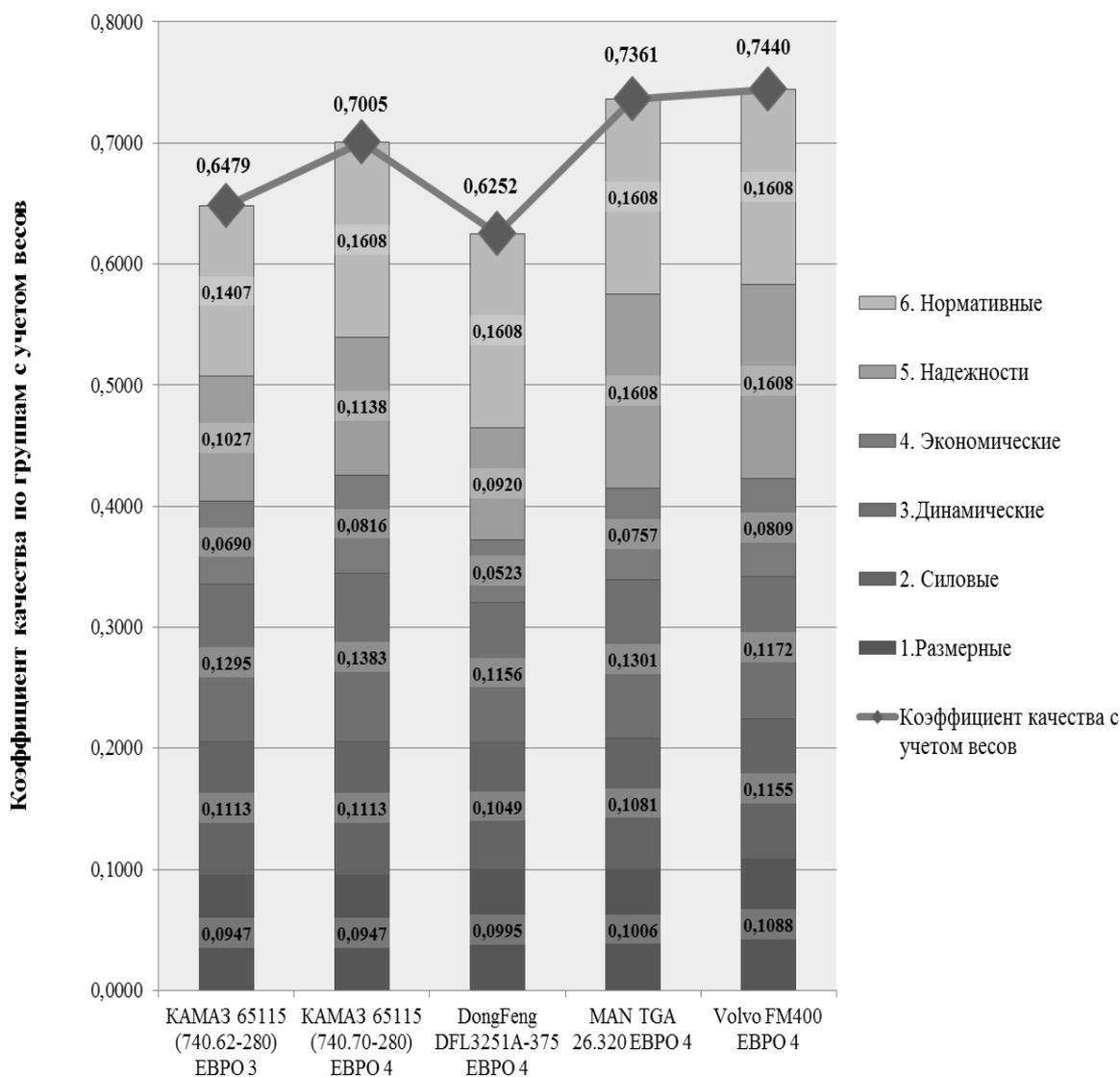


Рис. 1. График сравнительной оценки автомобилей

### Список литературы

1. Фасхиев, Х.А. Оценка экономической эффективности и выбор подвижного состава / Х.А. Фасхиев, Д.И. Нуретдинов, А.Г. Гарифов. Набережные Челны: Изд-во Камской государственной инженерно-экономической академии, 2006. 306 с.; Библиогр. С. 253-261.

2. Шибаков, В.Г. Оценка потребительских свойств грузовых автомобилей. / В.Г. Шибаков, Л.Р. Мамин // Материалы 77-й международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», Секция 11 «Конкурентоспособность и инновации в автотракторостроении». Камская государственная инженерно-экономическая академия, 2012. С. 181-189.

3. Журнал «Международные автомобильные перевозки» / Официальное издание Ассоциации международных автомобильных перевозчиков (АСМАП). Режим доступа: [http://www.map.asmap.ru/4\(68\)\\_06/toplivo.htm](http://www.map.asmap.ru/4(68)_06/toplivo.htm), свободный. Загл. с экрана. Яз. рус.

### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФРОНТАЛЬНОЙ НАВЕСКИ. ПОВОРОТ КУЛЬТИВАТОРА ГИДРОЦИЛИНДРАМИ**

С.Г. Песков, М.А. Столяров, А.Н. Площаднов

*Рубцовский индустриальный институт*

В Рубцовском индустриальном институте на кафедре "Наземные транспортные системы" силами ее сотрудников ведутся научные исследования над фронтальной навеской. В последнее время более детально уделяется внимание междурядной обработке почвы (подрезанию сорняков), результатом являются разработки различных конструкций навесных орудий с трактором.

**Ключевые слова:** *Управляемость, устойчивость, фронтальная навеска, культиватор.*

### **IMPROVEMENT OF FRONT LINKAGE. TURNING OF CULTIVATORS BY HYDRAULIC CYLINDERS**

S.G. Peskov, M.A. Stolyarov, A.N. Ploschadnov

*Rubtsovsk Industrial Institute*

**Abstract:** The Department of "Land transport systems" of Rubtsovsk Industrial Institute forces the research of the front linkage. In recent years more attention is paid to detail inter-row tillage (trimming weeds). The result is the development is design of various attachments to the tractor.

**Key words:** *controllability of tractor, stability, front linkage, cultivator.*

При возделывании сельскохозяйственных культур, имеющих важное значение для сельского хозяйства Алтайского края, требуется применение интенсивных технологий, для реализации которых применяют машинно-тракторные агрегаты, предназначенные для совмещения технологических операций. Существенного повышения производительности, снижения энергетических и экономических затрат можно достичь при использовании

комбинированных агрегатов (использование фронтальной и задней навесок).

Любой с/х культиватор для трактора можно отнести к одной из двух основных групп для сплошной обработки и для междурядной. Техника, входящая во вторую категорию, необходима для:

- нарезки гребней;
- боронования;
- обработки междурядий до всходов и после всходов пропашных культур;
- допосевной обработки почвы;
- обработки посевов одновременно с удобрением минеральными препаратами сыпучего и жидкого характера;
- подрезания сорняков;
- рыхления почвы.

Разнообразие сельхозтехники обусловлено количеством разноплановых работ, необходимых для выращивания культурных растений. Почва полей перед посевом и после него, а также после сбора урожая нуждается в нескольких видах обработки. Междурядная обработка – одна из них.

В Рубцовском индустриальном институте на кафедре "Наземные транспортные системы" силами ее сотрудников ведутся научные исследования над фронтальной навеской. В последнее время более детально уделяется внимание междурядной обработке почвы (подрезанию сорняков), результатом являются разработки различных конструкций навесных орудий с трактором.

Качественный навесной культиватор для междурядий дает возможность полностью разрушить поверхностную корку почвы и гарантирует удаление всех сорных растений. Он обеспечивает защиту всходов и не допускает их засыпания почвой.

Большое значение для пользователей данной техникой имеет возможность точного регулирования (устойчивого направления движения культиватора), т.е. прохождения при обработке междурядий с использованием фронтальной навески. При этом возникают определенные проблемы. Основная из них – отрицательное влияние на устойчивость и управляемость машинно-тракторного агрегата в процессе движения. Малые колебания, возникающие из-за неоднородности обрабатываемого грунта, с течением времени не уменьшаются, а, наоборот, увеличиваются, что, в конечном итоге, приводит к потере устойчивости движения всего машинно-тракторного агрегата.

Решение данной проблемы позволило бы значительно повысить эффективность использования в сельскохозяйственном производстве фронтально навесных машин и орудий.

При использовании для междурядной обработки трактора с фронтально навешенным культиватором появляется возможность установки чувствительных элементов системы автоматического направления движения в непосредственной близости от рабочих органов. Это позволит повысить точность копирования рядков рабочими органами, что в свою очередь, приведет к повышению эффективности применения подобных агрегатов за счет еще большего уменьшения ширины защитных зон и снижения количества подрезанных растений.

Чтобы устранить опасность отклонения рабочих органов, наиболее удаленных от центра поворота, при потере устойчивости и управляемости, особенно для широкозахватных орудий, нужно предусмотреть установку элементов, позволяющих повысить устойчивость движения и управляемость.

Не один год ведутся научные исследования в области фронтального агрегатирования, в результате чего были предложены различные соединения фронтально-навесного орудия с трактором.

В предложенной конструкции (рис. 1) фронтальной навески главную роль играют гидроцилиндры. Конструктивно предложенная схема представляет собой два гидроцилиндра и регулируемый элемент – винтовая пара, соединяющаяся с орудием. Амплитуда сельскохозяйственной машины может превышать допустимые значения по агротехническим требованиям, что в свою очередь может привести к подрезанию рядков растений, неравномерной обработке грунта (глубина обработки).

Экономический эффект достигается за счет более точного выполнения операций.

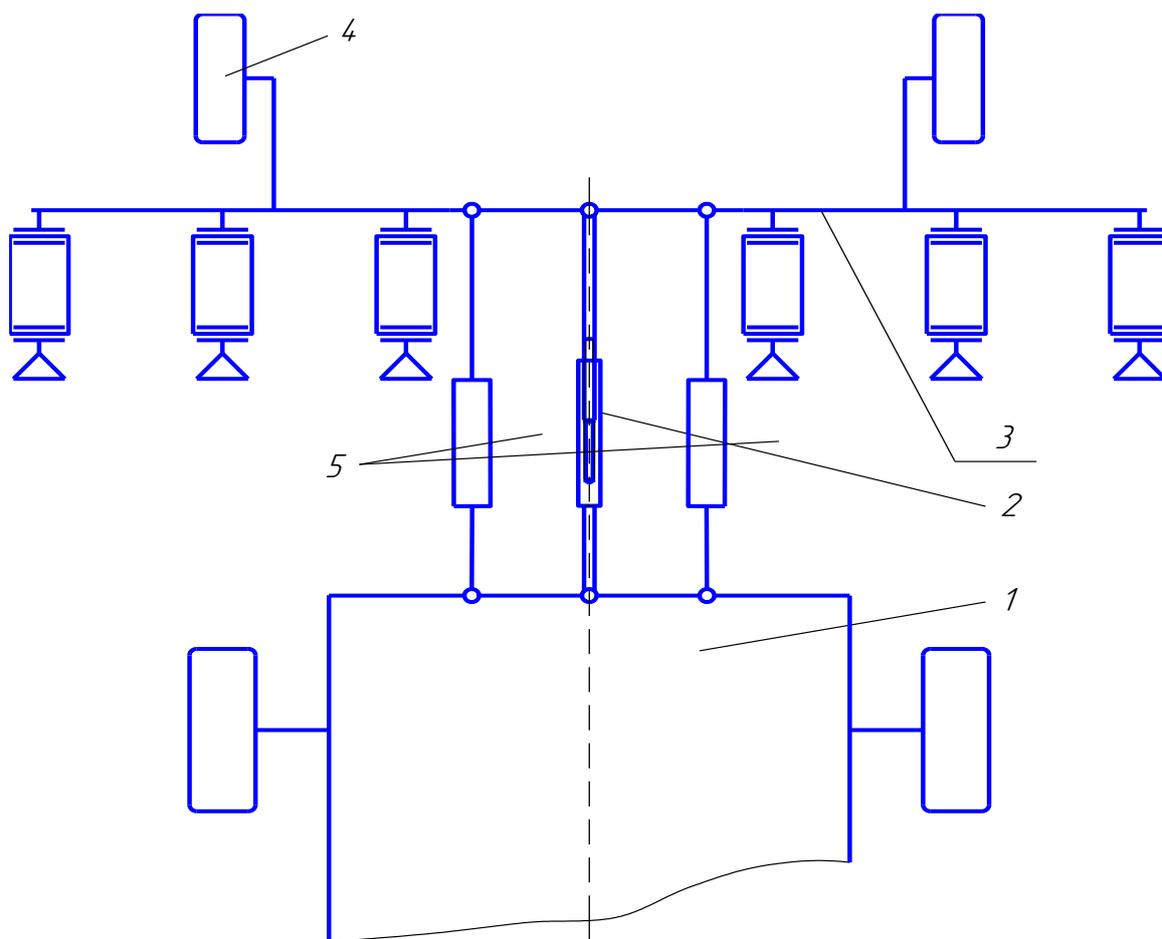


Рис. 1. Приспособление для фронтального навешивания сельхозмашин и орудий с гидроцилиндрами: 1 – трактор, 2 – винтовая пара (третья тяга навески), 3 – культиватор, 4 – опорное колесо, 5 – гидроцилиндры

## Список литературы

1. Андреев, А.Ф. Гидро- пневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашины и передачи / А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Боглан и др. – Минск: Высшая школа, 1987. 310 с.
2. Осипов, П.Е. Гидравлика, гидравлические машины и гидропривод: Уч. пособие. 3-е изд., перераб. и доп. / П.Е. Осипов. – М.: Лесная промышленность. 1981. – 424 с.
3. Пат. № 2169999 RU, 7 А 01 В 59/041. Фронтальная навеска трактора / Площаднов А.Н. и др. Опубл. 10.07.2001. Бюл. №19.

## **ПОМЕХИ COMMON MODE В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ ЭЛЕКТРОВОЗОВ**

М.Ю. Пустоветов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования «Ростовский государственный  
университет путей сообщения»*

**Аннотация:** Рассмотрен механизм формирования и вредное влияние помехи *common mode* в частотно-регулируемом электроприводе электровозов. Описана модель, позволяющая проводить рассмотрение этих электромагнитных явлений с целью выработки мер противодействия.

**Ключевые слова:** ток утечки, широтно-импульсная модуляция, асинхронный двигатель.

## **COMMON MODE INTERFERENCE IN VARIABLE FREQUENCY DRIVE ELECTRIC LOCOMOTIVES**

M. Yu. Pustovetov

*Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional  
Education «Rostov State Transport University»*

**Abstract:** The formation mechanism and the harmful effects of common mode interferences in VFD electric locomotives are shown. The author describes a model that enables consideration of electromagnetic phenomena in order to develop counteraction.

**Key words:** leakage current, pulse - width modulation, induction motor.

В настоящее время в качестве тягового и вспомогательного электропривода (ЭП) на электроподвижном составе всё большее распространение и развитие продолжает получать частотно-регулируемый ЭП (ЧРЭП) переменного тока на базе трёхфазных асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором, питаемый от трехфазных автономных инверторов напряжения (АИН). ЧРЭП демонстрирует сравнительно высокие показатели надёжности и энергоэффективности.

Проблемы электромагнитной совместимости тесно связаны как с энергоэффективностью ЭП, так и с его надёжностью и безопасностью. Использование в АИН импульсной технологии формирования напряжения на клеммах АД, т.е. широтно-импульсной модуляции (ШИМ) напряжения,

привело к принципиально иной по сравнению с питанием от источника синусоидального напряжения ситуации в отношении количественных уровней электромагнитных помех и токов утечки.

Несимметричные электромагнитные помехи (*common mode*) проявляются в виде разности потенциалов между жилами соединительного кабеля и заземлением; между нейтральной точкой, соединённой по схеме звезда обмотки двигателя и землёй; между нейтральной точкой фильтров на выходе инвертора, если их ёмкости соединены по схеме звезда, и землёй. Вообще несимметричная помеха возникает между прямыми и обратными проводами, с одной стороны, и проводом опорного потенциала, чаще всего объединённым с защитным заземлением [1]. Несимметричные помехи замыкаются по ёмкостям, включенным между проводами рабочего тока и защитным заземлением [1].

Известно, что потенциал несимметричной помехи относительно земли (*common mode voltage*) является векторной суммой потенциалов относительно земли на входных клеммах фазных обмоток статора двигателя, соединённых по схеме звезда, поделённой на три. Именно такое определение дано в [2] потенциалу нейтральной точки звезды нагрузки трёхфазного АИН  $\varphi_0$ . Известно, что этот потенциал составляют нечётные гармонические составляющие, порядок которых кратен трём: 3, 9, 15, 21, ... Эти гармонические составляющие относятся к нулевой последовательности, так как имеют одинаковый фазовый угол во всех фазах обмотки двигателя. Таким образом, токи, наводимые вследствие наличия *common mode voltage* и путей утечки на землю, будут токами нулевой последовательности. То есть суммарный ток утечки  $i_{cm}$  может быть определен как векторная сумма всех фазных токов, поделённая на три [3]. Токи утечки протекают через ёмкости между обмоткой статора и корпусом, статором и ротором, жилами кабеля, экраном и заземлением. На рис. 1 показаны опытные осциллограммы установившегося режима токов и напряжений АД типа НВА-55, входящего в состав вспомогательного ЭП магистрального электровоза переменного тока. Осциллограммы получены специалистами ОАО «ВЭЛНИИ» (г. Новочеркасск) на электровозе ЗЭС5К-153, оснащённом вспомогательным ЭП на базе трехфазного мостового АИН. На рис. 1 сверху – вниз изображены: токи фаз статора АД, линейные напряжения АД, сумма токов фаз статора АД – утроенный ток утечки (нижний график).

Вследствие наличия *common mode voltage* и тока утечки на ротор формируется напряжение вала *shaft voltage*  $u_{shaft}$ . По данным [4], *shaft voltage* составляет 1...10% от *common mode voltage*. Оно приводит к протеканию токов через подшипники на землю  $i_{br}$ . При этом происходит интенсивная электрокоррозия поверхностей катания подшипников, следствием чего будет их повреждение и разрушение. На рис. 2 приведена одна из простых схем для учёта путей протекания токов утечки в АД, возникающих из-за высокочастотной ШИМ напряжения АИН [5]. Элементы схемы пояснены в таблице.

Элементы схемы (рис. 2) для учёта путей протекания токов утечки

| Наименование параметра   | Обозначение        |
|--|--------------------|
| Ёмкость между обмоткой статора (пазовой её частью) и корпусом машины (через изоляцию между медью и железом статора через многослойную изоляцию на дне и стенках пазов) | $C_{wf}$           |
| Ёмкость между обмоткой статора (пазовой её частью) и ротором (через многослойную изоляцию, клин и воздушный зазор)   | $C_{wr}$           |
| Наименование параметра   | Обозначение        |
| Ёмкость между ротором и статором (через воздушный зазор)   | $C_{rf}$           |
| Ёмкость между лобовыми частями обмотки статора и корпусом машины через изоляцию и воздух   | $C_{ewf}$          |
| Ёмкости подшипников, удерживающих вал машины   | $C_{b1}, C_{b2}$   |
| Активные сопротивления подшипников, удерживающих вал машины  | $R_{br1}, R_{br2}$ |

На рис. 3 и 4 показаны полученные с помощью компьютерной модели на базе схемы рис. 2 [5] графики напряжения и тока для тягового АД типа ДТА-350 М промышленного электровоза постоянного тока НПМ 2. Графики получены в предположении, что подшипники АД электрически не изолированы от вала. Моделирование показывает вполне осязаемые величины токов через подшипники.

Во избежание этого вредного явления на всех отечественных электровозах используются тяговые АД, в которых оба подшипника электрически изолированы от вала. В АД вспомогательных ЭП в настоящее время применяются, как правило, неизолированные подшипники.

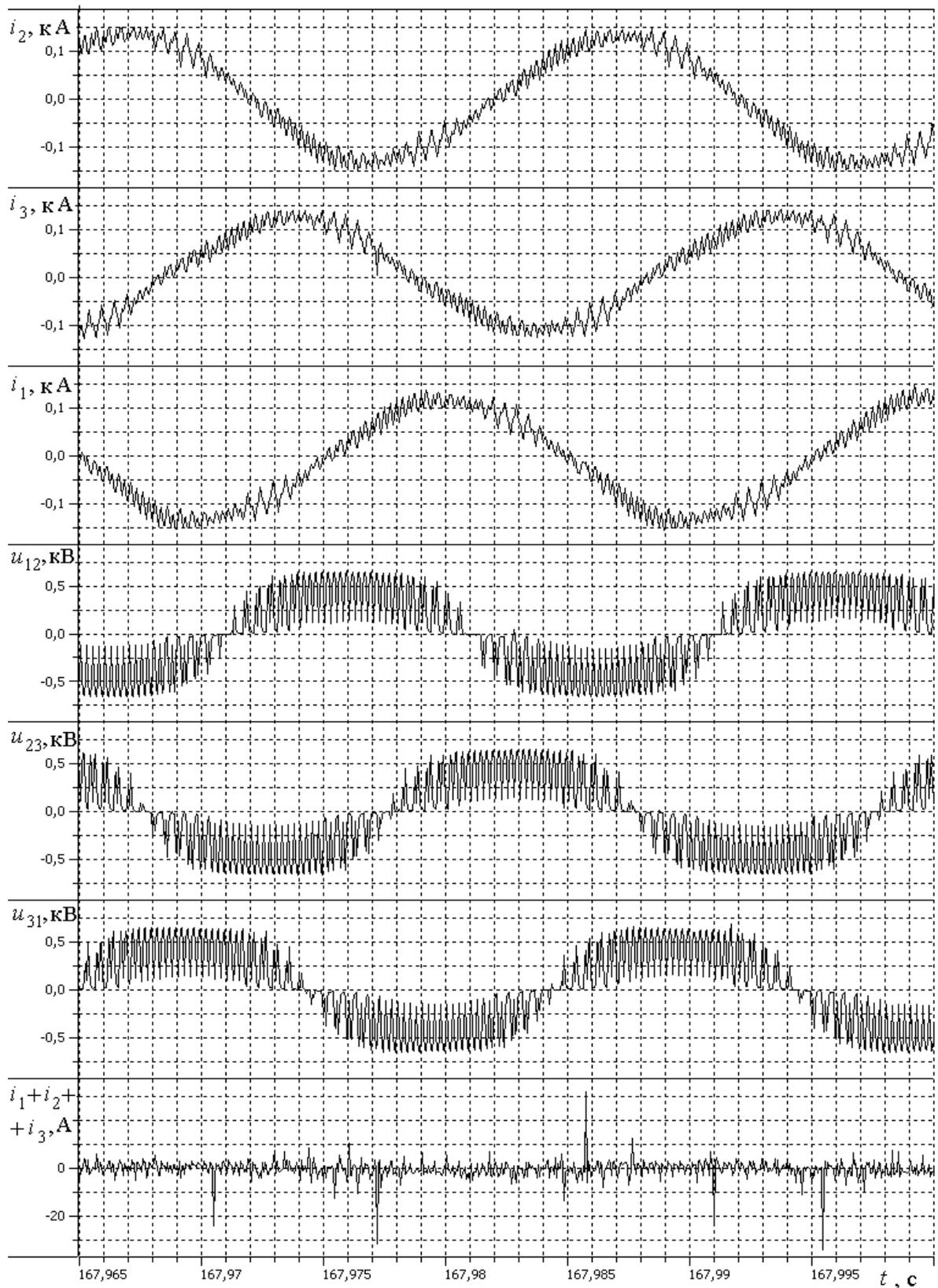


Рис. 1. Экспериментальные осциллограммы токов и напряжений вспомогательного АД типа НВА-55 электровоза ЗЭС5К-153, питаемого от трехфазного АИН

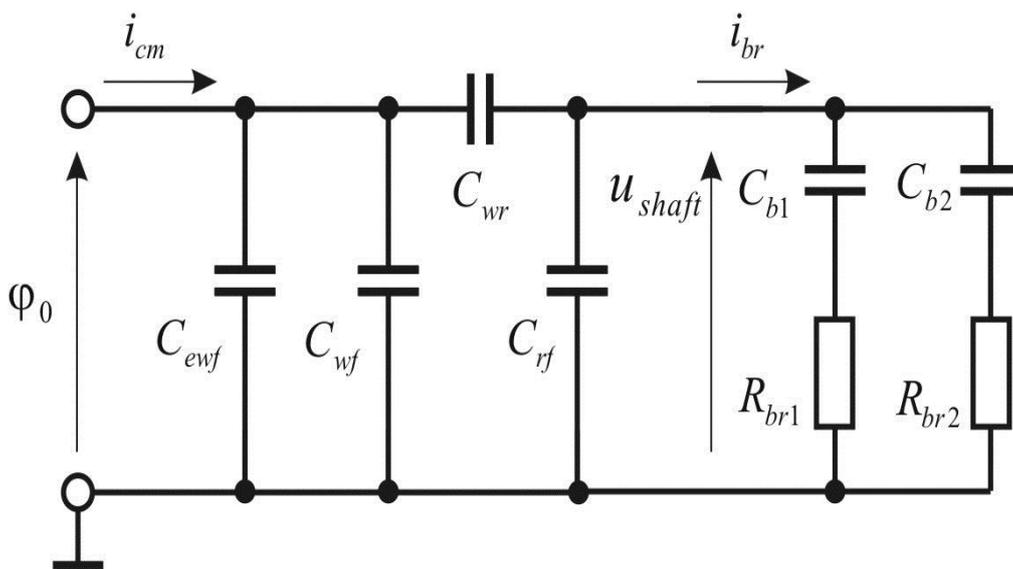


Рис. 2. Схема для моделирования путей протекания суммарного тока утечки  $i_{cm}$  и тока через подшипники  $i_{br}$  в АД

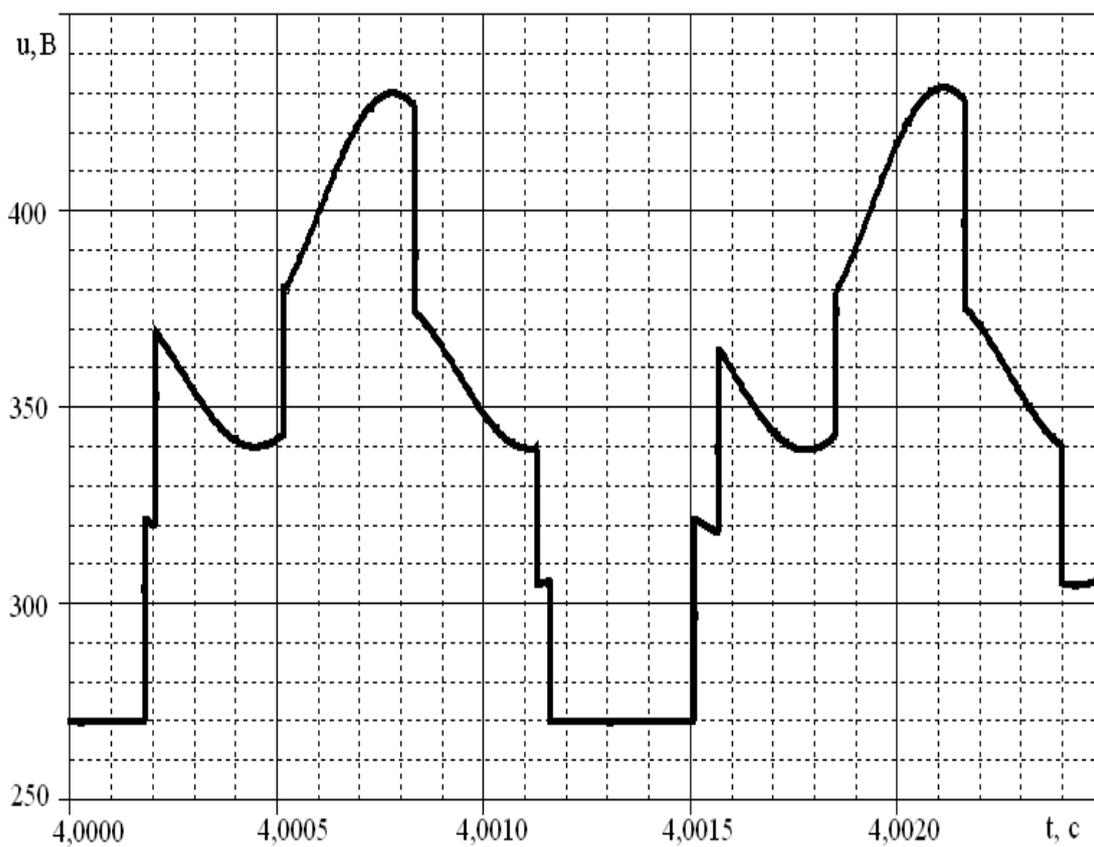


Рис. 3. Результаты моделирования  $u_{shaft}$  (если подшипники не изолированы)

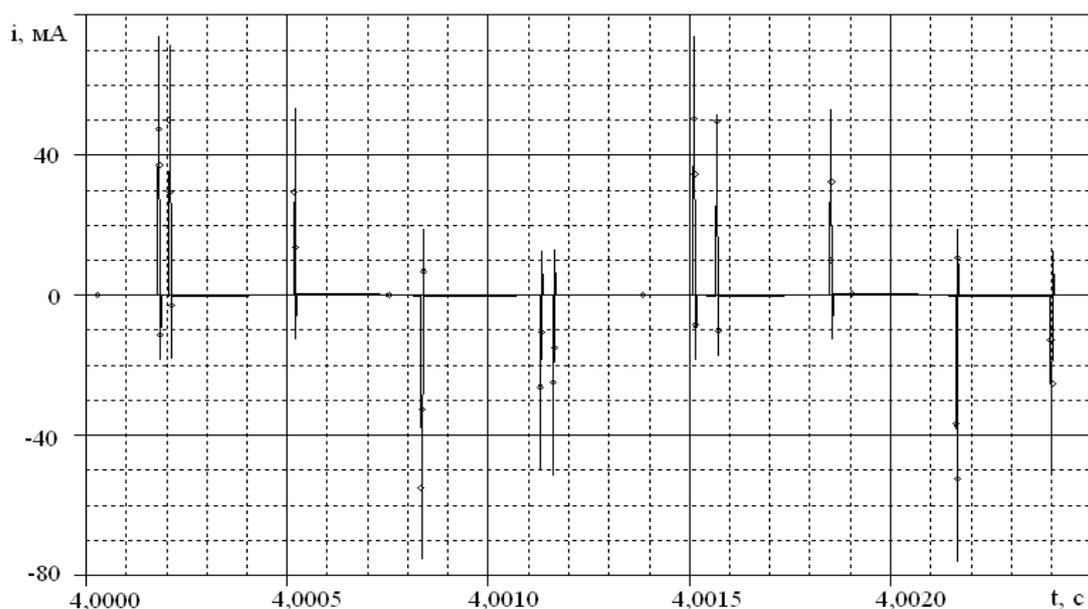


Рис. 4. Результаты моделирования тока через один подшипник (если подшипники не изолированы)

#### Выводы

Имеет смысл проведение исследований по выбору оптимального технического решения для защиты АД вспомогательного ЧРЭП современных и перспективных локомотивов от негативного влияния помех *common mode*.

При выборе изоляции подшипников тягового АД следует принимать во внимание значительную величину напряжения вала.

#### Список литературы

1. Шваб, Адольф. Электромагнитная совместимость: Пер. с нем. В.Д. Мазина и С.А. Спектора. 2-е изд., перераб. и доп. / Адольф Шваб; Под ред. Кужекина. М.: Энергоатомиздат, 1998. 480 с.
2. Ротанов, Н.А. Электроподвижной состав с асинхронными тяговыми двигателями / Н.А. Ротанов, А.С. Курбасов, Ю.Г. Быков, В.В. Литовченко. – М.: Транспорт, 1991. – 336 с.
3. Grandi, G. Common- and Differential-Mode HF Current Components in AC Motors Supplied by Voltage Source Inverters / G. Grandi, D. Casadei, U. Reggiani // IEEE Transactions on Power Electronics, Vol. 19, No.1, January/February 2004. Pp. 16-24.
4. Muetze, A. Application of Static Charge Dissipation to Mitigate Electric Discharge Bearing Currents / A. Muetze, H. William Oh // IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 44, No.1, January/February 2008. Pp. 135-143.
5. Пустоветов, М.Ю. Теоретическое исследование потенциала нейтральной точки нагрузки и токов утечки в тяговом асинхронном электроприводе электровоза постоянного тока / М.Ю. Пустоветов // Известия Транссиба. 2012. №4 (12). С. 116-122.

## ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СЛОЖНО НАГРУЖЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Т.І. Рыбак, П.В. Попович, В.И. Мышь, И.М. Бортник  
*Тернопольский национальный технический университет  
имени Ивана Пулюя*

**Аннотация:** В статье рассматриваются проблемы проектирования несущих систем мобильных сельскохозяйственных машин на современном уровне.

**Ключевые слова:** Несущая способность, прокатный профиль, надежность, ресурс, выносливость, разрушения.

## BEARING CAPACITY EVALUATION OF COMPLEX LOADING METAL CONSTRUCTIONS

T. Rybak, P. Popovich, V. Myts, I. Bortnyk  
*Ternopil Ivan Puluj National Technical University*

**Abstract:** This article discusses the design of bearing systems of mobile agricultural machinery at the present level.

**Key words:** bearing capacity, rolled sections, reliability, resource, endurance, destruction.

Несущие системы сельскохозяйственных машин составляют 12-48% массы и определяют их долговечность в целом. Изготовление рам осуществляется путем сварки их составляющих узлов. Основные виды узлов в сварных рамах – это соединение прокатных профилей, расположенных в разных комбинациях: с соединением через дополнительные элементы (накладки, косынки и т.п.) и с непосредственным соединением. В процессе работы сварных узлов рам сельскохозяйственных машин наименьшую долговечность имеют сварные соединения. Основной причиной разрушения является резкий перепад жесткости при переходе от одного элемента узла к другому, большое скопление сварных швов, дефекты сварных узлов. Расчеты сварных рам сельскохозяйственных машин базируются на традиционном исчислении прочности по допустимым напряжениям. При таких расчетах фонда прочности по допустимым напряжениям непонятно действительное состояние ресурса работы и причины разрушения основных несущих базовых узлов сельскохозяйственных машин. К тому же величины запасов прочности задаются с избыточным запасом без учета исчерпывающих возможностей несущей способности конструкций. При наличии в элементах конструкций начальных дефектов при действии переменных нагрузок напряжения разрушения будут ниже предела текучести в 1,5-4 раза [1,2].

Проблема проектирования несущих систем мобильных сельскохозяйственных машин на современном уровне связана с оптимизацией их элементов по материалоемкости, геометрией построения основных принципиальных схем и прогнозированием ресурса работы данных сборочных единиц. Ощутимый эффект достигается путем решения проблем аналитически-поискового и экспериментально-исследовательского характера:

- разработка алгоритма напряженно-деформированного состояния конструкций в динамической постановке задачи с соответствующим программным обеспечением и получение на этой основе вероятных числовых значений искомых параметров;

- определение реальной нагруженности рассматриваемого объекта, путем проведения фундаментальных экспериментальных исследований в натуральных условиях эксплуатации машин на наиболее характерных рельефах зонах;

- выработка критериев оценки прочности с позиции трещиностойкости при мало- и многоцикловом усталостном разрушении.

Прогнозирование надежности и ресурса работы металлоконструкций сварных рам на стадии проектирования машин требует проведения системы целевых экспериментов, предусматривающих решение следующих основных задач: создание модели напряженно-деформированного состояния конструкции; прогноз надежности конструкции. Эффективность решения этих задач в значительной степени определяется объектом и достоверностью экспериментальных данных, потому, учитывая, что исследования напряженно-деформированного состояния и нагрузок осуществляются, как правило, одновременно, необходимо соблюдать общие требования к объекту исследования и условиям его эксплуатации. Основой для создания моделей напряженно-деформированного состояния конструкций являются натурные и полунатурные эксперименты на образцах, вырезанных из реальных элементов машин. Требования к методике проведения полунатурных исследований включают обоснованный и правильный выбор схемы нагрузки и режима исследований. Они должны обеспечить отображение характера и вида разрушения типичных для конкретного элемента конструкции, соответствующие эксплуатационным разрушениям. При этом не всегда воспроизводят полностью весь эксплуатационный характер нагрузки, поскольку исследуемый объект всегда может быть аналогично разрушен и без полного воспроизведения эксплуатационной нагруженности, т.е. при имитации его нагруженности. Это позволяет гораздо проще осуществлять выбор схемы нагрузки, более широко использовать универсальное исследовательское оборудование.

При выборе параметров режима циклического нагружения натуральных деталей или элементов конструкций необходимо соблюдать соответствующие принципы и учитывать следующие особенности:

1) эксплуатационный характер разрушения при лабораторных исследованиях может быть обнаружен при соответствующем выборе схемы нагрузки, причем важное значение имеет режим нагрузки по величине и частоте их приложения; изменение нагруженности приводит к изменению механизма разрушения;

2) чем выше значение перегрузки по отношению к границе выносливости материала, тем меньше эффективный коэффициент концентрации напряжений, что может дать ложное представление о фактическом действии того или иного концентратора напряжений в случае работы детали на протяжении длительного времени;

3) коррозионный эффект с повышением частоты исследований и уровня приложенных нагрузок повышается и увеличивается вместе с увеличением базы.

Благодаря данным исследованиям имеем возможность с максимальной вероятностью и точностью определить фактическую прочность и установить ресурс критических элементов основных несущих конструкций сельскохозяйственных машин. Это обусловлено тем, что натурные узлы в большинстве случаев отличаются незначительно от малогабаритных образцов, изготовленных или непосредственно вырезанных из того же профиля; характер эпюр остается без изменений. Не меняется и градиент механических свойств по сечению в связи с такой же технологией изготовления образцов [2].

Аналогично, как и в натуральных конструкциях (вырезанных или изготовленных) выносливость малогабаритных образцов в значительной степени зависит от одновременного действия следующих факторов: напряженного состояния, вызванного условиями нагрузки, неравномерности распределения и концентрации напряжений, влияния абсолютных размеров, состояния поверхностного слоя и действия остаточных напряжений, влияния эксплуатационных условий. При разработке теоретических основ устранения "лишних" связей основных несущих конструктивных структур весьма эффективным оказался метод, основанный на принципе минимума потенциальной энергии деформации [2]. Особый эффект получен при модификации этого метода с учетом только энергии деформации от депланации элементов открытого профиля и разработке на этой основе комбинированного метода. Для учета динамических нагрузок при эксплуатации проводится их экспериментальное определение. Соответствующие компоненты динамических нагрузок и ускорений регистрируются в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным. Для определения динамических нагрузок, возникающих в реальных условиях эксплуатации машин, созданы стандартные и натуральные образцы, а также устройства для их испытаний на универсальном оборудовании. Это позволяет составлять программы испытаний для определения динамических показателей в наиболее характерных условиях эксплуатации, особенно мобильных сельскохозяйственных машин и свеклоуборочных комплексов в частности. Кроме этого, проводятся испытания на циклическую трещиностойкость конструкционных материалов и натуральных образцов, изготовленных в соответствии с реальной конструкцией. Методика экспериментальных исследований реализуется по большей части установлением специальных динамометров [3] под опоры основных масс на раму, ось ходовой части, несущий каркас той или иной машины или агрегата. Регистрация случайных величин проводится непосредственным введением числовых данных в память компьютера, с последующей статистической обработкой и систематизацией. Определение трехкомпонентных динамических характеристик проводится в соответствии с размещением динамометров на машинах. Исследования динамической нагруженности проводятся по схеме в соответствии с режимом выполнения технологического процесса машинно-тракторным агрегатом. Определение фактических напряжений в отдельных

сечениях и установление адекватности с аналитическими значениями проводятся в соответствии с известными методиками [4,5].

Анализ напряженного состояния рам сельскохозяйственных машин позволяет найти элементы, наиболее опасные с точки зрения трещиностойкости (например, сечение, в которых высокий уровень нагруженности объединяется с концентрацией напряжений). На следующих этапах расчета целесообразно провести аналитическое исследование напряженно деформированного состояния рамы с трещиной в выделенном элементе рамы и экспериментальное определение основных характеристик циклической трещиностойкости для данного.

Процесс развития трещины описывается дифференциальными уравнениями. Интегрирование этих уравнений позволяет получить решение поставленной задачи – построить зависимость долговечности рамы от начального размера дефекта. Также определяются размеры допустимых дефектов конструкции за расчетный период ее эксплуатации. Для разработки методики оценки несущей способности и остаточной долговечности мобильных сельскохозяйственных машин, по механизмам нагруженности несущих элементов и узлов, формируются классы несущих узлов. Для каждого из классов строятся расчетные модели на основе первого закона термодинамики: составляется баланс энергии и изменения скорости энергии для конструкции сельскохозяйственных машин, после вычисляется скорость разрушения и прогнозируется ресурс работы.

#### Список литературы

1. РТМ 23.2.75. – 82. Руководящий технический материал. Рамы сварные сельскохозяйственных машин. Конструкторско-технологическое проектирование. Введ. 01.01.82 – М.: ВИСХОМ, 1982. – 111 с.
2. Рибак, Т.І. Пошукове конструювання на базі оптимізації ресурсу мобільних сільськогосподарських машин / Т.І. Рибак. – ВАТ. ”ТВПК “ЗБРУЧ”, 2003. 332 с.
3. Рибак, Т.І. "Динамометр" АС N887950 / Т.І. Рибак та інші. М. 1980.
4. Дарчук, А.И. Усталостное разрушение и долговечность конструкций / А.И. Дарчук и др. – К.: Наукова думка, 1992. 184 с.
5. Рибак, Т.І. Випадкові величини (явища) та їх систематизація в аналітичних та експериментальних досліджень. Методичний посібник / Т.І. Рибак та інші. Тернопіль-Львів, 1998. 52 с.

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ФРОНТАЛЬНОЙ НАВЕСКИ.  
УПРАВЛЕНИЕ ОПОРНЫМИ КОЛЕСАМИ  
ПРИ ПОМОЩИ ЭЛЕКТРОМОТОРОВ**

М.А. Столяров, С.Г. Песков, А.Н. Площаднов  
*Рубцовский индустриальный институт*

В Рубцовском индустриальном институте на кафедры "Наземные транспортные системы" силами ее сотрудников ведутся научные исследования над фронтальной навеской. В последнее время более детально уделяется внимание междурядной обработки почвы (подрезанию сорняков), результатом являются разработки различных конструкций навесных орудий с трактором.

**Ключевые слова:** *Управляемость, устойчивость, фронтальная навеска, культиватор.*

**MODERNIZATION OF FRONT LINKAGE.  
CONTROL OF REFERENCE WHEELS  
BY MEANS OF ELECTRIC MOTORS**

M.A. Stolyarov, S.G. Peskov, A.N. Ploschadnov  
*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The Department of "Land transport systems" of Rubtsovsk Industrial Institute forces the research of the front linkage. In recent years more attention is paid to detail inter-row tillage (trimming weeds). The result is the development is design of various attachments to the tractor.

**Key words:** *controllability of tractor, stability, front linkage, cultivator.*

При возделывании сельскохозяйственных культур, имеющих важное значение для сельского хозяйства Алтайского края, требуется применение интенсивных технологий, для реализации которых применяют машинно-тракторные агрегаты, предназначенные для совмещения технологических операций. Существенного повышения производительности, снижения энергетических и экономических затрат можно достичь при использовании комбинированных агрегатов (использование фронтальной и задней навесок).

Кроме того, использование агрегатов с фронтальной навеской позволяет за счет совмещения операций уменьшить количество проходов по полю, что повышает урожайность за счет снижения уплотнения плодородного слоя, а также уменьшить расход топлива до 30% и материально – технические затраты, связанные с обслуживанием МТА.

Однако при использовании фронтальной навески возникают определенные проблемы. Основная из них – отрицательное влияние на устойчивость и управляемость машинно-тракторного агрегата в процессе движения. Малые колебания, возникающие из-за неоднородности обрабатываемого грунта, с течением времени не уменьшаются, а, наоборот, увеличиваются, что, в конечном итоге, приводит к потере устойчивости движения всего машинно-тракторного агрегата.

Решение данной проблемы позволило бы значительно повысить эффективность использования в сельскохозяйственном производстве фронтально навесных машин и орудий.

В Рубцовском индустриальном институте сотрудниками кафедры "Наземные транспортные системы" на протяжении ряда лет ведутся научные исследования в области фронтального агрегатирования, в результате чего были предложены различные соединения фронтально- навесного орудия с трактором.

Электропривод с точки зрения компоновки был бы наиболее рациональным вариантом, но является непростой конструкторской задачей. На рисунке (рис. 1) представлена предлагаемая фронтальная навеска трактора.

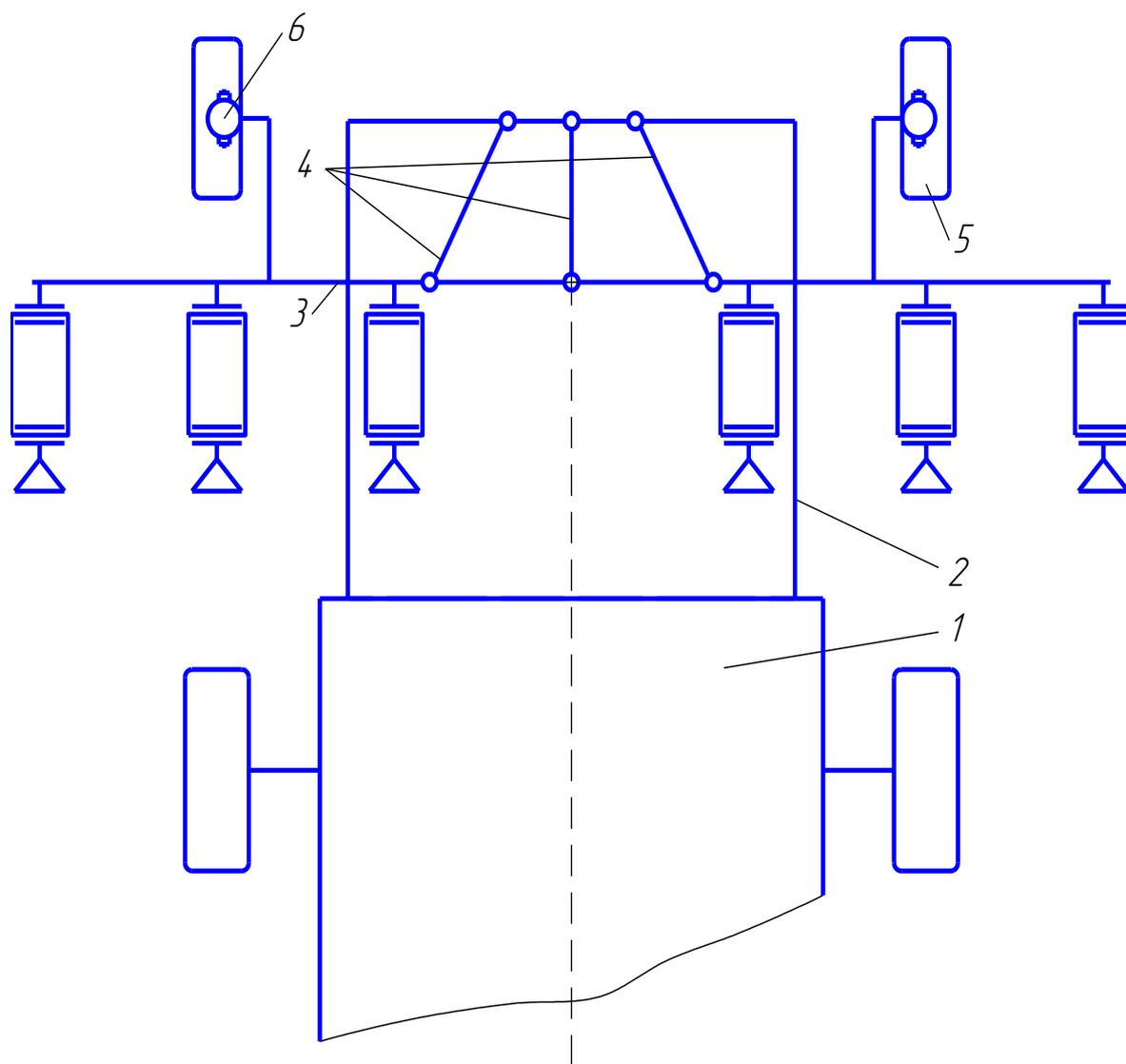


Рис. 1. Фронтальное навешивание с/з машин и орудий с применением электродвигателей для привода опорных колес:  
1 – трактор, 2 – рама приспособления, 3 – культиватор,  
4 – тяги навески, 5 – опорные колеса, 6 – электродвигатель

Экономический эффект достигается за счет повышения качества обработки почвы, а также уменьшения трудоемкости за счет возможности автоматизации процесса создания разности крутящих моментов на опорных колесах орудия, что создаст дополнительный поворачивающий момент, способствующий улучшению управляемости МТА, кроме того, направленные в сторону движения агрегата касательной силы тяги на опорных колесах, сосредоточенные перед трактором, будут положительно влиять на устойчивость движения агрегата.

#### Список литературы

1. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. / Г.Г. Соколовский. – М.: Академия, 2008. – 272 с.
2. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов./ В.М. Терехов, О.И. Осипов; под ред. В.М. Терехова. – М.: Академия, 2008. – 304 с.
3. Пат. №2169999 RU, 7 А 01 В 59/041. Фронтальная навеска трактора / Площаднов А.Н. и др. Опубл. 10.07.2001. Бюл. №19.

УДК 629.113.073

### **ОЦЕНОЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОФИЛЬНОЙ ПРОХОДИМОСТИ ПОЛНОПРИВОДНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

С.М. Трегубов, А.В. Острецов

*Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)*

#### **Аннотация**

В докладе приведены оценочные параметры и результаты определения показателей профильной проходимости полноприводного автомобиля типа 4x4 КамАЗ-4350 с использованием расчетных и экспериментальных методов.

**Ключевые слова:** *полноприводный автомобиль, профильная проходимость, нагрузка на ось, продольный радиус проходимости, углы свесов, дорожный просвет, косогор эскарп, ров.*

### **ESTIMATED PARAMETERS OF PROFILE PASSABILITY OF ALL-WHEEL DRIVE CARS**

S.M. Tregubov, A.V. Ostretsov

*Moscow state machine-building university (MAMI)*

#### **Summery**

Estimated parameters and results of definition of indicators of profile passability of the all-wheel drive car of the KAMAZ-4350 4x4 type with use of calculation and experimental methods are specified in the report.

**Keywords:** *all-wheel drive car, profile passability, load of an axis, longitudinal radius of passability, corners of sves, road gleam, slope эскарп, ditch.*

Профильная проходимость автомобиля – это способность автомобиля выполнять транспортную работу с преодолением естественных и

искусственных профильных препятствий (подъемов, косогоров, рвов, вертикальных стенок, уступов).

Уровень профильной проходимости полноприводных автомобилей определяется, в основном, их конструктивными параметрами: схемой размещения осей по базе, распределением нагрузки по осям, диаметром колес, дорожным просветом, величинами углов свеса и продольным радиусом проходимости.

Одним из наиболее важных факторов, ограничивающих способность полноприводного автомобиля к преодолению препятствий, являются его недостаточные тягово-сцепные свойства.

Оценочные параметры профильной проходимости условно делятся на две группы:

- параметры, определяющие приспособленность конструкции автомобиля к преодолению препятствий;

- характеристики самих естественных и искусственных препятствий, которые должен (способен) преодолевать автомобиль.

Параметры первой группы получили название параметров профильной (геометрической) проходимости. Наиболее важными из них (основными) для одиночных полноприводных автомобилей, в том числе и многоосных, в соответствии с ГОСТ 22653-77 [1] и ГОСТ РВ 52048-2003 [2] являются:

- дорожный просвет;
- передний свес (угол переднего свеса);
- задний свес (угол заднего свеса);
- продольный радиус проходимости;
- наибольший угол преодолеваемого подъема;
- наибольший угол преодолеваемого косогора;
- наибольшая высота преодолеваемых эскарпа (порога) (рис. 1; 2, а), контрэскарпа (рис. 1; 2, б) и вертикальной стенки (рис. 2, в);
- наибольшая ширина преодолеваемого рва (рис. 3).

Местность (естественные препятствия) России по площади (в том числе, водных преград) [3], ограничивающей возможность передвижения по ней, подразделяется на непересеченную (менее 10%), малопересеченную (около 10%), пересеченную (около 20%) и сильно пересеченную (более 30%). В связи с этим, рельеф местности в значительной степени определяет возможность передвижения автомобиля по ней. При прокладывании маршрута движения предполагается, что водитель заранее исключает из него заведомо непроходимые для данного автомобиля участки местности (глубокие овраги, водные преграды, болота, редколесье, а также крупные обособленные препятствия типа курганов и воронок) и объезжает их.

В исследованиях кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана [4], предложена наиболее обобщенная классификация одиночных препятствий по расположению профиля относительно нулевой отметки, согласно которой все протяженные барьерные препятствия подразделяются на два типа – «выступ» и «впадина». К первой группе относятся искусственные насыпи и дамбы, а ко второй – кюветы, рвы, овраги, русла рек и т.п. Целью составления

данной предельно обобщенной классификации препятствий является аналитическое описание профильных препятствий для применения его при математическом моделировании процесса движения автомобиля по местности с целью оценки нагруженности ходовой части автомобиля.

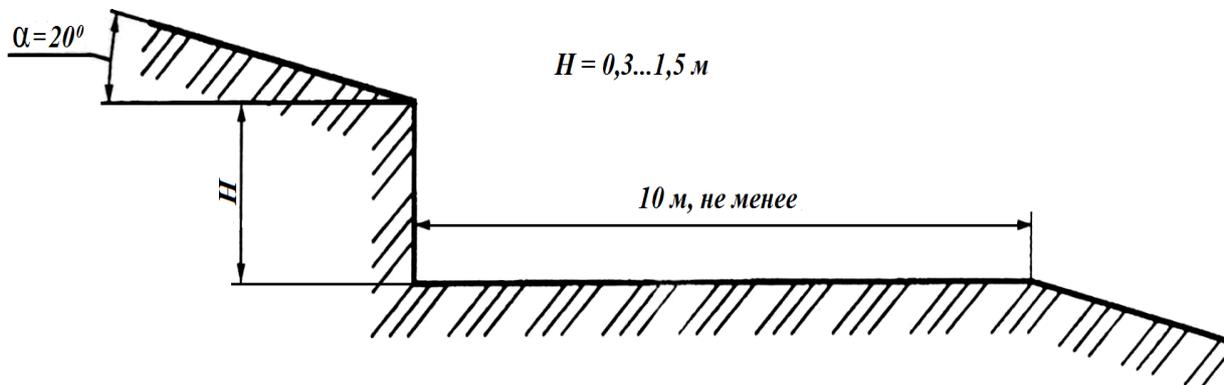


Рис. 1. Эскарп (порог) и контрэскарп

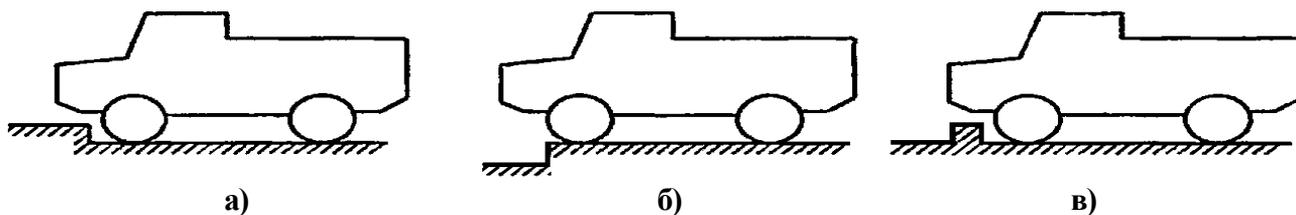


Рис. 2. Типы пороговых препятствий:  
а – эскарп; б – контрэскарп; в – вертикальная стенка

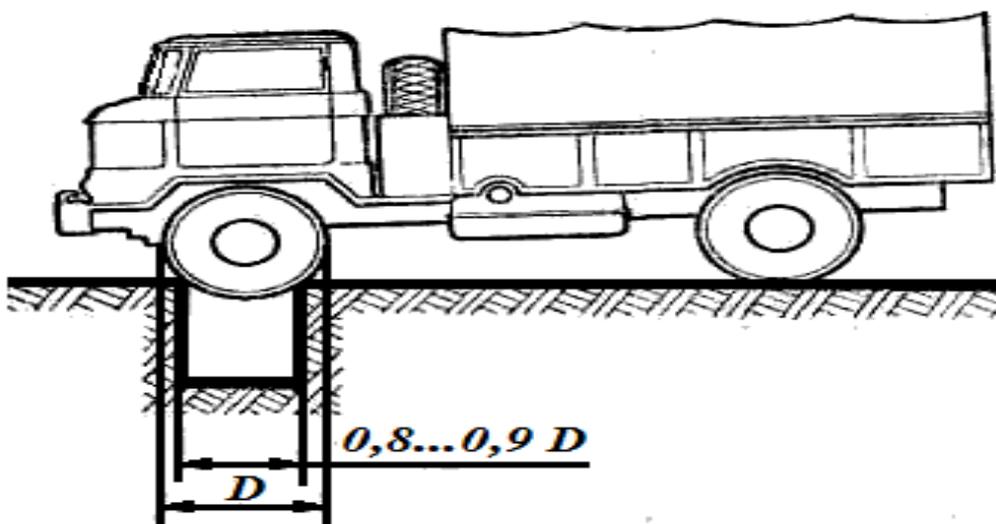


Рис. 3. Схема преодоления автомобилем рва

Искусственные препятствия предназначены для проведения испытаний автомобиля с целью проверки соответствия его заданным требованиям.

Расчет максимальной высоты порогового препятствия (эскарпа), которое способен преодолеть автомобиль типа 4x4 КамАЗ-4350, проводился с использованием разработанной в [5] математической модели движения через препятствие полноприводного автомобиля, в основу которой положена модель преодоления эскарпа одиночным колесом.

Максимальная высота преодолеваемого автомобилем эскарпа определяется по формуле

$$h = r \cdot [r_{ст} / r - (1 - \Delta/r) / (1 + k^2)^{1/2}],$$

где  $r$  – свободный радиус колеса;  $r_{ст}$  – статический радиус колеса;  $\Delta$  – радиальная упругая деформация шины.

Для полноприводных автомобилей

$$k = [\varphi_A \cdot G_1 + (\varphi_x - f) \cdot G_2] / [G_1 - \varphi_A \cdot (\varphi_x - f) \cdot G_2],$$

где  $\varphi_A$  – коэффициент сцепления колеса с кромкой препятствия  $\varphi_A = 0,8...0,9$ ;  $\varphi_x$  – коэффициент сцепления шины с дорогой  $\varphi_x = 0,8$ ;  $f$  – коэффициент сопротивления качению  $f = 0,015$ ;  $G_1$  и  $G_2$  – нагрузка на переднюю и заднюю оси автомобиля, соответственно.

Подставляя исходные данные по шине Кама-1260 (размерность 425/85R21) –  $D = 1260$  мм,  $r_{ст} = 585$  мм и принимая  $\Delta/r = 0,1$ , определяем  $k = 15,6$ .

Вычисляем высоту преодолеваемого автомобилем эскарпа

$$h = 0,63 \cdot [0,585 / 0,63 - (1 - 0,1) / (1 + 15,6^2)^{1/2}] = 0,55 \text{ м},$$

что полностью согласуется с результатами экспериментального определения возможности преодоления эскарпа автомобилем КамАЗ-4350 – 0,55...0,6 м.

Полная характеристика профильной проходимости автомобиля КамАЗ-4350 приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристики профильной проходимости автомобиля КамАЗ-4350

| Наименование параметра                                    | Значение параметра |
|---|--------------------|
| 1. Полная масса автомобиля и её распределение по осям, кг | 11900 (5300+6600)  |
| 2. Дорожный просвет, мм                                   | 390                |
| 3. Передний свес, мм                                      | 1620               |
| 4. Задний свес, мм  | 2150               |
| 5. Угол переднего свеса, град.                            | 33                 |
| 6. Угол заднего свеса, град.                              | 27                 |
| 7. Наибольший угол преодолеваемого подъема, град.         | 31                 |
| 8. Наибольший угол преодолеваемого косогора, град.        | 20                 |
| 9. Продольный радиус проходимости, мм                     | 3370               |
| 10. Наибольшая высота преодолеваемого эскарпа, м          | 0,55...0,6         |
| 11. Наибольшая ширина преодолеваемого рва, м              | 1,1                |

### Список литературы

1. ГОСТ 22653-77. Автотранспортные средства. Номенклатура наружных размеров. Методы измерений. – М.: Стандартиформ, 2007.
2. ГОСТ Р В 52048-2003. Автомобили многоцелевого назначения. Параметры проходимости и методы их определения. – М.: Издательство стандартов, 2003.
3. Военная топография: Учебник / Под общ. ред. ген.-лейт. А.С. Николаева. – М.: Воениздат, 1977.
4. Ларин, В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... докт. техн. наук: 05.05.03 / Ларин Василий Васильевич. – М., 2007. 419 с.
5. Васильев, В.Г. Совершенствование методов расчета профильной проходимости двухосных колесных машин: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Васильев Вадим Геннадьевич. – Волгоград, 2014.

### **ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

А.М. Третьяков, А.М. Глёмин, К.Р. Резанов, М.А. Плешаков, М.Е. Шубин  
*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ*

**Аннотация:** Перед автомобилестроительными компаниями остро стоят проблемы экономии топлива и улучшения систем безопасности и экологичности автомобиля. Главные направления развития автомобилестроения: использование альтернативных источников энергии, гибридных двигателей, новых конструкционных материалов, высокотехнологичных систем безопасности с целью улучшения показателей экологичности и безопасности.

**Ключевые слова:** *Альтернативные источники энергии, гибридный двигатель, экологические требования, водородный автомобиль, конструкционные материалы, высокотехнологичные системы безопасности.*

### **INNOVATIVE ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MODERN AUTOMOBILE INDUSTRY**

A.M. Gemin, A.M. Tretyakov, K.R. Rezanov, M.A. Pleshakov, M.E. Shubin  
*Biysk Technological Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** Automobilemakers face acute problems of fuel consumption and improving safety and environmental performance of the car. The main directions of development of the automobile industry are the use of alternative energy sources, hybrid engines, new structural materials, high-tech safety systems with the aim of improving environmental performance and safety.

**Key words:** *alternative energy sources, hybrid engine, environmental requirements, hydrogen car, structural materials, high-tech safety systems.*

Истощение мировых запасов нефти, постоянное увеличение стоимости бензина, ужесточение требований к токсичности выхлопных газов, безопасности и комфортности автомобиля привели к глубоким изменениям в мировой автомобильной промышленности [1]. Все больше компаний

автомобилестроения занялись проблемами экономии топлива и улучшения систем безопасности и экологичности автомобиля.

Одним из главных направлений в автомобилестроении стала разработка автомобилей, работающих на альтернативных источниках энергии (электроэнергия; сжатый и сжиженный газ; топливо, получаемое из природного газа, угля и возобновляемых источников энергии). Наибольшее распространение получила разработка гибридного силового агрегата (комбинации бензинового и электрического двигателя).

В 2000 г. компании «GM» и «Ford» представили автомобили с гибридным двигателем «Пресерт» и «Prodigy». В Европе образец гибридного автомобиля предложила компания «FIAT». Компания «Daimler-Benz» и «BMW» вынуждены были приступить к производству гибридных автомобилей. Об увеличении производства подобных машин в 10 раз объявила компания «Ford».

Многие крупные автомобильные компании занимаются разработкой подобных автомобилей, однако впереди оказались японские компании: «Toyota», выпустившая в 1997 г. модель «Prius», и «Honda», выпустившая модель «Insight». В 2003 г. «Toyota» выпустила «Prius» уже в США.

Широкое распространение получило производство автомобилей с дизельными двигателями. В 2006 г. в Германии доля зарегистрированных новых автомобилей с дизельным двигателем в общем объеме проданных легковых автомобилей составила 42,7%. Наибольшей величины данный показатель достиг в Люксембурге – 75,4%; на втором месте Бельгия (72,6%); на третьем Франция (69,1%). В целом по Западной Европе в 2006 г. дизелями были оснащены 49,5% новых легковых автомобилей.

Другим направлением экономии топлива, а также соблюдения ужесточаемых экологических требований является использование горючих газов (применяемых в Италии, Японии, Германии, Голландии), этанола (используемого в Бразилии), метанола, а также водорода.

На автосалоне в Лос-Анджелесе американским водителям впервые был продемонстрирован водородный автомобиль «H2R», созданный компанией «BMW». Среди недостатков такого автомобиля можно выделить высокую стоимость. Так, топливный элемент увеличивает стоимость автомобиля на 100 тыс. долл. по отношению к его сегодняшней цене. Кроме того, следует отметить недостаточное количество заправочных водородом станций (всего 100 единиц в мире). Аналитики полагают, что понадобится не менее двух десятков лет для того, чтобы водородные автомобили стали популярными.

Активное применение более легких и прочных конструкционных материалов (высокопрочной стали, алюминия, композиционных материалов, пластмассы, керамики) также послужило снижению удельного расхода топлива. Так, например, в США на долю стали приходится 56% массы автомобиля (20 лет назад – 74%); удельное потребление алюминия достигло в 2002 г. 121 кг (в 1990 г. – 110 кг). В результате средний вес автомобиля за 20 лет был снижен на 25%.

Современные машины, начиная со среднего класса, оснащаются бортовыми компьютерами, диапазоны функций которых быстро расширяются,

охватывая управление работой двигателя, трансмиссии, узлов ходовой части автомобиля, антиблокировочную систему тормозов, впрыска топлива и отдельных параметров движения, помогающих водителю выбирать оптимальный режим работы машины, навигационные системы, облегчающие ориентировку на незнакомой местности, лазерные устройства по предотвращению столкновения автомобилей, а также системы безопасности, включающиеся при аварийных случаях.

Высокотехнологичные системы безопасности (ASV, Advanced Safety Vehicle) начали создаваться в 2003 г. и были направлены в первую очередь на предотвращение инцидентов на дорогах. Так, вначале «Toyota» выпустила раннюю версию нынешней системы безопасности для внедорожника «Lexus RX330». В 2005 г. она была усовершенствована – автомобиль сам тормозил, если водитель не реагировал на опасность. Лидером в производстве ASV, предназначенных для предотвращения аварийных ситуаций на дорогах, являются японские производители – «Toyota», «Nissan», «Honda».

Однако недостатком новейших систем безопасности также является высокая стоимость. В отличие от экологических систем, многие потребители еще не готовы платить такую сумму за систему безопасности.

Показательно, что за последние 15 лет, несмотря на возросшую интенсивность движения, число пострадавших при автомобильных авариях (на 100 тыс. машин) сократилось вдвое, составив в среднем по миру 14 человек (столько же в Японии, Великобритании, Австрии; 17 – в США; 6 – во Франции; 5 – в Дании).

Современному этапу развития автомобилестроения присущи свои характерные черты, главной из которых является глобализация.

Все ведущие автомобильные фирмы мира продолжают испытывать ее влияние, которое началось после Второй мировой войны и заключается в объединении разных автомобильных компаний между собой и поглощении одной компанией другой. Сейчас можно ожидать, что к середине XXI в. в мире останется не более 5-6 автомобильных транснациональных компаний.

#### Литература

1. Глёмин, А.М. История зарубежного автомобилестроения: учебное пособие / А.М. Глёмин, А.М. Третьяков. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. 2011. 166 с.

### **ШКОЛА АВТОМОБИЛЕСТРОЕНИЯ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ АЗИИ**

А.М. Третьяков, А.М. Глёмин, Ф.П. Мельников,

С.О. Строкин, А.Д. Калашников

*Бийский технологический институт (филиал) АлтГТУ*

**Аннотация:** Вторая мировая война дала толчок возрождению автомобильной промышленности Японии на качественно более высоком уровне, что обусловило появление в Юго-Восточной Азии новой автомобильной школы конструирования. Стремительное развитие автомобильной промышленности Юго-Восточной Азии создает угрозу

конкуренции крупнейшим мировым концернам. Наблюдается активное внедрение южно-кореюских и особенно китайских фирм на производственные площадки всего мира.

**Ключевые слова:** *Автомобильная промышленность, производство автомобилей, автомобильный рынок.*

## **THE AUTOMOBILE DESIGN SCHOOL IN SOUTHEAST ASIA**

A.M. Tretyakov , A.M. Glyomin, F.P. Melnikov, , S.O. Strokin,

A.D. Kalashnikov

*Biysk Technological Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The second world war gave impact to the revival of Japan automobile industry on a higher level, resulting in Southeast Asia a new automobile design school. The rapid development of automobile industry in Southeast Asia poses competition with the world's largest corporations. There is an active introduction of South Korean and especially Chinese firms on car production sites around the world.

**Key words:** *automotive industry, car production, automotive market.*

Вторая мировая война положила конец развитию автомобильной промышленности Японии и в то же время дала толчок для ее будущего возрождения на качественно более высоком уровне [1]. Американцы передали фирмам «Ниссан», «Тойота», «Фудзи Мотор» современные технологии и современные конвейерные линии. Также большое влияние на японских инженеров оказал американский метод контроля качества. Отдавая дань высокому качеству японской автопродукции, следует отметить, что это является не единственным условием их успеха. Большое значение имеет организация производственных отношений по системе «канбан» (смежникам категорически запрещено производить и поставлять на сборочные заводы деталей больше, чем нужно; запас деталей рассчитан на два часа работы конвейера и лишь в отдельных случаях – на два дня). Поэтому средняя площадь сборочного завода в Японии на 50 тыс. м<sup>2</sup> меньше, чем в США (один квадратный метр склада обходится примерно 1000 долларов).

Поиск новой модели в Японии ведет отдел разработки новых товаров. В результате его деятельности проектируется и изготавливается машина, которая гарантированно будет куплена на рынке. Их девиз: «В технике и технологии нет и не может быть ничего невозможного» (для доказательства этого им потребовалось всего три десятилетия). Все это говорит о том, что в Юго-Восточной Азии появилась новая автомобильная школа конструирования – японская. Сегодня существенный вклад в развитие школы вносят южно-кореюские и китайские фирмы.

Традиционно сновными лидерами мирового автомобильного рынка считались фирмы США и Европы. Однако в последнее время происходит стремительное развитие автомобильной промышленности Юго-Восточной Азии (в особенности китайской), что создает реальную угрозу острой конкуренции крупнейшим мировым концернам.

Возникает вопрос: почему так происходит? Многие специалисты считают: причина – резкое подорожание бензина. На этом фоне неэкономичные американские автомобили серьезно уступают потребляющим гораздо меньше топлива японским и корейским автомобилям. Кроме того, интерес американцев к большим автомобилям, таким как джипы, пикапы и микроавтобусы, заметно снизился. В итоге автомобильная промышленность США проигрывает своим конкурентам из Азии, прежде всего японским и корейским. Так, 2002 г. стал для японской «Тойоты» рекордным: только в сентябре число проданных ею автомобилей выросло на 10%. У «Ниссан» этот показатель составляет 16%, а у «Хонды» – 12%.

Такой успех не случаен. В Токио разработана достаточно стройная программа развития собственной автомобильной промышленности, которая работает в двух направлениях: удовлетворение растущих потребностей чрезвычайно требовательного и в высшей мере емкого внутреннего рынка и сотрудничество с ведущими фирмами шести стран – США, Германии, Италии, Франции, Великобритании и Швеции. Причем второе преследует далеко идущую цель – внедрение японских фирм на производственные площадки всего мира. И надо сказать, небезуспешное. Например, «Тойота» завоевала американского потребителя «Лексусами»; «Хонду» собирают в Огайо, Канаде; «Мазду» – в Мичигане; «Сузуки» – в Венгрии; «Ниссан» – в Испании. «Хонда», «Тойота», «Ниссан» – так или иначе, стали частью межнациональных автомобильных концернов, имеющих, как правило, американские и немецкие корни, а теперь они активно сотрудничают с Китаем и Россией. Причина банальна: сегодня эти фирмы (и не только они) стремятся снизить свои издержки, в связи с чем выносят производство в страны с низкой себестоимостью рабочей силы.

На волне этой тенденции стремительно растет производство автомобилей в Китае. Но уже сегодня автомобилестроители Китая вынашивают амбициозные планы продвижения своей продукции, особенно легковых автотранспортных средств, на мировые рынки – в США, Европу и, конечно, в Россию. Уже сейчас медленно, но уверенно «набирает обороты» и экспорт: в Европе и Северной Америке представлено уже более десятка марок китайских автомобилей. Поэтому эксперты в разных странах все чаще задаются вопросом: не грозит ли рынку новое азиатское нашествие, наподобие экспансии на Запад японских и корейских автомобилей? И все благодаря тому, что международные концерны давно и всерьез работают в Китае: сегодня там имеются все необходимые для выпуска современных автомобилей ресурсы, включая новейшее западное оборудование.

К тому же, помимо производства собственно автомобилей, которое высоко локализовано (например, у фирм «Фольксваген», «Хонда» и «Ситроен» степень локализации достигает 90%), здесь создана и мощная индустрия автомобильных компонентов. Корейские, европейские и даже японские фирмы активно используют китайские комплектующие. А местные – быстро перенимают опыт, поэтому можно предположить, что проблем с качеством в

дальнейшем у них не будет, был бы спрос на высококачественный продукт на внутреннем рынке.

#### Литература

1. Глёмин, А.М. История зарубежного автомобилестроения: учебное пособие / А.М. Глёмин, А.М. Третьяков. Алт. гос. техн. ун-т, БТИ. Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2011. 166 с.

## СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПОДРЕССОРИВАНИЯ БЫСТРОХОДНЫХ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН

С.М. Шишанов

*Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), Университет машиностроения*

**Аннотация:** В статье приведена общая схема метода аналитического исследования систем подрессоривания гусеничной машины при помощи статистической линеаризации, основным преимуществом которого является то, что имеется возможность получать ряд важных практических рекомендаций более общего характера, чем это можно получить при помощи метода гармонической линеаризации. Статистическая линеаризация позволяет учесть основные особенности функционирования систем подрессоривания быстроходной гусеничной машины при ее движении по местности и дорогам, неровности которых представляют собой случайную функцию пути.

**Ключевые слова:** *система подрессоривания, быстроходная гусеничная машина, случайная функция, статистическая линеаризация, динамическая система, статистический коэффициент.*

## STATISTICAL LINEARIZATION OF TRACKED VEHICLE NONLINEAR SUSPENSION SYSTEM

S.M. Shishanov

*Moscow State University  
of Mechanical Engineering (MAMI)  
University of Mechanical Engineering*

**Abstract:** The article provides an overview of the method of analytical study tracked vehicle suspension systems using statistical linearization, the main advantage of which is that it is possible to obtain a number of important practical recommendations of a more general nature than can be obtained using the method of harmonic linearization. Statistical linearization allows to take into account the main features of the operation of suspension systems speed tracked vehicle as it moves along the terrain and roads, bumps which is a random function of the way.

**Key words:** *suspension system, high-speed tracked vehicle, a random function, statistical linearization, dynamic system, the statistical coefficient.*

Задача статистического исследования динамических систем в настоящее время наиболее полно и в достаточно общем виде решена для линейных систем. Теория линейных преобразований случайных функций приближенно

применима к таким нелинейным системам, в которых нелинейные зависимости могут быть линеаризованы [1]. Точное решение статистических задач для динамических нелинейных систем принципиально возможно только на базе теории, оперирующей с законами распределения случайных функций или с моментами высших порядков.

Сложность и громоздкость общих методов теоретико – вероятностного исследования нелинейных динамических систем приводят к необходимости использования приближенных методов. К таким методам относятся методы, основанные на статистической линеаризации нелинейной динамической системы [2,3,4]. Исходя из вышесказанного, в качестве метода теоретико – вероятностного исследования нелинейных систем подрессоривания быстроходных гусеничных машин (ГМ) рассмотрим метод статистической линеаризации [5].

Составим, прежде всего, расчетную схему колебаний корпуса быстроходной ГМ при его движении по местности. Пусть профиль этой местности представляет собой центрированную функцию двух независимых переменных  $s$  и  $\xi$ ,  $y = y(s, \xi)$ .

Будем предполагать, что  $y$  является случайным однородным изотропным полем, т.е. случайной функцией, первые два момента которой инвариантны. Поэтому, не теряя общности, можно направление машины выбрать параллельным оси  $S$ .

Если считать горизонтальными координатами центра масс машины  $s$  и  $\xi$ , горизонтальными координатами  $j$ -го катка будут  $s + l_j$  и  $\xi = \frac{B_j}{2}$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, 2n$ )  $n$  – число катков одного борта. Причем  $l_j > 0$  для носовых катков и  $l_j < 0$  для кормовых катков. Для правого борта машины ( $j = 1, 2, 3, \dots, n$ ) и составим, прежде всего, расчетную схему колебаний корпуса быстроходной ГМ. При его движении по местности. Пусть профиль этой местности представляет собой центрированную функцию двух независимых переменных  $s$  и  $\xi$ :

$$y_j(s, \xi) = y\left(s + l_j, \xi + \frac{B_j}{2}\right).$$

При составлении математической модели примем ряд допущений, которые позволяют упростить теоретические исследования путем исключения из рассмотрения связей, оказывающих несущественное влияние на основные виды колебаний корпуса быстроходной ГМ.

В качестве таких допущений примем:

- движение машины будем считать прямолинейным,
- влиянием продольных сил на колебания корпуса пренебрегаем.

Принимая во внимание все вышесказанное, можем составить расчетную схему движения корпуса быстроходной ГМ (рис. 1).

В соответствии с принятой системой координат и расчетной схемой движение корпуса быстроходной ГМ может быть описано тремя уравнениями:

$$\left. \begin{aligned} v &= \frac{ds}{dt} \\ m_n \ddot{z} &= \sum_{j=1}^{2n} P_j - G_n \\ I_\xi \ddot{\varphi} &= \sum_{j=1}^{2n} l_j P_j \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где  $m_n$  и  $G_n$  – соответственно масса и вес подрессоренных частей ГМ,  $v$  – скорость движения ЦМ корпуса вдоль оси  $S$ ,  $I_\xi$  – момент инерции подрессоренных частей относительно поперечной оси  $\xi$ ,  $P_j$  – сила, действующая от  $j$ -го опорного катка через подвеску на корпус ГМ в вертикальном направлении.

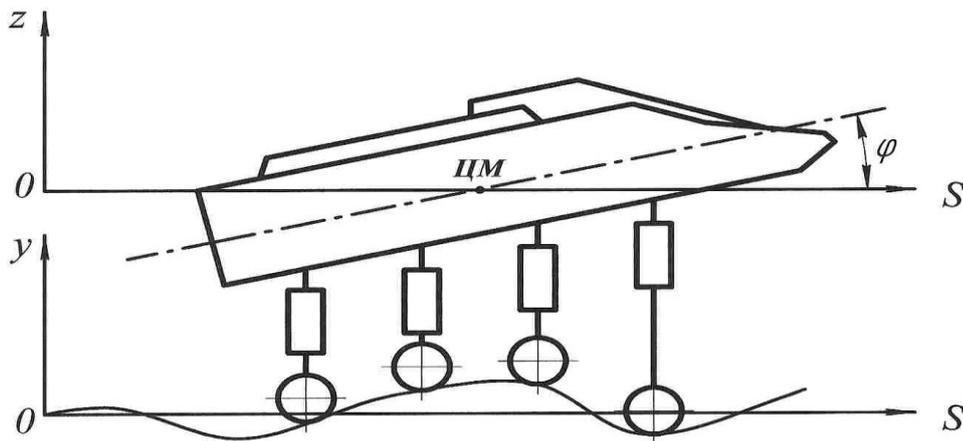


Рис. 1. Расчетная схема системы подрессоривания:

- $s$  – горизонтальное перемещение центра тяжести (ЦМ) в направлении движения;
- $z$  – вертикальное перемещение ЦМ корпуса;
- $\varphi$  – продольно-угловое перемещение корпуса машины; вокруг поперечной оси, проходящей через ЦМ;
- $y$  – вертикальная координата, характеризующая профиль местности под ЦМ корпуса

Силы  $P_j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, 2n$ ) для реальных систем подрессоривания являются нелинейными функциями относительных перемещений катков и их скоростей.

Основная идея приближенного метода состоит в аппроксимации нелинейного преобразования линеаризованной зависимостью между случайными функциями, статистически эквивалентной исходному нелинейному преобразованию. Точность метода зависит от точности аппроксимации математического ожидания и корреляционной функции нелинейно преобразованной случайной функции.

Метод приближенной линеаризованной, эквивалентной в вероятностном смысле замены нелинейных преобразований случайных функций называется **методом статистической линеаризации**.

Предполагая, что быстроходная ГМ имеет независимую индивидуальную СП, произведем статистическую линеаризацию нелинейных сил, действующих от катков на корпус через детали и узлы подвески. Для сил,  $P_j$  которой (при условии, что катки не отрываются от грунта), может быть записано выражение

$$P_j(x_j, \dot{x}_j) = P_{yj}(x_j) + p_{dj}(\dot{x}_j), \quad (2)$$

где  $x_j$  и  $\dot{x}_j$  – перемещение  $j$ -ого катка относительно корпуса и скорость этого перемещения.

Согласно принятой системе координат, перемещение  $j$ -го катка относительно корпуса по вертикали определяется выражением

$$x_j = x_{0j} - z^0 - l_j \varphi^0 + y_j^0,$$

где  $y_j$  – абсолютное перемещение  $j$ -го катка, определяемое профилем пути.

Так как машина движется по дороге, профиль которой образует случайную функцию, то обобщенные координаты  $\varphi, z$  и силы  $P_j$  будут также представлять собой случайные функции.

Случайные функции  $x_j, \dot{x}_j$  и  $P_j(x_j, \dot{x}_j)$  можно представить в виде

$$m_{xj} = const;$$

$$x_j = m_{xj} + x_j^0; \quad (3)$$

$$\dot{x}_j = \dot{m}_{xj} + \dot{x}_j^0; \quad (4)$$

$$P_j = m_{pj} + P_j^0, \quad (5)$$

где  $m_p$  и  $m_x$  – математические ожидания случайных функций  $P$  и  $x$ ,  $x_j^0$  и  $\dot{x}_j^0$  – центрированные случайные функции.

Аппроксимируем нелинейное преобразование (2) приближенной зависимостью между  $P(x_j, \dot{x}_j)$  и  $x_j^0, \dot{x}_j^0$ , выбранной на основании некоторого критерия наилучшего приближения функции  $P(x_j, \dot{x}_j)$  аппроксимирующей функции  $P^*(x_j, \dot{x}_j)$ :

$$P^*(x_j, \dot{x}_j) = P_{0j} + c_j x_j^0 + r_j \dot{x}_j^0, \quad (6)$$

где  $P_{0j}$  – статистическая характеристика нелинейной подвески;  $c_j$  – эквивалентный статистический коэффициент усиления по случайной составляющей  $x^0$ ;  $r_j$  – эквивалентный статистический коэффициент усиления по случайной составляющей  $\dot{x}_j^0$ .

На практике для стационарных случайных процессов можно рассматривать два критерия аппроксимации случайных функций [2, 3]. Первый критерий состоит в выполнении условия равенства математических ожиданий и дисперсий истинной и аппроксимирующей случайных функций. Вторым критерий состоит в выполнении условия минимума математического ожидания квадрата разности истинной и аппроксимирующей случайных функций

$$\Delta_j = M \{ [P_j - P_j^*]^2 \} = \min, \quad (7)$$

где  $P_j$  и  $P_j^*$  – соответственно истинная и аппроксимирующая случайные величины.

Известно, что во многих случаях, когда первый из этих критериев обеспечивает завышенное значение корреляционной функции нелинейного случайного процесса по сравнению с точным, то второй дает заниженное значение [4].

Для реальных систем подрессоривания значения статистических коэффициентов, вычисленных согласно обоим критериям, оказываются очень близкими друг к другу по своей величине. Ввиду того, что вычисление статистических коэффициентов, согласно второму критерию аппроксимации, осуществляется значительно легче, то аппроксимацию нелинейной случайной функции  $P(x, \dot{x})$  целесообразнее проводить согласно второму критерию.

Можно положить, что динамическая система «корпус быстроходной ГМ – система подрессоривания» является стационарной системой. Таким образом, обобщенные координаты  $z, \varphi$  и  $y_j$  являются стационарными случайными функциями, а следовательно и относительные хода катков  $f_j$  будут также стационарными и соответственно, будут стационарными и силы  $P_j(x_j, \dot{x}_j)$ . Поэтому математические ожидания случайных процессов  $x_j$  и  $P_j$  не будут зависеть от времени, а математическое ожидание случайного процесса  $\dot{x}_j$  будет равно нулю. В соответствии с этим выражение (7) примет вид:

$$\Delta = M \{ [P_{(t)} - P_0 - cx^0(t) - r\dot{x}^0(t)]^2 \} = \min. \quad (8)$$

После несложных математических вычислений, учитывая условие стационарности, будем иметь:

$$\Delta = m_p + \sigma_p^2 + P_0 + c^2 \sigma_x^2 + r^2 \sigma_{\dot{x}}^2 - 2P_0 m_p - 2ck_{xp}(t, t) - 2rk_{\dot{x}p}(t, t) = \min, \quad (9)$$

где  $\sigma_p^2, \sigma_x^2$  и  $\sigma_{\dot{x}}^2$  – соответственно дисперсии  $P$ , относительного хода катка  $x$  и скорости относительного хода катка  $\dot{x}$ ;  $k_{xp}(t, t), k_{\dot{x}p}(t, t)$  – взаимные корреляционные функции в совпадающие моменты времени.

При заданных значениях  $m_p, \sigma_p, \sigma_x, \sigma_{\dot{x}}, k_{xp}, k_{\dot{x}p}$  величина  $\Delta$  является функцией  $P_0, c, r$ . Из условия минимума  $\Delta$  следуют формулы для определения эквивалентных статистических коэффициентов:

$$P^* = P_0 + cx^0 + r\dot{x}^0.$$

Здесь  $P_0 = m_p;$  (10)

$$c = \frac{k_{xp}(t, t)}{\sigma_x^2};$$
 (11)

$$r = \frac{k_{xp}(t, t)}{\sigma_x^2}.$$
 (12)

Если подставить в дифференциальные уравнения (1) вместо  $P_j$  их приближенные выражения  $P'_j$ , получим систему линейных дифференциальных уравнений, с определенной точностью характеризующих случайные стационарные колебания корпуса быстроходной ГМ.

$$\begin{aligned} m_n \ddot{z} - \sum_1^{2n} r_j \dot{x}_{j0} - \sum_1^{2n} c_j x_j^0 &= \sum_1^{2n} P_{0j} - G; \\ I_\xi \ddot{\varphi} - \sum_1^{2n} l_j r_j \dot{x}_j^0 - \sum_1^{2n} l_j c_j x_j^0 &= \sum_1^{2n} l_j P_{0j}. \end{aligned}$$
 (13)

Эти уравнения позволяют применить для исследования нелинейных систем поддресоривания хорошо разработанные и сравнительно простые методы исследования стационарных линейных систем [1, 3]. Необходимо отметить, что эквивалентная статистическая линеаризация, тем не менее, отражает особенности нелинейных систем поддресоривания. Это отражается в том, что эквивалентные статистические коэффициенты остаются постоянными для определенного энергетического спектра возмущений и с изменением его они меняют свое значение.

Учитывая выражение (10) для централизованной составляющей случайного процесса  $x_j^0$ , перейдем к рассмотрению колебаний корпуса быстроходной гусеничной машины не во временной, а в пространственной области, характеризуемой координатой пути  $s$ .

$$\left. \begin{aligned} a_{11} \frac{d^2 z^0}{ds^2} + a_{12} \frac{dz^0}{ds} + a_{13} z^0 + a_{14} \frac{d\varphi^0}{ds} + a_{15} \varphi^0 &= \sum_1^{2n} \left[ c_j y(s+l_j) + r_j m_v \frac{dy(s+l_j)}{ds} \right] \\ a_{21} \frac{d^2 \varphi^0}{ds^2} + a_{22} \frac{d\varphi^0}{ds} + a_{23} \varphi^0 + a_{24} \frac{dz^0}{ds} + a_{25} z^0 &= \sum_1^{2n} \left[ c_j y(s+l_j) + r_j m_v \frac{dy(s+l_j)}{ds} \right] \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} a_{11} &= (m_v^2 + \sigma_v^2) m_0, & a_{21} &= (m_v^2 + \sigma_v^2) I_\xi, \\ a_{12} &= m_v \sum_2^{2n} r_j, & a_{22} &= m_v \sum_1^{2n} r_j l_j, \\ a_{13} &= \sum_1^{2n} c_j, & a_{23} &= \sum_1^{2n} c_j l_j^2, \\ a_{14} &= m_v \sum_1^{2n} r_j l_j, & a_{24} &= m_v \sum_1^{2n} r_j l_j, \\ a_{15} &= \sum_1^{2n} c_j l_j, & a_{25} &= \sum_1^{2n} c_j l_j. \end{aligned}$$

Таким образом статистическая линеаризация нелинейных сил, действующих от опорных катков двигателя через детали и узлы подвесок на корпус гусеничной машины, является основой для приближенного теоретико – вероятностного исследования замкнутой динамической системы: «система подрессоривания – корпус быстроходной ГМ» в рамках корреляционной теории.

#### Список литературы

1. Дмитриев, А.А. Теория и расчет нелинейных систем подрессоривания гусеничных машин / А.А. Дмитриев, В.А. Чобиток, А.В. Тельминов. М.: Машиностроение, 1976. 207 с.
2. Казаков, И.Е. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем / И.Е. Казаков, Б.Г. Доступов. М.: Физматгиз, 1962. 332 с.
3. Первозванский, А.А. Случайные процессы в нелинейных автоматических системах / А.А. Первозванский. М.: Физматгиз, 1962. 351 с.
4. Пугачев, В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления / В.С. Пугачев. М.: Физматгиз, 1962. 883 с.
5. Савочкин, В.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых гусеничных машин / В.А. Савочкин, А.А. Дмитриев. М.: Машиностроение, 1993. 320 с.

### КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ УПРАВЛЯЕМОСТИ

П.Ю. Яковлев

*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** Статья посвящена управляемости трактора.

**Ключевые слова:** *Управляемость.*

### THE ASSESSMENT CRITERION FOR CONTROLLABILITY

P.Y. Yakovlev

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The article deals with tractor controllability.

**Key words:** *Controllability.*

В большинстве случаев решение задачи об устойчивости системы предпринимаются с целью отыскания критериев устойчивости, т.е. оценки модулей возмущений и функций и условий, при которых они не выйдут за пределы, оговоренные задачей.

Предварительное заключение о наличии устойчивости может быть сделано по ряду косвенных физических признаков. Существование восстанавливающих сил или моментов, стремящихся вернуть систему к прежнему движению, может дать довольно верное представление о наличии устойчивости.

Пожалуй, более полно управляемость криволинейного движения можно оценить по отношению скорости изменения курсового угла МТА к скорости изменения угла поворота направляющих колес [1]:

$$\mathcal{E}_{УПР} = \frac{\overline{\omega_{\Theta}}}{\overline{\omega_{\alpha}}}, \quad (1)$$

где  $\overline{\omega_{\Theta}}$  – средняя скорость изменения курсового угла МТА,  $\overline{\omega_{\alpha}}$  – средняя скорость изменения угла поворота направляющих колес МТА.

Используя данный критерий, можно рассматривать движение МТА с фронтальной навеской и сравнивать его с движением трактора на холостом ходу, поскольку такое движение можно принять за эталонное, ведь для каждого конкретного трактора критерий управляемости (1) будет разным, поскольку будет зависеть как от конструктивных параметров самого агрегата, так и условий его движения.

Но всё же стоит сказать, что к рассмотрению управляемости и устойчивости движения желательно подходить, анализируя его по нескольким критериям, что поможет дать гораздо больше информации о рациональном выборе конструктивных параметров.

#### Литература

1. Маршалов, Э.С. Совершенствование способа фронтального соединения сельскохозяйственных машин и орудий с энергетическими средствами: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.20.01 / Маршалов Эдуард Сергеевич. Барнаул, 2001. 22 с.

### **ОСОБЕННОСТИ ДВИЖЕНИЯ ФРОНТАЛЬНО НАВЕШЕННОГО ОРУДИЯ С УПРУГИМ ЭЛЕМЕНТОМ В СИСТЕМЕ НАВЕСКИ**

П.Ю. Яковлев, А.С. Зейгерман

*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** В статье рассмотрена особенность колебания фронтально навешенного орудия.

**Ключевые слова:** *Упругий элемент, колебания орудия.*

### **MOVEMENT FEATURES OF FRONTALLY HUNG TOOL WITH THE ELASTIC ELEMENT IN THE SYSTEM OF HINGE PLATE**

P.Yu. Yakovlev, A.S. Zeygerman

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The article considers fluctuation features of frontally hung tool.

**Key words:** *Elastic element, tool fluctuations.*

Наличие упругого элемента в системе фронтальной навески трактора [2] позволяет обеспечить необходимый тип затухающих колебаний путем изменения жесткости упругого элемента. Согласно рекомендациям профессора Л.В. Гячева [1], наиболее рациональными будут затухающие колебания, близкие по своему значению к предельному аperiodическому движению, поскольку в этом случае путь, пройденный в отклонённом состоянии, будет минимален.

При этом значение показателя переходного процесса  $\lambda$ , представляющего собой соотношение двух коэффициентов характеристического уравнения описывающего колебания орудия, будет меняться в зависимости от жесткости упругого элемента.

Как видно из данных графиков (рисунок 1) – увеличение жесткости смещает показатель переходного процесса в зону колебательного движения, и одновременно уменьшает величину первоначально возможного отклонения орудия  $\Theta$ . Стоит заметить, что при этом путь, пройденный в отклонённом состоянии, при колебательных и затухающих колебаниях, близких по своему значению к предельному аperiodическому движению, отличается незначительно. Однако следует учесть тот факт, что при аperiodическом движении момент сопротивления повороту будет меньше, чем в случае колебательного движения [3].

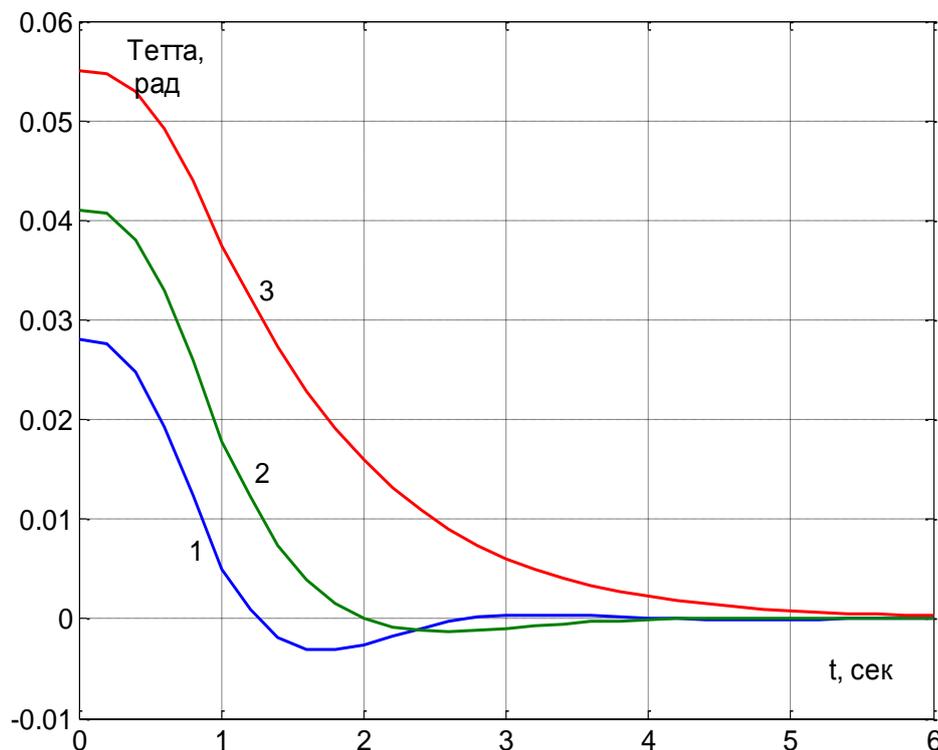


Рис. 1. График движения орудия с различными типами затухающих колебаний: 1) колебательное движение  $\lambda < 1$ ; 2) затухающие колебания, близкие по своему значению к предельному аperiodическому движению  $\lambda = 0,95$ ; 3) аperiodическое движение  $\lambda > 1$

### Список литературы

1. Гячев, Л.В. Механика сельскохозяйственных машин / Л.В. Гячев. – Барнаул: Издательство АлтГТУ, 1995. 200 с.
2. Пат. №2427995 Российская Федерация, А01В 59/06 Фронтальная навеска трактора / Площаднов А.Н., Яковлев П.Ю., Зейгерман А.С., Маршалов Э.С., Курсов И.В., Бутаков Е.И., Убогова Т.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Алтайский гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. – №2010106512/21–заявл. 24.02.2010; опубл. 10.09.2011, бюл. №25. 4 с.: ил.
3. Яковлев, П.Ю. Условие обеспечения управляемости трактора при установившемся повороте в междурядьях пропашных культур / П.Ю. Яковлев, А.С. Зейгерман, И.В. Курсов // Современная техника и технологии: проблемы, состояния и перспективы III всерос. научно-техн. конф., 18-19 декабря 2013 г. / Под ред. к.т.н., доцента Н.И. Черкасовой/ Рубц. ндустр. ин-т. – Рубцовск, 2013. С. 206-210.

### УРАВНЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ФРОНТАЛЬНОЙ НАВЕСКИ

П.Ю. Яковлев, И.В. Курсов  
*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** В статье рассмотрено уравнение Лагранжа второго рода.

**Ключевые слова:** *Фронтальное агрегатирование, колебание маятника.*

### THE EQUATION OF FRONT LINKAGE MOTION MECHANISM

P.Yu. Yakovlev, I.V. Kursov  
*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The article considers Lagrange equation of the second kind.

**Key words:** *Frontal unitization, pendulum fluctuation.*

При анализе закона движения любого механизма необходимо составить уравнения его движения, при этом количество уравнений будет соответствовать количеству степеней свободы данного механизма. Однако, если даже механизм имеет одну степень свободы, но состоит из нескольких элементов, взаимосвязанных между собой и движущихся друг относительно друга по определенной закономерности, могут возникнуть определенные трудности при его анализе. К такого рода механизму можно отнести механизм шарнирного четырехзвенника, применяемого при присоединении трактора и орудия. Профессор Л.В. Гячев в свое время предложил для анализа движения такого механизма теорию центроид – но она не отражает в полной мере поведения механизма четырехзвенника [1], поскольку колебания рассматриваются около мнимой точки подвеса.

Анализ колебаний чертырехзвенного механизма в вертикальной плоскости достаточно подробно изложен в работе [2], однако при исследовании его

колебаний в горизонтальной плоскости, где уже будут присутствовать другие силовые факторы и другая плоскость, в которой происходят колебания, это накладывает определенные трудности при анализе такого рода механизма.

Таким образом, встал вопрос о подходе к исследованию колебаний такого рода механизма, и было предложено рассматривать его колебания, заменив четырехзвенный механизм эквивалентным [3] (рис. 1).

Составляя уравнения колебаний данного механизма, где в качестве обобщенной координаты принят угол поворота орудия  $\Theta$ , получим:

$$\begin{aligned}
 Q_{\Theta} = & \frac{R \cdot l_{OA}}{U_H} \cdot \left( \chi - \Theta + \frac{\Theta}{U_H} \right) - R \cdot d \cdot \chi - M_D - T_{L_1} \cdot \left( l_1 - \frac{l_{OA}}{U_H} \right) + T_L \cdot \left( \frac{l_{OA}}{U_H} + l \right) - \\
 & - \Theta \cdot c_{ж} \cdot \left( \frac{l_{OA}}{U_H} + f_{VPP} \right)^2 + S_L \cdot \left( \frac{l_{OA}}{U_H} \cdot \left( \psi_L + \frac{\Theta}{U_H} - \Theta \right) + l \cdot \psi_L \right) - \\
 & - S_{L_1} \cdot \left( \frac{l_{OA}}{U_H} \cdot \left( \Theta - \frac{\Theta}{U_H} \right) \right) - M_L,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $\Theta$  – угол отклонения орудия;  $T_L$  – поперечная сила, приложенная к направляющему колесу;  $T_{L_1}$  – поперечная сила, приложенная к опорным каткам секций  $L_1$ ;  $M_L$  – стабилизирующий момент колеса;  $S_L, S_{L_1}$  – силы сопротивления перекачиванию опорных  $L$  колес рамы и опорных колес секций культиватора  $L_1$ ;  $S_M$  – центр масс орудия;  $R$  – главный вектор сил сопротивления рабочих органов;  $\chi$  – угол отклонения главного вектора сил сопротивления рабочих органов от плоскости его симметрии;  $M_D$  – главный момент сил сопротивления рабочим органам орудия;  $\psi_L$  – угол деформации шин;  $\delta_1$  – угол отклонения скорости направляющих колес от плоскости симметрии;  $d$  – расстояние от точки прицепа до точки приложения главного вектора сил сопротивления рабочих органов;  $h$  – расстояние от точки прицепа до центра масс орудия;  $l$  – расстояние от точки прицепа тяг к орудью до опорного колеса культиватора;  $l_1$  – расстояние от точки прицепа тяг к орудью до опорных катков секции культиватора;  $U_H$  – передаточное отношение механизма навески, характеризующее связь между поворотом звена  $OA_0$  и орудием;  $l_{OA}$  – расстояние от точки присоединения тяг к трактору до точки их присоединения к трактору;  $F_{VPP}$  – сила от действия упругого элемента;  $f_{VPP}$  – расстояние от точки прицепа тяг к орудью до точки действия силы упругости.

Отметим, что передаточное отношение представляет собой отношение углов поворота тяг  $OA_0$  и шатуна  $A_0C$ , к которому присоединено орудие. Для анализа правильности составления уравнения (1) достаточно задать критические значения передаточного отношения  $U_H$ . В первом случае примем  $U_H = \infty$  – классический маятник. В данном случае это значит, что точка  $A_0$  и  $C$  совпадают, соответственно, поворот тяг относительно точки  $O$  отсутствует, движение может осуществлять только шатун, к которому присоединено орудие. В этом случае уравнение колебаний примет вид:

$$Q_{\Theta} = -R \cdot d \cdot \chi - M_D - F_{VPP} \cdot f_{VPP} + T_{L_1} \cdot l_1 + T_L \cdot l + \Phi_M \cdot h + S_L \cdot l \cdot \psi_L - M_M^u - M_L. \tag{2}$$



3. Яковлев, П.Ю. Дифференциальное уравнение колебаний фронтально навешенного орудия в горизонтальной плоскости, соединенного с трактором посредством шарнирного четырехзвенника / П.Ю. Яковлев, А.Н. Площаднов // Вестник АГАУ. 2013. №6. С. 96-99.

### УПРАВЛЯЕМОСТЬ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С РАЗЛИЧНЫМ ТИПОМ ПРИСОЕДИНЕНИЯ ФРОНТАЛЬНО НАВЕШЕННОГО ОРУДИЯ

П.Ю. Яковлев, Э.С. Маршалов  
*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** В статье приведены критерии оценки управляемости трактора, при его движении по криволинейной траектории.

**Ключевые слова:** *Управляемость, фронтально навешенное орудие.*

### CONTROLLABILITY OF THE TRACTOR UNIT WITH VARIOUS TYPES OF FRONTALLY HUNG TOOL CONNECTION

P.Yu. Yakovlev, E.S. Marshalov  
*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical  
University*

**Abstract:** The article gives assessment criteria of tractor controllability at the movement on a curvilinear path.

**Key words:** *Controllability, frontally hung tool.*

При движении машинно-тракторного агрегата (МТА) по криволинейной траектории определяющим фактором, позволяющим оценить качество движения, будет управляемость. В качестве количественной оценки управляемости удобно использовать критерий, представляющий собой отношение средней скорости изменения курсового угла МТА к средней скорости поворота его направляющих колес на зачетном участке траектории движения [1].

Данный критерий дает представление о степени изменения скорости реагирования МТА на управляющее воздействие водителя. Эталонной величиной, к которой следует стремиться при сравнительном анализе движения МТА с различными типами присоединения ФНО, будет такое значение критерия, которое получится при движении трактора на холостом ходу, поскольку для каждого конкретного трактора величина критерия будет разной, так как зависит от конкретных кинематических параметров трактора и условий его движения.

При проведении полевых испытаний трактора тягового класса 0,6 с фронтально навешенным культиватором КОН-2,8 были получены следующие значения критерия управляемости для трактора на холостом ходу  $\epsilon_{УПР1}$ , с жестким его креплением  $\epsilon_{УПР2}$  и с упругим присоединением фронтально навешенного орудия соответственно  $\epsilon_{УПР3}$ :

$$\varepsilon_{упр1} = \frac{0,0073}{0,00882} = 0,82 ; \quad \varepsilon_{упр2} = \frac{0,0033}{0,012} = 0,28 ; \quad \varepsilon_{упр3} = \frac{0,0069}{0,0095} = 0,72 .$$

Из полученных данных следует, что управляемость агрегата с модернизированной системой навески всего лишь на 12% меньше, чем для трактора, двигающегося без нагрузки, что говорит об эффективности применения упругого элемента в системе навески, поскольку в случае жесткого соединения орудия с трактором его управляемость уже на 65% меньше, по сравнению с трактором на холостом ходу.

#### Литература

1. Маршалов, Э.С. Совершенствование способа фронтального соединения сельскохозяйственных машин и орудий с энергетическими средствами: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.20.01 / Маршалов Эдуард Сергеевич. Барнаул, 2001. 22 с.

### УСТОЙЧИВОСТЬ ДВИЖЕНИЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА С ФРОНТАЛЬНО НАВЕШЕННЫМ ОРУДИЕМ ПРИ ЕГО ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ

П.Ю. Яковлев, А.Н. Площаднов

*Рубцовский индустриальный институт*

**Аннотация:** В статье рассмотрено движение трактора с жестко закреплённым фронтально навешенным орудием и со свободным его креплением.

**Ключевые слова:** *Устойчивость, фронтальное орудие.*

### MOVEMENT STABILITY OF THE TRACTOR UNIT WITH FRONTALLY HUNG TOOL IN CASE OF RECTILINEAR MOVEMENT

P.Yu. Yakovlev, A.N. Ploschadnov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch), Polzunov Altai State Technica University*

**Abstract:** The article considers tractor movement with rigidly fixed frontally hung tool and with its loose fastening.

**Key words:** *Stability, frontally hung tool.*

При выборе наиболее рациональных параметров, обеспечивающих желательный процесс движения машинно-тракторного агрегата (МТА) с фронтально навешенным орудием и упругим элементом в системе навески [1], необходимо не только обеспечить должную управляемость, но и устойчивость.

При проведении полевых испытаний трактора тягового класса 0,6 с фронтально навешенным культиватором КОН-2,8 и сравнении графиков отклонения рабочего органа в случае жесткого и упругого соединениях, при экспериментальном заезде по прямой (рисунок 1), видим, что максимальная величина отклонения от средней линии рядка при одинаковом времени

возмущенного процесса, для полужесткого соединения, примерно в 3 раза больше. При этом, в случае полужесткого соединении орудия с трактором, при углах отклонения орудия до  $\pm 1^\circ$ , не требовалось корректирующего воздействия со стороны водителя. Это объясняется тем, что благодаря возможности отклоняться орудие не создавало значительного момента, способного вызвать отклонение всего агрегата, лишь в случае превышения указанной величины требовалось управляющее воздействие со стороны водителя для корректировки заданного направления движения и предотвращения подрезания растений.

На рисунке 2 показан график поворота управляемых колес при жестком и упругом соединениях орудия с трактором, а также трактора на холостом ходу (XX), при заезде по прямому участку поля.

Как видно из графиков, при упругом соединении величина угла поворота управляемых колес близка по своему значению к величине угла поворота управляемых колес трактора на XX, в случае жесткого соединения эта величина примерно в 2 раза больше, к тому же увеличивается «количество» управляющих воздействий, что увеличивает утомляемость оператора.

Но при этом дисперсия отклонений  $D$  рабочего органа орудия, при упругом соединении, составляла около  $9,7 \text{ см}^2$ , что примерно в 1,5 раза больше, чем при жестком соединении, –  $6,2 \text{ см}^2$ . При подсчете дисперсии отклонения центра масс трактора, движущегося с жестко закрепленным орудием, она получилась фактически такой же, как и у орудия –  $5,9 \text{ см}^2$ , в то время как дисперсия отклонения центра масс трактора, движущегося с упругим креплением орудия, оказалась почти в 2 раза ниже –  $3,8 \text{ см}^2$ , и близка по своему значению к показателю трактора на холостом ходу –  $2,9 \text{ см}^2$ .

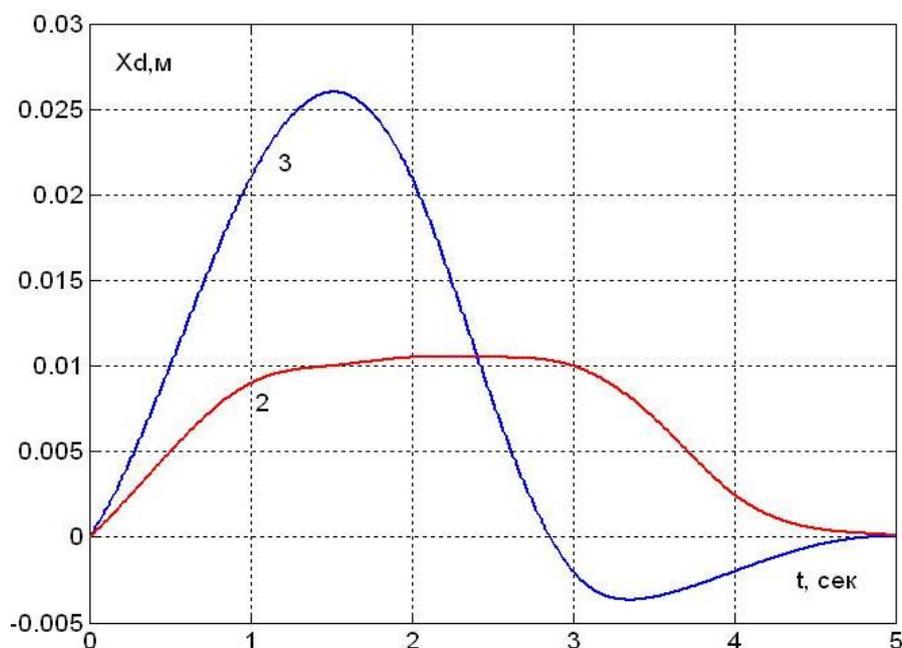


Рис. 1. График движения рабочего органа при заезде по прямому участку

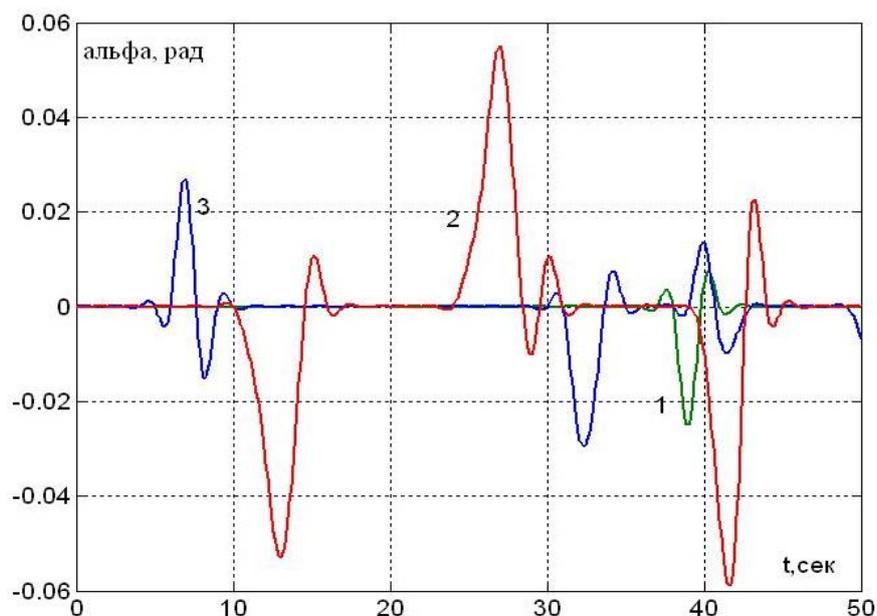


Рис. 2. График углов поворота управляемых колес трактора при заезде по прямому участку

#### Литература

1. Пат. №2427995 Российская Федерация, А01В 59/06 Фронтальная навеска трактора / Площаднов А.Н., Яковлев П.Ю., Зейгерман А.С., Маршалов Э.С., Курсов И.В., Бутаков Е.И., Убогова Т.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Алтайский гос. техн. ун-т. им. И.И. Ползунова. – №2010106512/21– заявл. 24.02.2010; опубл. 10.09.2011, бюл. №25. 4 с.: ил.

## СЕКЦИЯ 4. СТРОИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ, МЕХАНИЗМЫ

**Председатель секции:** кандидат технических наук, зав. кафедрой  
«Строительство и механика» Денисенко Алексей Алексеевич

### МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА РАСХОДА ВОЗДУХА ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА

Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)*

А.А. Кутумов

*Рубцовский индустриальный институт ФГБОУ «Алтайский  
государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Представлен принцип использования методики расчета дроссельного пневмоударного механизма (ПУМ) для определения необходимых и достаточных проходных сечений впускных и выпускных каналов, каналов перепуска, каналов утечек, вытеснения, наддува и продувки.

**Ключевые слова:** *Дроссельный пневмоударный механизм, проходные сечения каналов, энергия ударов, частота ударов.*

### METHODOLOGICAL BASIS OF THE CALCULATION OF THE AIR FLOW OF THE PNEUMATIC IMPACT MECHANISM

D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

A.A. Kutumov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The principle of the use of the method of calculation of the throttle pneumatic impact mechanism to determine the necessary and sufficient flow areas of the inlet and outlet channels, bypass channels, the channels of leakage, displacement, pressurization and purging is presented.

**Key words:** *Throttle pneumatic impact mechanism, flow areas of the channels, impact power, impact frequency.*

Для пневмоударного механизма (ПУМ) в системе воздухораспределения важно определение необходимых и достаточных проходных сечений впускных и выпускных каналов [1, 2]. При необоснованных увеличениях проходных сечений у золотниковых и клапанных ПУМ при несогласованных движениях ударника с золотником или ударника с клапаном на выпуске из предкамеры свойственны значительные непроизводительные расходы воздуха из рабочих камер в атмосферу.

У беззолотниковых и бесклапанных ПУМ распределители в виде клапана или золотника выполнены на ударнике, что обеспечивает их гарантированное

согласование движений и координат расположения каналов впуска и выпуска. В дроссельных ПУМ ударник управляет изменением давления воздуха в каждой камере и впуск в камеру рабочего и камеру холостого хода осуществляется за счет выполнения условия Сен-Венана – Вантцеля:

$0,5288 \geq P_i / P_o \geq 0,5288$ , где  $P_i$ ,  $P_o$  – давление воздуха в рабочей камере и предкамере (сети), при которых расход воздуха увеличивается или уменьшается, оставаясь необходимым и достаточным для формирования силового импульса ударника со стороны каждой камеры. При этом проходные сечения впускных каналов близки к оптимальным значениям для получения расчетных значений  $P_i$ , энергии и частоты ударов, согласно методике расчета дроссельного ПУМ.

Аналогично определяются проходные сечения для каналов перепуска через перепускные каналы и перетечек между камерами через зазоры между ударником и внутренним диаметром корпуса. Очевидно, что отмеченный методический прием использования методики расчета дроссельного ПУМ можно применить также для расчета каналов утечек, вытеснения, наддува и продувки.

#### Список литературы

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.
2. Абраменков, Э.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

### ПНЕВМОУДАРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ МНОГОЦЕЛЕВОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Э.А. Абраменков, Гендэн Баттулга, Чоен Олзийбаяр  
*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Представлены требования, предъявляемые к пневмоударным механизмам, позволяющие установить особенности машин, работающих на поверхности и в подземных условиях.

**Ключевые слова:** *Пневмоударные механизмы, пневмопробойник, проходка скважин, безотказность.*

### THE PNEUMATIC IMPACT MECHANISMS OF MULTIPURPOSE USE

E.A. Abramnikov, Genden Battulga, Choen Olziybayar  
*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

**Abstract:** The requirements to the pneumatic impact mechanisms allowing for establishing the features of the equipment operating both on the surface and in the underground conditions are presented.

**Key words:** *pneumatic impact mechanisms, pneumatic hammer, making holes, reliability.*

Обзор требований, предъявляемых к пневмоударным механизмам, позволил установить особенности машин, работающих на поверхности и в подземных условиях.

При всех одинаковых требованиях к пневмоударным механизмам выявлены различия в требованиях к рабочему процессу и их конструктивному исполнению [1].

Пневмоударные механизмы пневмопробойников для проходки подземных скважин и машин для разрушения устаревших с протяжкой новых труб водоотведения в случае остановки на трассе проходки скважин требуют устранения причин прекращения рабочего процесса пневмоударного механизма, доступ к которому затруднителен или невозможен. Отмеченное свойственно и для машин замены трубопроводов, у которых тяговые функции выполняет тот же пневмоударный механизм.

Для указанных пневмоударных механизмов требуется минимально возможное количество подвижных деталей простейших конструкций и технологического исполнения, определяющие их работоспособность и надежность. Таким требованиям соответствуют пневмоударные механизмы с дроссельным воздухораспределением открытого типа. Такие механизмы при минимально возможных габаритах, зависящих от диаметра проходимых скважин, обеспечивают надежную работу систем впуска воздуха в рабочие камеры и выпуска отработавшего воздуха из камер. Единственная подвижная деталь – ударник управляет только выпуском воздуха в зависимости от его положения координаты.

Предпочтительно, чтобы такими же свойствами обладали пневмоударные механизмы, работающие на поверхности и, особенно в случаях проведения аварийных и спасательных работ, когда нужна безотказность в работе машины ударного действия с необходимой энергией и частотой ударов.

#### Литература

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.

### **ПЕРЕМЕННЫЕ МЕСТНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ КАНАЛА ВПУСКА В КОРПУСЕ ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА**

Д.Э. Абраменков, А.В. Грузин, А.В. Куликов

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный  
университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Рассмотрены воздухоподводящие каналы в виде винтовых пазов, перекрывааемых последовательно. Подобные решения рекомендованы применять в пневмоударных механизмах навесных бутобоев и свайных молотах.

*Ключевые слова:* Пневмоударный механизм, воздухоподводящие каналы, винтовой паз.

## VARIABLE LOCAL RESISTANCES OF THE INLET CHANNEL IN THE HOUSING OF THE PNEUMATIC IMPACT MECHANISM

D.E. Abramenzov, A.V. Gruzin, A.V. Kulikov

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

**Abstract:** Air supply canals in the form of screw grooves, overlapped sequentially, are considered. Similar solutions are recommended for use in pneumatic impact mechanisms of mounted hydraulic hammers and pile hammers.

**Key words:** *pneumatic impact mechanism, air supply canals, screw grooves*

Каналы воздухоподвода при их значительной протяженности обуславливают увеличение местных сопротивлений, что приводит к уменьшению коэффициента расхода воздуха, энергоемкости, энергии и частоты ударов пневмоударного механизма.

Исследовались воздухоподводящие каналы в виде винтовых пазов, перекрываемых последовательно, чем изменялась их протяженность.

Конструктивно винтовые пазы выполнялись: на неподвижной втулке корпуса с перекрытием штоковой частью подвижного ударника; на штоковой части подвижного ударника с перекрытием неподвижной втулкой корпуса. Оба конструктивных решения позволили понизить давление воздуха в кольцевой камере рабочего хода в конце холостого хода ударника, чем обуславливалось меньшее противодействие и больший ход ударника, что обеспечивало больший участок разгона ударника при рабочем его ходе. При раскрытии винтовых пазов местные потери уменьшались, и возрастал коэффициент расхода, и количественный расход воздуха использовался на формирование силового импульса ударника, чем достигалось увеличение кинетической энергии ударника [1, 2].

Подобное конструктивное решение воздухоподводящих каналов рекомендуется применять в пневмоударных механизмах навесных бутобоев и свайных молотах с энергиями ударов более одного кДж.

При обосновании выбора пневмоударного механизма с одинаковой энергией единичного удара предпочтительно выполнение винтового пазы на неподвижной втулке корпуса, что обеспечивает большую прочность ударника. При изменении давлений воздуха от 0,1 до 0,6 МПа подводящего к пневмоударному механизму тенденции изменений расхода воздуха сохраняются.

### Список литературы

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.

2. Абраменков, Э.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ОБОСНОВАНИЯ МОЩНОСТИ ОТОПИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛИЧНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

В.С. Базылева, Д.С. Павлюченков

*Филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Национальный исследовательский университет  
«МЭИ» в г. Смоленске*

**Аннотация:** Рассмотрены основные виды технического обогрева, приведен тепловой расчет теплицы заданных размеров, обоснование выбора прибора для обогрева полученной мощности.

**Ключевые слова:** *обогрев, водяной обогрев, бойлер, электрообогрев, воздушное отопление, калорифер, газовое отопление, биотопливо.*

## **OPTIMIZATION STUDY OF THE POWER FOR GREENHOUSES HEATING SYSTEMS**

V.S. Bazyleva, D.S. Pavlyuchenkov

*The branch of Federal state budgetary educational institution of higher  
professional education "National Research University "MEI" in Smolensk*

**Abstract:** The article describes the main types of technical heating; it provides heat calculation for a greenhouse of specified dimensions, choice justification of heating device with the received power.

**Key words:** *heating, water heating, boiler, electric heating, air heating, air heater, gas heating, biofuel.*

Основными видами технического обогрева сооружений тепличного типа являются водяной, электрический, воздушный, газовый, печной. Грунт обогревается трубами, в которых находится горячая вода, теплый воздух. Для обогрева воздуха используют трубы, соединенные между собой в систему при помощи воздухопроводов. В воздухопроводы подают нагретый воздух. Температура воздуха регулируется с помощью термостата.

Водяной обогрев осуществляется с помощью бойлера, который устанавливается в тамбуре сооружения. Бойлер представляет собой котел, который топится дровами, углем, торфом, газом. Он может быть электрическим. Такой обогрев является наиболее экономичным, но процесс установки отопительной системы трудоемкий. Дело в том, что она состоит из бойлерного котла, из которого горячая вода при помощи насоса передаётся в пластиковые или металлические трубы и циркулирует по ним, затем снова возвращаясь в котёл. Трубы прокладывают вдоль боковых стен теплицы близко к почве.

Электрическое отопление позволяет осуществлять полную централизацию и автоматизацию управления системой. Такие приборы обладают высоким КПД и сохраняют чистоту воздуха. Рекомендуют использовать трубчатые электрические обогреватели, которые обеспечивают поддержание постоянной температуры и равномерно прогревают воздух. Электрообогрев также осуществляют с помощью вентиляторных воздухонагревателей, которые создают оптимальный микроклимат и снижают вероятность развития болезней у растений. Встречаются вентиляторные нагреватели, работающие в двух режимах: режим нагрева воздуха и режим вентиляции без нагрева.

Используются системы отопления, которые не связаны с электроэнергией: печи с нефтяным, керосиновым, газовым отоплением. Для этого необходимо выложить печь с дымоходом, топочное отверстие которого выходит в тамбур.

Воздушное отопление осуществляется при помощи калорифера, тепловых генераторов с использованием электроэнергии, горячей воды, пара, горячих газов. Создается циркуляцией теплого воздуха от источника тепловой энергии с помощью трубопроводов и вентиляторов. Такой способ отопления используется в весенних теплицах, реже в зимних. Источником энергии в этом случае является электрокалорифер, теплогенератор.

Газовое отопление отличается высокой технологической надежностью. Почти вся потребляемая ими энергия превращается в тепло. При горении природного газа расходуется кислород из теплицы, который при этом обогащается углекислым газом и водяным паром. Необходимо устанавливать вытяжные установки, так как чрезмерное количество углекислого газа может пагубно сказаться на развитии растений.

Способ обогрева для каждой теплицы выбирается индивидуально. Но сначала нужно определить потребность растений в тепле. Приведем тепловой расчет для теплицы следующих размеров:

$a=5$  – ширина теплицы, м;

$b=7,5$  – длина теплицы, м;

$c=2,5$  – высота в коньке, м;

$d=2$  – высота боковой стенки, м;

$S=37,5 \text{ м}^2$  – площадь пола;

$D=87,25 \text{ м}^2$  – площадь застекленной части.

В качестве покрывного материала используется стекло, коэффициент теплопроводности которого 1,15. Также необходимо учитывать разность между наиболее низкой температурой воздуха снаружи теплицы и желаемой температурой внутри. К примеру, самая низкая температура воздуха в регионе в заданный период составляет  $-11^{\circ}\text{C}$ , а внутри сооружения необходимо поддерживать температуру  $+18^{\circ}\text{C}$ . Разность между температурами составляет  $27^{\circ}\text{C}$ .

Потребность растений в тепле рассчитываем по формуле:

$$Q = D \cdot \Delta T \cdot K \quad (1)$$

Подставляя заданные значения, получим:

$$Q = 87,25 \cdot 27 \cdot 1,15 = 2709,1 \text{ ккал/ч.}$$

Переведем полученное значение в киловатты:

1 Вт=0, 86 ккал/ч,

$$Q=2709,1/0,86=3150 \text{ Вт.}$$

Исходя из этого можно сделать вывод, что для обогрева теплицы потребуются такой прибор, у которого мощность составляет не менее 3 кВт.

Эффективным способом отопления является использование биотоплива, так как в процессе разложения происходит большое выделение тепловой энергии. Так, биотопливо может разогреваться до температуры 65-70<sup>0</sup>С, что бывает достаточно для теплиц небольших размеров. Помимо тепла выделяется большое количество углекислого газа, что благоприятно влияет на развитие растений.

Применяя тот или иной способ регулирования теплового режима в тепличных сооружениях, необходимо учитывать биологические требования культур, внешнюю температуру воздуха, влажность и назначение тепличного сооружения.

#### Литература

1. Добров, В.В. Выращиваем овощи в парниках и теплицах / В.В. Добров. М.: ООО ТД «Издательство Мир книги», 2008. 256 с.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ ДОБАВОК В БЕТОННЫХ СМЕСЯХ

М.В. Коробкова<sup>1</sup>, А.Н. Корнеев<sup>2</sup>

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный  
университет<sup>1</sup>*

*Рубцовский индустриальный институт<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Представлены результаты исследований ударной прочности мелкозернистого бетона с маложесткими дисперсными компонентами различной природы. Получены новые данные о влиянии демпфирующих добавок на характеристики бетона при динамических нагрузках. Предложен метод прогнозирования ударной прочности бетона с маложесткими компонентами.

**Ключевые слова:** Демпфирующие добавки, маложесткие компоненты, ударная прочность, мелкозернистый бетон.

# USE OF THE DAMPING COMPONENTS IN CONCRETE COMPOUNDS

M.V. Korobkova

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

A.N. Korneev

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The results of studies of impact resistance of fine grained concrete with non-rigid dispersed components of different nature are presented. New data about the effect of damping additives on properties of concrete under dynamic loads are obtained. A method for predicting the impact strength of concrete with non-rigid components is proposed.

**Key words:** *Damping additives, non-rigid components, impact strength, fine-grained concrete.*

Традиционные цементные бетоны, как правило, не отвечают требованиям по динамической прочности и усталостной выносливости для ответственных конструкций транспортного и промышленного строительства. Одним из перспективных направлений повышения характеристик бетона при динамических нагрузках является введение маложестких пористых дисперсных компонентов (демпфирующих добавок) [1-6].

Целью настоящей работы явилась экспериментальная оценка эффекта демпфирования при введении в состав бетона различных маложестких компонентов для последующего структурного моделирования данного явления.

В качестве демпфирующих на данном этапе исследований применялись следующие добавки: пенополистирол (фракции 0,8-2,0 мм), керамзитовый песок (фракции 0,63-5 мм) и пеностекло (фракции 0,63-5,0 мм). Керамзит и пеностекло с размером частиц менее 0,63 мм отсеивались для минимизации участия тонкодисперсных фракций в химическом взаимодействии в процессе гидратации и акцентирования именно эффекта демпфирования.

В экспериментальных исследованиях применялся портландцемент марки ПЦ500 Сланцевского цементного завода, песок речной кварцево-полевошпатовый (фракция 0-5 мм).

Приготовление бетонной смеси заключалось в перемешивании вручную смеси сухих компонентов с последующим добавлением воды затворения. Водоцементное отношение всех составов внутри серии сохранялось неизменным и составляло 0,5.

Первая партия образцов изготовлялась как контрольная, бездобавочная. Далее часть песка замещалась добавками таким образом, чтобы объемное соотношение цемент: заполнитель оставалось неизменным (1:3). Сравнение свойств бетонных смесей и бетонов производилось относительно контрольного (бездобавочного) состава.

Прочность бетона при изгибе и сжатии определялась на образцах-балочках (4×4×16) см, твердевших в нормально-влажностных условиях 28 суток.

Ударная прочность определялась при помощи вертикального динамического копра. Испытания проводились на образцах-кубах с ребром

7,07 см при массе свободно падающего груза копра 3,5 кг с высоты 1 м. Ударная прочность оценивалась по количеству ударов до разрушения.

Результаты испытаний в графическом виде представлены на рис. 1-3.

Анализ приведённых данных позволяет сделать вывод о том, что введение керамзита, пенополистирола и пеностекла снижает прочность на изгиб и на сжатие, но при этом наблюдается повышение ударной прочности при оптимальном содержании добавки.

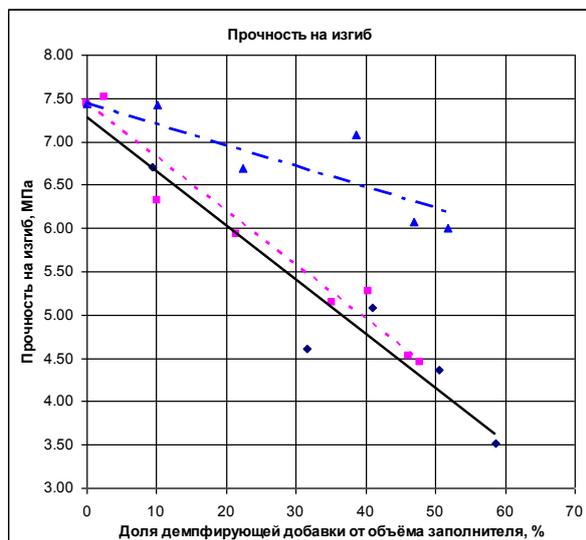


Рис. 1. Зависимость прочности бетона на изгиб от расхода демпфирующей добавки

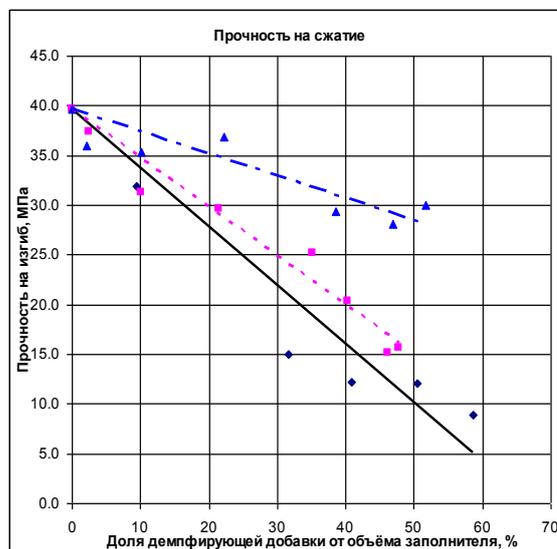


Рис. 2. Зависимость прочности на сжатие от расхода демпфирующей добавки

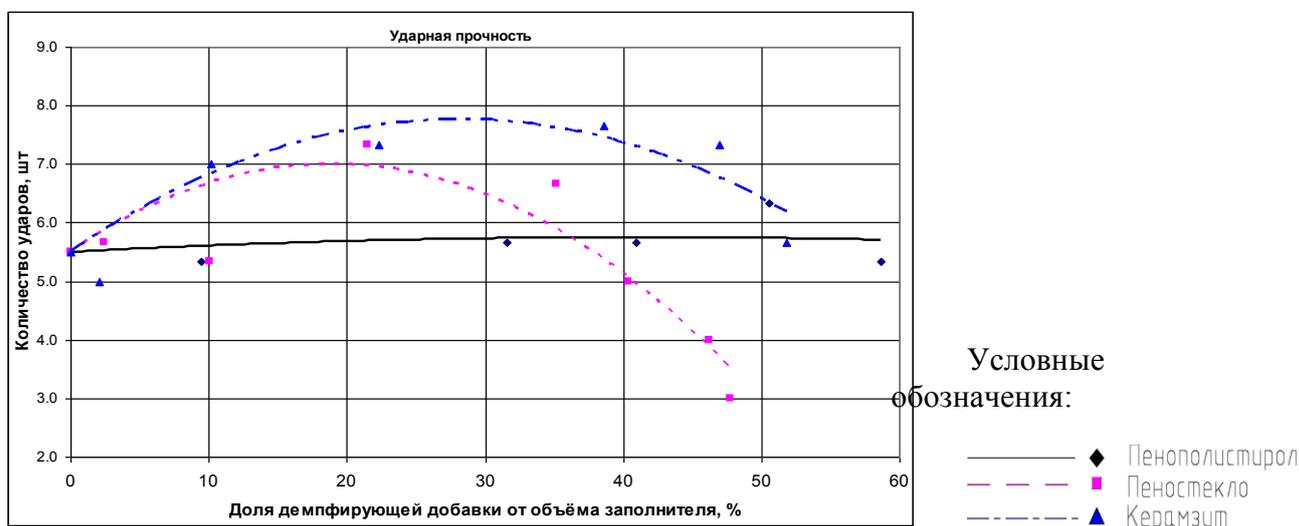


Рис. 3. Зависимость ударной прочности от количества демпфирующей добавки

При использовании пенополистирола максимальная ударная прочность отмечается при замене около половины песка на добавку, но резко уменьшается прочность на сжатие и изгиб. Прирост ударной прочности у составов с керамзитом и пеностеклом существеннее, и максимальные значения

наблюдаются при замене около 25 и 30% песка пеностеклом и керамзитом соответственно. Следует отметить, что снижение прочности на изгиб и сжатие в случае использования керамзитового песка менее значительно, чем при введении других добавок.

Исследованные маложесткие компоненты бетона имеют существенные отличия в физико-механических характеристиках. Это обуславливает различия в величине демпфирующего эффекта, а также степени снижения статической прочности (табл. 1). Очевидно, что требуется количественная оценка параметров демпфирования в зависимости от свойств маложестких компонентов и уточнение его механизма для выработки методов проектирования бетонов.

Таблица 1

Изменение характеристик бетонов относительно контрольного образца при максимальном значении ударной прочности

| Демпфирующая добавка | Доля добавки от объёма заполнителя, % | Повышение ударной прочности, % | Снижение прочности на изгиб, % | Снижение прочности на сжатие, % |
|----------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Пенополистирол       | 50                                    | 15                             | 41                             | 70                              |
| Пеностекло           | 20                                    | 33                             | 20                             | 25                              |
| Керамзит             | 40                                    | 40                             | 5                              | 26                              |

Таким образом, результатами проведенных экспериментальных исследований подтверждена возможность повышения ударной прочности бетона за счет введения маложестких компонентов. Тем не менее, эффективность использования различных добавок сильно отличается. На свойства бетона влияет большое количество факторов, что затрудняет проектирование материала с заданными свойствами на основе применения демпфирующих добавок. Для решения этой задачи следующий этап работы предполагает применение метода структурно-имитационного моделирования, позволяющего выявить основные факторы, оценить степень их влияния и выработать основные направления получения бетонов с прогнозируемыми характеристиками.

#### Список литературы

1. Давлетшин, М.Б. Демпфирующие компоненты в составах бетонов повышенной ударной выносливости / М.Б. Давлетшин, А.В. Парфёнов, В.Н. Мохов и др. // Междунар. межвуз. сб. научн. трудов «Проблемы строительного комплекса России». – Уфа: УГНТУ, 1998. – С. 10.
2. Гладков, Д.И. Физико-химические основы прочности бетона и роль технологии в её обеспечении / Д.И. Гладков. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2004. – 293 с.
3. Бабков, В.В. Модифицированные бетоны повышенной ударной выносливости / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, М.Б. Давлетшин, А.В. Парфёнов и др. // Строительные материалы. – 2002. – №5. – С. 24.

4. Беспаяев, А.А. Прочность и деформативность высокопрочных бетонов при динамических нагрузках / А.А. Беспаяев, С. Ш. Джарылсасынов // Международная научная конференция «Механика и строительство транспортных сооружений» 28-29 января 2010 г. – Алматы, 2010. – С. 229-232.

5. Большаков, Э.Л. Прочностные и деформативные свойства композиционных материалов с комбинированным наполнителем различной жесткости / Э.Л. Большаков, П.Г. Комохов// Тезисы докладов 1-й международной конференции "Актуальные проблемы прочности", Часть.1. Новгород, 1994, С. 112.

6. Лотошникова, Е.О. Физико-химические исследования микро- и макроструктуры бетонов жесткого прессования с демпфирующей добавкой зольных микросфер: Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона, 2013. №4. Режим доступа: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n4y2013/2092>, свободный.

## **МЕТОД СТРУКТУРНО-ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАЗРУШЕНИЯ БЕТОНА**

М.В. Коробкова<sup>1</sup>, А.Н. Корнеев<sup>2</sup>

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет<sup>1</sup>*

*Рубцовский индустриальный институт<sup>2</sup>*

**Аннотация:** Предложен метод структурно-имитационного моделирования кинетики развития деструкции конгломератных строительных материалах при силовом нагружении на примере мелкозернистого бетона. На базе данного метода выполнен расчет трещинообразования бетона с маложесткими включениями; определены оптимальные характеристики демпфирующих элементов структуры, позволяющие повысить трещиностойкость материала.

**Ключевые слова:** имитационное моделирование, метод конечных элементов, трещинообразование, бетон, демпфирующие добавки.

## **STRUCTURAL METHOD FOR MODELING THE DESTRUCTION OF CONCRETE**

M.V. Korobkova

*Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

A.N. Korneev

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** A structural method for modeling the kinetics destruction of conglomerate building materials under loading on the example of fine-grained concrete was proposed. On the basis of this method was calculated the cracking of concrete with non-rigid components. The optimal characteristics of the damping elements of the structure, allowing increasing material fracture toughness, were defined.

**Key words:** structural simulation, finite element method, cracking, concrete, non-rigid components.

Кинетический характер разрушения, связанный с постепенным накоплением дефектности структуры рассматриваемой системы, возможно воспроизвести на основе структурного моделирования с применением метода конечных элементов (МКЭ) [1]. Имитация данного процесса позволяет оценить механизм и степень влияния компонентов бетона на процессы деструкции, что дает возможность выработать научно обоснованные рекомендации по направленному формированию материалов повышенной трещиностойкости при различных видах нагружения.

Для имитации разрушения исследуемого материала использовалась функция активации и дезактивации конечных элементов при достижении ими предельной величины принятого критерия разрушения.

При моделировании процесса трещинообразования в цементном камне по МКЭ использован критерий разрушения,  $\sigma_{кр}$ , основанный на теории предельных напряжений [2]:

$$\sigma_{кр} = \sigma_1 - \beta(\sigma_2 + \sigma_3) \leq \sigma_p, \quad (1)$$

где  $\beta = R_p/R_{сж}$  – отношение предела прочности на растяжение к пределу прочности на сжатие;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения;  $\sigma_p$  – предел прочности материала на растяжение.

В соответствии с процедурой решения задачи по МКЭ с использованием функции активации и дезактивации элементов, в конце каждого шага приращения нагрузки производится поэлементная проверка по заданному критерию. В случае превышения критерия элементы деактивируются и проводится расчет на следующем шаге нагружения с сохранением напряженно-деформированного состояния, вычисленного на предыдущем шаге. На деактивируемых же элементах деформации, нагрузки и т.п. обнуляются. Следует отметить, что дезактивация элемента представляет собой умножение его матрицы жесткости на малое число ( $10^{-11}$ ), а не его физическое удаление из модели. При этом геометрическая нелинейность учитывается, а физическая – нет, что сокращает время расчета, но «огрубляет» задачу.

На начальном этапе зарождения трещин в наиболее «уязвимых» местах при величине нагрузки, составляющей 30% от разрушающей, начальные трещины возникают в контактной зоне вокруг заполнителя, тем самым зерна песка «выключаются» из работы, а также по поверхностям пор в нижней и верхней их части (элементы, уровень напряжений которых превышает критерий разрушения, удалены).

Дальнейшая имитация процесса разрушения структуры мелкозернистого бетона заключалась в поэтапном наращивании внешней нагрузки при соблюдении условия кратковременной выдержки на отдельных ступенях нагружения. На рисунке 1 приведен характер разрушения структуры при нагрузке, составляющей 70% от разрушающей.

При уровне сжимающей одноосной нагрузки  $0,7 \cdot P_{разр}$  существует тенденция соединения близлежащих пор микротрещинами, а также локального

разрушения контактной зоны. Однако выхода трещин на поверхность образца не наблюдается.

Последующее увеличение нагрузки сопровождается ростом деструкции бетона с образованием магистральных трещин, выходящих на поверхность образца при достижении разрушающего уровня нагружения.

Полученная картина возникновения и развития трещин соответствует существующим представлениям о процессе разрушения цементных композиций и позволяет заключить, что предложенный метод моделирования процессов разрушения бетона при одноосном сжатии пригоден для теоретической оценки прочности рассматриваемых систем.

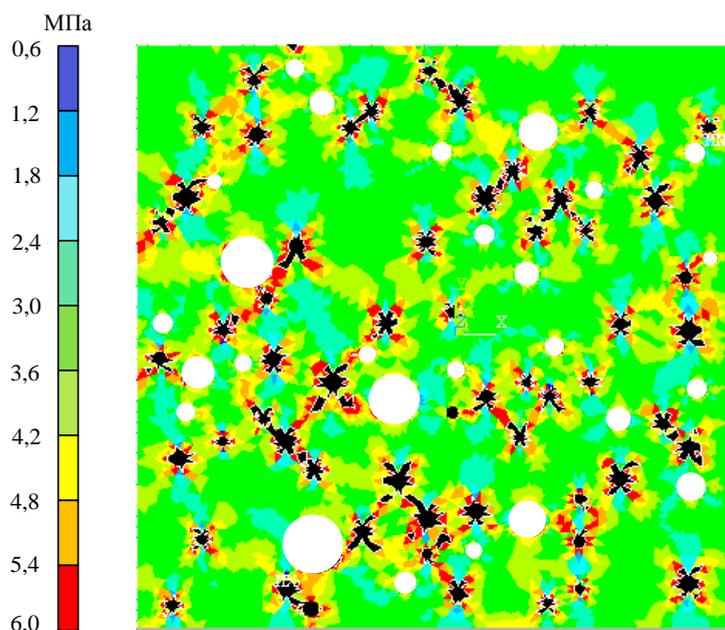


Рис. 1. Характер разрушения структуры мелкозернистого бетона при уровне нагрузки 70% от разрушающей (белым цветом обозначены зерна заполнителя)

На основе рассмотренной выше методики оценки прочности бетона было проведено исследование влияния величин модуля упругости цементного камня, как матричной составляющей системы, и заполнителя на характер развития деструкции с целью выявления рационального соотношения жесткостных показателей, обеспечивающих наибольшую прочность мелкозернистого бетона.

Как известно, применение мало жестких включений в качестве демпферов структурных напряжений способствует торможению процессов трещинообразования цементных систем [3-5].

Однако при низкой прочности демпфирующих включений происходит его раздавливание, что в итоге приводит к снижению прочности бетона. Так, предел прочности керамзита при растяжении не превышает 3,5 МПа, а на сжатие – 15 МПа ( $E \cong 10,0$  кПа) [6, 7], в то время как согласно проведенным расчетам в зернах заполнителя критические напряжения ( $\sigma_{кр}$ ) достигают 15 МПа при уровне нагружения  $0,9 \cdot P_{разр}$ .

Ввиду этого требуется количественная оценка описанного выше технологического приема, позволяющая оптимизировать структуру по параметрам трещиностойкости.

Для минимизации концентрации напряжений и обеспечения условий совместного деформирования структурных элементов необходимо в максимальной степени обеспечить близость показателей их жесткости.

Согласно численным расчетам, проведенным на базе разработанных моделей, при величине модуля Юнга заполнителя, равной 40 ГПа, и при условии, что соотношение пределов прочности заполнителя при растяжении и сжатии составляет не более 0,18, трещинообразование уменьшается на 20% по отношению к контрольному составу. Дальнейшее снижение жесткости заполнителя сопровождается, как правило, снижением его прочности ниже критического уровня.

С точки зрения влияния на трещиностойкость бетона, оцениваемой по площади образующихся трещин, эффективность применения заполнителя с пониженным модулем упругости снижается по мере роста внешней нагрузки. В конечном итоге, при высоком уровне нагружения уменьшение модуля упругости заполнителя на 17 и 45% позволяет снизить площадь образующихся трещин на 6 и 20% соответственно.

Упругим характеристикам заполнителя, обеспечивающим оптимальный режим его работы в структуре мелкозернистого бетона, наиболее близко удовлетворяет известняк ( $E \cong 35$  ГПа,  $R_p/R_{сж} \cong 0,12$  МПа).

В данной работе рассмотрен вариант частичного замещения части традиционного кварцевого песка дробленным керамическим кирпичом с целью уменьшения градиента между величинами жесткости элементов структуры бетона. Исходя из высказанных предпосылок, целесообразным является введение маложестких включений взамен крупных фракций песка (1,0-5,0 мм). Тем самым, модуль упругости матрицы, изначально значительно меньший, чем у кварцевого песка, становится в большей степени сопоставим с упругими свойствами заполнителя указанной фракции.

Проведенные расчеты показали, что введение в состав заполнителя дробленого керамического кирпича с величиной модуля упругости  $E \cong 25$  ГПа (коэффициент Пуассона  $\mu = 0,25$ ,  $R_p/R_{сж} = 0,15$  МПа) взамен песка фракции 1,0-5,0 мм позволяет снизить площадь трещин на 50, 42, 35 и 28% при эквивалентной степени нагружения 0,3, 0,4, 0,5 и 0,7  $P_{раз}$  соответственно.

В таблице 1 представлены данные экспериментальных исследований влияния замещения песка фракции 1,0-5,0 мм дробленным керамическим кирпичом с соответствующим размером частиц на свойства мелкозернистого бетона (примечание: за чертой указано процентное отношение параметров свойств к контрольной величине).

Образцы-балочки 4×4×16 мм испытывались в возрасте 28 суток нормально-влажностного твердения. В качестве вяжущего применялся портландцемент ПЦ 500 Д0; использовался песок мелкий.

## Состав и свойства мелкозернистого бетона

| Состав бетона   |                                       |            | Свойства бетона                        |  |                                       |
|---|---------------------------------------|------------|--|--|---------------------------------------|
| Дробленый кирпич,<br>% от объема смеси<br>заполнителя | Соотношение<br>цемент:<br>заполнитель | <i>В/Ц</i> | Предел<br>прочности при<br>сжатии, МПа | Предел<br>прочности при<br>изгибе, МПа | Начальный<br>модуль<br>упругости, ГПа |
| -   | 1:2,5                                 | 0,5        | 32,6/100                               | 5,2/100                                | 22,0/100                              |
| 10  | 1:2,5                                 | 0,5        | 37,0/113                               | 6,4/123                                | 21,6/98,2                             |

На основании данных, приведенных в таблице 1, можно сделать вывод о том, что замещение в цементно-песчаной композиции песка фракции 1,0-5,0 мм дробленным керамическим кирпичом (10% объема заполнителя) значительно повысило прочность материала на сжатие и изгиб (на 13 и 23% соответственно). Причем для модифицированного состава характерно увеличение коэффициента трещиностойкости ( $R_{изг}/R_{сж}$ ) с 0,160 до 0,173, что подтверждает расчетные данные по трещинообразованию.

## Список литературы

1. Харитонов, А.М. Исследование свойств цементных систем методом структурно-имитационного моделирования / А.М. Харитонов // Строительные материалы. 2008. №9. С. 81-83.
2. Тарасенко, И.И. О критериях хрупкой прочности материалов / И.И. Тарасенко // Строительная механика и строительные конструкции. М.: Стройиздат, 1960. Вып. 26. С. 18-22.
3. Бабков, В.В. Аспекты получения высокопрочного цементного камня / В.В. Бабков, И.Ш. Каримов // Тезисы докладов III Международной конференции «Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте». СПб., 1995. С. 47-48.
4. Комохов, П.Г. Механико-технологические основы торможения процессов разрушения бетонов ускоренного твердения: дис. .... докт. техн. наук (05.23.05) / П.Г. Комохов. Л., 1979. 38 с.
5. Большаков, Э.Л. Влияние демпфирующих добавок на прочностные и доформативные показатели бетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук. (05.23.05) / Э.Л. Большаков. СПб.: ПГУПС, 1996. 22 с.
6. Макридин, Н.И. Физико-механические свойства керамзитового гравия при осевом растяжении / Н.И. Макридин, В.Л. Хвастунов // Строительные материалы. 1976. №8. С. 27-28.
7. Яворский, А.К. Методика исследования качества керамзитового гравия на свойства керамзитобетона / А.К. Яворский; в кн. Методы испытания пористых заполнителей легкобетонных смесей и легких бетонов на пористых заполнителях. М.: СИ, 1967. С. 37-41.

## БАРОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПЕРЕПУСКА МЕЖДУ КАМЕРАМИ ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА

А.А. Кутумов, А.Н. Корнеев

*Рубцовский индустриальный институт ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Д.Э. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Рассматривается процесс моделирования изменения давления воздуха в изменяющемся объеме камеры во времени при одновременном впуске из сети в камеру рабочего хода и выпуске из нее. Показано, что бародинамический КПД использования энергии воздуха пневмоударных машин существенно выше в сравнении с термодинамическим КПД.

**Ключевые слова:** Бародинамический КПД, энергия сжатого воздуха, энергия ударов, частота ударов.

## BARODYNAMICS OF THE RESTART-UP PROCESS BETWEEN THE CHAMBERS OF THE PNEUMATIC IMPACT MECHANISM

A.A. Kutumov, A.N. Korneev

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of Polzunov Altai State Technical University*

D.E. Abramnikov

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

**Abstract:** This article describes the process of modeling changes in air pressure in the changing volume of chamber in the period of simultaneous inlet to the working stroke chamber and outlet. It is shown that barodynamic efficiency of the use of energy of the pneumatic impact mechanism is significantly higher in comparison with the thermodynamic efficiency.

**Key words:** Barodynamic efficiency, compressed air energy, impact power, impact frequency.

В основу исследований положено изучение процесса изменения давления воздуха в изменяющемся объеме камеры во времени при одновременном впуске и выпуске. Рассмотрены процессы при впуске из сети в камеру рабочего хода с перепуском из нее в камеру холостого хода и выпуска из нее в зависимости от координаты положения ударника [1, 2]. Перепуск воздуха между камерами прекращался непосредственно перед началом выпуска из камеры холостого хода.

Моделирование рабочих процессов осуществлялось при давлении воздуха в сети, равном 0,4; 0,5 и 0,6 МПа, и давлении воздуха в атмосфере, равном 0,1 МПа.

Численные значения изменений давления воздуха в камерах позволили определить при расчетных объемах камер энергию и частоту ударов, а также бародинамический КПД использования энергии воздуха в каждой камере. Таким образом определялись потенциальные возможности использования

энергии сжатого воздуха при его перепуске между камерами и направления совершенствования системы воздухораспределения пневмоударного механизма.

Исследования показали, что бародинамический КПД существенно выше (до 60%) в сравнении с термодинамическим КПД и его увеличение потребует существенных изменений как в части его физического представления для пневмоударных машин, так и в части совершенствования системы воздухораспределения. Таким образом, введение понятия о бародинамическом процессе пневмоударных машин вызывает интерес к более глубокому изучению их термодинамического процесса. В настоящее время общий КПД бародинамического и термодинамического процесса изменяется в пределах 0,4...0,5 без учета сопутствующих потерь при подготовке и транспортировке сжатого воздуха к пневмоударной машине.

#### Список литературы

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.
2. Кутумов, А.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов / А.А. Кутумов, Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков. Новосибирск, 2008. 376 с.

### **ТЕРМОДИНАМИКА ПРОЦЕССА ПЕРЕПУСКА МЕЖДУ КАМЕРАМИ ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА**

А.А. Кутумов, А.Ю. Заикин

*Рубцовский индустриальный институт ФГБОУ «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

Д.Э. Абраменков

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)*

**Аннотация:** Рассматриваются результаты исследований процесса изменений температуры воздуха в камерах рабочего и холостого ходов пневмоударного механизма. Отмечено увеличение давления воздуха при сжатии в камере холостого хода и увеличение его температуры.

**Ключевые слова:** Расход воздуха, термодинамический КПД, энергия ударов, частота ударов.

### **THERMODYNAMICS OF THE PROCESS OF THE BYPASS BETWEEN THE CHAMBERS OF THE PNEUMATIC IMPACT MECHANISM**

A.A. Kutumov, A.Y. Zaikin

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

D.E. Abramnikov

*Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*

**Abstract:** The results of studies of the process of the air temperature changes both in the working stroke chambers and idler stroke chambers of the pneumatic impact mechanism are considered. The increase in air pressure during the compression in the idler stroke chamber and the increase of air temperature is noted.

**Key words:** *air consumption, thermodynamic efficiency, impact power, impact frequency.*

Исследование процесса изменений температуры воздуха в камерах рабочего и холостого ходов пневмоударного механизма с перепуском воздуха между камерами во времени проведено при моделировании рабочего процесса, при расчетных объемах камер и впуске воздуха из предкамеры с давлением 0,4; 0,5; 0,6 МПа. Перепуск воздуха осуществлялся из камеры рабочего хода в камерах холостого хода в зависимости от координат положения ударника и прекращался непосредственно перед выпуском из камеры холостого хода [1, 2].

Запись осциллограмм температуры и давления воздуха производилась одновременно, что позволяло сопоставлять физическое соответствие изменений указанных параметров. Отмечено увеличение давления воздуха при сжатии в камере холостого хода от 0,1 до 0,6 МПа и увеличение его температуры в 1,5...1,6 раза. Отдача тепла воздуха стенкам корпуса осуществлялась в течение рабочего цикла, что предопределяло повышение температур у стенок корпуса и не позволяло существенно повышать температуру воздуха в камере холостого хода.

Таким образом, результаты моделирования не дают основания для значительного увеличения энергии и частоты ударов. Однако выпуск отработавшего воздуха только из камеры холостого хода позволяет существенно (до 40%) снизить расход воздуха из сети за счет исключения непроизводительной части воздуха камерой рабочего хода.

При всех изменениях давления воздуха на впуске термодинамический КПД отличался (10...15)%. Изучение тенденций изменения температуры воздуха в рабочих камерах позволяет определить направления повышения энергетических параметров пневмоударных механизмов подобного типа.

#### Список литературы

1. Абраменков, Э.А. Пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков. Новосибирск, 1993. 456 с.
2. Абраменков, Э.А. Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия: дроссельные, струйные, беззолотниковые, бесклапанные, комбинированные / Э.А. Абраменков, Д.Э. Абраменков, Ф.Ф. Кириллов, А.А. Кутумов. Томск, 2008. 434 с.

# СТРУКТУРА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПУТЕВОЙ МАШИНЫ

С.В. Фокин

*Московский государственный областной  
социально-гуманитарный институт*

**Аннотация:** В статье содержится описание комплекса программ, используемых в системе мониторинга специального подвижного железнодорожного состава. Рассмотрены основные функции, задачи, этапы работы программ.

**Ключевые слова:** *Путевая машина, система диагностики и мониторинга, программный комплекс, структура программы.*

## THE STRUCTURE OF PROGRAM COMPLEX OF TRACK MACHINE MONITORING SYSTEM

S.V. Fokin

*Moscow State Regional Socio-Humanitarian Institute*

**Abstract:** The paper contains the description of the complex of programs used in the monitoring system of special railway rolling stock. The basic functions, tasks and stages of work of programs are considered in the paper.

**Key words:** *Track machine, the system of diagnostics and monitoring, program complex, program structure.*

Для создания новых железнодорожных путей и обслуживания существующих используется специализированный подвижной состав – путевые машины. Они составляют основу комплексной механизации, автоматизации и технической эксплуатации железнодорожного пути в целом. Затраты на хранение, амортизацию и восстановление работоспособности специального подвижного состава составляют до 25% себестоимости машино-часа эксплуатации, а за весь срок службы они в 8-10 раз превосходят стоимость новых машин. Снизить эти затраты можно путем повышения эффективности технической эксплуатации с помощью внедрения комплексного мониторинга и диагностики путевых машин, которая позволит исключить интенсивный износ деталей и отказ машин на объекте [1].

Применение технического диагностирования вместо традиционных субъективных контрольных операций позволяет поменять тактику обслуживания и ремонтов специального подвижного состава, сохраняя плано-предупредительную стратегию проведения технического обслуживания и ремонта, т.е. вместо проведения их «по наработке» проводить работы «по техническому состоянию». Тогда очередное техническое обслуживание проводится не по плану, а по результатам технического диагностирования. При этом выполняются только необходимые работы из требуемого перечня по результатам технического диагностирования. Это позволяет предупредить внезапные отказы и снизить объемы работ по техническому обслуживанию и ремонту. Применение диагностирования в

процессе проведения работ позволяет повысить их качество и снизить временные затраты [2].

Для реализации грамотной технической эксплуатации необходимо изучить закономерности изменения технического состояния путевой машины в процессе эксплуатации под воздействием различных факторов. Это позволит сделать выводы о работоспособности подвижного состава на научной основе, опираясь на которые можно грамотно организовать техническое обслуживание и ремонт, применение запасных частей, совершенствование технологических процессов обслуживания, применение информационных технологий при организации технической эксплуатации [1].

Современная комплексная система мониторинга и диагностики промышленного объекта не обходится без применения информационных технологий. Использование ЭВМ позволяет делать системы универсальными и гибкими, а также создавать качественный и интуитивно-понятный человеко-машинный интерфейс, что крайне положительно отражается на условиях труда машиниста.

Основой работы ЭВМ являются программы, которые для системы контроля и диагностики имеют свою специфичную структуру.

В подобных системах целесообразно применять два уровня управления: верхний, на котором располагаются основные вычислительные ресурсы системы, и нижний, осуществляющий взаимодействие непосредственно с контролируемыми агрегатами посредством блоков ввода-вывода сигналов. Связь между уровнями может осуществляться по радиальному, магистральному или комбинированному (магистрально-радиальному) принципам.

Радиальный канал имеет высокую структурную надежность, так как выход из строя одного приемо-передающего устройства на нижнем уровне или обрыв индивидуальной шины нарушают обмен данными лишь с одним модулем ввода-вывода и не влияют на работу остальных. Использование радиального канала обеспечивает быструю реакцию на запросы модулей ввода-вывода и, соответственно, малое время ожидания контролируемых устройств на обслуживание. Преимущества такой структуры компенсируются затратами на дополнительное оборудование [3].

Для анализа состояния любого агрегата необходимо обладать информацией о его состоянии, которую можно получить с помощью датчиков. Датчик является первичным источником данных для любой системы мониторинга и диагностики. При организации мониторинга промышленных объектов необходимо контролировать большое количество агрегатов и, следовательно, использовать большое количество датчиков. Поэтому целесообразно функцию сбора данных с датчиков возложить на отдельный блок – блок сбора данных. Используемые датчики, как правило, имеют различные характеристики, типы выходного сигнала и т.п., поэтому в функцию блока сбора данных входит приведение данных к единому виду. Самым оптимальным вариантом для комплексного отображения собранной информации является пакет данных промышленного протокола. Для выполнения всех перечисленных действий нужно использовать систему ввода-

вывода сигналов на основе микропроцессорного устройства, которое будет управляться программой нижнего уровня. Данная программа является первым звеном в структуре программного комплекса системы мониторинга путевой машины. Обобщенный алгоритм работы программы блока сбора данных показан на рис. 1.

Программа нижнего уровня записывается («зашивается») в контроллер, который управляет всем вышеописанным процессом. Первый шаг алгоритма – это формирование уникального цвета пользовательского светодиода контроллера. Это необходимо для организации простейшего человеко-машинного интерфейса. Если оператор наблюдает указанный цвет пользовательского светодиода, значит, программа контроллера работает корректно.



Рис. 1. Алгоритм работы программы блока сбора данных

Затем происходит перераспределение данных с соответствующих каналов ввода системы ввода-вывода сигналов по заданным разработчиком адресам протокола передачи данных более высокого уровня. Контроллер не только формирует и отправляет пакеты данных, но получает данные и передает их в каналы вывода системы ввода-вывода сигналов.

На этом процесс сбора и преобразования первичных данных заканчивается. Далее необходима реализация непосредственно мониторинга. Задача реализации мониторинга тесно связана с задачей реализации человеко-машинного интерфейса. Для осуществления мониторинга, диагностики и

создания качественного человеко-машинного интерфейса необходимо разработать достаточно сложную программу на языке высокого уровня, что требует использования мощного вычислительного устройства для её работы. Задачей программы является получение данных, их обработка и анализ, формирование управляющих воздействий и реализация человеко-машинного интерфейса. Обобщенный алгоритм работы программы верхнего уровня показан на рис. 2.

Основными задачами системы мониторинга являются [4]:

- непрерывное отображение показаний датчиков, установленных на контролируемых агрегатах путевой машины;
- осуществление допускового контроля;
- принятие решений о прекращении работы дизеля или запрете перемещения путевой машины;
- ведение журнала состояния;
- сохранение всех данных в зашифрованном виде.

Для пользователя программы необходимо реализовать возможность внесения определенных изменений в работу программы верхнего уровня: проводить тарировку датчиков, изменять аварийные и предупреждающие границы параметров, задавать границы изменения измеряемой величины [5].

В связи с большим количеством отображаемых данных целесообразно всю информацию, выводимую на дисплей системы мониторинга, разделить на несколько диагностических экранов, каждый из которых должен отображать параметры, соответствующие определенному режиму.

Таким образом, программный комплекс системы мониторинга путевой машины реализуется двумя программами – программой нижнего уровня и программой верхнего уровня. Программа нижнего уровня организует опрос датчиков, выдачу управляющих сигналов и преобразование протокола. Она записывается в контроллер единожды, а для её изменения требуются специальные программно-аппаратные средства.

Программа верхнего уровня обеспечивает функционирование и настройку всей системы. Она обеспечивает:

- реализацию человеко-машинного интерфейса;
- отображение состояния наблюдаемых величин;
- тарировку датчиков;
- настройку цветовых зон приборов;
- хранение данных за заданный промежуток времени;
- самодиагностику системы.

Предлагаемая структура программного комплекса позволяет создать надежную и удобную в обслуживании систему мониторинга, которая легко адаптируется к заданным условиям эксплуатации и удовлетворяет современным требованиям организации условий труда.

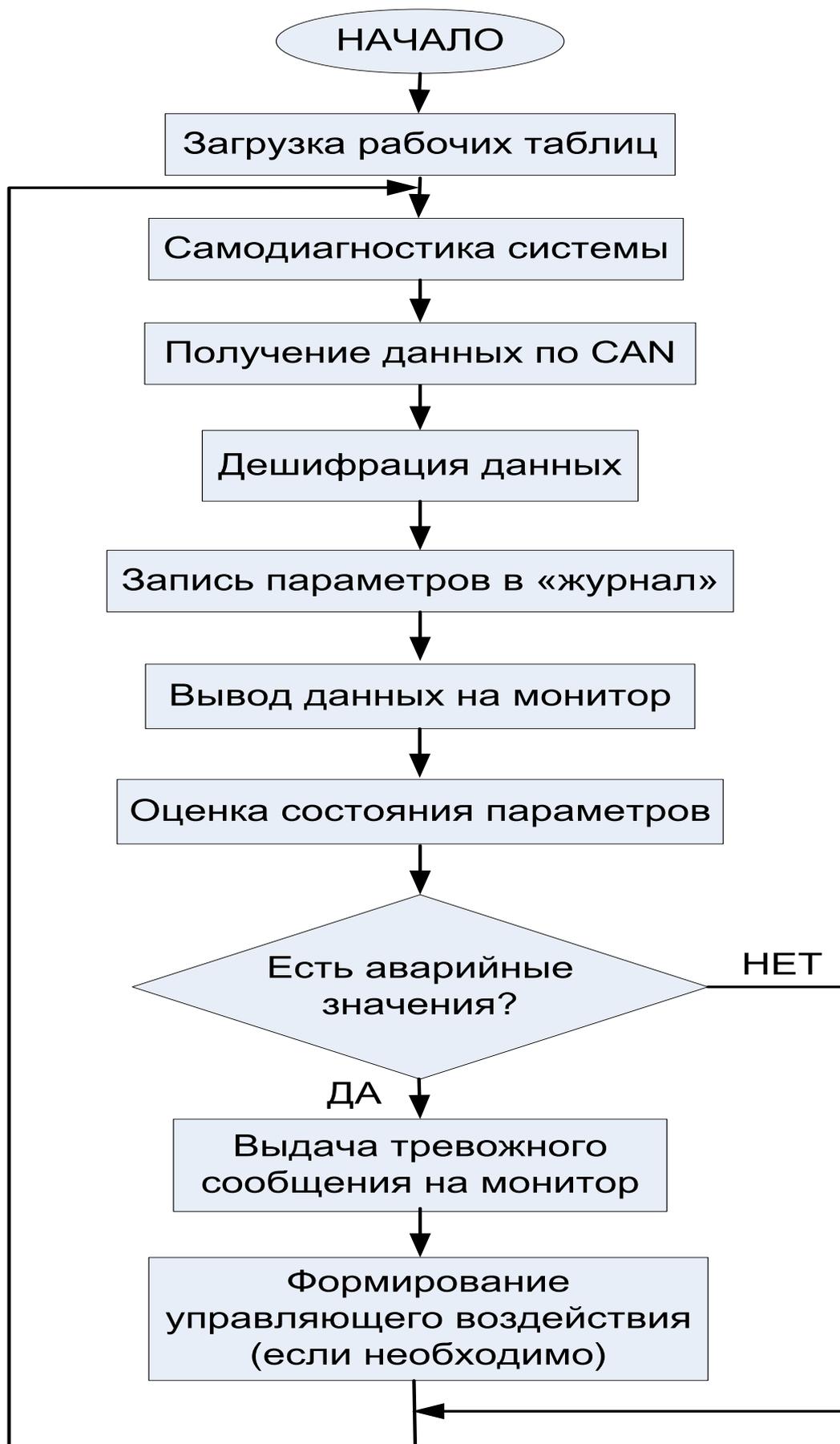


Рис. 2. Алгоритм работы программы верхнего уровня

### Список литературы

1. Максименко, А.Н. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин: учеб. пособие / А.Н. Максименко, Г.Л. Антипенко, Г.С. Лягушев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.: ил. С. 4.
2. Маркеданец, О.В. Техническое диагностирование подсистем машин: Учебное пособие / О.В. Маркеданец. – СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2001. – 47 с. Библиогр.: 2 назв. Ил. 31. С. 3-5.
3. Алексеев, В.Н. Микропроцессорные средства производственных систем / В.Н. Алексеев, А.М. Коновалов, В.Г. Колосов и др.; Под общ. ред. В.Г. Колосова. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988. – 287 с.: ил. С. 241-242.
4. Фендриков, А. Автоматизированная система контроля и управления промышленными объектами АСК-3 / А. Фендриков, С. Коновалов, В. Речмедиллов, Д. Жигалкин, А. Криворучко, П. Топольский // Журнал СТА 2/2004. С. 28-34.
5. Фокин, С.В. Мониторинг параметров агрегатов железнодорожных путевых машин / С.В. Фокин, К.И. Васнев // Журнал СТА 1/2015 (в печати).

## СЕКЦИЯ 5. ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

**Председатель секции:** кандидат технических наук, зав. кафедрой  
«Электроэнергетика и электротехника» Черкасова Нина Ильинична

### НОВЕЙШИЕ РАЗРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

Latest developments of electricity

Ю.В. Быковский

Научный руководитель к.т.н., доцент О.П. Балашов

*Рубцовский индустриальный институт*

В данной статье рассмотрены современные разработки в сфере электроэнергетики.

### THE NEWEST DEVELOPMENTS IN POWER INDUSTRY

Yu.V. Bykovsky

Research supervisor, cand. tech. sci., docent O.P. Balashov

Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of

Polzunov Altai State Technical University

**Abstract:** This article describes the recent developments in power industry.

**Key words:** *power industry, electrical power station, alternative energy, solar panels.*

#### **Летающая электрическая станция**

Разработки в области альтернативной энергетики ведут многие компании – как большие, так и маленькие. Солнечные и ветряные электростанции уже входят в единую энергетическую сеть многих стран мира. Однако до сих пор еще ведутся исследования, разрабатываются новые технологии и воплощаются в жизнь самые смелые идеи, которые призваны значительно увеличить эффективность нетрадиционных источников энергии. Одной из таких смелых идей, которая, возможно, уже скоро воплотится в жизнь, является новая разработка британской компании New Wave Energy UK LTD.

Компания планирует построить уже в недалеком будущем электростанцию, которая будет размещаться не на земле, а – парить в небе. Идея заключается в том, чтобы использовать беспилотные летательные аппараты, которые будут парить в воздухе, собирая энергию ветра и солнца, и передавать по беспроводному каналу на наземные приемные станции.

Да, идея британцев пока еще кажется нереальной. Но, как утверждают сами разработчики, – вполне воплотимой в жизнь. Огромный плюс подобных электростанций в том, что на относительно больших высотах выше скорость ветра и минимальна вероятность плохой погоды. Постоянная большая скорость ветра обеспечивает бесперебойную работу ветряного генератора, а хорошая погода – солнечных батарей. Директор организации, которая занимается разработкой данного проекта, заявил, что они планируют освоить высоты

порядка 15 тыс. метров. На такой высоте необычной электростанции не будут мешать ни воздушные суда, ни облака, ни другие погодные препятствия.

Каждый беспилотный летательный аппарат будет иметь форму прямоугольника со сторонами  $20 \times 20$  м, по краям которого будут установлены 4 роторных генератора, собирающих энергию ветра. Плоскость же прямоугольника будет представлять собой солнечную панель. Разработчики утверждают, что уже при нынешних технологиях в области добывания и хранения электроэнергии с каждой такой летающей электростанции можно будет получать до 50 кВт энергии [3].

Как полученная электроэнергия будет передаваться на землю, пока не уточняется. Известно только, что новаторы собираются использовать для этого электромагнитное поле.

Британцы уверены, что смогут запустить в небо тысячи подобных летающих электростанций, обеспечив тем самым производительность всей системы, равную 400 МВт. В будущем при разработке более совершенных ветряных генераторов и солнечных батарей можно будет значительно увеличить эту цифру.

Хотя сейчас проект и выглядит немного амбициозным, пройдет еще пара лет, и подобные технологии могут стать вполне реальным решением нависшего над миром энергетического кризиса.

### **Водородный топливный элемент**

Ученые из Гарвардского университета создали водородный топливный элемент, который способен не только генерировать экологически чистую электрическую энергию, но и хранить ее, подобно аккумулятору. Их твердооксидный топливный элемент (ТОТЭ) преобразует водород в электричество и может быть использован в виде портативного элемента питания типа обычной батарейки.

Ведущий исследователь проекта профессор Шрирам Раманатам говорит, что их разработка осуществилась благодаря новым исследованиям в области создания тонкопленочных материалов. Основой нового топливного элемента является оксид ванадия. Благодаря его электрическим свойствам удалось в одном корпусе объединить и генератор электроэнергии, и ее накопитель (аккумулятор).

В качестве анода в новом элементе используется двухслойный материал. Его составляющими являются вышеупомянутый оксид ванадия и оксид платины. Особенность применения данных материалов позволяет элементу генерировать электричество и хранить его на протяжении трех минут после прекращения водородной реакции. Плотность тока при этом составляет  $0,2$  мА/см<sup>2</sup>. В случае с использованием чисто платинового анода, электроэнергия сохранялась лишь на протяжении 15 секунд. В этом суть аккумулирующего эффекта нового топливного элемента.

Продолжительность сохранения энергии без участия водородной реакции предполагается увеличить благодаря дальнейшему изменению конструкции и составов анодов. Ученые предполагают, что их разработка после

усовершенствования может быть применена в качестве емких и легких топливных элементов для питания малогабаритных летательных аппаратов. А в дальнейшем можно будет замахнуться и на покорение рынка топливных элементов для электромобилей.

Повышенную эффективность нового водородного элемента ученые объясняют несколькими химическими процессами, происходящими между водородом и оксидом ванадия. Одним из этих чудодейственных процессов является явление окисления ионов ванадия. Другое – накапливание и хранение водорода в кристаллической решетке оксида ванадия. К тому же между анодом и катодом в процессе водородной реакции возникает различная концентрация ионов кислорода – отрицательно заряженных частиц. А их разность, как известно, приводит к возникновению электрического напряжения [1].

### **Самая мощная волновая электростанция**

Американская компания Lockheed Martin Corporation, специализирующаяся в области авиастроения и авиакосмической техники совместно с производителем оборудования для приливных и волновых электростанций объединились для работы над грандиозным проектом – самой крупной в мире волновой радиостанцией, которая будет расположена у южного побережья Австралии [4].

Планируется, что их волновая электростанция будет способна отдавать потребителям 19 Мегаватт электрической энергии. PowerBuoy, так разработчики назвали свое детище, является полностью автономной системой. Электрическая энергия будет вырабатываться электрическим генератором, приводимым в действие специальной поршневой системой. Ее поршни находятся практически у самой поверхности, но погружены в воду. За счет движения волн поршни приводят в движение электрический генератор, который, собственно, и вырабатывает электрический ток.

Сама электростанция в буквальном смысле этого слова привязана ко дну океана, на его поверхности находится лишь сам генератор и дополнительное электрическое оборудование. Система поршней представляет собой буи, качающиеся под действием океанских волн. То есть возвратно-поступательные движения система преобразует во вращательные движения ротора электрического генератора. На берег электроэнергия подается посредством электрического подводного кабеля.

Эти компании уже достаточно долго сотрудничают в области альтернативной энергетики. Их новый проект PowerBuoy лишь доказывает, что за альтернативной энергией наше будущее, главное – не бояться вкладывать деньги в подобные проекты.

Примерная стоимость проекта 67 млн. \$. Большую часть этих расходов возьмет на себя правительство Австралии, а именно департамент природных ресурсов, энергетики и туризма. PowerBuoy будет состоять из 45 отдельных энергетических установок, расположенных в океане, и 5 электрических подводных подстанций. При ожидаемой мощности в 19 МВт можно будет обеспечить электричеством до 10 тыс. домов, расположенных на австралийском

побережье. Ожидается, что в будущем проект будет расширен до мощности в 100 Мегаватт.

### **Солнечные батареи вместо тонирующей пленки на окна**

Немецкая компания Heliatek разработала новый тип солнечных батарей, которые изготавливаются из органических молекул, наподобие тех, что используются для производства OLED-дисплеев мобильных телефонов и телевизоров. Они получаются настолько гибкими и легкими, что их можно использовать в качестве тонирующей прослойки прямо внутри окон жилых и промышленных зданий.

Солнечные панели немецкой компании, при том, что они очень гибкие и намного легче обычных, почти такие же энергетически эффективные, как кремниевые. Специалисты компании использовали в производстве батарей не полимеры, как обычно это делают многие производители, а так называемые короткие молекулы – олигомеры. Достоинства олигомеров в том, что они более стабильны, чем полимеры, и могут быть нанесены практически на любую поверхность при помощи процесса вакуумного осаждения. Этот процесс позволяет очень точно контролировать толщину и однородность наносимого слоя, а следовательно, достаточно легко можно делать многослойные структуры, то есть значительно повышать общую энергоэффективность солнечной панели.

Солнечные элементы Heliatek преобразуют лишь 8% энергии солнца в электричество. Это больше по сравнению с полимерными элементами (3-5%), но ниже, чем у кремниевых батарей (14-15%). Зато новые элементы более эффективны при низкой освещенности и высокой температуре окружающей среды. К примеру, в последних испытаниях, которые проводились в течение месяца в Сингапуре, новые солнечные элементы суммарно выработали больше электроэнергии, чем такие же по площади кремниевые батареи.

Чтобы достаточно эффективно конкурировать на рынке альтернативных источников энергии, Heliatek придется повысить энергоэффективность своих батарей с 8 до 12%. Специалисты компании практически уверены в успехе своей разработки. Уже сейчас достигнуты положительные результаты в проектировании солнечной батареи с двумя слоями для поглощения света. Оба слоя можно настроить на поглощение света как одного диапазона длин волн, так и на разные.

Сама фирма Heliatek основана в немецком городе Дрездене и финансируется за счет таких электронных гигантов, как Bosch и BASF. Хотя сейчас, по расчетам специалистов фирмы, стоимость новых солнечных панелей в расчете на 1 Вт произведенной электроэнергии будет немного выше, чем у обычных (кремниевых) – через 4-5 лет она за счет значительного расширения производства должна упасть почти наполовину.

Новые солнечные панели настолько легки и к тому же полупрозрачны, что их запросто можно вставлять в оконные рамы хоть на этапе строительства дома, хоть в процессе его обслуживания. При этом нет необходимости использования специальных крепежных приспособлений, как в случае с

обычными батареями, что еще больше удешевляет их и делает более конкурентно способными [2].

#### Список литературы

1. Разработки ИСМАН в области водородной энергетики. (<http://www.ism.ac.ru/news/hydro/>).
2. Инновационные разработки в области солнечной энергетики (<http://www.solarbat.info/drugoe/inovacionnie-razrabotki-v-oblasti-solnechnoi-energetiki>).
3. Самоклеящиеся солнечные батареи ([http://gisee.ru/articles/alt\\_innovations/](http://gisee.ru/articles/alt_innovations/)).
4. Водородный топливный элемент (<http://scsiexplorer.com.ua/index.php/novie-razrabotki/energetika.html>).
5. Энергетика + новые разработки ([http://vpk.name/news/energo/new\\_dev/](http://vpk.name/news/energo/new_dev/)).

### О СОЗДАНИИ ИННОВАЦИОННОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ МАЛОЭТАЖНЫХ ДОМОВ В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ

Ю.А. Варфоломеев

*ООО «Научно-исследовательская лаборатория строительной  
экспертизы Баренц-региона», г. Архангельск*

**Аннотация:** Проанализирован опыт строительства в Арктической зоне. Выявлены недостатки действующего законодательства Российской Федерации по строительству малоэтажных домов. Разработаны предложения по совершенствованию законодательства.

**Ключевые слова:** *арктическая зона; здание; малоэтажное; энергоэффективное; закон.*

### ABOUT THE CREATION OF INNOVATIVE LEGISLATION ON THE CONSTRUCTION OF ENERGY-EFFICIENT LOW STOREY BUILDINGS IN THE ARCTIC ZONE

Y.A. Varfolomeev

*LLC «Scientific-Research Laboratory  
of Construction Expertise of Barents Region», Arkhangelsk, Russia*

**Abstract:** Construction experience in the Arctic zone has been analysed in the article. The limitations of the existing legislation of the Russian Federation on the construction of the low storey buildings have been identified. The suggestions to improve the legislation have been developed.

**Key words:** *the Arctic zone; building; low storey; energy-efficient; law.*

Побережье сухопутной, малонаселенной территории Арктической зоны Российской Федерации (РФ) является пограничной, поскольку вблизи проходят иностранные морские суда. При этом побережье имеет круглогодичное соединение с единой сетью автомобильных и железных дорог страны только на северо-западе в Мурманской области, где благодаря теплоте течения Гольфстрима осуществляется круглогодичное судоходство без ледокольной

проводки. Для обеспечения национальной безопасности государства при развитии инфраструктуры территории, богатой природными ресурсами, особое значение имеет рациональное равномерное размещение поселений. Это позволит повысить качество контроля сухопутной территории и акватории с привлечением потенциала местного населения. Особое значение в этих условиях имеет строительство малоэтажных, комфортных, энергоэффективных зданий, оснащенных автономными системами инженерных коммуникаций жизнеобеспечения.

Отсутствие сети автомобильных и железных дорог круглогодичного действия резко осложняет строительство в Арктической зоне. Монтаж полносборных модульных зданий возможен только с применением крановой техники, которую на строительную площадку можно доставить лишь морским транспортом, что сопряжено с большими финансовыми затратами. Для производства монтажных работ в условиях экстремально холодного климата необходимо создать специальную технику высокой проходимости, в том числе способную самостоятельно передвигаться по воде и заболоченной местности. Наряду с этим необходимо развивать заводское домостроение из комплектов готовых элементов, которые можно за короткий летний период, благоприятный для строительства, быстро смонтировать вручную без применения техники.

Большой позитивный опыт применения в Арктике комфортных энергоэффективных быстровозводимых зданий с автономными инженерными системами жизнеобеспечения имеет Норвегия, Канада и другие страны. В Архангельске за период с 1999 по 2011 гг. с учётом подготовительных работ успешно реализован комплексный российско-норвежский научно-образовательный проект «Энергоэффективный деревянный дом для Северо-Запада России», завершившийся созданием в Архангельском государственном техническом университете (ныне – САФУ) экспериментального двухэтажного деревянного модульного дома. Дом состоит из пяти модулей. Модули изготовили на заводе в Норвегии с чистовой отделкой, смонтированными инженерными системами жизнеобеспечения и встроенной мебелью, в том числе с оборудованной кухней, санузлами и душевыми. Модули доставили морским транспортом и за несколько часов смонтировали на готовые фундаменты, подключив к готовым элементам наружной части автономной системы инженерных сетей жизнеобеспечения. Техническое оснащение дома позволяет осуществлять постоянный автоматизированный мониторинг различных количественных параметров, характеризующих состояние его конструкций и окружающей среды. Дом предназначен для использования в качестве специализированной лаборатории для испытаний новых конструктивных и технологических решений, а также теплоизоляционных, защитно-декоративных материалов в реальных условиях эксплуатации в холодном климате.

Системный анализ результатов строительно-технических экспертиз в Архангельской области и Ненецком автономном округе за последние 30 лет позволил выявить недостатки конструктивных и технологических решений существующих зданий и инженерных коммуникаций. Выявлена опасность

применения для капитальных зданий фундаментов на основе буровинтовых свай, выполненных в виде стоек из полых стальных труб, имеющих толщину стенок от 4 до 10 мм (возможны отклонения) и буро-винтовую насадку внизу. Сваи такой конструкции были разработаны для быстрого возведения в условиях военного времени на короткий период эксплуатации в выбранном месте полносборных модульных зданий либо отдельного модульного блока. Затем модули перемещали на новое место. В процессе эксплуатации стальные стенки полых труб-стоек сваи рассматриваемой конструкции наиболее интенсивно корродируют на уровне поверхности грунта. Эксплуатационный ресурс таких свай гораздо ниже, чем возведенных на них конструкций капитального здания, что недопустимо. Для свай рассматриваемой конструкции особенно опасно внецентренное приложение эксплуатационной нагрузки, которое имеет место при установке их под ростверками со смещением от проектных осей. При внецентренном нагружении на уровне грунта в свае образуется наибольший изгибающий момент, что может повлечь ее излом и последующее прогрессирующее обрушение капитального жилого здания либо его части.

Результаты строительно-технических экспертиз показали, что большое значение на качество проектирования и строительства малоэтажных зданий в Арктической зоне оказывают некоторые положения существующего строительного законодательства РФ, в которое необходимо ввести соответствующие изменения. Согласно Градостроительному кодексу (ГрК РФ) экспертиза проектно-сметной документации длительное время не была предусмотрена в отношении жилых домов с общей площадью помещений до 1500 м<sup>2</sup> и количеством этажей не более чем три, состоящих из одной или нескольких блок-секций, количество которых не превышает четыре, в каждой из которых находятся несколько квартир и помещения общего пользования и каждая из которых имеет отдельный подъезд с выходом на территорию общего пользования. Лишь 01.04.2012 г. ввели в действие изменения в ст. 49, часть 3.4 ГрК РФ о том, что проектная документация всех объектов, строительство которых финансируется за счёт средств бюджетной системы РФ, подлежит государственной экспертизе. Однако при приобретении таких зданий по программам переселения граждан из аварийного и ветхого жилья обязательная государственная экспертиза проектов и государственный технический надзор действующим законодательством не предусмотрены. Постановлением Правительства РФ от 25.09.2014, №984 введены изменения по организации и проведению государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий в отношении объектов, строительство которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета, а также о порядке проведения проверки достоверности определения сметной стоимости указанных объектов.

В части 5.1 статьи 6 ГрК РФ с ноября 2011 года содержится норма, что к полномочиям органов государственной власти РФ в области градостроительной деятельности относятся организация и проведение государственной экспертизы проектной документации так называемых *иных* объектов, определенных

Правительством РФ. Длительное время данная норма не работала. Однако впоследствии Постановлением Правительства от 23.09.2013, №840 было установлено, что к объектам, организация и проведение государственной экспертизы проектной документации которых отнесены к полномочиям органов государственной власти РФ в области градостроительной деятельности, также относятся объекты капитального строительства, строительство или реконструкция которых финансируется с привлечением средств федерального бюджета.

Данная норма была введена без какого-либо подготовительного периода, без увеличения штатной численности, помещений и оборудования ФАУ «Главгосэкспертиза России». Как следствие, образовались очереди из государственных и муниципальных заказчиков, желающих сдать документацию на федеральную государственную экспертизу. При этом большая часть документации по разным, зачастую надуманным, формальным поводам не принималась на экспертизу. Архангельским областным собранием депутатов в порядке законодательной инициативы был предложен законопроект от 26.03.2014, №480898-6 о возврате к прежней редакции ГрК РФ, исключив из него слова «иные объекты, определенные Правительством Российской Федерации». Законопроект получил широкую поддержку в субъектах РФ, однако до сих пор находится в Государственной думе без движения.

Ситуация не могла продолжаться бесконечно. Постановлением Правительства РФ от 25.09.2014, №984 субъектам РФ возвращены полномочия по проведению государственной экспертизы объектов государственной собственности субъектов РФ и муниципальной собственности, что является косвенным подтверждением непродуманности ранее принятых решений. При этом на федеральном уровне оставлено проведение экспертизы по объектам федеральной собственности и собственности государственных предприятий и учреждений (например, таких крупных производственных предприятий Архангельской области, как ОАО «Севмаш» и ОАО «Звездочка»).

Государственный строительный надзор по объектам, перечисленным в статье 6 ГрК РФ, проводится также на федеральном уровне, то есть Ростехнадзором. При этом возникает ситуация, когда в двух организациях, инспекции госстройнадзора и региональном подразделении Ростехнадзора, появляется необходимость иметь специалистов, дублирующих одни и те же функции. По одинаковым объектам, например, детским садам, один из которых принадлежит государственному предприятию или ведомству, а другой муниципальному образованию, в первом случае проводится федеральная экспертиза и госстройнадзор на федеральном уровне, во втором случае – экспертиза и госстройнадзор на уровне субъекта РФ. В соответствии со статьей 60 ГрК РФ в первом случае при причинении вреда вследствие разрушения, повреждения объекта солидарную ответственность с проектной организацией, саморегулируемой организацией и организацией, проводшей экспертизу, несет субъект РФ, во втором случае – Российская Федерация. Такие законодательные

решения противоречат здравому смыслу, разрушают уровень доверия и разделения ответственности различных ветвей власти.

Для получения разрешения на строительство индивидуальных жилых домов согласно ГрК РФ проектная документация не требуется, хотя в них может находиться большое количество людей. Бесконтрольность влечет использование некачественных строительных материалов, не имеющих сертификатов, нарушения технологии производства строительных и монтажных работ. В результате не соблюдаются требования Федерального закона от 02.07.2013, №185-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений», который принят в целях защиты жизни и здоровья граждан, разных форм имущества; охраны окружающей среды, жизни и здоровья животных и растений; предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей; обеспечения энергетической эффективности зданий и сооружений. Однако срок действия некоторых СНИПов, законодательно включенных в перечень обязательных для применения с целью обеспечения безопасности строительных объектов, в настоящее время истекает. Актуализированные СНИПы после преобразования в строительные правила (СП) в перечень документов обязательного применения не включены.

Следует учесть, что система страхования в РФ не развита должным образом с применением соответствующих функций контроля, которые реализуются с использованием финансовых механизмов при назначении регулярных страховых взносов владельцу недвижимости (при выявлении у строительного объекта недостатков, увеличивающих риски его безопасной эксплуатации, взносы резко возрастают). По указанной причине в случае возникновения чрезвычайной ситуации с последствиями повреждения или утраты жилья, например, в результате пожара, возникшие проблемы приходится решать местным властям.

Любые ошибки при строительстве в Арктической зоне обходятся очень дорого вследствие сложности строительства в экстремальных погодноклиматических условиях и дорогостоящей доставки конструкций, материалов и оборудования. В Архангельской области и Ненецком автономном округе проводится системная работа по созданию для своей территории строительного законодательства, учитывающего специфику региона.

## **ОЦЕНКА ФАКТОРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ГИБРИДНОЙ КОГНИТИВНОЙ КАРТЫ**

Е.И. Грибков, М.П. Силич

*Томский государственный университет систем управления  
и радиоэлектроники*

Рассматривается процедура оценки факторов, определяющих уровень энергетической эффективности территориальных образований. Взаимовлияние факторов представляется в виде гибридной когнитивной карты. Нечеткие оценки факторов определяются как на основе непосредственной интерпретации значений индикаторов, так и косвенным образом на основе оценок других факторов. Интерпретация выполняется путем нечеткой кластеризации либо

всего множества территориальных образований, либо подмножества территорий с похожими условиями.

**Ключевые слова:** Энергетическая эффективность, территориальные образования, гибридная когнитивная карта, нечеткая оценка факторов.

## THE ASSESSMENT OF FACTORS OF ENERGY EFFICIENCY ON THE BASIS OF THE ANALYSIS OF HYBRID COGNITIVE MAP

E.I. Gribkov, M.P. Silich

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics*

**Abstract:** The procedure of the estsessment of factors determining the level of energy efficiency of territorial entities is considered in the article. The factors' interaction is represented in the form of a hybrid cognitive map. Fuzzy assessments of factors are defined both on the basis of direct interpretation of indicators' values, and indirectly on the basis of the assessments of other factors. The interpretation is carried out by fuzzy clustering of either the total number of territorial entities or territories with similar conditions.

**Key words:** *Energy efficiency, territorial entities, hybrid cognitive map, fuzzy assessment of factors.*

Разработка региональных, муниципальных программ энергосбережения должна опираться на анализ ситуации в сфере производства и потребления топливно-энергетических ресурсов. В результате анализа необходимо оценить уровень энергетической эффективности рассматриваемого территориального образования (ТО) и выявить факторы, состояние которых обусловило достигнутый уровень. Учитывая, что анализ проводится, как правило, в условиях неполноты данных и неоднозначности их интерпретации, желательно использовать технологии и информационные системы интеллектуального анализа данных. В настоящее время осуществляется разработка системы анализа энергетической эффективности территориальных образований, позволяющая оценивать факторы энергоэффективности на основе показателей энергопотребления и экспертных знаний с учетом социально-экономических и природно-климатических особенностей ТО, а также формировать выводы в терминах естественного языка относительно причин сложившейся ситуации [1]. Разрабатываемая система основана на методике построения и анализа гибридных когнитивных карт [2]. Данная работа посвящена разработке алгоритма анализа когнитивной карты.

Гибридная когнитивная карта (ГКК) представляет собой граф, вершинами которого являются концепты двух видов: факторы и индикаторы. Формально ГКК можно задать в виде:  $G = \langle F, D, R^{FF}, R^{FD} \rangle$ , где  $F$  – множество факторов;  $D$  – множество индикаторов;  $R^{FF} \subset F \times F$  – множество причинно-следственных связей между факторами;  $R^{FD} \subset F \times D$  – множество связей ассоциации между факторами и индикаторами.

Фактор – это некоторое свойство системы, оцениваемое на качественном уровне. Каждому фактору сопоставляется лингвистическая переменная, термы которой представляют собой нечеткие оценки типовых состояний фактора.

Среди факторов выделяется подмножество внешних факторов  $F^E$ , отражающих внешние условия и ограничения, и множество управляемых факторов  $F^C$ . Индикаторы – это измеримые показатели, на основе которых оцениваются факторы. Степень соответствия фактора  $f_i$  и индикатора  $d_j$  может оцениваться коэффициентом  $v_{ij}$  (числом от 0 до 1). Отношению влияния между факторами  $f_i$  и  $f_n$  также приписывается вес  $w_{in}$ , характеризующий как направление влияния (положительное или отрицательное), так и силу влияния.

Исходными данными являются значения индикаторов для множества сравниваемых территориальных образований  $O = \{o_k\}$ . Целью анализа является получение нечетких оценок  $\langle T(f_i^k), \mu_{T(f_i^k)} \rangle$  всех факторов, включенных в когнитивную карту, для заданного территориального образования  $o^*$ .

Процедура состоит из трех этапов: оценка факторов по индикаторам без ограничений, накладываемых внешними факторами, оценка факторов по индикаторам с учетом ограничений, накладываемых внешними факторами и косвенная оценка факторов, не имеющих индикаторов. Рассмотрим каждый этап подробнее.

*Этап 1.* Оценка факторов по индикаторам без ограничений, накладываемых внешними факторами.

На этом этапе оцениваются факторы  $f_i$ , которые связаны отношением ассоциации хотя бы с одним индикатором ( $\exists d_j \mid f_i R^{FD} d_j$ ) и на которые не влияют внешние факторы ( $\{f_n \in F^E \mid f_n R^{FF} f_i\} = \emptyset$ ). Это могут быть и внешние факторы, и управляемые, но при этом оцениваемые без учета внешних условий.

Для интерпретации значений индикаторов используются функции принадлежности. Вместо использования функций, построенных экспертами на основе субъективных мнений, можно использовать процедуру нечеткой кластеризации. Таким образом, функции принадлежности задаются дискретно в пространстве значений индикаторов для всех сравниваемых ТО. Кластеризацию территориальных образований предлагается выполнять с помощью алгоритма Густафсона-Кесселя – одного из нейросетевых методов, использующих соревновательную нейронную сеть с обучением без учителя [3].

Поскольку в общем случае оцениваемый фактор  $f_i$  может быть связан с несколькими индикаторами  $d_j$ , то исходные данные для всех объектов  $o_k \in O$  задаются в виде матрицы  $\|d_{jk}\|$ . Запускается процедура нечеткой кластеризации, которая формирует нечеткое покрытие множества  $O$ . Нечеткое покрытие  $\mathfrak{I}^i(O) = \{O_l^i \mid O_l^i \subseteq O\}, l = \overline{1, L}$  задается матрицей  $\|\mu_{O_l^i}(o_k)\|$  значений функций принадлежности объектов  $o_k \in O$  нечетким кластерам  $O_l^i$ . Наименования кластеров  $O_l^i$  можно рассматривать как термы  $T_l^i$  лингвистической переменной, сопоставленной оцениваемому фактору  $f_i$ . Таким образом, для каждого объекта  $o_k$  значения фактора задаются в виде:  $\langle T_l^i(o_k), \mu_{T_l^i(o_k)} \rangle$ , где  $\mu_{T_l^i(o_k)} = \mu_{O_l^i}(o_k)$ .

Например, кластеры, полученные в результате кластеризации субъектов РФ по фактору «Климатические условия» на множестве значений показателей «средняя годовая температура воздуха», «продолжительность отопительного периода», «градусосутки отопительного периода», могут иметь названия: «благоприятные», «умеренные» и «суровые». Оценкой фактора для определенного субъекта является имя кластера, в который он попал, и степень принадлежности кластеру.

*Этап 2.* Оценка факторов по индикаторам с учетом ограничений, накладываемых внешними факторами.

На данном этапе оцениваются факторы  $f_i$ , на которые влияют внешние факторы, т.е.  $\{f_n \in F^E \mid f_n R^{FF} f_i\} \neq \emptyset$ . При этом оцениваемые факторы должны ассоциироваться хотя бы с одним индикатором. Процедура оценивания такая же, как и на этапе 1, но формируется нечеткое покрытие не всего множества  $O$ , а кластера  $O_m^n$ , полученного при кластеризации по внешнему фактору  $f_n$ , включающего заданное территориальное образование  $o^*$  ( $o^* \in O_m^n$ ). Полученная оценка  $\langle T_l^i(o^*), \mu_{T_l^i(o^*)} \rangle$  корректируется с учетом оценки по внешнему фактору:

$$\mu_{T_l^i(o^*)/T_m^n(o^*)} = \min \{ \mu_{T_l^i(o^*)}, \mu_{T_m^n(o^*)} \}.$$

Например, если оценивается фактор «Уровень потребления тепловой энергии населением» по значению индикатора «удельный расход тепловой энергии на 1 кв. метр общей жилой площади, Гкал/кв. м» с учетом влияния внешнего фактора «Климатические условия» для субъекта РФ, попавшего в кластер «благоприятные», то выделение кластеров с приблизительно похожим уровнем потребления (например, с названиями «низкий уровень», «средний уровень», «высокий уровень») будет осуществляться только в рамках подмножества субъектов с благоприятными климатическими условиями.

Оценки, полученные с учетом влияния каждого отдельного внешнего фактора, агрегируются с помощью операции минимума.

*Этап 3.* Косвенная оценка факторов, не имеющих индикаторов.

На этом этапе оцениваются факторы  $f_i$ , которые не связаны ни с одним индикатором. При этом должны быть известны оценки факторов  $f_n$ , влияющих на оцениваемый фактор ( $f_n R^{FF} f_i$ ).

Сначала необходимо нормировать значения индикаторов, соответствующих влияющим факторам, по формуле:  $d_j^{\text{norm}} = \frac{d_j - d_{\min}}{d_{\max} - d_{\min}}$ , где

$d_{\min}$ ,  $d_{\max}$  – соответственно минимальное и максимальное значение индикатора по всем сравниваемым территориальным образованиям. Интегральную оценку можно получить на основе свертки нормированных значений индикаторов:  $a_n = \sum_j v_{nj}^{\text{norm}} \cdot d_j^{\text{norm}}$ . В качестве весовых коэффициентов логично использовать

степени соответствия индикаторов фактору, нормированные по формуле:  $v_{nj}^{\text{norm}} = v_{nj} / \sum_j v_{nj}$ . Для вычисления оценки зависимого фактора можно

использовать аддитивную свертку оценок влияющих факторов:  $a_i = \sum_n w_{ni}^{\text{norm}} \cdot a_n$ . Весовые коэффициенты свертки определяются путем

нормирования величин силы влияния:  $w_{ni}^{\text{norm}} = w_{ni} / \sum_n w_{ni}$ .

Полученную оценку выходного фактора необходимо интерпретировать – преобразовать в лингвистическое значение. Для подбора наименования термина можно использовать следующую схему, которая сопоставляет оценке  $a_i$  различные термины:  $0 < a_i \leq 0.1$  – «очень низкое»,  $0.1 < a_i \leq 0.25$  – «низкое»,  $0.25 < a_i \leq 0.4$  – «ниже среднего»,  $0.4 < a_i \leq 0.6$  – «среднее»,  $0.6 < a_i \leq 0.75$  – «выше среднего»,  $0.75 < a_i \leq 0.9$  – «высокое»,  $0.9 < a_i \leq 1$  – «очень высокое».

Вместо скалярных числовых оценок факторов можно использовать нечеткие числа с треугольной функцией принадлежности. Для влияющего фактора модальное значение нечеткого числа соответствует нормированному значению индикатора, правый и левый коэффициенты нечеткости определяются на основе степени соответствия индикатора фактору. Оценка зависимого фактора определяется по формуле аддитивной свертки нечетких чисел.

По результатам анализа гибридной когнитивной карты формируется дерево причин. Дерево строится на основе когнитивной карты путем сопоставления факторам полученных оценок. Таким образом, оценки интерпретируются как состояния факторов, отношения влияния показывают, каковы причины, обусловившие эти состояния, сила влияния отражает важность той или иной причины.

Информационная система, реализующая предложенный подход, позволит оценивать состояние факторов энергоэффективности в различных территориальных образованиях с учетом особенностей внешних условий, анализировать причины сложившейся ситуации, сравнивать образования по уровню энергоэффективности, формировать выводы на естественном языке в условиях неполноты данных и неоднозначности их интерпретации.

#### Список литературы

1. Грибков, Е.И. Программная реализация системы анализа энергетической эффективности территориальных образований / Е.И. Грибков, А.С. Медведев, А.В. Кривоусов // Перспективы развития информационных технологий: Труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции. Кемерово, 2014. С. 41-42.

2. Силич, М.П. Анализ энергетической эффективности территорий на основе иерархии гибридных когнитивных карт / М.П. Силич, В.А. Силич, С.В. Аксенов // Известия Томского политехнического университета. 2013. №5. Т.323. С. 26-31.

3. Hoeffner, F. Fuzzy cluster analysis: method for classification, data analysis, and image recognition / F. Hoeffner, F. Klawonn, R. Kruse, T. Runkler. NY: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 300 p.

*Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №13-07-00397А.*

## **ОСОБЕННОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ БАЛАНСА ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ОБЯЗАТЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБСЛЕДОВАНИЙ**

В.А. Гринченко, И.И. Лагута

*Ставропольский государственный аграрный университет*

В статье описываются особенности проведения обязательных энергетических обследований, разъясняется, как составляется баланс потребления электрической энергии и даны рекомендации для расчета технологических потерь при его составлении.

**Ключевые слова:** *энергосбережение, энергетическое обследование, баланс электрической энергии, технологические потери.*

## **PECULIARITIES OF MAKING AN ENERGY CONSUMPTION BALANCE DURING THE OBLIGATORY POWER INSPECTION**

V.A. Grinchenko, I.I. Laguta

*Stavropol State Agrarian University*

**Abstract:** The article describes the peculiarities of actions of obligatory power inspections, explains the procedures of making an energy consumption balance and gives recommendations for the calculation of technological losses while making a balance.

**Key words:** *energy saving, power inspection, electrical energy balance, technological losses.*

Несколько лет назад в России был принят Федеральный закон «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [1]. Цель документа – это создание правовых, экономических и организационных основ стимулирования энергосбережения и повышения энергетической эффективности экономики нашей страны. Одним из мероприятий, направленных на выполнение поставленной в законе цели, является проведение энергетических обследований. В обязательном порядке энергетическое обследование должны проходить следующие категории организаций:

- 1) органы государственной власти, органы местного самоуправления, наделенные правами юридических лиц;
- 2) организации с участием государства или муниципального образования;
- 3) организации, осуществляющие регулируемые виды деятельности;
- 4) организации, осуществляющие производство и (или) транспортировку воды, природного газа, тепловой энергии, электрической энергии, добычу

природного газа, нефти, угля, производство нефтепродуктов, переработку природного газа, нефти, транспортировку нефти, нефтепродуктов;

5) организации, совокупные затраты которых на потребление природного газа, дизельного и иного топлива (за исключением моторного топлива), мазута, тепловой энергии, угля, электрической энергии превышают объем соответствующих энергетических ресурсов в стоимостном выражении, установленный Правительством Российской Федерации за календарный год, предшествующий последнему году до истечения срока проведения последующего обязательного энергетического обследования;

б) организации, проводящие мероприятия в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности, финансируемые полностью или частично за счет субсидий из федерального бюджета, бюджетов субъектов Российской Федерации, местных бюджетов.

Результатом энергетического обследования является энергетический паспорт, составленный по форме Приказа Министерства энергетики РФ №182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования» [2]. Требования к энергетическому паспорту, закрепленные в этом документе, распространяются на саморегулируемые организации в области энергетического обследования при разработке и утверждении стандартов и правил оформления энергетического паспорта, а также лиц, проводящих обязательные энергетические обследования. Энергетический паспорт должен содержать следующие разделы:

- а) титульный лист;
- б) общие сведения об объекте энергетического обследования;
- в) сведения об оснащении приборами учета;
- г) сведения об объеме используемых энергетических ресурсов;
- д) сведения о показателях энергетической эффективности;
- е) сведения о величине потерь переданных энергетических ресурсов и рекомендации по их сокращению (для организаций, осуществляющих передачу энергетических ресурсов);
- ж) потенциал энергосбережения и оценка возможной экономии энергетических ресурсов;
- з) перечень типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности;
- и) сведения о кадровом обеспечении мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности.

При наличии обособленных подразделений обследуемого юридического лица (филиалов, представительств, объектов) в других муниципальных образованиях к энергетическому паспорту прилагаются формы, заполненные по каждому обособленному подразделению.

При проведении энергетических обследований возникает ряд сложностей. В частности, при заполнении сведений об объеме используемых

энергетических ресурсов необходимо составить баланс прихода и расхода электрической энергии за последние пять лет и сделать прогноз о его изменении. Сложности заключаются в предоставлении информации о расходе электрической энергии, который складывается из технологического расхода, расхода на собственные нужды и субабонентов, отчетных потерь электроэнергии, технологических и нерациональных потерь. В свою очередь технологические потери состоят из условно-постоянных, нагрузочных и потерь, обусловленных допустимыми погрешностями приборов учета. Если в обследуемой организации налажен коммерческий и технический учет потребления и расхода электрической энергии, то предоставление данной информации не составляет каких-либо трудностей. Но, как показывает практика, большинство организаций не имеют специальных систем учета и анализа потребления и расхода электрической энергии. Поэтому расчет технологических потерь в таком случае рекомендуется вести в соответствии с Приказом Министерства энергетики РФ №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» [3]. Этот документ содержит инструкцию по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям, которая позволяет выполнить расчет условно-постоянных, нагрузочных и потерь, обусловленных допустимыми погрешностями приборов учета.

Предложенная рекомендация не только позволяет рассчитывать технологические потери для заполнения сведения об объеме используемых энергетических ресурсов, в частности электрической энергии, но и может быть использована при составлении баланса потребления и расхода электрической энергии, который может понадобиться при планировании издержек при производстве продукции.

#### Список литературы

1. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
2. Приказ Министерства энергетики РФ от 19 апреля 2010 г. №182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования».
3. Приказ Министерства энергетики РФ от 30 декабря 2008 г. №326 «Об организации в Министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям».

# ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Д.А. Козюков

*Кубанский государственный аграрный университет*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрена актуальность применения солнечных фотоэлектрических станций в целях снижения энергоемкости сельскохозяйственного производства. Представлены темпы роста фотоэлектрических станций в странах-лидерах. Выполнен структурный анализ и синтез фотоэлектрических систем. Показаны положительные примеры реализованных проектов в России.

**Ключевые слова:** *возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, солнечная батарея, электроснабжение, инвертор.*

## PHOTOELECTRIC STATIONS FOR SUPPLYING AGRICULTURAL CONSUMERS WITH POWER

D.A. Kozyukov

*Kuban State Agrarian University*

**Abstract:** The actuality of application of solar photoelectric stations for reducing power intensity of agricultural production is considered in this article. The growth rates of photoelectric stations in the leading countries are shown. The structural analysis and synthesis of photoelectric systems is carried out. The positive examples of projects realised in Russia are given.

**Key words:** *renewable sources of energy, solar energy, solar battery, power supply, inverter.*

Энергетика является важнейшей составляющей материально-технической базы сельского хозяйства, определяющей эффективность развития производства, уровень производительности труда, качество производимой продукции, социальные условия жизни населения [1].

Современное сельскохозяйственное производство требует больших затрат электроэнергии. Одной из стратегических задач сельской энергетики сегодня является снижение энергоемкости сельхозпроизводства на основе широкого использования новых прогрессивных технологий выработки и потребления энергетических ресурсов. Перспективным путем решения задачи является расширение масштабов использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) [2]. Основные причины использования ВИЭ следующие: растущие тарифы на электроэнергию от центральных энергосистем; ограниченность природных запасов топлива; отрицательные экологические последствия традиционной энергетики.

Использование возобновляемых источников электроэнергии на объектах АПК относится к мероприятиям, направленным на энергосбережение и повышение экологичности сельскохозяйственного производства. Следует отметить, что вопросы энергосбережения и повышения энергоэффективности относятся к числу важнейших государственных приоритетов России. По оценкам экспертов и специалистов [3], наиболее перспективными ВИЭ являются солнечные фотоэлектрические станции (СФЭС).

По данным [4], средний годовой темп роста мощности СФЭС в мире за пятилетний период 2007-2012 гг. составил 60%. Согласно [5] в 2012 году совокупная установленная мощность солнечных фотоэлектрических систем в мире составила более 100 ГВт. Лидерами рынка солнечной энергетики стали такие страны, как Германия, Китай, Италия, США, Япония. Фотоэлектрическая промышленность сегодня входит в производственную стадию. Это связано с поддерживаемыми на государственном уровне программами, такими как создание "солнечных" крыш в Германии, США, Японии [6]. Для этих стран основной мотивацией развития ВИЭ является стремление повысить свою энергетическую безопасность и снизить зависимость от импорта энергоресурсов в будущем.

Важной причиной развития ВИЭ является также и то, что многие технологии энергетического использования ВИЭ демонстрируют возможность кратного снижения стоимости производства энергии. Так прогресс в развитии технологий производства фотоэлектрических преобразователей привел к снижению стоимости вырабатываемой ими энергии с 1980 года по настоящее время почти в 100 раз [7].

СФЭС образуют фотоэлектрические системы (ФЭС) электроснабжения. Можно выделить три варианта компоновки (конфигураций) ФЭС: автономная, гибридная и сетевая системы.

Автономная фотоэлектрическая система (stand-alone PV system) полностью независима от сетей централизованного электроснабжения и питает нагрузку от аккумуляторных батарей через автономный инвертор напряжения (рис. 1).

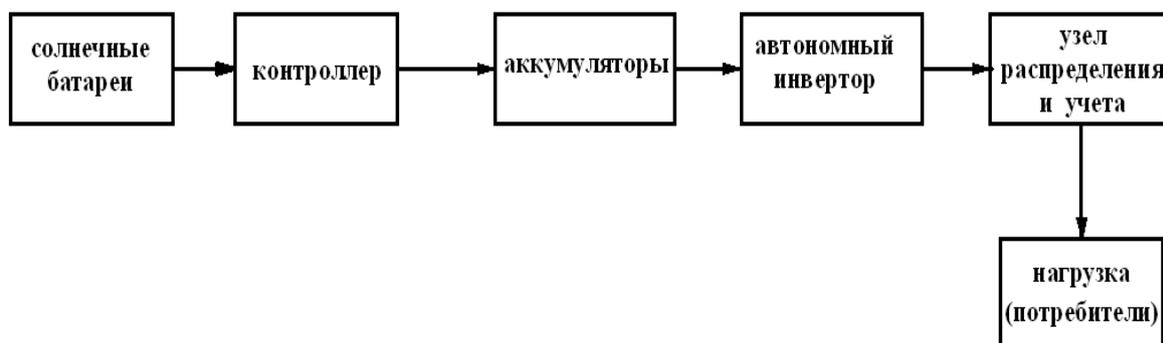


Рис. 1. Структурная схема автономной ФЭС (stand-alone PV system)

Гибридная (аккумуляторно-сетевая, автономно-сетевая) фотоэлектрическая система (hybrid PV system) помимо подключения к сети содержит также аккумуляторы (рис. 2). В случае недостатка энергии от аккумуляторных батарей, гибридный инвертор (или система с согласованными режимами работы автономного и сетевого инверторов) добавляет в нагрузку энергию от сети. Такие системы похожи на резервные системы электроснабжения (системы бесперебойного питания), оснащенные накопителями и питающие нагрузку во время перебоев в подаче электроэнергии.

Сетевая фотоэлектрическая система (grid-tied PV system) является самой простой и оптимальной ФЭС. Структура такой системы показана на рис. 3. Система включает в себя: солнечные батареи (СБ), сетевой инвертор (СИ), сеть электроснабжения, потребителей (нагрузку), узел распределения и учета электрической энергии, систему мониторинга [8].

Сетевая фотоэлектрическая система (сетевая ФЭС) в первую очередь предназначена для экономии потребляемой электроэнергии за счет обеспечения дополнительной электроэнергией потребителей, а также, когда в РФ будут действовать стимулирующие тарифы, для продажи электроэнергии в централизованную сеть электроснабжения по "зеленому тарифу". На практике, к сожалению, данный механизм пока не работает из-за отсутствия грамотно продуманной и утвержденной нормативно-правовой базы.

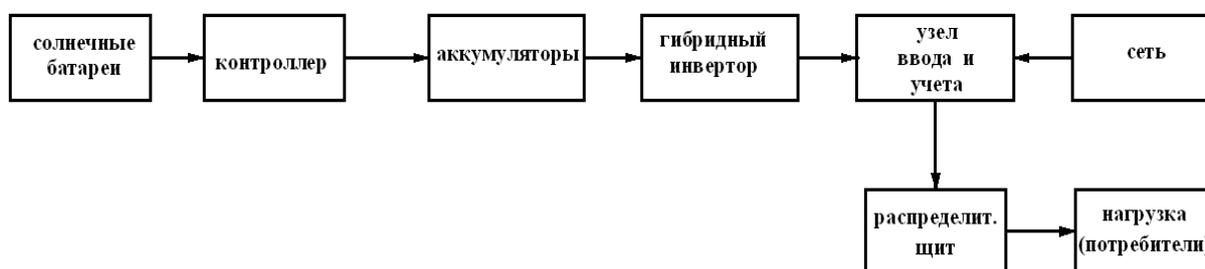


Рис. 2. Структурная схема автономно – сетевой ФЭС (hybrid PV system)

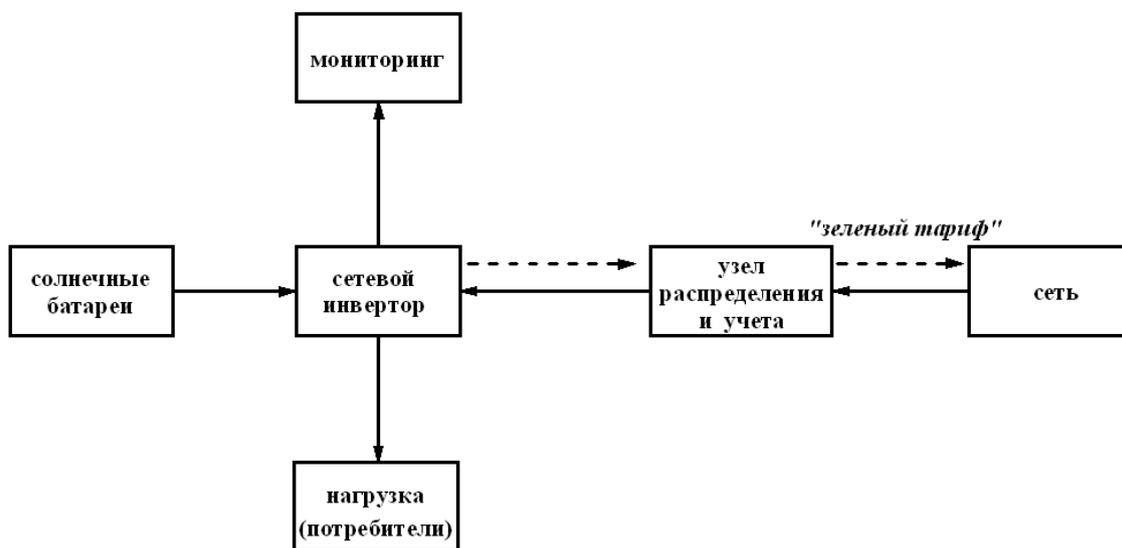


Рис. 3. Структурная схема сетевой ФЭС (grid-tied PV system)

Для повышения эффективности автономных ФЭС в работе [9] предлагается схема полупроводникового преобразовательного устройства постоянного тока в постоянный (ППТ, конвертора). Для существенного улучшения качества электроэнергии на шинах распределенных потребителей, питающихся от сети переменного тока, предлагается схема регулятора потока

мощности, имеющего в своем составе источник постоянного тока, подключаемый к нагрузке через ППТ и инвертор. Показана функциональная схема комбинированного электроснабжения, позволяющая обеспечивать качественное и бесперебойное питание потребителей при использовании солнечных батарей. Система комбинированного электроснабжения предусматривает работу в автономном и сетевом режимах.

В России солнечная энергетика может особенно успешно развиваться на Юге и на Дальнем Востоке, где активность солнца достаточно высока. Имеются реализованные проекты крупных СФЭС. В Белгородской области на территории агрокомплекса ООО «Агро-Белогорье» в сентябре 2010 была введена в эксплуатацию первая в России сетевая СФЭС мощностью 100 кВт. На Алтае в одном из заповедных мест построили гибридную дизель-солнечную электростанцию общей мощностью 100 кВт. На здании железнодорожного вокзала в г. Анапа установлена сетевая СФЭС мощностью 70 кВт [10]. В Республике Саха (Якутия) находятся в эксплуатации несколько солнечных электростанций мощностью 20 и 30 кВт. В Иркутской области в п. Онгурен в 2012 г. введена в действие первая очередь пилотного проекта – энергокомплекса, состоящего из дизельной электростанции в качестве базового энергоисточника, фотопреобразователей (81 кВт) и ветрогенераторов (15 кВт). В начале сентября 2014 г. на Алтае произведен запуск Кош-Агачской солнечной электростанции мощностью 5 МВт. Вместе с тем, в конце сентября 2014 г. в Астраханской области ввели в строй фотоэлектрическую станцию «Наримановская» установленной мощностью 250 кВт.

Также представлен ряд реализованных проектов по созданию СФЭС малой мощности. Так, в 2012 г. на крыше офисного здания в г. Дмитров была смонтирована и запущена в эксплуатацию автономно-сетевая солнечная установка мощностью 12,5 кВт. В Сколково солнечные батареи использовали в качестве облицовки фасада здания «Гиперкуб». Энергоустановка на 12 кВт даёт хорошие результаты даже для московской широты. В работе [10] представлен анализ эксплуатации индивидуальной солнечной энергоустановки номинальной мощностью 5 кВт, установленной в частном домовладении в г. Новочеркасске. Солнечная энергоустановка совмещена с внешней электросетью. Результаты мониторинга показывают, что практически вся суточная потребность в электроэнергии покрывалась солнечной станцией. Недостаток энергии, восполненный из сети, составил 95 кВт·ч. Установлено, что за трехмесячный период исследуемый объект мог бы отдать в централизованную сеть порядка 230 кВт·ч электроэнергии при наличии в РФ соответствующего закона.

Анализ рынка альтернативных источников энергии показывает, что цены на солнечные модули и устройства силовой электроники постепенно снижаются. С каждым годом растут тарифы на электроэнергию от централизованной сети. Следовательно, с позиции технико-экономических расчетов, указанные факторы приведут к заметному снижению сроков окупаемости капиталовложений в фотоэлектрические системы. Это дает основание прогнозировать, что к вопросу использования СФЭС будут подходить более заинтересованно, нежели ранее. Поэтому можно справедливо

сказать, что использование СФЭС в целях электроснабжения (в частности, сельскохозяйственных потребителей) является актуальной, перспективной и реализуемой задачей.

#### Список литературы

1. Морозов, Н.М. Социально-экономическое значение энергосбережения в сельском хозяйстве / Н.М. Морозов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 8-й Междунар. научн.-технич. конфер. (16-17 мая 2012 года, г. Москва, ГНУ ВИЭСХ). В 5 част. ч.1. 2012. С.19.

2. Харченко, В.В. Микросеть на основе ВИЭ для энергоснабжения сельских территорий (ГНУ ВИЭСХ) / В.В. Харченко, В.Б. Адомавичюс, А.О. Сычев, В.А. Гусаров // Отраслевая конференция «Энергосбережение и энергоэффективность. ВИЭ» (16-17 октября 2012, Краснодар). Сборник докладов, ч.1. С. 65.

3. Григораш, О.В. Возобновляемые источники электроэнергии: Монография/ О.В. Григораш, Ю.В. Степура, Р.А. Сулейманов, Е.А. Власенко, А.Г. Власов; под общ. ред. О.В. Григораш. – Краснодар: КубГАУ, 2012. С. 142.

4. Renewables 2013. Global status report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Доступно на [www.ren21.net](http://www.ren21.net) [Доступ: Декабрь 2, 2013].

5. Masson, G. Global Market Outlook: For Photovoltaics 2013-2017 / G. Masson, M. Latour, M. Reking, A.T. Theologitis, P. Papoutsis. – Brussels: European Photovoltaic Industry Association. Renewable Energy House, 2013. 60 p.

6. Житников, И.Ю. Современное состояние, перспективы развития возобновляемых источников энергии и их роль в энергосистеме / И.Ю. Житников // Главный энергетик. 2011. №12.

7. Фортов, В.Е. Возобновляемые источники энергии в мире и в России / В.Е. Фортов, О.С. Попель // Материалы Первого Международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013». 22-23 октября 2013 г. Под ред. д.т.н. О.С. Попеля. Москва: ОИВТ РАН. 2013. С. 12-22.

8. Цыганков Б.К., Козюков Д.А. Электроснабжение предприятий АПК с внедрением сетевой фотоэлектрической системы // Проблемы механизации и электрификации сельского хозяйства: матер. I Всерос. науч.-практ. интернет-конф., 6 декабря 2013 г. – Краснодар: Кубанский ГАУ, 2014. С. 242-246.

9. Баранов, Н.Н. Расширение функциональных возможностей нетрадиционных источников энергии при их работе в автономных режимах и совместно с сетью / Н.Н. Баранов, К.В. Крюков // Материалы Первого Международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и экономической эффективности REENFOR-2013». 22-23 октября 2013 г. Под ред. д.т.н. О.С. Попеля. Москва: ОИВТ РАН. 2013. С. 75-79.

10. Ирха, В.А. Региональный опыт инсталляции и эксплуатации индивидуальной солнечной энергоустановки в условиях юга России / В.А. Ирха, С.Н. Чеботарев, А.С. Пашенко // Материалы Первого Международного форума «Возобновляемая энергетика. Пути повышения энергетической и

экономической эффективности REENFOR-2013». 22-23 октября 2013 г. Под ред. д.т.н. О.С. Попеля. Москва: ОИВТ РАН. 2013. С. 205-209.

## **БЕЗМУФТОВОЕ СОЕДИНЕНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ КАБЕЛЕЙ**

Ю.В. Паль, М.Е. Тарская

*Рубцовский индустриальный институт*

Рассмотрены соединения высоковольтных кабелей без использования муфты и с ее использованием.

**Ключевые слова:** *Соединительные муфты, соединение кабеля, кабельная муфта.*

## **CLUTCHLESS CONNECTION HIGH-VOLTAGE CABLES**

Y.V. Pal, M.E. Tarskaya

Rubtsovsk Industrial Institute

Considered high voltage cable connection without using the clutch and with its use.

*Couplings, cable connection, cable box.*

*Соединительные муфты (couplings)* в сфере электроэнергетики служат для механического и электрического *соединения кабелей (cable connection)* в кабельную линию. В последние годы при прокладке новых трасс используется в основном кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Объемы прокладки кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена из года в год растут.

Уже сегодня рынок кабельно-проводниковой продукции выглядит примерно так: 80% занимает кабельная продукция с применением изоляции из сшитого полиэтилена, и только 20% занимает кабель с бумажной пропитанной изоляцией, с резиновой изоляцией и др. [1].

Учитывая данную тенденцию, компании разрабатывают новые материалы с улучшенными характеристиками, постоянно совершенствуют конструкцию муфт с использованием инновационных разработок, и именно сегодня актуальны различные варианты соединения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена.

Рассмотрим сначала обычное стандартное *соединение кабеля (cable connection)* с использованием муфты. Стандартная высоковольтная *кабельная муфта (cable box)* для соединения кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена состоит из множества компонентов, предварительно изготовленных на заводе. Их конструкция, как правило, предполагает: механический соединитель, адаптер, сам корпус муфты, конус выравнивания напряженности электрического поля, высоковольтный электрод, фиксирующее кольцо, металлический экранирующий зажим, проводящая трубка, медная сетка, изоляционная трубка и т.д. Соединяемые концы кабелей разделяются, т.е. последовательно со сдвигом 2-3 см удаляются все слои: наружная защитная оболочка, броня, подушка под броней и т.д. до токоведущей жилы.

Одноименные жилы разделанных концов кабелей соединяются с помощью опрессовки в гильзах или пайки в гильзах. После соединения жил восстанавливается фазная изоляция, и место соединения кабелей помещают в соединительную муфту. Для кабелей высокого напряжения применяются, как правило, свинцовые, эпоксидные или термоусаживаемые муфты [2].

Такое соединение имеет ряд относительных недостатков:

- большие габариты муфт;
- требуется достаточно большое пространство для монтажа (установка специального шатра);
- высокая трудоемкость монтажа;
- отсутствие запаса материалов;
- высокая стоимость.

Говоря о безмуфтовом соединении высоковольтного кабеля, мы, конечно, не исключаем наличие соединительной муфты. Но мы говорим о соединении кабеля с помощью специальной технологии сращивания, так называемой «муфты вулканизированного типа». Технология впервые была применена для соединения подводных кабелей: в 1973 году для шведской энергетической компании было осуществлено строительство 85 километров кабельной линии с применением подводного кабеля с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 84 кВ между Швецией и Аландскими островами в Балтийском море [3].

Подводные проекты представляют особую сложность как с точки зрения выполнения, применения сложных технологических процессов и специальной техники, так и с точки зрения более высоких затрат. К тому же одной из самых агрессивных сред является морская вода, и выбрать техническое решение для таких условий наиболее трудно. В результате применение безмуфтового соединения для морских проектов стало оптимальным.

На данный момент «соединительная муфта вулканизированного типа» уже более 30 лет успешно применяется для соединения подземных и подводных высоковольтных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена и отвечает самым высоким требованиям надежности. Было сделано более 2500 муфт, которые до сих пор находятся в эксплуатации, например, в Швеции, Англии и других странах.

Хочется особенно отметить, что технология нашла свое применение в Англии по той причине, что большинство работ по строительству кабельных линий проходит в очень стесненных условиях. Во многом данный вид соединительных муфт нашел свое применение в коллекторах и тоннелях метрополитена, где существуют значительные пространственные ограничения. Кроме того, преимущество использования очевидно при ремонтно-восстановительных работах, особенно если нет возможности оборудовать кабельный колодец [4].

«Соединительная муфта вулканизированного типа» изготавливается непосредственно на объекте с помощью специального оборудования, дополнительно осуществляется подготовка места производства работ. Чтобы сделать муфту на три фазы, требуется примерно 4-5 рабочих дней для двух

прошедших подготовку специалистов. При этом мы не ждем месяцами, когда стандартные муфты будут произведены на заводе и поставлены на объект, как в случае с применением стандартной высоковольтной кабельной муфты [5].

Хочется подчеркнуть, что процесс подготовки мест для производства работ значительно отличается от процесса с применением стандартной соединительной муфты. Объем предварительных работ различен и зависит в основном от расположения рабочего места: непосредственно в земле, в коллекторе или в кабельных сооружениях.

Для соединения производится стандартный набор работ для разделки и подготовки кабеля. Технология заключается в соединении кабеля путем сращивания жилы. Сращивание происходит под высокой температурой и давлением, что достигается за счет специального инструмента. Данная технология позволяет не только сращивать алюминиевые или медные жилы, но и срастить медь с алюминием. После сращивания жилы необходимо соблюдение особых процессов, времени и температурных режимов, которые заданы особенностями технологии. Кроме того, прямо на месте изготовления муфты специалисты выполняют тщательную проверку качества сращивания. Затем производится восстановление конструкции кабеля слой за слоем, а именно, восстановление полупроводящего слоя, восстановление изоляции из сшитого: полиэтилена, водонабухающей ленты, экрана, оболочки из полиэтилена и т.д., все зависит от конструкции того или иного кабеля. По завершении всех работ выдается гарантия 36 месяцев. Необходимо отметить то, что место соединения кабеля в диаметре не превышает 10% от диаметра самого кабеля [6].

Итак, использование технологии безмуфтового соединения высоковольтного кабеля нам позволяет:

1. Снизить затраты на каждой строительной длине. Стоимость готового изделия, включая стоимость работ по монтажу, будет ниже приблизительно на 40% стоимости использования традиционной высоковольтной соединительной кабельной муфты.

2. Исключить время ожидания изготовления стандартной муфты, т.к. муфта изготавливается прямо на месте монтажа, а монтаж системы из трех фаз составляет 4-5 рабочих дней и требует не более двух специалистов.

3. Производить соединение кабеля в условиях ограниченного пространства.

4. Улучшить электрические показатели. Увеличение сопротивления проводника в месте соединения незначительно по сравнению с муфтовым соединением, существенно снижаются потери за счет четкой геометрии и высокой точности исполнения сращивания.

5. Исключить необходимость обслуживания.

Гарантия на изделия составляет 36 мес. Технология применяется на кабельных системах Ericsson до 170 кВ с возможностью применения на кабельной продукции других производителей.

### Список литературы

1. Бобровицкий, В.И. Механическое оборудование / В.И. Бобровицкий, В.А. Сидоров. Техническое обслуживание и ремонт (краткие заметки). Донецк. 2008. С. 45.
2. Григорьян, А.Г. Производство кабелей и проводов с применением пластмасс и резин" / А.Г. Григорьян // Энергоатомиздат, 1992. С. 56.
3. Авиновицкий, И.Я. Соединение кабелей / И.Я. Авиновицкий // Госэнергоиздат. 1961. С. 63.
4. Макаров, Е.Ф. Обслуживание и ремонт электрооборудования электростанций и сетей / Е.Ф. Макаров // Академия. 2003. С. 12.
5. Белоруссов, Н.И. Электрические кабели, провода и шнуры / Н.И. Белоруссов // Энергия. 1971. С. 40.
6. Костенко, Е.М. Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного и бытового электрооборудования / Е.М. Костенко // НЦ ЭНАС, 2003. С. 19.

### ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ НА ПРИМЕРЕ ПРОЦЕССА ФЛЮСОВАНИЯ

Ю.А. Перевознова

**Аннотация:** Рассмотрены процессы, происходящие при пайке. Проведен анализ электротехнологий.

**Ключевые слова:** Пайка, флюс.

### ELECTROTECHNOLOGIES IN THE PROCESS OF FLUXING

Y.A. Perevoznova

**Abstract:** The article considers processes taking place in soldering. The analysis of electrotechnologies is carried out.

**Key words:** Soldering, flux.

Процесс флюсования при пайке включает в себя смачивание основного металла и припоя флюсом, удаление с них окисных пленок, вытеснение флюса из соединительного зазора расплавленным припоем и защиту места пайки от окисления образовавшимся шлаком. Согласно современным представлениям солевые флюсы в расплавленном состоянии имеют ионное строение, являясь электролитически диссоциированными системами. Щелочные и щелочноземельные металлы, например, содержатся в расплавах флюсов в виде катионов:  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ . Отрицательные ионы образуют  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{O}^{2-}$  и др. Поэтому в системе основной металл – окисная пленка – флюс при температуре пайки протекают сложные электрохимические процессы.

Смачивание флюсом. Если флюс употребляется в виде раствора, то при растекании его по поверхности металла, образуется пленка жидкости, которая защищает металл от воздействия окружающей среды. Если флюс в исходном состоянии – твердое вещество, то до момента его расплавления основной металл и припой остаются не защищенными и в процессе нагрева под пайку

окисляются. Только после расплавления флюса и смачивания им металлов они изолируются от действия окружающей среды.

Температура нагрева  $t$ , °С. Зависимость толщины окисной пленки при окислении меди от температуры и времени выдержки: 1, 2, 3 —> соответственно выдержка 5, 15 мин. Таким образом, нагрев до момента растекания флюса сопровождается взаимодействием основного металла и припоя с компонентами окружающей газовой среды и дальнейшим ростом окисной пленки. Нагрев при высокотемпературной пайке меди вызывает увеличение толщины окисной пленки в несколько раз.

Смачивание поверхности основного металла и припоя флюсом зависит от коэффициента поверхностного натяжения последнего.

Флюсы обладают сравнительно низким коэффициентом поверхностного натяжения, что обеспечивает свободное растекание их в расплавленном состоянии по поверхности металлов.

Связь, обусловленная взаимодействием между молекулами. Чем больше величина этого взаимодействия, тем выше поверхностное натяжение. В связи с этим соли, имеющие ионную кристаллическую решетку в расплавленном состоянии, отличаются высоким значением коэффициента поверхностного натяжения по сравнению с солями, имеющими молекулярную решетку, в которых молекулы связаны слабыми ван-дер-ваальсовскими силами. Кроме характера связи в решетке, коэффициент поверхностного натяжения солей зависит от кристаллического строения, размеров ионов, температуры и других факторов. В значительной степени поверхностное натяжение солей, а следовательно, и их смачивающая способность зависят от энергии кристаллической решетки. Хлориды щелочных и щелочноземельных металлов имеют меньшие значения поверхностной энергии кристаллической решетки, чем фториды. В соответствии с этим в расплавленном состоянии наиболее распространенные во флюсах хлориды Na, K и Li обладают меньшим поверхностным натяжением, чем фториды этих металлов.

Поверхностное натяжение расплавленных солей зависит также от радиуса ионов. С увеличением радиуса катиона при постоянном анионе, например, в хлоридах щелочных металлов, поверхностное натяжение уменьшается. Это связано с тем, что с увеличением радиуса катиона уменьшается количество ионов, размещающихся при прочих равных условиях в поверхностном слое расплава соли, и, следовательно, снижается притяжение их ионами, находящимися внутри расплава. По той же причине поверхностное натяжение снижается с увеличением радиуса аниона при постоянном катионе.

С увеличением температуры коэффициент поверхностного натяжения расплавленных солей снижается, как правило, по линейному закону. В солевых флюсах, состоящих из нескольких веществ, поверхностное натяжение зависит от содержания отдельных компонентов. Компоненты, снижающие поверхностное натяжение, концентрируются, главным образом, на поверхности, являясь поверхностно-активными. Наоборот, компоненты с большим поверхностным натяжением являются поверхностно неактивными и концентрируются на поверхности в значительно меньшей степени. Если

компоненты флюса имеют приблизительно одинаковое поверхностное натяжение и между ними не образуются химические соединения, то поверхностное натяжение флюса линейно зависит от его состава.

Согласно уравнению второго закона капиллярности краевой угол смачивания  $\theta$  определяется соотношением сил поверхностного натяжения в точке на границе трех фаз. С увеличением коэффициента поверхностного натяжения флюса краевой угол  $\theta$  будет увеличиваться, а смачивание ухудшаться. Однако поверхностное натяжение жидкости не определяет однозначно ее способность смачивать поверхность твердых тел. Смачивание или несмачивание поверхности основного металла флюсом определяется физико-химическим сродством между основным металлом и флюсом, с одной стороны, и окисной пленкой на поверхности основного металла и флюсом – с другой. Окисленный металл лучше смачивается флюсами, чем неокисленный. В реальных условиях металлы всегда имеют на поверхности тонкую окисную пленку, что улучшает условия смачивания их расплавами или растворами флюсов. Это обусловлено сродством между флюсами и окисными пленками на металлах. Соли, входящие в состав флюсов, и окислы обладают близкими кристаллическими решетками.

Параметры решеток солей и окислов имеют близкие значения. Кубическую гранецент -\*• рисованную решетку типа хлористого натрия имеют также входящие в состав окисных пленок нитриды металлов.

Окислы щелочных металлов имеют близкие значения параметров решеток с окислами никеля, магния, кадмия.

Расплавы окисных флюсов лучше смачивают поверхность меди, когда окисная пленка состоит из закиси меди  $\text{CuO}$ . Хорошо смачивается окисная пленка молибдена, состоящая из двуокиси  $\text{MOO}_2$ ; трехокись  $\text{MOO}_3$  смачивается расплавами плохо. С увеличением толщины окисной пленки краевой угол смачивания ее расплавом окисных флюсов уменьшается, т.е. смачивание улучшается. Так, в атмосфере воздуха при прочих равных условиях краевой угол смачивания платины окисным флюсом вдвое меньше, чем в среде азота, аргона, водорода и в вакууме.

#### Список литературы

1. Технология сварки под флюсом. (<http://svarnoy.info/statyi/tsp/tehnologiya-svarki-pod-flyusom/>).
2. Кравченко, К.В. Процесс горячего цинкования / К.В. Кравченко. (<http://kbbweb.narod.ru/>)
3. Кравченко, К.В. Определение процессов пайки и лужения. Механизм сцепления / К.В. Кравченко. (<http://kbbweb.narod.ru/teoriya/rm1.htm>)
4. Иванов-Есипович, Н.К. Физико-химические основы производства радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов / Н.К. Иванов-Есипович. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. школа, 1979. 205 с.
5. ГОСТ 17325-71. Пайка. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1971. 19 с.

## МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

О.С. Трофимов

*Рубцовский индустриальный институт*

Рассмотрены основные характеристики электрической энергии, влияющие на её качество. Влияние отклонения этих характеристик на работу электроприёмников и мероприятия по повышению качества электрической энергии.

**Ключевые слова:** *Электроснабжение, качество электроэнергии, отклонение частоты, отклонение напряжения, несимметрия напряжений, несинусоидальность напряжения.*

## ACTIONS TO IMPROVE THE QUALITY OF ELECTRICITY

O.S. Trofimov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The article describes the main characteristics of the electrical energy, affecting its quality; the influence of deviations of these characteristics to the work of receiving terminals; and actions to improve the quality of electrical energy.

**Key words:** *power supply, quality of the electric power, frequency deviation, voltage deviation, assimetry of voltage, nonsinusoidal voltage.*

*Качество электроэнергии (power quality)* – комплексное свойство электроэнергии, характеризующее способность обеспечивать нормальное функционирование электроприёмников, рабочих механизмов и системы электроснабжения в целом.

ГОСТ 13109-97[1] распространяется на напряжение и определяет показатели качества электроэнергии (ПЭК), их характеристики и контрольные нормативы.

Согласно ГОСТ 13109-97 ПЭК являются:

- отклонение напряжения;
- колебания напряжения;
- несимметрия трёхфазной системы напряжения;
- несинусоидальность напряжения;
- отклонение частоты;
- провал напряжения;
- импульс напряжения;
- временное перенапряжение.

ГОСТом установлены два вида норм качества электроэнергии: нормально допустимые и предельно допустимые.

*Отклонение частоты (frequency deviation)* длительно допускается в пределах  $\pm 0,2$  Гц и временно – в пределах  $\pm 0,4$  Гц. Приведённые нормы по частоте относятся к показателю, определяемому как усреднённое значение отклонения частоты за 10 мин. Частота тока может поддерживаться в пределах нормы только генераторами электростанций.

*Отклонение напряжения (voltage deviation)* представляет собой разность между фактическими  $U_{\phi}$  и номинальным  $U_n$  значениями напряжений.

$$V = U_{\phi} - U_n.$$

Отклонения напряжения выражаются в процентах от номинального напряжения:

$$\pm V\% = \frac{U_{\phi} - U_n}{U_n}.$$

На выводах электроприёмника допустимое отклонение напряжения не должно превышать  $\pm 5\%$  и предельно допустимое значение  $\pm 10\%$ .

*Несимметрия напряжений (voltage unbalance)* трёхфазной сети в точках общего присоединения к электросетям характеризуется коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности  $K_{2u}$ , который определяется отношением напряжений обратной последовательности  $U_2$  к номинальному напряжению.

$$K_{2u} = \frac{U_2}{U_n} \cdot 100.$$

Длительно допустимое значение  $K_{2u} - 2\%$  и предельно допустимое  $4\%$ .

Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности определяется отношением напряжений нулевой последовательности основной частоты к номинальному фазному напряжению.

$$K_{0u} = \frac{U_0}{U_{\phi n}} \cdot 100.$$

Нормально и предельно допустимые значения  $K_{0u}$  в четырёхпроводной сети 0,4 кВ равны 2 и 4%.

*Несинусоидальность напряжения (non-sinusoidal voltage)*, которая характеризуется коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения  $K_u$ , который определяется отношением действующего напряжения к напряжению основной частоты  $U_1$  или номинальному напряжению  $U_n$ .

$$K_u = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{\infty} U_v^2}}{U_1} \cdot 100 \cong \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^n U_v^2}}{U_n} \cdot 100,$$

где  $U_v$  – действующее значение  $v$ -й гармоники;

$n$  – номер последней из учитываемых гармоник.

На практике часто ограничиваются учётом 13-й гармоники. Допустимые значения коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения зависят от напряжения в точках общего присоединения к электрическим сетям. При напряжении 0,38 кВ-8(12)%; 6-20 кВ-5(8)%; 35 кВ-4(6)%; 110-330 кВ-2(3)%. В скобках указаны предельно допустимые значения [2].

Потребители электроэнергии рассчитываются на длительную работу с номинальными электрическими параметрами режима, при которых они обладают наивысшими технико-экономическими показателями. Однако при передаче электроэнергии от станций к потребителям качество ее ухудшается,

так как в сетях имеют место потери напряжения, несимметрия нагрузки фаз вызывает несимметрию напряжений, наличие преобразовательных устройств приводит к несинусоидальности напряжений, а толчки нагрузки при отключении и подключении потребителей вызывают колебания частоты и напряжения. Указанные причины, а также ряд других факторов приводят к отклонению параметров качества электрической энергии от нормированных значений, что влияет на работу электроприемников.

Качество электроэнергии непосредственно связано с экономичностью производства, поскольку отклонения показателей качества от номинальных приводят к снижению КПД, коэффициента мощности, производительности, срока службы и других показателей потребителей электроэнергии. Другим отражением качества электроэнергии является его влияние на сам предмет производства, на качество продукции. Действительно, отклонение показателей качества энергии от номинальных ведет непосредственно к нарушению технологических процессов (обработки, проката, гальванизации, нагрева и т.п.) Недопустимые отклонения напряжения в осветительных сетях вызывают снижение освещенности, что сказывается на органах зрения человека.

Отклонение и колебания частоты приводят к увеличению потерь мощности и напряжения, т.к. потребляемая мощность  $P$  пропорциональна частоте  $f$ , а именно:

$$P = \omega \cdot f^n,$$

где  $n = 0 \div 4$  в зависимости от характера нагрузки.

Отклонение напряжения вызывает наиболее неблагоприятные последствия и наносит наибольший материальный ущерб по сравнению с изменением других показателей качества электроэнергии, даже если они находятся в пределах ГОСТа.

Отклонение напряжения на зажимах асинхронных двигателей сверх допустимых значений приводит к:

- увеличению потерь активной мощности, увеличению тока статора и нагреву двигателя. При снижении напряжения на 10%, ток статора увеличивается на 10%, а нагрев увеличивается на 5-6%;

- изменению вращающего момента (снижается частота вращения двигателя вплоть до опрокидывания).

Увеличивается скольжение и коэффициент полезного действия, ток статора и ротора и т.д. Срок службы изоляции двигателя при этом сокращается вдвое.

Увеличиваются реактивные потери.

Увеличение напряжения на 1% увеличивает потребляемую реактивную мощность на 3%. При установке АД в поточных линиях изменение напряжения сказывается на производительности и качестве из-за изменения скорости вращения двигателя.

При сварочных работах ухудшается качество шва и растет расход реактивной энергии.

Увеличение напряжения резко сокращает срок службы осветительных приборов: так, увеличение напряжения всего на 5% сокращает срок службы вдвое, а на 10% – в четыре раза.

Уменьшение напряжения резко сокращает световой поток, т.к. он пропорционален квадрату тока, что резко снижает комфортные условия и может вызвать травматизм.

Электронные устройства вообще не допускают отклонения напряжения.

Колебания напряжения увеличивают травматизм с позиции освещения, т.к. резко возрастает утомляемость глаз. У ламп дневного света возможен стробоскопический эффект, а в сетях, содержащих конденсаторы для компенсации реактивной мощности, – появление резонансных явлений.

При протекании токов высших гармоник по элементам СЭС в них возникают дополнительные потери энергии. Под воздействием токов высших гармоник происходит более интенсивное старение изоляции, чем от действия первой гармоники, т.к. увеличивается нагрев обмоток двигателей. Например, при  $K_u = 10\%$  стоимость ремонта кабелей возрастает на 20%. В конденсаторах под воздействием высших гармоник возникают резонансные явления, повышающие эквивалентный ток в 3-5 раз. Несинусоидальность резко снижает точность измерительных приборов, вредно действует на работоспособность релейной защиты.

Наличие несимметрии нагрузок фаз вызывает появление токов обратной и нулевой последовательностей.

В АД несимметрия напряжений обуславливает дополнительный нагрев, а также обратный вращающий момент. Снижение момента пропорционально квадрату коэффициента несимметрии.

Поскольку сопротивление обратной последовательности обмоток АД в 5-7 раз меньше сопротивления прямой последовательности, то возникает дополнительный нагрев ротора и статора, снижающий допустимую нагрузку и срок службы двигателя [3].

Мероприятия по повышению качества электроэнергии делятся на организационно-технические и технические.

*Технические мероприятия (technical measures)* по повышению качества электроэнергии:

а) уменьшение сопротивления элементов СЭС с помощью параллельной работы трансформаторов, установки сдвоенных реакторов продольной компенсации реактивной мощности;

б) изменение напряжений несимметричных составляющих путем создания симметричной системы напряжений;

в) ограничение токов симметричных составляющих в местах их возникновения (реактивные фильтры).

Для повышения качества частоты на электростанциях применяются авторегуляторы расхода пара турбины, автоматическая форсировка тока возбуждения ротора генератора, устройство автоматической разгрузки по частоте, отключающее часть менее ответственных потребителей.

Регулирование отклонения напряжения (*regulation of voltage deviation*) может быть централизованным и местным. Централизованное – это переключение отпаяк с высокой стороны, которое позволяет получить добавки 2,5; 5,0 и 7,5%. Двух- и трехобмоточные трансформаторы с первичным напряжением 110 кВ имеют диапазон регулирования  $\pm 16\%$  с числом ступеней 9.

Переключение может быть ручное (со снятием напряжения) и автоматическое (без снятия напряжения), то есть регулировка под нагрузкой (РПН). Местное регулирование осуществляется за счет установки компенсаторов реактивной мощности (БК) с устройством автоматического регулирования мощности в функции напряжения.

Имеют широкое применение линейные регуляторы напряжения (ЛР), включенные в сеть последовательно. Эти регуляторы имеют проходную мощность от 16 до 110 МВА. Схемы включения РПН и ЛР представлены на рис. 1. Эти схемы отличаются степенью и точностью регулирования. Регулирование напряжения необходимо вести с учетом его изменения во всех точках сети и изменения нагрузки.

*Организационно-технические мероприятия (administrative and technical measures)* повышения качества электроэнергии:

1. Рациональное построение системы электроснабжения путем применения глубоких вводов, применение трансформаторов с оптимальным коэффициентом загрузки, применение токопроводов.

2. Правильный выбор ответвлений обмоток у трансформаторов.

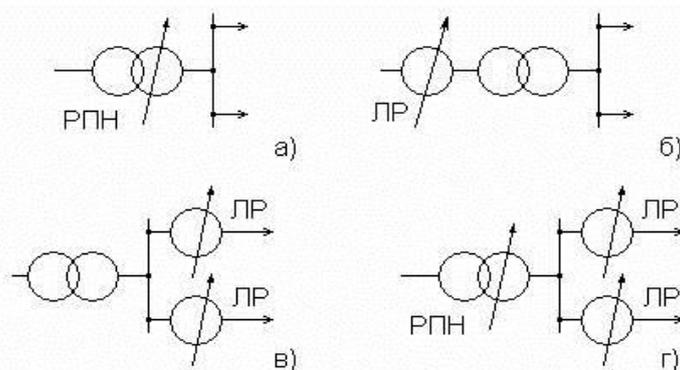


Рис. 1. Схема регулирования уровня напряжения

3. Использование перемычек на низкой стороне напряжения, обеспечивающих отключение части трансформаторов в часы минимума нагрузки.

4. Снижение сопротивления внутривзаводского электроснабжения путем параллельной работы трансформаторов.

5. Использование регулировочной способности синхронных двигателей.

*Снижение колебаний напряжения (reduced voltage fluctuations)* достигается, в основном, за счет рационального построения схем электроснабжения:

а) выделение мощных (ударных) нагрузок на отдельный питающий трансформатор;

б) подключение ударной и прочей нагрузки на разные плечи сдвоенного реактора;

в) применение трансформаторов с расщепленной обмоткой и разделение нагрузок;

г) увеличение мощности КЗ за счет параллельной работы трансформаторов;

д) выделение наиболее чувствительной к колебаниям напряжения части нагрузки на отдельный фидер;

е) установка разделительных трансформаторов.

*Уменьшение несинусоидальности напряжения (The decrease in non-sinusoidal voltage)* возможно при увеличении числа фаз выпрямителя.

В данном случае резко уменьшается число гармоник и их проявление. Это достигается, например, применением в выпрямителе двух одинаковых силовых трансформаторов, но имеющих первичные обмотки с разными схемами (в треугольник и звезду). В результате имеем два выпрямительных моста со сдвигом фаз между напряжениями  $30^\circ$ , что равнозначно увеличению числа фаз выпрямителя вдвое (рис. 2); установка фильтров высших гармоник (рис. 3), которые представляют собой последовательное соединение реактора и батареи конденсаторов, настроенных на определенную частоту. Сопротивление звена фильтра высшим гармоникам будет:

$$X_{\phi} v_i = X_i v_i - \frac{X_c}{v_i}.$$

При резонансе на частоте  $v_i$  сопротивление  $X_{\phi} v_i$  для этой частоты равно нулю и оно шунтирует СЭС по этой частоте.

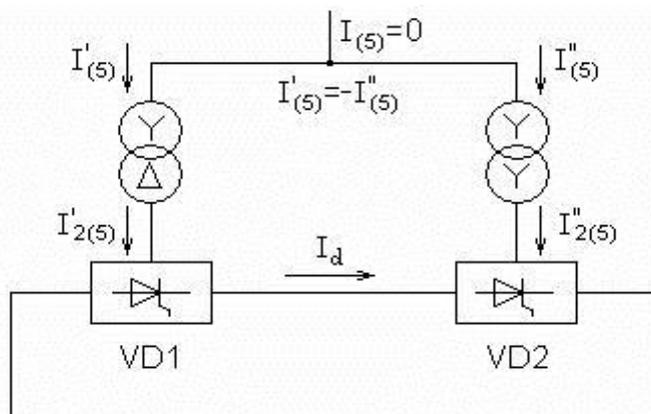


Рис. 2. Распределение пятой гармоники тока в трансформаторах двухмостового выпрямителя

К организационно-техническим мероприятиям также относятся выделение несинусоидальной нагрузки на отдельную секцию шин со своей обмоткой трансформатора и с последующей установкой фильтров на шинах; рассредоточение несинусоидальной нагрузки, исходя из допустимого уровня  $K_{нс}$ . Можно идти путем увеличения мощности КЗ за счет параллельной работы трансформаторов.

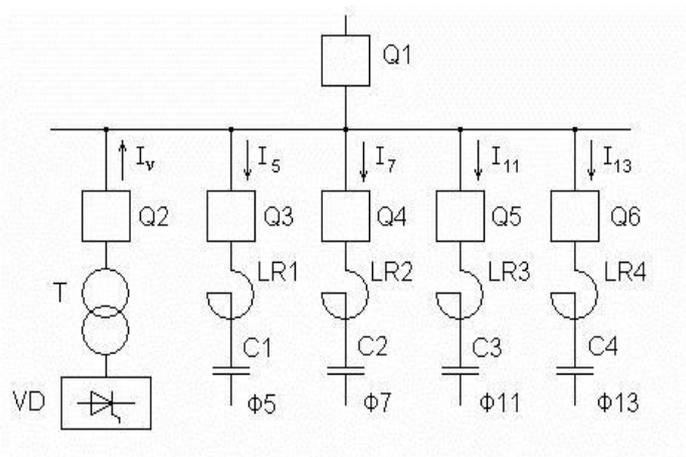


Рис. 3. Схема включения фильтров 5, 7, 11 и 13-й гармоник

Для симметрирования несимметричных нагрузок применяются статические симметрирующие устройства (рис. 4).

В случае активной нагрузки полное симметрирование будет при:

$$Q_L = Q_C = \frac{P_0}{\sqrt{3}}.$$

где  $P_0$  – активная мощность однофазной нагрузки.

Если нагрузка имеет реактивную индуктивную нагрузку, то присоединяется параллельно нагрузке конденсатор.

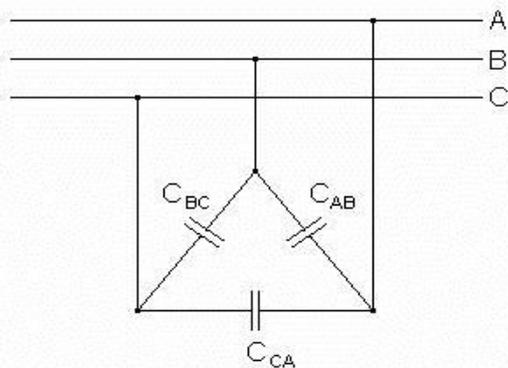


Рис. 4. Схема симметрирования несимметричной трехфазной нагрузки с помощью конденсаторной батареи

*Симметрирование (balancing)* можно осуществить подключением конденсаторов в две, а не три фазы (неполнофазная компенсация) и за счет этого выровнять напряжение пофазно.

В 4-проводной системе электроснабжения необходимо компенсировать токи обратной последовательности. Для этого надо стремиться к равномерной загрузке фаз, а если это не удастся, то заменяют трансформатор с соединением обмоток звездой на трансформатор с соединением обмоток «зигзагом», снижая тем самым степень несимметрии во вторичной обмотке [4].

Наиболее простыми, эффективными в экономическом аспекте являются следующие мероприятия. Для регулирования напряжения применяется РПН и ПБВ на подстанциях. Для симметрирования нагрузки применяют равномерное распределение однофазных нагрузок по фазам, подключение несимметричных нагрузок на участки с большей мощностью, установка специальных симметрирующих устройств. Для компенсации реактивной мощности установка конденсаторных батарей и фильтров сетевых гармоник.

#### Список литературы

1. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Госстандарт России. – Введ. 1998-08-28. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; М.: Изд-во стандартов, 1998. – 45 с.
2. Бурдочкин, Ю.С. Показатели качества электроэнергии / Ю.С. Бурдочкин // Системы электроснабжения. 2007. 91 с.
3. Распопов, Е.В. Влияние на работу электроприемников – Качество электроэнергии и его обеспечение / Е.В. Распопов // Электрические системы и сети. Качество электроэнергии и его обеспечение. 1990. С. 2.
4. Александров, Д.С. Технические средства и меры повышения показателей качества электроэнергии / Д.С. Александров, Е.Ф. Щербаков // Надёжность и качество электроснабжения предприятий. 2010. 155 с.

### УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ БИОМАССЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ

И.А. Шоков

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
«Алтайский государственный технический  
университет им. И.И. Ползунова»*

Проанализирована возможность использования биомассы для получения электроэнергии. Приведены экономические преимущества установки.

**Ключевые слова:** биомасса, электроэнергия, пиролиз.

### INSTALLATIONS TO PROCESS BIOMASS INTO ELECTRIC POWER

I.A. Shokov

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The possibility of the use of biomass for the production of electric power is analysed. Economic benefits of the use of installations are shown.

**Key words:** biomass, electric power, pyrolysis.

Биомасса представляет собой древнейший источник энергии, однако её использование до недавнего времени сводилось к прямому сжиганию либо в открытых очагах, либо в печах и топках, но также с весьма низким КПД. В последнее время внимание к эффективному энергетическому использованию

биомассы существенно повысилось, причем в пользу этого появились и новые аргументы:

- использование растительной биомассы при условии её непрерывного восстановления (например, новые лесные посадки после вырубки леса) не приводит к увеличению концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере;

- в промышленно развитых странах в последние годы появились излишки обрабатываемой земли, которую целесообразно использовать под энергетические плантации;

- энергетическое использование отходов (сельскохозяйственных, промышленных и бытовых) решает также экологические проблемы;

- вновь созданные технологии позволяют использовать биомассу значительно более эффективно.

Потенциал биомассы, пригодный для энергетического использования, в большинстве стран достаточно велик, и его эффективному использованию уделяется значительное внимание.

В США на 2010 г. благодаря использованию биомассы было произведено 59 млрд. кВт\*ч электроэнергии, кроме того, за счет твердых бытовых отходов (ТБО) еще 54 млрд. кВт\*ч. Особенно остра проблема эффективного использования биомассы для развивающихся стран, прежде всего для тех, у которых биомасса является единственным доступным источником энергии. Здесь в основном речь идет о рациональном использовании древесины и различных сельскохозяйственных и бытовых отходов.

Большое распространение в некоторых странах (Китай, Индия и др.) получили малые установки, утилизирующие отходы для одной семьи. В этих установках, число которых исчисляется миллионами, в результате анаэробного сбраживания производится биогаз, используемый для бытовых нужд. Эти установки весьма просты, но не очень совершенны. Для больших ферм со значительным количеством отходов создаются более эффективные биогазовые установки.

Установки по переработке биомассы:

1. Пиролизная установка по переработке органических веществ и смесей по технологии термоудара.

Пиролизная установка предназначена для переработки органических отходов/веществ с целью обеспечения различными видами энергии предприятий промышленности и сельского хозяйства, фермерских хозяйств, частных домов. Установка позволяет перерабатывать практически любые органические вещества, как-то:

- древесные отходы, отходы сельскохозяйственного производства, твердые бытовые отходы;

- органические полезные ископаемые (угли, торф), которые не используются вследствие низкой калорийности;

- полимерные материалы;

- тяжелую нефть и отходы переработки нефти (битумы, асфальтены) и т.д.

Установка модифицируется для каждого вида сырья. В зависимости от специфики перерабатываемого материала возможны некоторые изменения в схеме. В основе пиролизной установки лежит технология термоудара (высокоскоростного пиролиза).

Сущность термоудара в мгновенном (со скоростью порядка 104 град/сек) нагреве вещества до границ его существования в конденсированной фазе. При этом происходят следующие процессы:

- "взрывное" вскипание: переход низкомолекулярных жидкостей, в т.ч. и воды, в газообразное состояние;

- газификация вследствие высокоскоростного пиролиза высокомолекулярных соединений с образованием газовой фазы пиролизного газа.

Основные преимущества технологии термоудара:

- получение пара практически без затраты скрытой теплоты испарения;
- выделение пара на первом этапе процесса, что дает возможность отвода пара к потребителю, в отличие от других известных способов, при которых пар не используется, а выбрасывается в атмосферу;

- отсутствие этапа сушки сырья, используемого в других технологиях (экономия энергии до 30%).

Этапы работы установки:

1 этап: загрузка сырья в бункер;

2 этап: сушка (получение водяного пара);

На первом этапе из сырья выделяют воду (в зависимости от того, каково ее содержание в исходном веществе, процент варьируется в диапазоне от 10 до 60).

3 этап: пиролиз (получение пиролизного газа и углеподобного остатка);

При последующей газификации сырья получают: 90% пиролизного газа, 10% углеподобного остатка.

4 этап: конденсация части пиролизного газа в горючую жидкость;

Примерно 40% пиролизного газа может быть конденсировано в горючую жидкость.

Технические характеристики установки:

Габариты установки зависят от ее производительности, а также от набора дополнительных устройств (блока загрузки, блока конденсации, электрического блока и т.д.).

Масса установки: около 1 тонны. Производительность составляет 2 тонны сырья в сутки и может быть увеличена. Площадь технического помещения: 25 м<sup>2</sup>. Расход электроэнергии (до момента выхода на режим автономного обеспечения) – 3 кВт/час. Время выхода на автономный режим – 1 час. Установка потребляет около 15% всей вырабатываемой энергии. Кроме того, установка может быть модифицирована для работы на других видах топлива (бензин, солянка, природный газ, уголь и т.д.). Нет необходимости оборудовать техническое помещение вытяжкой, поскольку пиролизный процесс проходит в вакууме. Объем бункера загрузки: 0,5 м<sup>3</sup> – 1 м<sup>3</sup>, время работы (одна загрузка) 5-10 часов.

Экономические преимущества установки:

Установка перерабатывает органические вещества, имеющие чрезвычайно низкую себестоимость. Утилизация некоторых из них (например, твердых бытовых отходов) обычными способами требует дополнительных капитальных затрат. Использование установки дает возможность не только исключить подобные затраты, но и получить прибыль от переработки. Энергетически установка работает автономно, используя вырабатываемую энергию (за исключением начальной непродолжительной стадии, когда необходим подвод энергии извне). Установка мобильна и проста в эксплуатации. Она может быть смонтирована как на удалении от источника сырья, так и в непосредственной близости от него. Работой одной или даже нескольких установок управляют только два человека в смену. Производительность установки варьируется, исходя из объемов органических веществ, имеющихся в наличии для переработки, а также из количества блоков в модуле.

Технологическая и энергетическая эффективность:

Процесс отличается высокой технологической и энергетической эффективностью и дает экономию тепловой энергии до 30% по сравнению с лучшими традиционными способами сушки и газификации.

Технология термоудара является экологически чистой и безопасной.

2. Пиролизная установка по переработке угля.

Установка для переработки угля предназначена для получения максимального количества газа и пара из "бедных углей". Оставшийся неорганический остаток в дальнейшем может быть использован для технических нужд. При дальнейшей конденсации газа возможно получение жидкого котельного топлива. Жидкое топливо может модифицироваться с целью получения других видов топлива, например, топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Характеристики установки:

- Температура получаемого пара: 320-350°C; давление, атм – 1,5-2;
- Содержание газовой фракции – 50%;
- Содержание неорганического остатка – 49%;
- Калорийность газа, ккал/кг – 6300;
- жидкости, ккал/кг – 6500;
- твердого неорганического остатка, ккал/кг – 1300;
- Затраты энергии на установку – 10%;

Первичный запуск производится в течение 10-15 мин от электросети или за счет других источников энергии.

Возможности использования получаемых продуктов:

- Пар после модификации используется в водяной (газовой) теплоцентрали для получения электричества мощностью от 10 кВт;
- Топливо целесообразно использовать для сжигания в газовой фазе для получения электричества – от 10 кВт;
- Жидкая фаза может использоваться как добавка к моторному топливу;
- Жидкая и газообразная фракции могут использоваться как котельное топливо;

- Срок службы установки – 15-20 лет;
- Установка автоматическая, поэтому несколько установок может обслуживаться одним оператором в смену;
- Прибыль за год 47815 евро. Оперативная цена 124900 евро. Окупаемость – 2,6 года. При росте стоимости энергоносителей на 40% в год сроки окупаемости могут существенно снизиться и будут меньше 2 лет.

3. Установка по переработке отходов древесины и продуктов сельского хозяйства.

Установка предназначена для получения максимального количества газа и пара из древесины и отходов сельского хозяйства. Она может быть использована для переработки специально выращенной древесины и продуктов сельскохозяйственного производства. Оставшийся неорганический остаток может быть использован для получения топливных брикетов. При дальнейшей конденсации газа возможно получение жидкого котельного топлива. Жидкое топливо может быть модифицировано с целью получения других видов топлива, например, топлива для двигателей внутреннего сгорания.

Характеристики установки:

- Температура получаемого пара – 320-350°С; давление, атм. – 1,5-2;
- Содержание газовой фракции – 65-70%; содержание органического углеподобного остатка – 10-15%;
- Калорийность газа – 5000-5500 ккал/кг; калорийность жидкости, получаемой после конденсации, – 5500-6000 ккал/кг; калорийность углеподобного остатка – 7000 ккал/кг;
- Затраты энергии на установку – 10-15%;
- Первичный запуск установки производится в течение 15-20 мин от электросети или за счет других источников электроэнергии.

Возможности использования получаемых продуктов:

- Пар после модификации используется в водяной (газовой) теплоцентрали или для получения электричества мощностью от 5 кВт;
- Топливо может быть использовано для сжигания в газовой фазе или для получения электричества мощностью 10 кВт;
- Жидкая фаза может быть использована как добавка к моторному топливу;
- Жидкая и газообразная фракции могут использоваться как котельное топливо;
- Углеподобный остаток после модификации может использоваться для приготовления топливных брикетов;
- Срок службы установки – 15-20 лет. Установка автоматическая, поэтому несколько установок могут обслуживаться одним оператором в смену;
- Прибыль за год 56613 евро. Оперативная цена 151200 евро. Окупаемость – 2,7 года. При росте стоимости энергоносителей на 40% в год сроки окупаемости могут снизиться ориентировочно до 2 лет.

4. Установка по переработке куриного помета.

Установка предназначена для получения топлива из куриного помета на основе высокоскоростного пиролиза. При этом получается пар, который может

быть использован для обогрева помещений. Минимальная производительность установки 2 т/сут.

Характеристики установки:

- Температура получаемого пара – 320-350°C; давление, атм. – 1,5-2;
- Содержание газовой фракции – 45-50%; содержание органического углеподобного остатка – 2-5%;
- Калорийность газа, ккал/кг – 4500; калорийность углеподобного остатка, ккал/кг – 2000;
- Затраты энергии на установку – 10%;
- Первичный запуск установки производится в течение 15-20 мин от электросети или за счет других источников электроэнергии.

Возможности использования получаемых продуктов:

- Водяной пар после модификации используется в водяной (газовой) теплоцентрали или для получения электричества мощностью от 5 кВт;
- Топливо может быть использовано для сжигания в газовой фазе или для получения электричества мощностью 10 кВт;
- Жидкая и газообразная фракции могут использоваться как котельное топливо;
- Углеподобный остаток после модификации может использоваться для приготовления топливных брикетов;
- Срок службы установки – 15-20 лет; установка автоматическая, поэтому несколько установок могут обслуживаться одним оператором в смену;
- Прибыль за год 40880 евро;
- Оперативная цена 122640 евро. Окупаемость – 3 года. При росте стоимости энергоносителей на 40% в год сроки окупаемости могут снизиться ориентировочно до 2,5 лет.

Человечество может получить достаточное количество электроэнергии, не вырабатывая ее на ГЭС, АЭС или ТЭС, работающих на угле, нефти, природном газе и горючих сланцах. Можно необходимую энергию получать, используя альтернативные источники энергии, например ТЭС, работающие на биомассе. Ресурсы данных источников колоссальны.

#### Список литературы

1. Гелетуха, Г.Г. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 1. / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – №5. – С.3-12. (<http://biomass.kiev.ua/images/library/articles/wood1.pdf>)
3. Гелетуха, Г.Г. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 2. / Г.Г. Гелетуха, Т.А. Железная // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. – №6. С.3-13. (<http://biomass.kiev.ua/images/library/articles/wood2.pdf>).
5. Поедем на биотопливе // Экология и жизнь. – 2006. – №5 (54). – 84 с.
6. Энергия из биомассы: преимущества и барьеры. –2012. – №8/9. (<http://oil-gas-energy.com.ua/wp-content/uploads/biomassa.pdf>)

## СЕКЦИЯ 6. ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Председатель секции:** кандидат технических наук, доцент кафедры «Наземные транспортные системы» Чернецкая Наталья Анатольевна

### ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТЕХНИКИ ДЛЯ ЛЕСА

А.С. Войнаш

*Рубцовский индустриальный институт (филиал) ФГБОУ ВПО  
“Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова”*

**Аннотация:** Предложена система машин для леса, обеспечивающая улучшение показателей экологичности техники за счет снижения в 3 раза затрат энергии и выбросов вредных веществ на стадии “Производство” жизненного цикла.

**Ключевые слова:** экологичность, сортиментовоз.

### THE IMPROVEMENT OF THE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE OF THE EQUIPMENT FOR WOOD INDUSTRY

A.S. Voynash

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The system of machines (equipment) for wood industry, providing the improvement of indexes of ecological compatibility by reducing the cost of energy and emissions 3 times at the stage of lifecycle production is suggested.

**Key words:** environmental compatibility, short logger.

В настоящее время перед обществом остро встали экологические проблемы. Загрязнение окружающей среды в результате хозяйственной деятельности человека достигло угрожающих размеров. В этой связи особое значение придается созданию и широкому внедрению экологически чистых машин и технологий.

Экологичность создаваемой техники для леса целесообразно оценивать с учетом понятия “жизненный цикл технического объекта”, которое охватывает хронологически выраженную последовательность этапов материально-технического обеспечения, производства, использования, восстановления работоспособности и утилизации [1]. На каждом этапе жизненного цикла технический объект взаимодействует с природой, потребляя энергию и материалы, в той или иной степени загрязняя окружающую среду. Виды вредного воздействия конкретной лесозаготовительной машины на окружающую среду разнообразны (загрязнение атмосферы экологически небезопасными веществами, уплотнение почвы, утечки рабочей жидкости, шум и т.д.), а степень воздействия существенно зависит от ряда конструктивных параметров машины, в частности, от ее массы.

Анализ показывает, что каждая серийно выпускаемая лесозаготовительная машина предназначена для выполнения, как правило, одной производственной задачи и слабо приспособлена к переналадке под операции смежных

технологических процессов. Поэтому для широкого круга задач используется комплект нескольких машин различного назначения. В качестве примера можно рассмотреть внедряемую сейчас в России сортиментную заготовку древесины. Наряду с покупкой импортной техники предпринимаются попытки создания отечественных машин для сортиментной заготовки. Одной из таких перспективных машин является гусеничный сортиментовоз ЛЗ-5 [2].

Как известно, сортиментная заготовка сопровождается накоплением заметного объема порубочных остатков, что обостряет ряд проблем, в том числе экологического и пирогенного характера. Для снятия этих проблем предприятия, ведущие сортиментную заготовку, должны иметь комплект машин, включающий наряду с сортиментовозом также погрузочно-транспортную машину для очистки лесосек и пожарную машину. Загрузка названных машин по времени различна и колеблется от круглогодичной (для сортиментовоза) до периодической (для сборщика-транспортировщика лесосечных отходов) и разовой по мере необходимости (для пожарной машины).

В РИИ АлтГТУ на базе ЛЗ-5 разработана конструкция сортиментовоза самосвального типа, защищенная патентом РФ №2418695 на изобретение [3,4]. Проведенный анализ показал, что предложенный сортиментовоз может стать системообразующим элементом для ряда машин, остро необходимых в лесу, рис. 1. Как известно, сортиментная заготовка сопровождается накоплением заметного объема порубочных остатков, что обостряет ряд проблем, в том числе экологического и пирогенного характера. Поэтому в РИИ АлтГТУ на патентном уровне предложены погрузочно-транспортная машина (рис. 1, б), которая может использоваться для очистки лесосек, и пожарная машина (рис. 1, в).

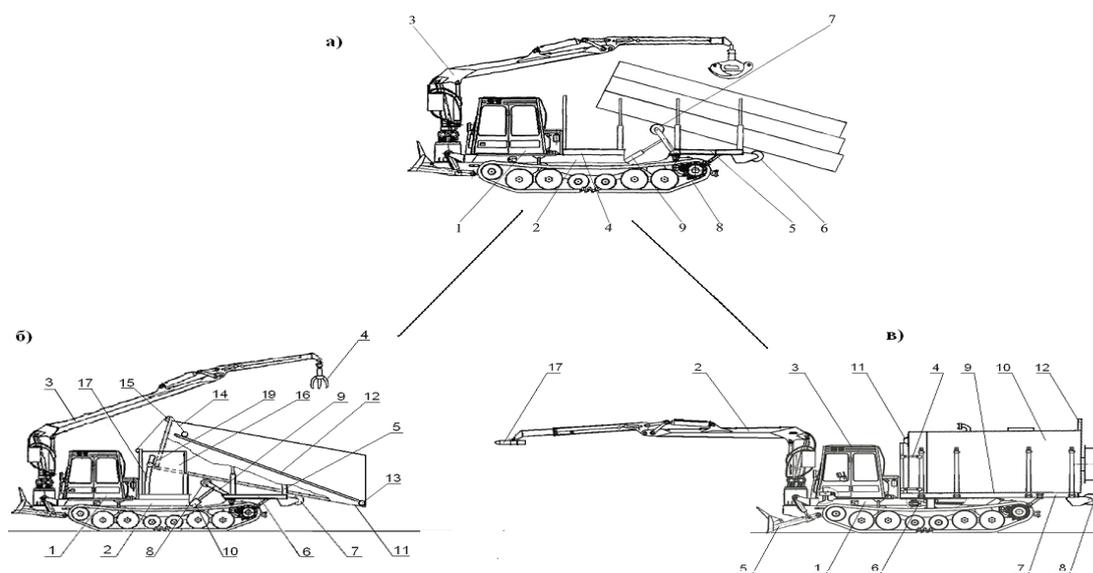


Рис. 1. Система унифицированных машин:

- а) сортиментовоз самосвального типа;
- б) погрузочно-транспортная машина;
- в) пожарная машина

Погрузочно-транспортная машина (рис. 1, б) по патенту РФ №2530904 получается в результате снабжения грузовой платформы 5 сортиментовоза дополнительным съемным кузовом 11 с днищем, передней и боковыми стенками, и механизмом фиксации кузова от продольного перемещения. Гидроманипулятор 3 снабжается грузозахватным органом 4 в виде грейферного захвата лепесткового типа вместо клещевого захвата. При исчерпании необходимости работы с навалочными грузами транспортное средство может быть быстро переоборудовано для транспортировки сортиментов путем простого сбрасывания дополнительного кузова 11 с грузовой платформы 5 и ремонта груза захватного органа.

Схемное решение пожарной машины защищено патентом РФ №2498830. В пожароопасный период производится монтаж съемной большеобъемной емкости 10 (рис. 1, в) на грузовую платформу 4. Для этого на конце гидроманипулятора 2 монтируется крюк 16, посредством которого съемная емкость 10 за скобу 11 затаскивается по ролику 8 и устанавливается на верхнюю плоскость 9 платформы 4 в заданное положение, в котором закрепляется подручными средствами, например, посредством проволочных стяжек. После этого крюк 16 демонтируется, а на конец гидроманипулятора 2 устанавливается пожарный ствол 17. Гидромотор 14 связывается гидравлическими линиями (рукавами высокого давления) с гидронасосом 6, а водяная помпа 15 связывается со стволом 17 гибкими трубопроводами пожарного оборудования. Получившаяся таким образом пожарная машина после заправки водой емкости 10 от источника водоснабжения направляется своим ходом к месту пожара. По окончании пожароопасного периода съемная емкость 10 демонтируется с грузовой платформы 4, и манипуляторная машина используется по прямому назначению для транспортировки сортиментов.

Отличительной чертой предложенной высокоунифицированной системы машин является использование одной базовой машины, в данном случае сортиментовоза, которая путем достаточно несложной переналадки превращается в другую машину: погрузочно-транспортную или пожарную. Используемое при переналадке сортиментовоза дополнительное технологическое оборудование имеет массу:

$$m_{\text{ПТ}} = a m_{\text{Ф}},$$

$$m_{\text{ПМ}} = b m_{\text{Ф}},$$

где  $m_{\text{ПТ}}$  и  $m_{\text{ПМ}}$  – конструкционные массы технологического оборудования, соответственно погрузочно-транспортной и пожарной машин;  $m_{\text{Ф}}$  – конструкционная масса сортиментовоза.

Общая масса узлов предлагаемой системы машин составляет:

$$m_{\Sigma} = m_{\text{Ф}} + a m_{\text{Ф}} + b m_{\text{Ф}} = m_{\text{Ф}} (1 + a + b).$$

Возможная общая масса узлов комплекта машин аналогичного назначения составляет:

$$m'_{\Sigma} \approx 3 m_{\text{Ф}}.$$

Принимая  $(a + b) \approx 0,3 \dots 0,4$ , получаем, что  $k = m'_{\Sigma} / m_{\Sigma} \geq 2$ .

Отсюда видно, что конструкционная масса системы машин при традиционном варианте выше по сравнению с предлагаемым вариантом не менее, чем в 2 раза. При этом материалоемкость на стадии заготовительного производства при традиционном варианте выше по сравнению с предлагаемым вариантом не менее, чем в 3 раза, что влечет за собой соответствующие объемы затрат энергии на механическую обработку деталей и объемы вредных выбросов в окружающую среду.

Таким образом, предложенная концепция переналадки сортиментовоза в погрузочно-транспортную и пожарную машины обеспечивает экологичность техники для леса за счет резкого (в 3 раза) снижения затрат энергии и объемов загрязнений, попадающих в окружающую среду на стадии “Производство” жизненного цикла рассматриваемого комплекта машин.

#### Список литературы

1. Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. М.: Высшая школа, 2001. 273 с.
2. Воскобойников, И.В. Погрузочно-транспортная машина ЛЗ-5 / И.В. Воскобойников, В.М. Крылов, В.А. Фетисова // Строительные и дорожные машины. 2010. №7. С. 23-25.
3. Войнаш, А.С. Гусеничный форвардер с системой пакетной выгрузки лесоматериалов / А.С. Войнаш, С.А. Войнаш // Строительные и дорожные машины. 2012. №9. С. 13-16.
4. Патент №2418695 РФ на изобретение, МПК В 60 Р 3/40, В 60 Р 1/52, А01G23/08. Сортиментовоз / Войнаш С.А., Войнаш А.С.; заявитель и патентообладатель: Войнаш С.А., Войнаш А.С. (RU). № 2010107069/11; заявл. 25.02.2010; опубл. 20.05.2011. Бюл. №14. С. 547.

### **ПАГУБНОЕ ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НА ЗДОРОВЬЕ ТРУДОСПОСОБНОГО НАСЕЛЕНИЯ В ПОВОЛЖСКОМ РЕГИОНЕ**

Е.В. Карташева, Б.Э. Забержинский

*ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»*

В данной статье рассказывается о негативном влиянии промышленных и автомобильных выбросов на здоровье жителей Самарского региона. Приведены данные о заболеваемости и смертности, а также сделаны выводы о возможной нормализации сложившейся экологической ситуации.

**Ключевые слова:** Экология, обстановка, проблемы, промышленность, автомобили, выбросы, заболеваемость, смертность.

# HARMFUL INFLUENCE OF ECOLOGICAL SITUATION ON THE HEALTH OF WORKING-AGE POPULATION IN THE VOLGA REGION

E.V. Kartasheva, B.E. Zaberzhinsky  
Samara State Technical University

**Abstract:** This article tells about the harmful influence of industrial and automobile emissions on the health of inhabitants of Samara region. The data on morbidity and mortality are represented; conclusions about the possible normalization of the current environmental situation are made.

**Key words:** Ecology, situation, problems, industry, automobiles, emissions, morbidity, mortality.

Экологическая обстановка – это одна из главных проблем в 21 веке. С каждым годом увеличивается уровень воздействия человека на окружающую среду. На данный момент одними из основных причин загрязненности являются: выбросы промышленных предприятий, а также автомобильные выхлопы.

Самым грязным городом России является Норильск, который также входит в Мировой рейтинг. По количеству выбросов загрязняющих веществ в атмосферу он опережает Москву в два раза (таблица 1). Самарская область в общем рейтинге занимает 17 место [4].

Таблица 1

Объем выбросов в атмосферу загрязняющих веществ

| Место | Город           | Выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, тыс. т |
|-------|-----------------|--|
| 1     | Норильск        | 1959,5   |
| 2     | Москва          | 995,4  |
| 3     | Санкт-Петербург | 488,2  |
| 17    | Самара          | 137,6  |

Причины загрязнения во всех городах различны. В Норильске 99,5% приходится на стационарные источники, самым загрязняющим предприятием является «Норильский Никель». Воздух Норильска перенасыщен различными веществами: диоксидом азота, диоксидом серы, свинцом, сероуглеродом, ксилолом. От этого средняя продолжительность жизни в среднем на 10 лет меньше, чем в других городах.

В Москве, Санкт-Петербурге и Самаре основная причина загрязнения – это автомобильные выбросы. Показатели равны 92,8%, 85,9 и 73,8%.

В первую десятку самых грязных населенных пунктов в основном входят города, представляющие собой металлургические, нефтеперерабатывающие или химические полисы.

Самарская область – крупный промышленный комплекс. Основными источниками загрязнения региона являются предприятия строительной, топливно-энергетической, нефтеперерабатывающей, металлургической, авиационно-космической отраслей, а также автомобильный и железнодорожный транспорт. Всего в городе находится более ста

промышленных предприятий. Больше всего вреда окружающей среде наносят ОАО «Завод авиационных подшипников», ОАО «Самарский металлургический завод», ОАО «Металлист-Самара», Новокуйбышевский НПЗ, ОАО «Тольяттиазот». Наиболее опасные вещества, которые выбрасывают заводы, это: формальдегид, фенол, окислы азота, хлористый водород.

Объединив выбросы предприятий от стационарных источников по укрупненным отраслям промышленности, получим следующие показатели [1]:

1. Предприятия нефтепереработки – 66%;
2. Электро- и теплоэнергетика – 14%;
3. Стройиндустрия – 5%;
4. Металлопереработка и машиностроение – 8%;
5. Остальное – 7%.

Как отмечалось ранее, в Самаре также основным источником загрязнения являются автомобильные выбросы. Количество собственных легковых автомобилей на 1000 человек с каждым увеличивается (таблица 2) [2].

Таблица 2

Число собственных легковых автомобилей на 1000 человек

| Год               | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| Самарская область | 236,3 | 254,8 | 257,2 | 285,0 |

Помимо легковых автомобилей, указанных в таблице, имеется грузовой транспорт, автобусы и т.д. Суммарные годовые выбросы автотранспорта составляют более 100 тыс. тонн вредных веществ.

В совокупности выхлопные трубы автомобилей, трубы заводов и электростанций выбрасывают в воздух довольно большое количество тонн угарного газа и других токсичных веществ. В результате промышленных и автотранспортных выбросов показатель загрязненности воздуха в Самарской области на 43% больше, чем в среднем по России.

Последствия плохой экологической обстановки в регионе – это более активное развитие болезней, вследствие чего повышается смертность населения. Вредные промышленные и автотранспортные выбросы вызывают болезни органов дыхания, проникают через легкие в кровь, также ведут к распространению трех наиболее серьезных заболеваний [3]:

1. Бронхиальная астма – проявляется дыхательной недостаточностью, во время приступов присутствует риск смертельного исхода;
2. Идиопатические аллергические реакции – крайне тяжело вылечить;
3. Дерматологические хронические заболевания – разного рода дерматиты, которые сложно лечить, также являются довольно опасными.

Плохая экологическая обстановка является одной из причин развития онкологических заболеваний и болезней системы кровообращения (таблица 3). Они наиболее часто ведут к летальному исходу (таблица 4).

Таблица 3

## Заболееваемость населения, человек

|                                | 2011 год | 2012 год | 2013 год |
|--------------------------------|----------|----------|----------|
| Новообразования                | 58502    | 55817    | 55994    |
| Болезни системы кровообращения | 85191    | 94364    | 95103    |

Таблица 4

## Смертность населения, человек

|                                 | 2011 год | 2012 год | 2013 год |
|---------------------------------|----------|----------|----------|
| Злокачественные новообразования | 6737     | 6766     | 6789     |
| Болезни системы кровообращения  | 24575    | 22940    | 23582    |

Как видно из таблиц, с каждым годом увеличивается количество больных по данным видам болезней и возрастает смертность по данным показателям.

Любое изменение экологии в отрицательную сторону может иметь довольно негативные последствия. Увеличение автотранспорта, строительство новых промышленных комплексов и т.д. наносит большой вред экологической обстановке в регионах.

Одной из программ «Росатома» является строительство ядерных могильников на территории Российской Федерации. Захоронение радиоактивных отходов атомных электростанций – одна из самых сложных и спорных проблем. Для их хранения требуются большие территории.

Самарская область попала в список претендентов на строительство, а это может иметь больше негативные последствия для региона, нежели положительные. Уже на этапе перевозки радиоактивные вещества представляют собой большую опасность для общества.

Строительство подобных ядерных могильников грозит высоким уровнем различных опасных заболеваний (таких как онкология), а также ещё большим повышением смертности. Как было выявлено ранее, в последние годы данный показатель и так увеличивается. Экологическая обстановка в Самарской области не самая благоприятная. Поэтому строительство подобного рода ядерных могильников только ухудшит ситуацию.

Снижение уровня заболеваемости является основополагающим принципом любого социального государства и, несомненно, приводит к повышению уровня ВВП, росту численности населения, повышению качества жизни. Задача государства – способствовать зарождению экологических программ внутри городов и предприятий. Несмотря на то, что это требует финансовых вложений, полученный результат всегда больше как для бизнеса, так и для страны. Необходимо снижать налогооблагаемую базу – это должно мотивировать компании к внедрению новых экологически чистых производств.

Сегодня все медицинские учреждения Самарского региона бьют тревогу. Тяжелая заболеваемость растет из года в год. В эту статистику попадает

большинство трудоспособного населения. Ещё одна проблема – нехватка количества технологического оборудования.

На сегодняшний день показатели достигли критических значений. Уже достаточно долгое время не видно реального снижения показателя смертности и роста показателя благополучия. Небольшое влияние на качество жизни оказывает перенос производства из города за его пределы. Однако увеличение транспортного потока внутри мегаполиса негативно влияет на окружающую среду.

Нормализация сложившейся ситуации видится в выборе правильных стратегий. Важно постоянно контролировать уровень вредных веществ в атмосфере, т.е. проводить мониторинг состояния окружающей среды. Обеспечивать экологически безопасный сбор, вывоз и переработку отходов. В обществе должна формироваться экологическая культура. Только в совокупности всех методов можно добиться улучшения состояния экологической обстановки как в Самарской области, так и в других регионах.

#### Список литературы

1. Экологическая программа городского округа Самара / Режим доступа: <http://www.city.samara.ru/administration/program/18582>, свободный. Загл. с экрана
2. Федеральная служба государственной статистики / Режим доступа: <http://www.gks.ru/>, свободный. Загл. с экрана
3. Болезни, вызываемые плохой экологией / Режим доступа: <http://Zoomir.ru/bolezni-vy-zy-vaemy-e-plohoj-e-kologicheskoy-situatsiej.html>, свободный. Загл. с экрана
4. Рейтинг российских городов по уровню загрязнения атмосферы / Режим доступа: <http://ria.ru/eco/20130806/954546151.html>, свободный. Загл. с экрана.

### **СНИЖЕНИЕ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ В ПЕРИОД ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Ю.Г. Максимейко, А.А. Мельберт, Г.В. Медведев  
*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

В работе рассмотрена возможность снижения вредных выбросов в период предпусковой подготовки дизельного двигателя. Исследованы вопросы очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитическом нейтрализаторе, в процессе прогрева каталитических блоков последнего в течение периода предпусковой подготовки и послепускового прогрева. В работе изучен состав отработавших газов в зависимости от коэффициента избытка воздуха и определена эффективность очистки отработавших газов предпускового подогревателя, в зависимости от температуры каталитических блоков нейтрализатора.

**Ключевые слова:** *предпусковой подогреватель, каталитические блоки, подогрев, очистка, отработавшие газы, катализатор.*

## THE REDUCING OF HARMFUL EMISSIONS DURING PRESTARTING PREPARATION OF DIESEL ENGINE

Y.G. Maksimeyko, A.A. Melbert, G.V. Medvedev

*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper considers the possibility of the reducing of harmful emissions during prestarting preparation of diesel engine. The problems concerning the cleaning of exhaust gas of prestarting heater in the catalyst converter during the heating of catalist units of the last during the period of prestarting preparations and postheating are investigated. We studied the composition of the exhaust gases, depending on the excess air coefficient and the efficiency of purification of exhaust gases in prestarting heater, depending on the temperature of the catalytic converter units.

**Key words:** *prestarting heater, catalyst units, heating, cleaning, exhaust gases, catalyst converter.*

Пуск автомобильных и тракторных дизелей при безгаражном хранении затруднен, поэтому дизели оборудуются предпусковыми подогревателями. Воздух, используемый в предпусковых подогревателях в качестве окислителя, содержит следующие основные компоненты (в объемных долях): азот – 0,7808; кислород – 0,2095; аргон – 0,0093; диоксид углерода – 0,0003; прочие газы – 0,0000246 и пары веществ [1].

При сгорании дизельного топлива в камере сгорания предпускового подогревателя на выпуске отработавшие газы (ОГ) содержат (в объемных долях) следующие компоненты [2]: азот – 0,76...0,78; кислород – 0,02...0,09; пары воды – 0,005...0,04. Более подробного анализа состава отработавших газов предпусковых подогревателей, работающих на дизельном топливе, в известных опубликованных источниках не приведено.

В целях восполнения знаний, позволяющих учитывать долю загрязнения окружающей среды вредными выбросами предпусковых подогревателей дизелей, были проведены исследования состава отработавших газов на стационарном стенде в Новосибирском ВВКУ в зимнее время.

В литературе также не отражены сведения об использовании каталитических нейтрализаторов одновременно для дизелей и их предпусковых подогревателей.

Определение состава отработавших газов предпускового подогревателя ПЖД-30 при различных значениях коэффициента избытка воздуха в камере сгорания проведено в период зимней эксплуатации при температуре окружающей среды  $T_o = 248...249$  К, давлении  $P_o = 762$  мм рт. ст., влажности  $W_o = 82\%$ , скорости ветра  $V_v = 10$  м/с.

Особенностями доукомплектации установки явились следующие:

1. Частота вращения электродвигателя насосного агрегата (воздухонагнетателя и жидкостного насоса) регулировалась реостатом;
2. Расход воздуха определялся с помощью сдвоенной диафрагмы и дифференциального манометра.

Многоступенчатый каталитический нейтрализатор с СВС-блоками (таблица 1) был рассчитан для очистки отработавших газов дизелей с расходами до  $950$  м<sup>3</sup>/ч.

Эксперимент проводился, как правило, в одни сутки, что позволяло вести наблюдение при изменении атмосферных условий.

После проведения серии экспериментов блок дизеля проливался холодным тосолом из запасного бака, что давало возможность стабилизировать температуру в ускоренном темпе.

Предпусковой подогрев составлял 25 минут. За это время температура масла в поддоне поднималась до 308 К, температура охлаждающей жидкости на выходе из блока до 353 К. Температура каталитических блоков поднималась до 620К.

Результаты экспериментального исследования представлены на рисунке 1 и в таблице 2.

Таблица 1

Характеристики пористых проницаемых СВС-каталитических блоков для нейтрализаторов

| Состав шихты, в процентах по массе   |                                  |
|--|----------------------------------|
| Компоненты шихты для изготовления СВС-блоков   | Содержание, в процентах по массе |
| Окалина легированной стали 18ХНВА, 18ХНМА  | 47,5                             |
| Оксид хрома  | 17,9                             |
| Хром ПХ-1 по ТУ 882-76   | 6,9                              |
| Никель ПНК-ОТ-1 по ГОСТ 9722-79  | 12,4                             |
| Алюминий АСД-1 по ТУ 485-22-87   | 15,2                             |
| Иридий   | 0,1                              |
| Родий  | 0                                |
| Медь   | 0                                |
| Эффективность очистки отработавших газов при $P_e/P_{e\text{ ном}}=100\%$ , $T_{\text{ог}}=833\text{К}$ , $T_{\text{кат}}=833\text{К}$ , в процентах |                                  |
| Компоненты отработавших газов  | Снижение содержания, в процентах |
| Оксиды азота, $\text{NO}_x$ (суммарно)   | 52                               |
| Оксид углерода, $\text{CO}$  | 86                               |
| Углеводороды, $\text{C}_x\text{H}_y$ (суммарно)  | 67                               |
| Твердые частицы  | 85                               |
| Характеристики каталитических блоков   |                                  |
| Средний размер пор в сечении, мкм  | 150                              |
| Механическая прочность при сжатии, МПа   | 12,2                             |
| Извилистость пор $\xi_{\text{и}}$  | 1,39                             |
| Коррозионная стойкость по изменению массы, %   | 10                               |
| Пористость материала П, %  | 40                               |

Из данных таблицы 2 видно, что при увеличении коэффициента избытка воздуха с  $\alpha_{\text{пп}} = 1,20$  до  $\alpha_{\text{пп}} = 1,60$  выбросы оксидов азота с отработавшими газами увеличиваются в 1,64 раза, выбросы продуктов неполного сгорания сокращаются: углеводородов – в 1,39 раза; оксида углерода – в 1,50 раза; твердых частиц – в 1,60 раза.

Вместе с тем, для дизелей, эксплуатируемых в условиях безгаражного хранения и отрицательных температур окружающей среды, оборудованных предпусковыми подогревателями, актуальным становится вопрос о включении времени предпускового подогрева и учете загрязнений атмосферы вредными выбросами подогревателей при определении экономического ущерба, наносимого окружающей среде.

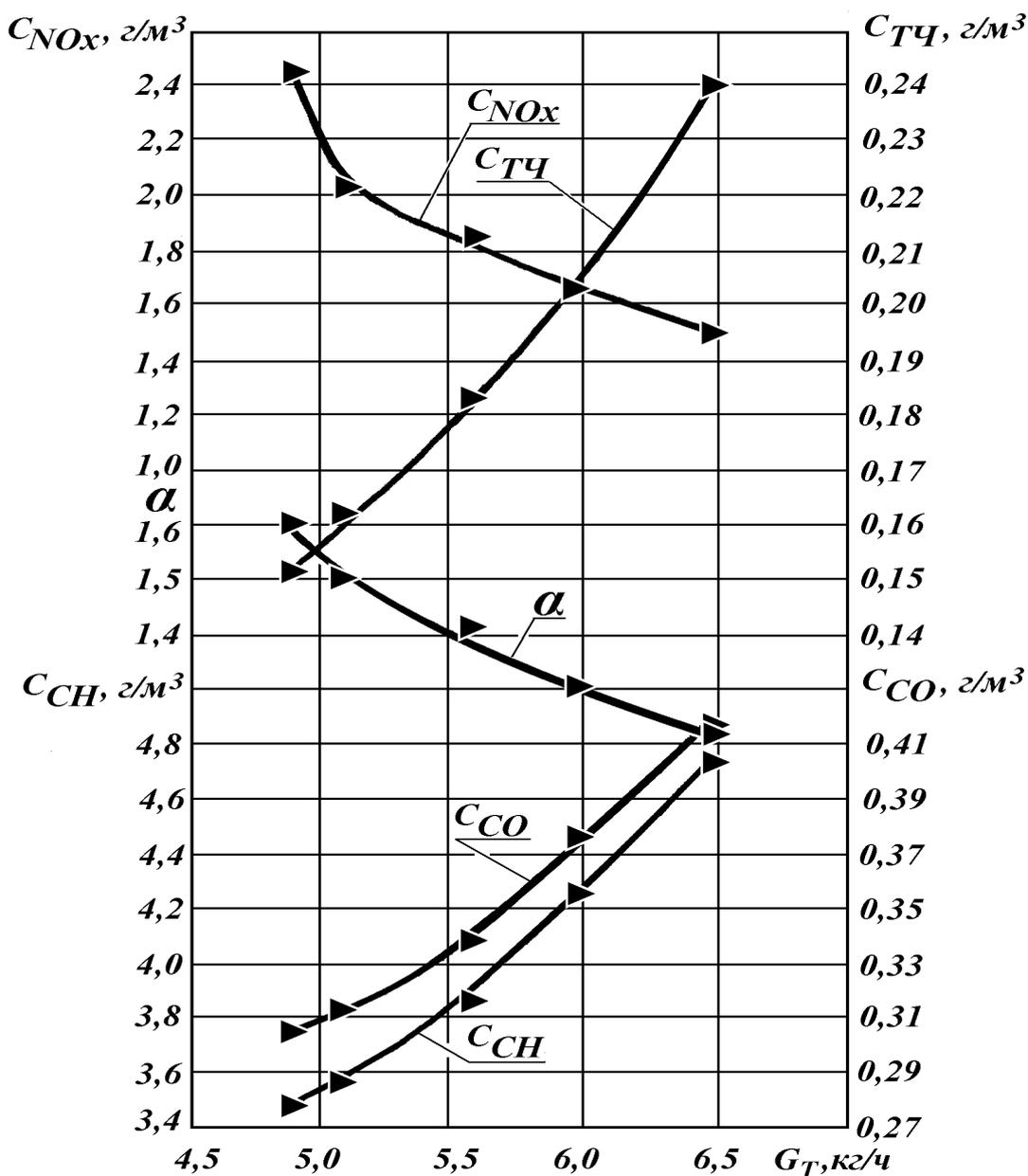


Рис. 1. Уровни вредных выбросов с отработавшими газами предпускового подогревателя ПЖД-30 в зависимости от расхода топлива

Содержание вредных веществ в отработавших газах  
предпускового подогревателя ПЖД-30 дизеля КамАЗ-740,  $T_{ор}=833K$

| Вредные компоненты<br>отработавших газов (нормируемые)                    | Коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{nn}$ |       |       |       |       |
|---|--|-------|-------|-------|-------|
|   | 1,2  | 1,3   | 1,4   | 1,5   | 1,6   |
| Оксиды азота - $NO_x$ , г/м <sup>3</sup>                                  | 1,499                                      | 1,643 | 1,848 | 2,054 | 2,464 |
| Углеводороды (суммарно) - $C_xH_y$<br>г/м <sup>3</sup> , $\times 10^{-3}$ | 4,78                                       | 4,21  | 3,86  | 3,57  | 3,43  |
| Оксид углерода - CO, г/м <sup>3</sup>                                     | 0,413                                      | 0,375 | 0,337 | 0,313 | 0,275 |
| Твердые частицы - ТЧ, г/м <sup>3</sup>                                    | 0,24                                       | 0,20  | 0,18  | 0,16  | 0,15  |

В этом случае в расчетах учитываются выбросы всех нормируемых веществ. Следует учесть и то обстоятельство, что в ряде случаев предусмотрено участие предпусковых подогревателей и в период послепускового прогрева дизелей. В этом случае приходится иметь дело одновременно с выбросами дизелей и предпусковых подогревателей.

Использование в системах выпуска каталитических нейтрализаторов одновременно от дизелей и предпусковых подогревателей до настоящего времени не описано в опубликованных источниках и требует более детального изучения.

В рассматриваемом случае нет необходимости анализа ситуации с точки зрения выполнения норм евростандартов, потому что дизель одновременно не работает с предпусковым подогревателем по 13-режимному испытательному циклу.

С другой стороны, есть необходимость рассмотрения вопроса очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитическом нейтрализаторе в процессе прогрева каталитических блоков последнего в течение периода предпусковой подготовки.

Направление отработавших газов предпускового подогревателя в каталитический нейтрализатор служит для выполнения одновременно двух задач: очистки их от продуктов неполного сгорания и оксидов азота и использования их тепла для предпускового разогрева каталитических блоков.

Результаты качества очистки отработавших газов предпускового подогревателя в каталитических блоках приведены в таблице 3.

Из данных таблицы 3 видно, что вместе с прогревом каталитических блоков заметное влияние на снижение выбросов оксидов азота обнаруживается с температуры 713 К, углеводородов – с температуры около 593 К, оксида углерода – с температуры 713 К. Сокращение выбросов твердых частиц начинается с температуры воспламенения сажи.

В результате исследования установлен состав отработавших газов в зависимости от коэффициента избытка воздуха и определена эффективность очистки отработавших газов предпускового подогревателя в зависимости от температуры каталитических блоков нейтрализатора.

Эффективность очистки отработавших газов предпускового подогревателя  
в каталитическом нейтрализаторе при  $\alpha_{\text{пл}}=1,3$

| Компоненты<br>ОГ<br>подогревателя | Выбросы при<br>$T_{\text{ог}} = 833\text{K}$<br>без КН $\text{г/м}^3$ | Выбросы отдельных компонентов после КН, $\text{г/м}^3$ при<br>различной температуре каталитических блоков |       |       |       |      |      |      |
|-----------------------------------|---|---|-------|-------|-------|------|------|------|
|                                   |   | 250K  | 273K  | 298K  | 377K  | 593K | 713K | 833K |
| $\text{NO}_x$                     | 1,643   | 1,643   | 1,643 | 1,643 | 1,62  | 1,61 | 0,94 | 0,44 |
| $\text{C}_x \text{H}_y$           | 4,210   | 4,21  | 4,21  | 4,10  | 4,00  | 3,30 | 1,98 | 0,33 |
| СО                                | 0,375   | 0,375   | 0,375 | 0,375 | 0,375 | 0,32 | 0,29 | 0,15 |
| ТЧ                                | 0,20  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,06  | 0,04 | 0,02 | 0,02 |

#### Список литературы

1. Николаев, Л.А. Системы подогрева тракторных дизелей при пуске / Л.А. Николаев, А.П. Сташкевич, И.А. Захаров. – М.: Машиностроение, 1977. 191 с.
2. Белоусов, И.С. Пуск тракторных и автомобильных двигателей: учебное пособие / И.С. Белоусов, П.И. Федюнин // Новосиб. гос. аграрн. ун-т. Новосибирск: НГАУ, 2006. 152 с.

### ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА СОСТАВ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Ю.Г. Максимейко, А.Е. Свистула, Н.Н. Горлова

*Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова*

В работе рассмотрено влияние температуры среды на качество очистки отработавших газов дизеля. Исследовано изменение уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля по внешней скоростной и нагрузочной характеристикам, в зависимости от температуры окружающей среды. В работе изучено влияние температуры окружающей среды на состав отработавших газов дизельного двигателя.

**Ключевые слова:** температура окружающей среды, влияние температуры, каталитический нейтрализатор, вредные выбросы, отработавшие газы.

### THE INFLUENCE OF THE TEMPERATURE OF THE ENVIRONMENT ON THE COMPOSITION OF EXHAUST GASES OF DIESEL ENGINE

Y.G. Maksimeyko, A.E. Svistula, N.N. Gorlova

*Polzunov Altai state technical university*

**Abstract:** This article examines the influence of the temperature of the environment on the quality of the cleaning of exhaust gases of diesel engine. Changes in the level of harmful emissions with the exhaust gases of diesel engine in external speed and load characteristics, depending on the temperature of the environment are investigated. In this paper we studied the effect of the temperature of the environment on the composition of the exhaust gases of diesel engine.

*Key words: the temperature of the environment, the influence of the temperature, catalytic converter, harmful emissions, exhaust gases.*

При эксплуатации дизельного двигателя в зимних условиях на состав отработавших газов существенное влияние оказывает температура окружающей среды [1].

Для установления влияния температуры среды на качество очистки отработавших газов дизеля 8Ч12/12 [2] в каталитическом нейтрализаторе были проведены испытания в период зимней эксплуатации при температуре окружающей среды  $T_o = 241...264$  К, давлении  $P_o = 758...762$  мм рт. ст., влажности  $W_o = 75...85\%$ , скорости ветра  $V_v = 10...12$  м/с.

Особенностью проведения экспериментальных исследований являлось то, что отдельные характеристики (нагрузочные и скоростные) были сняты в различные дни, при различных атмосферных условиях, а полученные результаты приводились к нормальным условиям в соответствии с ГОСТ.

При температурах 241...248...264...273...298 К определены оценочные показатели вредных выбросов оксидов азота, углеводородов, оксида углерода и твердых частиц согласно методике, установленной стандартом, и проведено их сравнение с требованиями стандартов ЕЭК ООН ЕВРО-3, ЕВРО-4 и ЕВРО-5.

Перед проведением серии испытаний дизель предварительно прогревался до температуры охлаждающей жидкости  $T_{охл} = 363$  К и температуры масла  $T_m = 358$  К.

На рисунке 1 приведены графики изменения уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-740 при  $2600 \text{ мин}^{-1}$  по нагрузочной характеристике.

Следует отметить, что увеличение уровней выбросов оксидов азота по всей нагрузочной характеристике может быть объяснено увеличением коэффициента наполнения  $\eta_v$  свежим зарядом цилиндров и, при одинаковой цикловой подаче, увеличением коэффициента избытка воздуха. Что в свою очередь создает дополнительные условия для окисления азота в цилиндре дизеля.

Снижение уровней выбросов твердых частиц (ТЧ), углеводородов  $C_xH_y$  (условно СН), оксида углерода (СО) – это итог повышения коэффициента избытка воздуха за счет увеличения весового заряда воздуха в цилиндре.

Проведенные испытания по внешней скоростной характеристике, результаты которых приведены на графиках рисунка 2, показали, что при изменении температуры окружающей среды с 298 до 241 К в диапазоне  $1000...2600 \text{ мин}^{-1}$  при полной подаче топлива наблюдается снижение уровней выбросов с отработавшими газами углеводородов, оксида углерода и твердых частиц и увеличение выбросов оксидов азота.

Результаты определения влияния температуры окружающей среды с учетом поправки на скорость ветра на удельные оценочные показатели вредных выбросов приведены в таблице 1, где сведены данные для температур  $T_o = 241...264...273...298$  К.

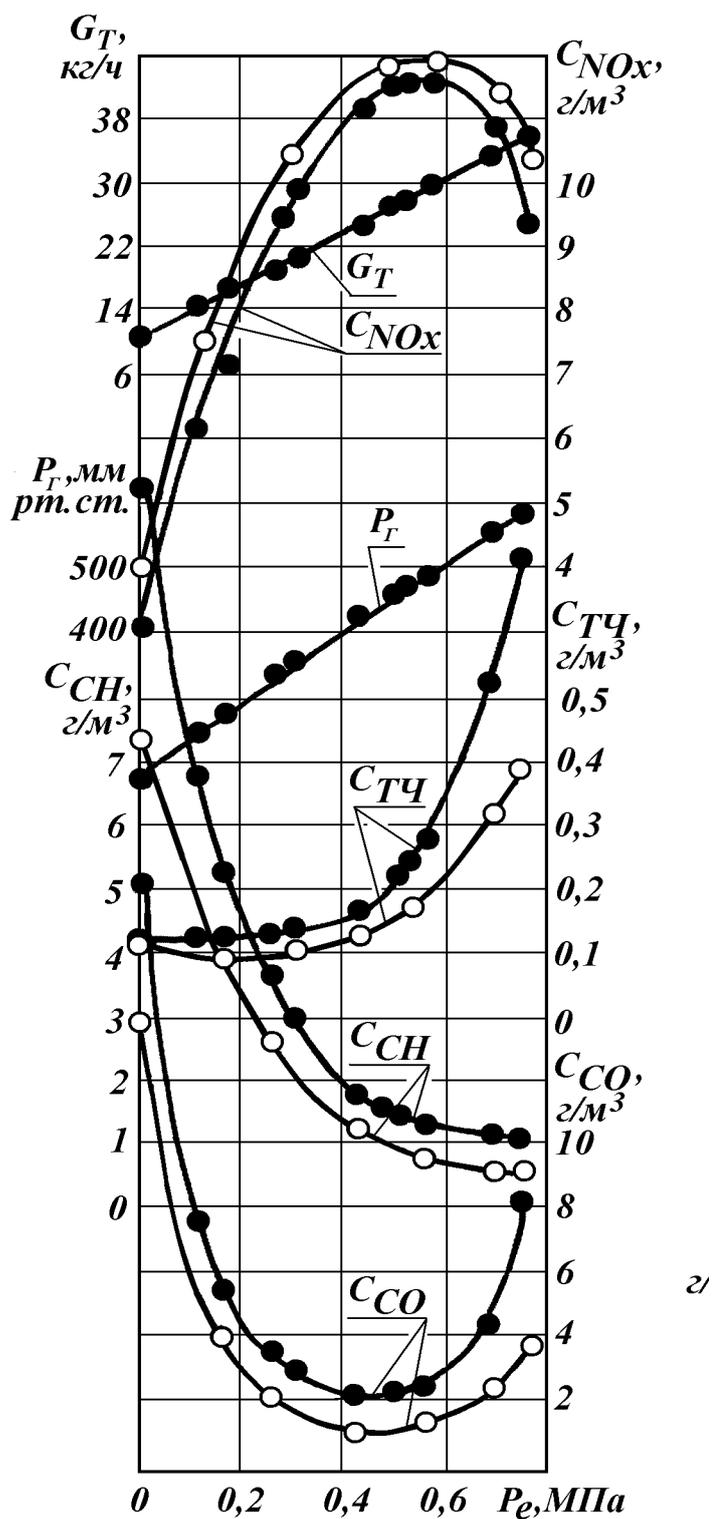


Рис. 1. Изменение уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-740 по нагрузочной характеристике при 2600 мин<sup>-1</sup> при температурах: • -298 К; о-241 К

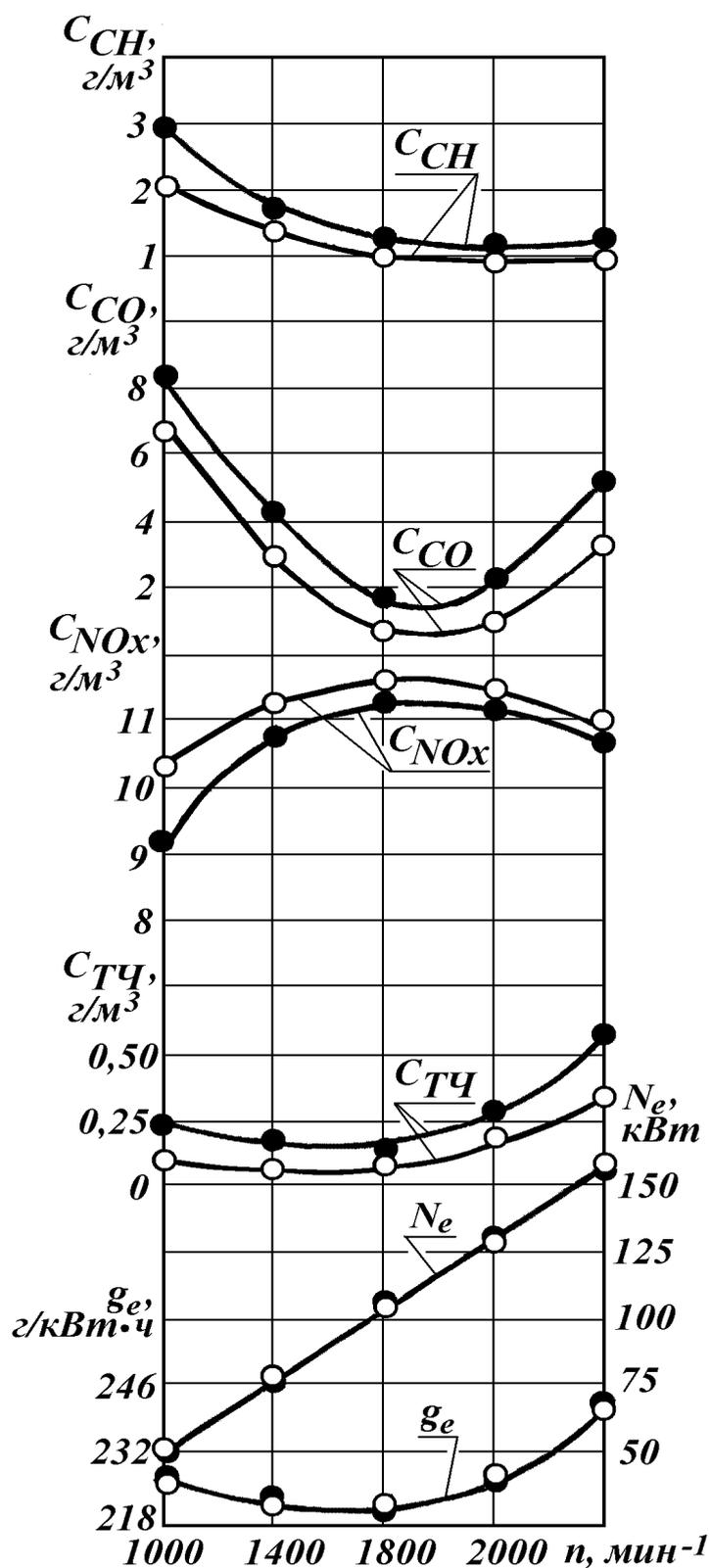


Рис. 2. Изменение уровней вредных выбросов с отработавшими газами дизеля КамАЗ-740 по внешней скоростной характеристике при температурах:  
 $\bullet$  -298 К;  $\circ$  -241 К

Влияние температуры окружающей среды на величины оценочных показателей вредных выбросов дизеля КамАЗ-740

| Оценочные показатели вредных выбросов | Величины оценочных показателей, г/(кВт.ч) |        |        |                     |                   |                   |                   | Кратность превышения норм ЕВРО-4/ЕВРО-5 при $T_0=241\text{K}$ |
|---------------------------------------|---|--------|--------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---|
|                                       | Допустимые уровни                         |        |        | Вредные выбросы при |                   |                   |                   |   |
|                                       | ЕВРО-3                                    | ЕВРО-4 | ЕВРО-5 | $T_0=241\text{K}$   | $T_0=264\text{K}$ | $T_0=273\text{K}$ | $T_0=298\text{K}$ |   |
| $q_{\text{оц}} \text{NO}_x$           | 5,00                                      | 3,50   | 2,00   | 9,24                | 8,98              | 8,77              | 8,63              | 2,64/4,62   |
| $q_{\text{оц}} \text{CO}$             | 2,10                                      | 1,50   | 1,50   | 1,54                | 1,86              | 2,01              | 2,45              | 1,03/1,03   |
| $q_{\text{оц}} \text{CH}$             | 0,60                                      | 0,46   | 0,25   | 0,28                | 0,34              | 0,52              | 0,69              | 0,61/1,12   |
| $q_{\text{оц}} \text{ТЧ}$             | 0,10                                      | 0,02   | 0,02   | 0,14                | 0,19              | 0,20              | 0,22              | 7,00/7,00   |

Полученные данные свидетельствуют о том, что без каталитического нейтрализатора нормы вредных выбросов с отработавшими газами дизеля не выполняются как ЕВРО-3, ЕВРО-4 и ЕВРО-5, но при этом нормы ЕВРО-3 по выбросам оксида углерода и углеводородов при  $T_0 = 241 \text{ K}$  выполняются.

#### Список литературы

1. Лоскутов, А.С. Снижение выбросов оксидов азота дизелями в атмосферу / А.С. Лоскутов, А.Л. Новоселов, В.А. Вагнер; Под ред. А.Л. Новоселова / Алт. краев правл. Союза НИО СССР. Барнаул, 1990. 120 с.
2. Новоселов, А.Л. Зависимость качества очистки отработавших газов дизеля 8С12/12 от температуры СВС-каталитических блоков нейтрализатора / А.Л. Новоселов, Ю.Г. Максимейко, Т.А. Стопорева // Экологические проблемы энергоустановок с тепловыми двигателями: Сб. статей; под ред. д.т.н., проф. А.А. Мельберт. Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. С. 67-72.

## СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СОЦИОЭКОСИСТЕМАХ

В.П. Мосин

*Ташкентский государственный педагогический университет имени Низами, г. Ташкент, Узбекистан*

**Аннотация:** Техногенные и экологические катастрофы представляют угрозы для жизни и здоровья населения. Множество нормативных актов создают иллюзию защищенности населения от экологических и техногенных рисков. Однако недостатком обширной и разветвленной системы является дискретный несистемный подход в оценке рисков, последствий наступивших событий, степени ответственности за создание ситуации опасности и в прогнозе развития социосистем в условиях динамичного взаимодействия со средой. Синергетические процессы нуждаются в особом внимании при решении проблем стратегического развития территорий. Опасность неуправляемых синергетических процессов в социосистеме заключается в появлении иных эмерджентных свойств, не адекватных требованиям общества и влекущих за собой опасные ситуации и дополнительные нагрузки на экономику.

*Ключевые слова: дискретный несистемный подход, эмерджентность, синергизм, синергетические процессы.*

## **SYNERGETIC PROCESSES AND ENVIRONMENTAL SECURITY IN THE SOCIO-AND ECOLOGICAL SYSTEMS**

V.P. Mosin

*Tashkent State Pedagogical University named after Nizami,  
Tashkent, Uzbekistan*

**Abstract:** Technogenic and ecological disasters pose threats for life and health of population. A number of regulations create the illusion of security of the population from environmental and technological hazards. However a lack of extensive and branched system is the discrete nonsystem approach in the assessment of risks, the consequences of the coming events, and the degree of responsibility for the situation of danger and in the forecast of the development of socio-and ecological systems in the situation of dynamic interaction with the environment. Synergetic processes need special attention in the solution of problems of strategic development of territories. Danger of uncontrollable synergetic processes in socio-and ecological system consists in the appearance of the other emergent properties being nonadequate to the requirements of society and dangerous for the economy.

**Key words:** *discrete nonsystem approach, emergent, synergism, synergetic processes.*

Экологическая безопасность в мире обеспечивается всеми иерархическими уровнями нормативных актов от конституции до государственных стандартов. Множество нормативных актов создают иллюзию защищенности населения от экологических и техногенных рисков. Однако недостатком обширной и разветвлённой системы является дискретный несистемный подход в оценке рисков, последствий наступивших событий, степени ответственности за создание ситуации опасности и в прогнозе развития социозкосистем в условиях динамического взаимодействия со средой. Такой подход игнорирует главное свойство всех систем – синергию и эмерджентность.

Синергетические процессы – это синхронизация работы всех элементов системы. Элементы системы синхронизируются, потому что они воздействуют друг на друга, создавая, таким образом, систему, которая, в свою очередь, объединяя все элементы в единое целое, усиливает синхронизацию взаимодействия, делая синергию постоянным процессом. Именно это, последнее, порождает другое системное свойство – эмерджентность, которое проявляется как приобретение особых свойств системы, отличных от всех компонентов, её составляющих. Именно синергия компонентов системы создаёт эмерджентность и поддерживает устойчивость системы [1].

Синергизмом и эмерджентностью обладают все системы, поэтому понимать механизмы их функционирования и, тем более, управлять системой без учёта этих свойств невозможно. Особое значение имеет выявление синергизма и эмерджентности в молодых сложных системах, сформированных при межсистемном взаимодействии. К таким системам относятся социозкосистемы, которые отличаются постоянством связей между экосистемами и системами, созданными хозяйственной деятельностью

человека. Социоэкосистемы существуют до тех пор, пока общество является их центром управления, в противном случае природные системы уничтожают человека как элемент, не обладающий синергетическими свойствами по отношению к этой системе и, соответственно, не обеспечивающий эмерджентность этой системы. Способов уничтожения много: болезни, голод, война, бедствия и т.п.

Управление социоэкосистемами проявляется в процессах самоорганизации и организации. К первому относятся процессы, сформированные самим обществом – например, традиции и стереотипы, подкрепляемые моральными ценностями. Ко второму – все действия государства, направленные на ограничения хозяйственной деятельности в целях обеспечения экологической безопасности населения, которая невозможна без сохранения основных механизмов, обеспечивающих устойчивость экосистем.

Все ограничения в этом плане направлены на: поддержание концентрации веществ на уровне, не опасном для здоровья человека, соблюдение принципа биоразнообразия в трёх его вариантах (виды, биоценозы, геном), минимизацию воздействия на человека стихийных и техногенных бедствий, обеспечение ресурсной безопасности общества. Дискретность подобных мер заключается в том, что при их нормировании не учитываются синергетические взаимодействия компонентов социоэкосистемы.

Управление социоэкосистемой с учётом синергетических процессов может включать следующие направления:

### **1. Компонентную.**

Объектом управления в этом случае являются все загрязняющие выбросы, накопление которых в экологической среде может порождать новые процессы в экосистемах – от формирования новых, часто опасных веществ, до изменения биоты. Ярким примером синергетического эффекта является фотохимический смог, в облаке которого происходят самопроизвольные реакции и образуются вещества, которых нет как в естественном состоянии экосистем, так и в выбросах предприятий. Выпадение кислых дождей – это часто результат выбросов в атмосферу окислов, прежде всего – серы или азота, или выделение большого количества углекислого газа, например, при пожарах, что сопровождается повышенным образованием угольной кислоты. Загрязнение океана нефтью влечёт за собой нарушение газообмена между океаном и атмосферой, что формирует синергетические процессы изменения пропорций веществ как в океане, так в атмосфере. К компонентной синергии можно отнести и изменение видового состава экосистем при интродукции видов, которая повлекла за собой сильную цепную реакцию замены видов. Провоцируют подобные синергетические процессы сельское и лесное хозяйства как факторы прямого истребления видов и радикального изменения среды, а также охота и сбор дикоросов как фактор прямого истребления видов и воздействия на их кормовую базу.

### **2. Ландшафтную.**

Ландшафт – это совокупность экосистем, объединённых единством системообразующих процессов: биогеографических, геоморфологических,

геологических, геохимических и, если речь идёт о социоэкосистемах, хозяйственных объектах и процессах. Чаще всего ландшафт охватывает территорию крупного речного бассейна, поскольку объединяющим системообразующим фактором в этом случае является геоморфологические процессы.

На этом уровне синергетические и эмерджентные процессы проявляются наиболее ярко. Причём столь же ярко они проявляются не только в природной, но и в социальной частях социоэкосистемы. Проиллюстрировать синергетические процессы ландшафтного уровня можно на двух примерах – гидроэлектростанциях и природных пожарах.

Пожары в природе, происходящие по причине пиротехнического стереотипа природопользования (применение палов в природопользовании, сельском хозяйстве и профилактических отжигках) с ежегодной регулярностью на больших территориях способствуют обезлесению, уменьшению запасов мертвой органики в напочвенном слое и в почве, снижению толщины мохового покрова и торфа. В конечном итоге всё это лишает ландшафт главного водоудерживающего механизма, влияющего на влажностный режим экосистем. Иными словами, регулярные пожары на больших территориях увеличивают вероятность и катастрофичность как наводнения, так и засухи. В условиях изменения климата это означает усиление контрастности погоды, что обычно свойственно переходному периоду.

Ландшафтная роль водохранилищ состоит в изменении гидрорежима притоков главной реки и, в конечном итоге, самой реки. Особенно сильно это влияние проявляется в контрастных условиях засухи или наводнения. Цель ГЭС – выработка электроэнергии. Для достижения этой цели необходимо обеспечение максимального наполнения водохранилища. В засуху это снижает полноводность рек. В условиях длительных дождей такая стратегия максимального наполнения водохранилища сначала снижает риск наводнения, затем, когда появляется необходимость аварийных пусков, усиливает катастрофичность наводнения, делая его стремительным, трудно предсказуемым и разрушительным.

Перечисленные выше последствия регулярных пожаров становятся синергетическим фактором данных ГЭС в рамках ландшафта. В естественном, не нарушенном состоянии экосистемы имеют хорошо действующие механизмы удержания влаги. К ним относятся: лесная подстилка, почва, деревья, мох, особенно в виде моховых подушек на заболоченных территориях, торф, осоковые кочки и луговое разнообразие [2].

При пирогенном устранении всех этих элементов поддержания устойчивости экосистем вода не удерживается в наземных экосистемах, а очень быстро скатывается в реки и водохранилища.

Это способствует увеличению скорости наполнения водохранилища, быстрому наступлению аварийной ситуации и необходимости аварийных пусков в самый пик наводнения.

Таким образом, синергетическое взаимодействие пожаров и ГЭС увеличивают экологические риски и снижают степень экологической

безопасности в масштабах целого ландшафта или, возможно, нескольких ландшафтов.

### **3. Территориальную.**

Размещение объектов, входящих в социальную часть социоэкосистемы и включённых в синергетические процессы, производится в основном исходя из принципов привязки к ресурсам, транспортной системе, рынкам сбыта и государственной необходимости. В какой-то степени рынок и решения государственных органов власти выступают в роли регулятора размещения объектов, которые могут вызывать синергетический эффект. Синергетический эффект размещения хозяйственных объектов известен в географии как тяготение к крупным промышленным центрам и большим городам. Но здесь же создаются и центры повышенных экологических рисков, возрастающих по мере разрушения экологической составляющей социоэкосистемы.

Территориальная синергия проявляется и в степени ответственности субъектов эксплуатации хозяйственных объектов, а также в размерах территории ответственности. При наличии синергетического эффекта такая территория увеличивается за счёт волн усиления последствий.

Территориальная синергия порождает еще один эффект – удорожание себестоимости производства за счёт увеличения затрат на обеспечение экологической безопасности расширяющейся территории ответственности и на усиление требований по обеспечению экологической безопасности, исходя из требований учёта компонентной синергии.

Таким образом, синергетические процессы нуждаются в особом внимании при решении проблем стратегического развития территорий. Опасность неуправляемых синергетических процессов в социоэкосистеме заключается в появлении иных эмерджентных свойств, не адекватных требованиям общества и влекущих за собой опасные ситуации и дополнительные нагрузки на экономику.

#### Список литературы

1. Реймерс, Н.Ф. Экология (теория, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. М.: Россия молодая, 1994. 367 с.
2. Сухомлинова, В.В. Наводнения и регулярные пожары как фактор трансформации биоценозов / В.В. Сухомлинова, Е.В. Волошина // Природные ресурсы и экологические проблемы Дальнего Востока: межрегиональный сборник материалов. Изд-во ДВГГУ, 2007. С. 53-55.

## ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ ОКСИДОВ ПРИ ОЧИСТКЕ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В КАТАЛИТИЧЕСКИХ НЕЙТРАЛИЗАТОРАХ

А.Л. Новоселов, Г.В. Медведев, Н.Н. Горлова, Д.С. Печенникова  
*«Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

В работе рассмотрена возможность применения сложных оксидов в системах очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ. Добавление сложных оксидов положительным образом сказывается на степени очистки вредных выбросов и улучшении физико-химических и механических свойств получаемого материала. В работе изучено влияния содержания сложных оксидов на пористость, проницаемость, механическую прочность, ударную вязкость и другие свойства получаемого материала.

**Ключевые слова:** *сложные оксиды, каталитические материалы, очистка, очистка выхлопных газов, катализатор.*

## THE USE OF COMPLEX OXIDES DURING THE CLEANING OF EXHAUST GASES OF DIESEL ENGINES IN THE CATALYTIC CONVERTERS

A.L. Novoselov, G.V. Medvedev, N.N. Gorlova, D.S. Pechennikova  
*Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper considers the possibility of using complex oxides in the system of cleaning of exhaust gases of diesel engines from harmful substances. The addition of complex oxides has a positive impact on the degree of purification of the exhaust emissions and improves the physicochemical and mechanical properties of the resulting material. We have examined the influence of the content of complex oxides on porosity, permeability, mechanical strength, toughness and other properties of the resulting material.

**Key words:** *complex oxides, catalytic materials, purification, cleaning of exhaust gases, catalyst.*

В работах Р.А. Юсупова, А.И. Кирдяшкина, Ю.М. Максимова, А.Я. Никитина [1] приведены результаты изучения возможности получения пористых керамических материалов из недорогого природного сырья: концентратов ильменита и кварца. Показано, что с учетом характера горения при высокотемпературном синтезе компоненты шихты можно разделять на активные и пассивные. К активным отнесены алюминий, ильменит, кремний, а к пассивным – оксид алюминия, хром, медь и другие.

Эти работы были продолжены С.Н. Павловым, использовавшим в составе шихты формовочные глины и кремний, О.А. Лебедевой, разработавшей ряд состав шихты с использованием руд минералов, Н.П. Тубаловым, А.А. Новоселовым (Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова), расширившими круг используемых минералов, Т.В. Новоселовой, М.Г. Приходько (Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева), Ж. Исаевой (Восточно-Казахстанский государственный университет им. С. Аманжолова), изучившими физические и физико-механические свойства новых материалов.

Редкоземельные металлы в области катализатора применяются давно в связи с их высокой каталитической активностью. Наиболее универсальными катализаторами являются оксиды церия. Есть опыт использования церия в качестве гидроуглеродного катализатора для самоочистки печей. Ценность этих данных заключается в том, что церий вводится в состав керамической облицовки печей. Соединения переходных элементов с незаполненной d-оболочкой каталитически активны.

Церий относится к наиболее распространенным лантаноидам, содержится в полиметаллических рудах, в том числе, в монаците ( $\text{Ce, La, Th, YPO}_4$ ), бастнезите ( $\text{CeFCO}_3$ ).

В случае использования технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) нет необходимости переработки руд, так как появляется возможность использования их в измельченном состоянии в составе шихты.

Интерметаллические соединения, которые являются продуктом СВС-синтеза, интересны тем, что дают возможность получать пористые проницаемые структуры, обладающие каталитическими свойствами. Это класс материалов, обладающих заданными уникальными свойствами, в зависимости от состава и технологических режимов получения, включающими высокие температуры плавления, повышенную механическую прочность, жаропрочность и жаростойкость.

При использовании технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза целью являлось получение пористой скелетной структуры с каталитическими свойствами и заданными физическими и химическими свойствами. Например, технологическая схема производства материалов с повышенной коррозионной стойкостью, для фильтров методом СВС представлена на рисунке 1.

Изучение ресурсной базы для производства изделий по технологиям высокотемпературного синтеза, например, Р.А. Юсуповым, А.И. Кирдяшкиным, Ю.М. Максимовым, Л.Я. Никитиным [1], С.Н. Павловым [2, 3], О.А. Лебедевой [4] показало, что составы шихты могут формироваться с использованием некоторых руд и минеральных материалов.

К. Гшнейдер [5] установил, что для РЗМ цериевой подгруппы в системах с медью существует по 4 химических соединения, а в системах РЗМ иттриевой подгруппы – по 5 химических соединений. Это говорит о том, что на границах зерен фосфата ( $\text{Ce, La} [\text{PO}_4]$ ), фторокарбаната  $\text{Ce}[\text{CO}_3]$  (ФОН), минералов руд бастнезита, лапорита с медью можно ожидать четыре следующих соединения:  $\text{CeCu}$ ;  $\text{CeCu}_2$ ;  $\text{CeCu}_4$ ;  $\text{CeCu}_6$ . На границах зерен фосфата иттрия  $\text{YPO}_4$  и меди можно ожидать четыре следующих соединения:  $\text{YCu}$ ;  $\text{YCu}_2$ ;  $\text{YCu}_4$  и  $\text{YCu}_6$ . Температура плавления Ce составляет 1088 К. Таким образом, в структуре материала, представляющего собой продукт высокотемпературного синтеза, могут иметь место соединения, представляющие собой катализатор в процессе окисления оксида углерода в отработавших газах.

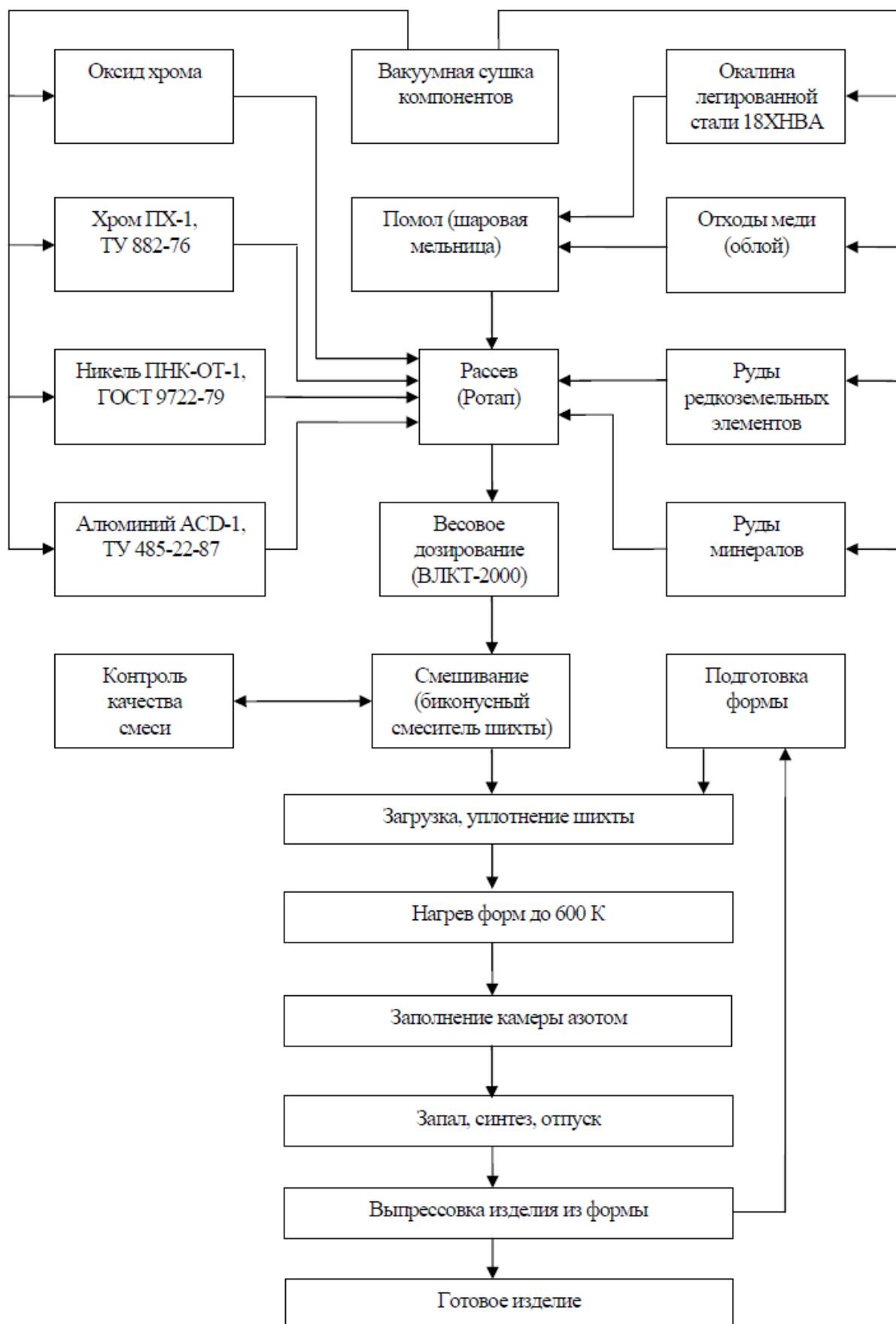


Рис. 1. Технологическая схема производства коррозионностойких материалов для фильтров методом СВС

Поскольку в базовой шихте для получения СВС-материалов присутствует достаточное количество алюминия, на границах зерен можно ожидать гамму соединений с церием, являющихся катализаторами.

В рассматриваемой системе железо вступает в СВС-процессах, как скелетообразующего материалов, содержится в шихте до 47,5% по массе. Поэтому непосредственный интерес возникает к соединениям, образуемых железом и РЗМ, в частности церием. Вообще соединение, наиболее богатое церием, –  $\text{Fe}_2\text{Ce}$ . Второе соединение –  $\text{Fe}_5\text{Ce}$ . РЗМ в железе растворяется не более 0,5% по массе, практически не влияет на температуру полиморфного превращения  $\gamma \leftrightarrow \delta$  железа. Соединения  $\text{Fe}_2\text{Ce}$  и  $\text{Fe}_5\text{Ce}$  на границах зерен металлов могут участвовать в процессах очистки как катализаторы.

Поскольку Ni сам является катализатором, появление его соединений с церием служит увеличению активных центров катализаторов в материале. Этим объясняется увеличение каталитических свойств материала при появлении соединений никеля с церием.

#### Список литературы

1. Юсупов, Р.А. СВ-синтез пористых керамических материалов с использованием природного сырья / Р.А. Юсупов, А.И. Кирдяшкин, Ю.М. Максимова и др // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: Сб. научн. трудов / Под ред. доктора ф.-м. наук, проф. В.В. Евстигнеева, к. ф.-м. наук В.М. Белова. Новосибирск: Наука, 2001. С. 61-66.

2. Павлов, С.Н. Фильтрующие материалы для твердых частиц / С.Н. Павлов, А.А. Белокрылова, Ю.В. Большанина, Н.В. Батулин // Эколог. безоп. транспорта: Сб. статей; под ред. д.т.н., проф. А.А. Мельберт. Барнаул: Алт. краев. правл. Союза НИО, 2006. С. 18-26.

3. Павлов, С.Н. Исследование СВС-технологий для получения пористости проницаемых блоков каталитических нейтрализаторов / С.Н. Павлов, А.А. Жуйкова, Н.В. Батулин, А.А. Унгефук // Эколог. безоп. транспорта: Сб. статей; под ред. д.т.н., проф. А.А. Мельберт. – Барнаул: Алт. краев. правл. Союза НИО, 2006. С.27-32.

4. Лебедева, О.А. Разработка промышленных СВС-фильтров на основе отходов машиностроения для очистки жидких и газовых сред / О.А. Лебедева, Н.П. Тубалов, В.В. Евстигнеев и др. // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: Сб. научн. трудов / Под ред. доктора ф.-м. наук, проф. В.В. Евстигнеева, к. ф.-м. наук В.М. Белова. Новосибирск: Наука, 2001. С. 44-47.

5. Гшнейднер, К.А. Сплавы редкоземельных металлов / К.А. Гшнейднер. М.: Мир, 1965. 427 с.

## К ВОПРОСУ О РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ КРИТЕРИЯХ ПРОЦЕССА РАСТВОРЕНИЯ В ГЕТЕРОГЕННЫХ СРЕДАХ

Н.А. Чернецкая

*Рубцовский индустриальный институт*

*(филиал) федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования*

*«Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

Рассматриваются вопросы выбора ресурсосберегающих критериев процесса растворения в гетерогенных средах, обеспечивающие минимальные затраты энергии и времени при сохранении высокого качества питательной смеси, соответствующего технологическим требованиям. Исследуется механический процесс растворения гетерогенной среды в горизонтальном аппарате с радиальной лопастной мешалкой. Определены сочетание и значения регулируемых факторов, при которых наблюдается ресурсосбережение и обеспечение минимальных затрат энергии и времени на процесс.

**Ключевые слова:** *ресурсосберегающие критерии, гетерогенная среда, аппарат, перемешивание, растворение, горизонтальный аппарат, мешалка, параметр, фактор.*

## TO THE QUESTION OF RESOURCE-SAVING CRITERIA OF THE PROCESS OF DISSOLUTION IN HETEROGENEOUS ENVIRONMENTS

N.A. Chernetskaya

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** In the article the questions concerning the selection of resource-saving criteria of the process of dissolution in heterogeneous environments, providing the minimum energy and time cost and maintaining high quality mix, appropriate to the technological requirements are considered. The mechanical process of heterogeneous environment dissolution in a horizontal machine with a radial vane agitator is investigated. The combination and the values of controllable factors contributing to the resource saving and providing the minimum energy and time cost is determined.

**Key words:** *resource-saving criteria, heterogeneous environment, apparatus, mixing, dissolution, horizontal machine, mixer, parameter, factor.*

Гетерогенные среды (жидкость – твёрдое тело) используются во многих технологических процессах. Одним из основных процессов является физико-химическое взаимодействие твёрдого тела и жидкости, сопровождающееся переходом твердой фазы в раствор. Интенсифицировать процесс получения раствора можно путём увеличения скорости растворения за счёт увеличения температуры. При этом температура нагрева среды (раствора) не должна превышать определенного предела, обусловленного пределом кипения жидкости и стоимостью тепловой энергии. В практике растворения используют методы, основанные на обтекании твердых частиц жидкостью, а также на систематическом обновлении поверхности растворения [1, 2].

Интенсивное перемешивание механическими мешалками и др. устройствами создает большую турбулентность потока жидкости,

необходимую для того, чтобы все частицы гетерогенной среды находились во взвешенном состоянии и не выходили бы из зоны активного перемешивания [3]. Кроме того, производится механическое воздействие на твердую фазу. Это активизирует процесс растворения твердых тел, которые без внешнего воздействия растворяются очень медленно.

Механизированная переработка гетерогенных сред связана с затратами материальных и энергетических ресурсов. Необходимо найти ресурсосберегающие критерии процесса, обеспечивающие минимальные затраты энергии и времени при сохранении высокого качества питательной смеси, соответствующего технологическим требованиям [4]. С этой целью рассмотрен процесс растворения гетерогенной среды в горизонтальном аппарате с радиальной лопастной мешалкой.

Горизонтальный аппарат отличается простотой конструкции и малой стоимостью. Лопастная мешалка обеспечивает высокую эффективность перемешивания при работе в системе «жидкость – твердое тело» при малых затратах мощности. Горизонтальное расположение оси рабочего органа в аппарате обеспечивает активное перемешивание без мертвых зон [5].

Процесс перемешивания в аппарате осуществляется следующим образом. Лопастная мешалка, вращаясь, создает турбулентный поток жидкости, лопастями поднимает твердые частицы со дна емкости и вводит их в активный процесс. Частота вращения мешалки должна обеспечивать распределение частиц по всему объему перемешиваемой смеси, т.е. сход частиц с лопасти. Частицы, сойдя с лопасти, увлекаются турбулентным потоком жидкости и продолжают движение в ёмкости. Это способствует их активному растворению, интенсивному обтеканию твердых частиц жидкостью, а также систематическому обновлению поверхности растворения.

Основное влияние на перемешивание оказывают факторы трех групп: физико-механические свойства перемешиваемых материалов ( $\rho, \rho_T$  – плотность соответственно жидкости и твердого тела;  $\eta$  – динамическая вязкость среды;  $m, m_T$  – масса соответственно жидкости и твердых частиц;  $d_m$  – диаметр частицы;  $\varphi$  – объемная концентрация среды;  $h$  – высота слоя жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения;  $p$  – давление жидкости), конструктивные и кинематические параметры рабочих органов аппарата с радиальной лопастной мешалкой ( $\alpha$  – угол постановки лопасти к плоскости вращения;  $d$  – диаметр мешалки;  $D$  – диаметр емкости;  $L$  – длина емкости;  $f$  – живое сечение лопасти;  $s$  – шаг установки лопастей;  $\zeta$  – число лопастей;  $j$  – коэффициент заполнения емкости;  $V$  – объем смесителя,  $n$  – частота вращения мешалки).

Параметры процесса перемешивания выразим безразмерными критериями:

затраты мощности – критерием Эйлера  $Eu = \frac{N}{d^5 n^3 \rho}$ , качество смеси –

критерием Дьяконова  $Di = \frac{k}{n}$  ( $k$  – удельная производительность, равная

количеству вещества, превращающегося в единице реакционного объема за единицу времени [6]), затраты времени – критерием  $T = tn$ .

Ресурсосберегающие критерии процесса перемешивания и растворения гетерогенных сред будут складываться критерий оптимизации  $Y_1$  (критерий Эйлера  $Eu$ ) и ограничивающие выходные параметры  $Y_2$  (критерий Дьяконова  $Di$ ) и  $Y_3$  (критерий времени  $T$ ). В качестве факторов, влияющих на процесс перемешивания, выбраны:  $X_1$  (критерий Рейнольдса  $Re$ ),  $X_2$  (угол наклона лопасти к плоскости вращения  $\alpha$ ),  $X_3$  (живое сечение лопасти  $f$ ) и  $X_4$  (число лопастей  $z$ ). В опытах факторы, характеризующие физико-механические свойства раствора ( $\rho = 1110 \text{ кг/м}^3$  и  $\eta = 0,202 \cdot 10^{-2} \text{ Па} \cdot \text{с}$ ) и диаметр мешалки ( $d = 340 \text{ мм}$ ), оставались постоянными.

В качестве плана эксперимента выбран план полного факторного эксперимента  $2^4$ . Фактор  $X_1 = Re$  изменяли в пределах от  $6,35 \cdot 10^5$  до  $10,6 \cdot 10^5$ , интервал варьирования  $2,12 \cdot 10^5$ ;  $X_2 = \alpha$  изменяли в пределах от  $10^\circ$  до  $90^\circ$  с интервалом  $40^\circ$ ;  $X_3 = f$  изменяли в пределах от 0,24 до 0, интервал 0,12;  $X_4 = z$  изменяли в пределах от 8 до 24, интервал варьирования 8. Эксперименты проводили и обрабатывали полученные результаты с помощью методик теории планирования эксперимента.

Обработка результатов эксперимента позволила получить уравнения регрессии, с учетом только значимых коэффициентов:

$$Y_1 = 97,165 - 61,193X_1; \quad (1)$$

$$Y_2 = 0,190 - 0,033X_1 + 0,012X_4; \quad (2)$$

$$Y_3 = 1819,792 + 357,292X_1 - 24,792X_3 - 40,208X_4. \quad (3)$$

Уравнения (1), (2), (3) в расшифрованном виде, т.е. со значениями коэффициентов, соответствующих действительным значениям факторов процесса принимают вид:

$$Eu = 341,217 - 3 \cdot 10^{-4} Re; \quad (4)$$

$$Di = 0,3 - 4 \cdot 10^{-7} Re + 1,5 \cdot 10^{-3} z; \quad (5)$$

$$T = 615,731 + 1,7 \cdot 10^{-3} Re - 165,278f - 5,026z. \quad (6)$$

Полученные уравнения показывают, что критерий Рейнольдса, характеризующий частоту вращения мешалки, оказывает влияние на все ресурсосберегающие критерии процесса, в то время как число лопастей влияет только на удельную производительность и время перемешивания, не влияет на мощность, затрачиваемую на перемешивание, а живое сечение лопасти сказывается только на удельной производительности аппарата с механическим перемешивающим устройством.

По результатам построены графики зависимости ресурсосберегающих критериев от критерия Рейнольдса. На рис. 1 приведена зависимость мощности от частоты вращения мешалки, угла постановки лопасти к плоскости вращения и числа лопастей, выраженная в безразмерной форме, т.е. зависимость  $Eu$  от

Re. Результаты получены при различных сочетаниях факторов. Значение мощности, затрачиваемой на перемешивание, зависит от частоты вращения мешалки и числа лопастей. Изменение угла постановки лопасти к плоскости вращения мешалки и величины живого сечения лопасти незначительно сказываются на величине мощности.

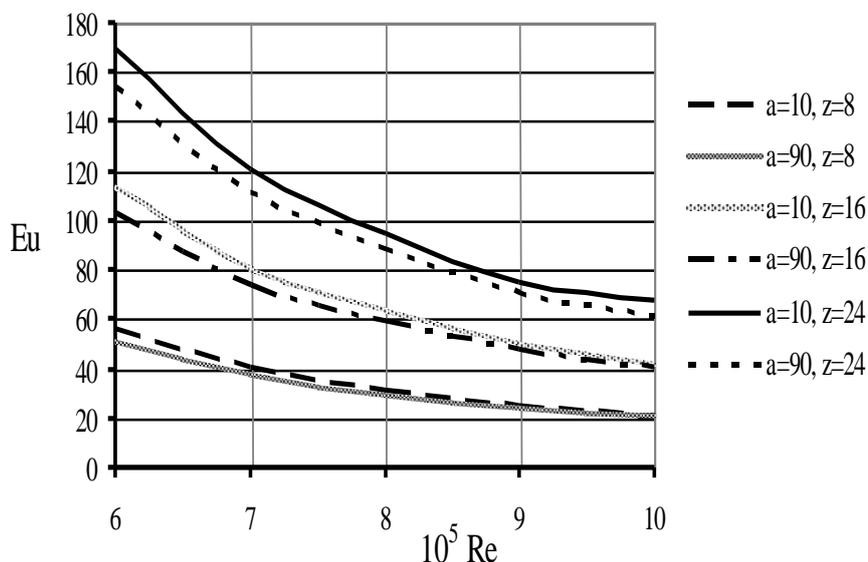


Рис. 1. Зависимость критерия Эйлера ( $Eu$ ) от критерия Рейнольдса ( $Re$ )

Зависимости удельной производительности аппарата от частоты вращения мешалки, выраженные в критериальной форме  $Di$  от  $Re$ , при изменении числа лопастей от 8 до 24 (рис. 2) показывают, что мешалка с 24 лопастями работает более производительнее при больших значениях  $Re$ . Значения получены экспериментально.

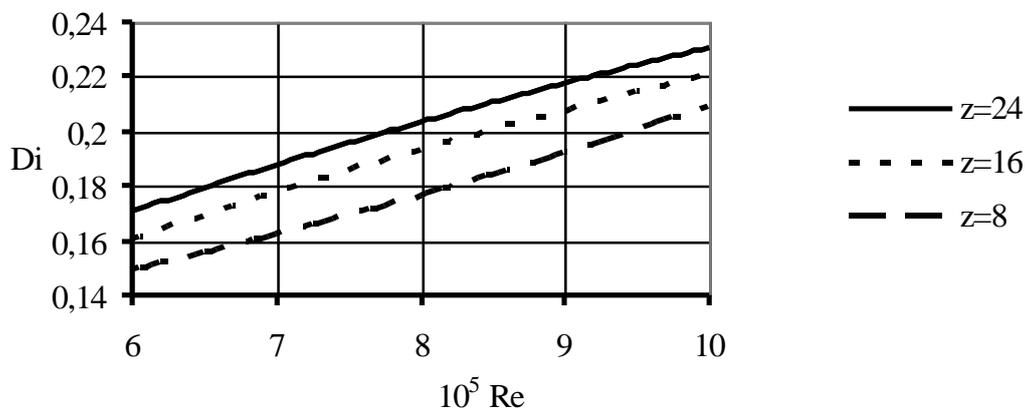


Рис. 2. Зависимость критерия качества смеси ( $Di$ ) от критерия Рейнольдса ( $Re$ )

Время перемешивания, выраженное безразмерным критерием  $T$ , сокращается с увеличением частоты вращения мешалки, выраженной безразмерным критерием  $Re$ , для мешалок с различным количеством и конструкциями лопастей (рис. 3).

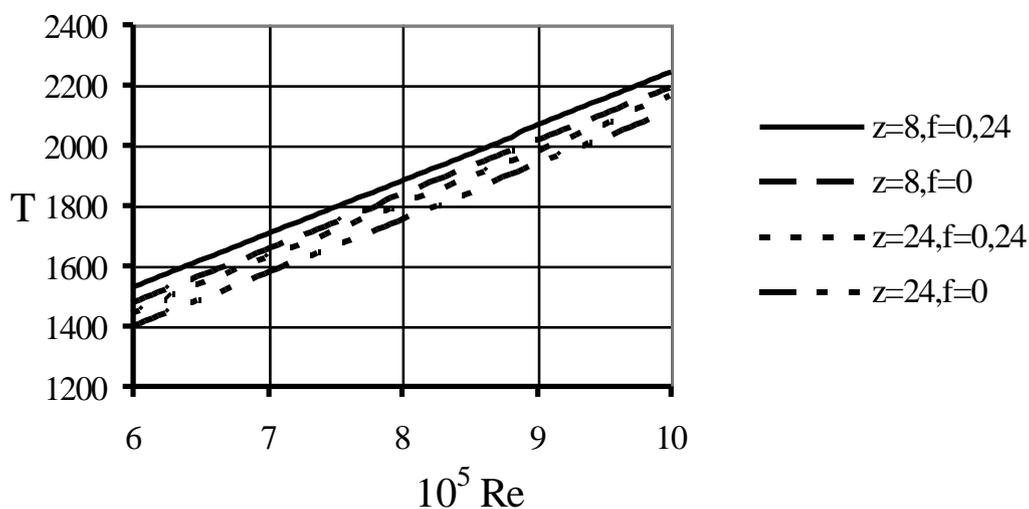


Рис. 3. Зависимость критерия времени ( $T$ ) от критерия Рейнольдса ( $Re$ )

Проблема заключается в поиске такого сочетания регулируемых факторов, при которых наблюдалась бы ресурсосбережение и обеспечение минимальных затрат энергии и времени при сохранении высокого качества смеси, соответствующего технологическим требованиям.

Для определения ресурсосберегающего режима аппарата применен метод крутого восхождения по поверхности отклика в направлении градиента (метод Бокса-Уилсона). Получили следующие результаты: частота вращения лопастной мешалки –  $1,27 \text{ с}^{-1}$ ; угол наклона лопасти к плоскости вращения –  $90^\circ$ ; размеры лопастей и способ размещения их на валу, обеспечивающие перекрытие всего рабочего объема смесительной емкости. Длина лопасти составляет не менее 90% радиуса основания емкости. Ширина лопасти равна диаметру вала мешалки. Лопасти равномерно устанавливаются по винтовым линиям двухзаходного винта через  $90$  градусов, при этом суммарная ширина лопастей должна приближаться к длине емкости аппарата. Полученная модель процесса перемешивания (4), (5), (6) работает в диапазоне  $6,35 \cdot 10^5 \dots 10,6 \cdot 10^5 Re$ .

#### Список литературы

1. Аксельруд, Г.А. Теоретические основы химической технологии / Г.А. Аксельруд, Я.М.Гумницкий, А.И. Дубинин. 1989. Т. 23. №1. С. 28-33.
2. Каражанов, Н.А. Основы кинетики растворения солей / Н.А. Каражанов. А.-А.: Наука, 1989. – 192 с.
3. Патент 99350 на полезную модель. Россия, МПК В01F7/04 (2006.01) Горизонтальный смеситель / Войнаш А.С., Чернецкая Н.А., Шапошников Ю.А. – № 2010124463/05; заявл. 11.06.2010; опубл. 20.11.2010 Рус. Бюл. №2, С. 994.

4. Парники и теплицы: Устройство, сооружение, выращивание рассады и овощей. Ростов н/Д: Проф-Пресс, 2000. – 192 с.

5. Чернецкая, Н.А. Результаты совершенствования конструкции аппарата для приготовления жидких удобрений. / Н.А. Чернецкая, Ю.А. Шапошников // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – Новосибирск, 2010. №9 (213) – С. 87- 90.

## **АНАЛИТИЧЕСКИЙ ВИД РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СРЕДНЕГО ЧИСЛА ВЫБРОСОВ ОГИБАЮЩЕЙ ЕСТЕСТВЕННОГО РАДИОШУМА**

С.Ф. Четвериков

*Липецкий государственный технический университет*

Рассмотрен новый способ аналитического представления амплитудного распределения среднего числа выбросов огибающей атмосферного радишума через его функцию распределения вероятностей.

**Ключевые слова:** *грозовые разряды, атмосферные радишумы, статистические свойства, функция распределения.*

## **AN ANALYTIC TYPE OF AN AVERAGE NUMBER OF EMISSIONS OF AN ENVELOPE CURVE OF ATMOSPHERIC RADIONOISE**

S.F. Chetverikov

*Lipetsk State Technical University*

**Abstract:** A new method of an analytic representation of an amplitude distribution of average number of emissions of an envelope curve of atmospheric radionoise by means of the probability-distribution function is described.

**Key words:** *lightning discharge, atmospheric radionoise, statistic properties, distribution function.*

Продолжительное время считалось, что обострения различных заболеваний связаны с погодой: снижением атмосферного давления, влажности воздуха, повышением температуры, усилением ветра и т.д. Однако доказать прямую связь каждого из указанных факторов с ухудшением состояния больных оказалось трудно. Тогда распространилось мнение, что все указанные погодные факторы действуют на человека в комплексе. Поэтому и последствия этого действия будут неодинаковыми в разное время, в разном месте и на разных людей.

Но дальнейшие исследования показали, что изменению погоды предшествуют солнечная волновая и корпускулярная активность. Именно потому ухудшение состояния больных происходит не в момент изменения погоды, а значительно раньше. Весь процесс начинается на Солнце и связан с выбросом потоков заряженных частиц, которые при подходе к Земле оказывают действие на её магнитное поле, ионосферу и атмосферу [1].

При изучения влияния электромагнитного поля (ЭМП) на регуляцию физиопатологических процессов наиболее убедительно доказано действие ЭМП от высокочастотного до сверхвысокочастотного диапазонов.

Значительное число таких данных получено при клинических обследованиях людей, подвергавшихся хроническому воздействию ЭМП. Хроническое воздействие ЭМП разных частот приводит к изменениям функций сердечнососудистой системы – понижению кровяного давления, замедлению ритма сердца, замедлению внутрижелудочковой проводимости. Однако наиболее выражены эти изменения при воздействии СВЧ-диапазона, когда электромагнитная энергия поглощается в поверхностных тканях тела человека. Можно предположить поэтому, что в основе этих изменений лежит непосредственное воздействие ЭМП на поверхностные рецепторы.

Итак, в действии ЭМП на организм проявляются: кумуляция слабых воздействий, независимость характера эффекта от частоты ЭМП, зависимость величины эффекта от частоты связана главным образом с глубиной проникновения энергии ЭМП, различие в характере эффектов при непосредственном воздействии на периферические и на центральные структуры нервной системы. Особо следует подчеркнуть своеобразную зависимость характера и величины эффектов от интенсивности ЭМП, непосредственно воздействующих на центральную нервную систему: во-первых, при малых и при больших интенсивностях эффекты могут быть обратными, во-вторых, при малой интенсивности эффект может быть более выражен, чем при большой, в-третьих, при интенсивности, превышающей некоторые малые значения, эффект вообще не возникает. С другой стороны, эффекты, возникающие за счет непосредственного воздействия ЭМП на периферические рецепторы, практически не зависят от интенсивности ЭМП в довольно широких пределах.

То есть действующие на организм ЭМП эффективны тем, что переносят в него информацию из окружающей среды. Их роль является информационной, а не энергетической [2].

В начале 90-х годов изучались именно эффекты воздействия солнечной активности (СА) и геомагнитных бурь (ГМБ) на человека. Космические и геофизические наблюдения показали, что геомагнитная активность определяется СА и характеризуется ритмами, периодичность которых обусловлена собственным вращением Солнца равному примерно 28 дней и некоторыми ещё пока не до конца изученными процессами на светиле [3]. Интенсивность природных ЭМП, характеризующих геомагнитную активность, чрезвычайно мала – меньше или сопоставима с таковой техногенных ЭМП. Именно поэтому концепция воздействия естественных ЭМП на живые объекты не встречала серьёзной поддержки, несмотря на значительное число положительных результатов клинических исследований, и проблема оставалась открытой вплоть до недавнего времени.

Сотрудники ИЗМИРАН предложили в начале 90-х годов новую идею для объяснения эффектов воздействия слабых ЭМП на живые системы. Она опирается на совокупность физических механизмов (стохастических резонансов), хронобиологического подхода, а также на механизмы адаптации. Резонансный эффект, наблюдающийся в биосистемах, говорит о том, что слабые периодические сигналы, незаметные на фоне ЭМ шума, способны затягивать биообъект в колебания с частотой этого сигнала.

Хронобиологическая концепция рассматривает вопросы эндогенной ритмики живых организмов под влиянием слабых внешних периодических ЭМ колебаний на уровне шума [2].

В ряде теоретических моделей и экспериментах показано, что группа биологических «осцилляторов» могут биться в унисон или спонтанно синхронизироваться и внезапно остановить свой ритм под влиянием весьма слабых возмущений.

Вокруг нас есть и множество источников, отрицательно влияющих на здоровье: поля высоковольтных кабелей, линий электропередач, электротехники, электричек, мобильных телефонов и т.д. Хуже того, – психотропное оружие на основе тех же эффектов – вполне осуществимая реальность, поскольку воздействие на организм человека полей определенных частот может существенно подавлять или возбуждать деятельность нервной системы, а значит, влиять на психику. В Москве существует Центр электромагнитной безопасности, а также Российский национальный комитет по защите от неионизирующего излучения, специалисты которого занимаются разработкой норм допустимого воздействия излучения, поиском путей защиты от вредного излучения.

В верхней части земной коры повсеместно и непрерывно существует переменное естественное электромагнитное поле частотой 3-30 000 Гц. Природа низкочастотного естественного электромагнитного поля Земли обусловлена в основном грозовой активностью. Установлено, что ежесекундно в земной шар ударяет около 100 молний [4]. Часть из них распределена в центрах мировой атмосферно-электрической активности, а часть связана с местными грозами. Каждый грозовой разряд, являясь мощным электромагнитным импульсом, который называют атмосфериком, создает в земной коре электромагнитное поле широкого спектра частот, которое простирается от единиц герц до десятков мегагерц, при этом максимум излучения приходится на ОНЧ (очень низкочастотный) диапазон и лежит в окрестности 10 кГц (рис. 1).

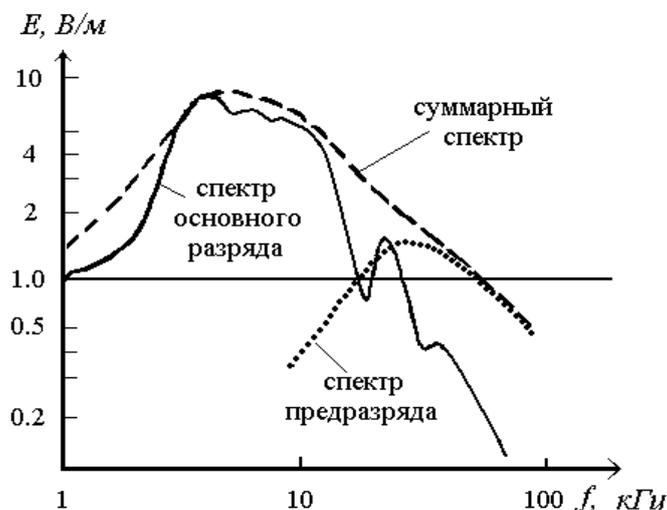


Рис. 1. Характеристика спектра частот электромагнитного поля молниевых разрядов

Так как подобные разряды идут на Земле непрерывно, то в результате все время существует электромагнитное поле импульсно-шумового характера. В связи с тем, что поглощение поля возрастает с частотой, на больших расстояниях от мест разрядов молний преобладают низкочастотные составляющие ( $f = 3\text{--}30000$  Гц), образующие практически постоянный шумовой фон. На него накладываются импульсы, вызываемые как мощными удаленными, так и всеми близкими грозами.

Учитывая, что диапазон частот от 3 до 30 кГц представляет особый интерес для систем, использующих электромагнитную энергию, и что до настоящего времени он изучен недостаточно, возникла острая необходимость в его детальном, тщательном исследовании. Это касается в первую очередь естественных случайных радиопомех, возникающих при грозовых разрядах.

Молниевые удары и создаваемое ими электромагнитное поле атмосферных радиопомех могут стать причиной возникновения самых различных нарушений, как биообъектов, так и систем, использующих электромагнитную энергию. Удары молний могут сопровождаться разрушениями, вызванными их термическими и электродинамическими воздействиями, а также некоторыми опасными последствиями, возникающими в результате их порожденного электромагнитного и светового излучений. Удары молний с большой амплитудой, попав в линию электропередачи, распространяется по проводам и может вызвать электрические разряды с проводов и электроаппаратуры на землю и на различные предметы, что может привести к разрушениям, пожарам и поражению людей электрическим током. Прямые удары молнии в высоковольтные линии электропередачи вызывают электрические разряды с провода на землю или между проводами; эти разряды часто переходят под действием рабочего напряжения линии в электрическую дугу, приводящую к коротким замыканиям и отключению линии. В [5] выполнены численные расчёты индуцированных напряжений в кабельных линиях связи для различных условий и показано, что наведённые напряжения на концах кабеля зависят от параметров грозовых разрядов, типа кабеля и расстояния между кабельной линией и разрядами. Также, попадая с линии на оборудование станций и подстанций, порождаемое электромагнитное поле вызывает разрушение изоляции и аппаратуры.

Эффективность экранирования от молниевых ударов оценена в [6], там же сделан вывод, что молния, ударяющая в железобетонную структуру, может вызвать сбои в работе электронных схем, находящихся внутри здания, нарушить работу компьютерных систем по управлению производственными процессами. Следует отметить, что в цитированных публикациях, а также в других, посвященных влиянию молниевых разрядов на линии электропередачи и связи, одним из наиболее важных параметров для учета их негативного влияния являются число и мощность приходящих радиоимпульсов. Соответственно, для учета и прогнозирования такого рода нарушений, создания мер защиты от них необходимо знать, сколько радиоимпульсов и какой интенсивности воздействует на интересующий объект [5, 7, 8].

Атмосферные радиопомехи, возникающие в моменты молниевых ударов, носят случайный импульсный характер и требуют для своего исследования статистический подход. По материалам многочисленных исследований их статистических характеристик, проведенных в различных точках земного шара, опубликован ряд монографий, Международным консультативным комитетом по радиосвязи подготовлен и опубликован отчет МККР №322 [9, 10], объединяющий в единой форме имеющиеся на то время экспериментальные материалы по всему земному шару.

Грозовые разряды являются основным источником атмосферных радиопомех. Возникновение грозового разряда напрямую связано с разрядом молнии (рис. 2).

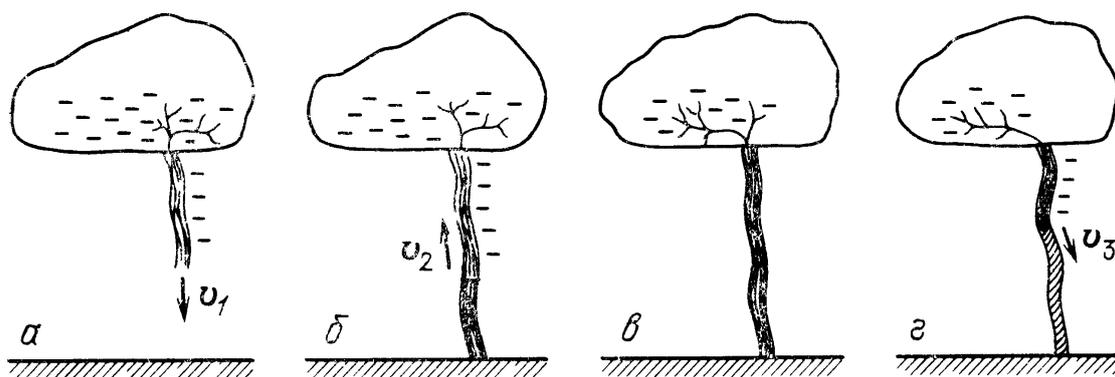


Рис. 2. Схема разряда молнии:

а – первый лидер идет к земле со скоростью  $v_1$ , б – волна возвратного удара идет вверх со скоростью  $v_2$ , в – произошел внутриоблачный пробой от канала возвратного удара на левую часть облака, заряд правой части стек по искровому каналу, г – второй лидер идет со скоростью  $v_3$  по частично распавшейся плазме искрового канала [4]

Световая вспышка молнии длится в среднем 200 мс. Она состоит из нескольких импульсов по 10 мс с интервалами по 40 мс. Каждый импульс начинается с прорастания от облака к земле лидерного канала. Он переносит отрицательный заряд, и при этом течет ток порядка 100 А. По мере приближения к земле канал ветвится. Когда основной лидер достигает земли или сталкивается со встречным лидером, обратно, к облаку, по его пути с огромной скоростью порядка 0,1-0,3 скорости света распространяется ярко светящийся канал – обратная волна. Это явление называется возвратным ударом или главной стадией молнии. Ток молнии достигает максимальной величины порядка 100 кА. Именно с этим, пиковым током связаны наиболее опасные воздействия молнии, о которых говорилось ранее. Далее через образовавшийся искровой канал в течение 40 мс небольшим током 200 А стекает на землю отрицательный заряд облака. Заряды из далеких частиц облака приходят к вершине канала в результате местных внутриоблачных пробоев, и, когда путь к дальним областям оказывается положительным, начинается следующий импульс молнии. К этому моменту проводимость в

искровом канале первого удара падает и по остаточному каналу распространяется от облака к земле новый лидер. Когда второй лидер доходит до земли, происходит второй возвратный удар, и так повторяется несколько раз, пока весь отрицательный заряд облака из удаленных районов не течет на землю [4].

При оценке воздействия на системы радиосвязи внешних импульсных радиопомех типа атмосферного радишума требуется одновременно иметь сведения о функции распределения  $P(E > E_0)$  вероятностей и распределении среднего числа  $N(E > E_0)$  выбросов огибающей напряженности поля этого шума.

Важность расчета по аналитическому виду функции  $P(E > E_0)$  автоматическим путем распределение  $N(E > E_0)$  является актуальной, если учесть, что материалы Отчета Международного Консультативного Комитета по радиосвязи №322 [10] сведений о распределении  $N(E > E_0)$  не содержит.

Для выявления аналитической связи  $N(E > E_0)$  с  $P(E > E_0)$  рассмотрим сначала алгоритм формирования распределения среднего числа выбросов  $N(E > E_0)$  выше некоторого порога срабатывания  $E_0$ .

Итак допустим [11], что к антенне приемной системы в единицу времени поступают грозовые радиоимпульсы (атмосферики) со средней длительностью  $\tau$ . Тогда среднее число атмосфериков, зарегистрированных в течение единичного промежутка времени, будет равно  $P(E > E_0)/\tau$ . Но каждый атмосферик с вероятностью  $P(E > E_0)$  может попасть в занятый интервал, поэтому число незарегистрированных атмосфериков будет равно  $N(E > E_0) \cdot P(E > E_0)$ . Сумма этих двух чисел на пороговом уровне  $E_0$  будет равна полному числу поступивших атмосфериков в единицу времени, т.е.

$$\frac{P(E > E_0)}{\tau} + N(E > E_0) \cdot P(E > E_0) = N(E > E_0), \quad (1)$$

Откуда

$$N(E > E_0) = \frac{1}{\tau} \cdot \frac{P(E > E_0)}{1 - P(E > E_0)}. \quad (2)$$

За счет узости полосы пропускания в распределении  $N(E > E_0)$  появляется максимум, лежащий в диапазоне «гладкой компоненты», где чувствительность приемной системы высока и происходит наложение одних импульсов на другие. В результате при малых пороговых уровнях на выходе фильтра приемника происходит «нормализация» распределения  $P(E > E_0)$  в диапазоне амплитуд  $E_0$ , где  $0,1 \leq P(E > E_0) < 1$ .

В Материалах Отчета МККР № 322 [10] функция  $P(E > E_0)$  представлена в графической форме, что не позволяет её напрямую использовать в автоматическом режиме при вычислениях  $N(E > E_0)$ .

В работе [12] предложен вариант представления графического семейства [10] функций  $P(E > E_0)$  в аналитическое с использованием обобщающей эмпирической модели (ОЭМ)[4]. Последняя имеет вид:

$$P(E > E_0) = \begin{cases} \left[ 1 + \left( \frac{E_0}{10^{b/q_1} \dot{A}_0'} \right)^{q_1} \right]^{-1}, & 0 \leq E_0 \leq E'_0 \\ \left[ 1 + \left( \frac{E_0}{10^{b/q_2} \dot{A}_0'} \right)^{q_2} \right]^{-1}, & E'_0 \leq E_0 \leq \infty, \end{cases} \quad (3)$$

где  $q_1, q_2, b, E'_0$  – некоторые параметры модели, причем  $q_2 > q_1$ .

Подставляя значения  $P(E > E_0)$  (3) в выражение (1) для  $N(E > E_0)$ , получим

$$N(E > E_0) = \frac{1}{\tau} \begin{cases} \left( \frac{E_0}{10^{b/q_1} E'_0} \right)^{-q_1}, & E_{\max} \leq E_0 \leq E'_0 \\ \left( \frac{E_0}{10^{b/q_2} E'_0} \right)^{-q_2}, & E'_0 \leq E_0 \leq \infty. \end{cases} \quad (4)$$

Средняя длительность выбросов на выходе фильтра находится из формулы

$$\tau = \frac{1}{N_{\max}}. \quad (5)$$

Максимальное число выбросов огибающей нормального шума в диапазоне гладкой компоненты можно найти из формулы [14]

$$N_{\max} = \delta f_3 \cdot e^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где  $\delta f_3$  – эквивалентная энергетическая полоса пропускания фильтра приемника, определяемая из выражения

$$\delta f_3 = \int_0^{\infty} \frac{\chi^2(f)}{\chi_{\max}^2(f)} \cdot df, \quad (7)$$

где  $\chi(f)$  – передаточная функция фильтра приёмника.

Окончательно, формула для определения среднего числа накладываются импульсов

$$N(E > E_0) = N_{\max} \begin{cases} \left( \frac{E_0}{10^{b/q_1} E'_0} \right)^{-q_1}, & E_{N_{\max}} \leq E_0 \leq E'_0 \\ \left( \frac{E_0}{10^{b/q_2} E'_0} \right)^{-q_2}, & E'_0 \leq E_0 \leq \infty. \end{cases} \quad (8)$$

Для сравнения экспериментальных кривых  $P(E > E_0)$  и  $N(E > E_0)$  в одном масштабе с графиками  $P(E > E_0)$ , представленных в [10], пороговые уровни  $E_{0i}/E_{\text{усл}}$ , были нормированы по экспериментальному среднеквадратическому уровню напряжения огибающей поля помех, найденному по формуле

$$E_{\text{ср.кв.э}} = \sqrt{\int_0^{\infty} E^2 W(E) dE} = \sqrt{2 \int_0^{\infty} E P(E > E_0) dE}, \quad (9)$$

где  $W(E)$  – плотность вероятности.

При аналитическом представлении  $P(E > E_0)$  с помощью ОЭМ (3) необходимо перейти в систему координат

$$y = \lg \frac{P(E > E_0)}{1 - P(E > E_0)}, \quad x = \lg \frac{E_0}{E_{\text{ср.кв.}}} \quad (10)$$

Распределение  $P_{\text{эксп.}}(E > E_0)$  (пунктирная линия), представленное в системе (10), позволило найти параметры ОЭМ (3):  $q_1=1,835$ ;  $q_2=3,489$ ;  $b=-3,23$ ;  $E_0'/E_{\text{ср.кв.}}=14,125$ ;  $Vd=20 \lg(E_{\text{ср.кв.}}/E_{\text{ср.}})=8,5$  дБ, по ним рассчитать значения  $P_{\text{теор.}}(E > E_0)$  (треугольники).

Таким образом, имея аналитическое выражение для  $P(E > E_0)$ , можно математическим путем вычислить и среднее число выбросов огибающей на ряде пороговых уровней амплитуд и сопоставить его с экспериментальным.

На рис. 3 в системе координат

$$y = \lg \frac{N(E > E_0)}{N_{\text{общ}}}, \quad x = \lg \frac{E_0}{E_{\text{ср.кв.}}} \quad (11)$$

для полосы  $\delta f_3 = 200$  Гц представлены теоретическое  $N_{\text{теор.}}(E > E_0)$  (точки) и экспериментальное  $N_{\text{эксп.}}(E > E_0)$  (сплошная линия). Как видно (рис. 3), расхождения между теоретическим числом  $N_{\text{теор.}}(E > E_0)$  и экспериментальным  $N_{\text{эксп.}}(E > E_0)$  по диапазону – незначительны.

Таким образом, разработан аналитический метод расчета среднего числа выбросов огибающей поля атмосферного радишума по его функции распределения вероятностей  $P(E > E_0)$ , позволяющий дополнить документ [10] распределением  $N(E > E_0)$ .

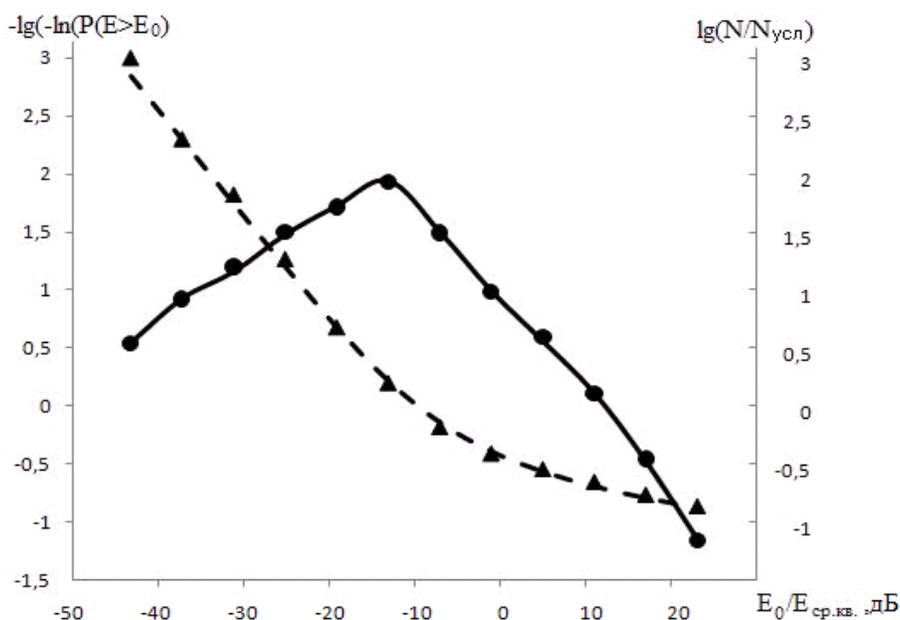


Рис. 3. Теоретическое (точки) и экспериментальное (сплошная линия) распределения числа выбросов огибающей атмосферного радишума и экспериментальное (пунктирная линия) и теоретическое (треугольники) распределения вероятностей

### Список литературы

1. Комаров, Ф.И. Медико-биологические эффекты солнечной активности / Ф.И. Комаров, Т.К. Бреус. Вестник РАМН, 1994. №11. С. 37-50.
2. Хабарова, О.В. Влияние космофизических факторов на биосферу / О.В. Хабарова. Медицинские технологии и радиоэлектроника, 2002. №2. С. 25-39.
3. Чижевский, А.Л. Земное эхо солнечных бурь / А.Л. Чижевский. М.: Мысль, 1976. 367 с.
4. Райзер, Ю.П. Физика газового разряда / Ю.П. Райзер. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. 536 с.
5. Koga, H. Lightning surge waves induced on overhead lines / H. Koga, T. Motomitsu, M. Taguchi // The transaction of the JECE of Japan. vol. E 62, №4, 1979, p. 216-223.
6. Chang, G.S. Impact of lightning beams on a very high tower. / Gen-Shih Chang // Six international Wroclaw symposium on electromagnetic compatibility EMC-82 part 2, p. 467-473.
7. Сибикин, Ю.Д. Справочник по эксплуатации электроустановок промышленных предприятий / Ю.Д. Сибикин, М.Ю. Сибикин. 6-е изд., испр. и доп. М.: Высшая школа, 2005. Защита от атмосферных перенапряжений. С. 138-139.
8. Шпиганович, А.Н. Зависимость частоты отказов воздушных линий от атмосферных перенапряжений / А.Н. Шпиганович, К.Д. Захаров // Вести высших учебных заведений Черноземья. 2006. №2. С. 26-27.
9. Spaulding, A.D. Atmospheric Radio Noise: Worldwide levels and other characteristics / A.D. Spaulding, J.S. Washborn // National Telecommunications and Information Administration Report 85-173 (NTIS Order No. FS 85-212942). Malcolm Baldrige, 1985. 177 p.
10. World distribution and characteristics of atmospheric radio noise: 10th Plenary Assembly, Int. Telecommun. Union. Int. Rad. Consult. Comm. Geneva. 1964. Report 322. 62 p.
11. Махоткин, Л.Г. Статистические характеристики амплитуд атмосфериков / Л.Г. Махоткин // Тр. ГГО. 1965. Вып.177. С. 142-149.
12. Осинин, В.Ф. Метод преобразования графического семейства функций распределения атмосферного радишума в аналитическое с использованием обобщающей эмпирической модели / В.Ф. Осинин, И.В.Осинин, Д.А. Подлесных // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. М.: №10. 2008. С. 20-22.
13. Осинин, В.Ф. Амплитудное распределение вероятностей атмосферных радиопомех В.Ф. Осинин // В кн: Геофизические явления верхней атмосферы и земной коры. (Тр. СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, вып.47) Магадан. 1973. С. 45-59.
14. Бунимович, В.Н. Флюктуационные процессы в радиоприемных устройствах / В.Н. Бунимович. М.: Сов. Радио, 1951. 360 с.

## СЕКЦИЯ 7. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Председатель секции:** кандидат физико-математических наук, зав. кафедрой «Высшая математика, физика и химия» Обухова Галина Александровна

### ПРИМЕНЕНИЕ КРАТНЫХ ИНТЕГРАЛОВ ДЛЯ РАСЧЕТА МЕХАНИЧЕСКОГО МОМЕНТА СИЛ

В.И. Бахмат

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Трение играет большую роль в природе и технике. В некоторых случаях силы трения оказывают вредное действие, и поэтому их надо уменьшать. Для этого на трущиеся поверхности наносят смазку (двигатель автомобиля). В других случаях, наоборот, нужно увеличить силу трения (тормозная система автомобиля).

Тормозной путь автомобиля является одной из основных характеристик безопасности дорожного движения. Для определения этой величины применяется метод моделирования, который заключается в следующем: упрощают реальную систему (тормозную систему) и оставляют только те величины, которые характеризуют вращающееся колесо автомобиля (радиус колеса  $R$ , угловую скорость  $\omega$ , коэффициент трения  $\mu$ ).

**Ключевые слова:** модель, моделирование, система.

### THE APPLICATION OF MULTIPLE INTEGRALS TO CALCULATE THE MECHANICAL MOMENT OF FORCES

V.I. Bakhmat

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** Friction plays an important role in nature and technology. In some cases the friction forces have a harmful effect, and therefore they must be reduced. For this purpose, the friction surfaces need lubricant (motor vehicle). In other cases, on the contrary, it is necessary to increase the frictional force (braking systems).

The braking distance of the vehicle is one of the main characteristics of road safety. To determine this value the modeling method is used, the main idea of which is in simplifying the real system (braking system) and leaving only those values that characterize the spinning wheel of a car (wheel radius  $R$ , the angular velocity  $\omega$ , the coefficient of friction  $\mu$ ).

**Key words:** model, modelling, system.

Моделирование считается основным методом изучения сложных систем и объектов. Созданные модели используются для уточнения определения характеристик изучаемых объектов или систем и для рационализации способов построения при конструировании объектов. На основе моделирования базируется научное исследование любого характера (аналитического, прикладного и т.д.).

Данная задача выглядит следующим образом.

К плоскости основания сплошного однородного диска радиусом  $R$ , вращающегося с угловой скоростью  $\omega_0$  в горизонтальной плоскости относительно оси, перпендикулярной к плоскости диска и проходящей через его центр масс, прижимают горизонтальную поверхность. Коэффициент трения между основанием диска и горизонтальной поверхностью  $\mu$  не зависит от угловой скорости вращения диска. Сколько оборотов сделает диск до остановки?

Диск вращается в горизонтальной плоскости. На него действуют сила тяжести, сила реакции опоры, сила трения. Первые две силы уравновешивают одна другую.

Согласно основному закону динамики вращательного движения

$$\vec{M} = J \cdot \vec{\varepsilon},$$

где  $\vec{M}$  – суммарный момент сил трения относительно оси вращения;

$$J = \frac{1}{2} m R^2 \text{ – момент инерции диска;}$$

$$m = \rho \pi R^2 h \text{ – масса диска;}$$

$$h \text{ – толщина диска;}$$

$$\rho \text{ – плотность материала диска;}$$

$$\vec{\varepsilon} \text{ – угловое ускорение диска.}$$

Сила трения приложена к каждому участку диска. Так как эти участки находятся на различных расстояниях от оси вращения, то и моменты сил трения, приложенные к этим участкам, различны. Разделим диск на достаточно узкие кольца (см. рис. 1). Каждое кольцо разделим на малые элементы двумя радиусами, образующими малый угол  $d\varphi$ .

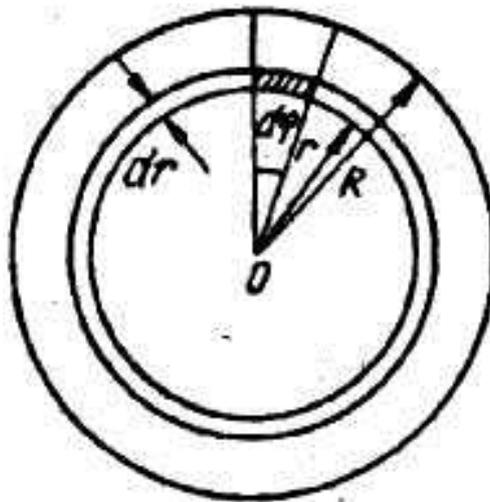


Рис. 1

Сила трения, действующая на выделенный элемент:

$$dF_{\text{тр}} = \mu g dm = \mu g \rho dv = \mu g \rho h r d\varphi dr.$$

Момент силы трения:

$$dM = r dF_{\text{тр}} = \mu \rho g h r^2 dr d\varphi.$$

Интегрируем по углу  $\varphi$  от нуля до  $2\pi$  и по  $r$  от нуля до  $R$ . Получаем суммарный момент сил трения:

$$M = \int_0^{2\pi} \int_0^R \mu \rho g h r^2 dr d\varphi = \frac{\mu \rho g h 2\pi R^3}{3}.$$

Находим угловое ускорение диска  $\varepsilon$ , учитывая, что угловое ускорение и угловая скорость  $\omega$  имеют противоположные направления.

$$\varepsilon = -\frac{M}{J} = -\frac{\frac{1}{3} \mu g \rho h 2\pi R^3}{\frac{1}{2} \rho \pi R^4 h} = -\frac{4\mu g}{3R}.$$

Находим угловое смещение:

$$\varphi = \frac{\omega^2 - \omega_0^2}{2\varepsilon} = 2\pi N.$$

Конечная угловая скорость  $\omega$  равна нулю.

Число оборотов до полной остановки:

$$N = \frac{\varphi}{2\pi} = -\frac{\omega_0^2}{4\pi\varepsilon} = \frac{3R\omega_0^2}{16\pi\mu g}.$$

На основе созданной модели прогнозируются возможности, тенденции развития и функционирования данной системы.

#### Список литературы

1. Глинский, Б.А. Моделирование как метод научного исследования (Гносеологический анализ) / Б.А. Глинский, Б.С. Грязнов, Б.С. Дынин, Е.С. Никитин. М.: Изд-во МГУ, 1965. 247 с.
2. Зверев И.Д. Межпредметные связи в современной школе / И.Д. Зверев, В.Н. Максимова. М.: Педагогика, 1981. 159 с.
3. Костюк, Н.Т. Интеграция современного научного знания. Методологический анализ / Н.Т. Костюк, В.С. Лутай, В.Д. Белогуб и др. Киев.: Высшая школа, 1984. 184 с.

## НАПРЯЖЕННОСТЬ СИММЕТРИЧНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ПОЛЕЙ

В.В. Борисовский

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Определяется вертикальная составляющая напряженности гравитационного поля, с использованием телесного угла. Приводится пример расчета напряженности симметричного гравитационного поля.

**Ключевые слова:** *гравитационное поле, напряженность, симметрия.*

## THE TENSION OF SYMMETRICAL GRAVITATION FIELDS

V.V. Borisovskiy

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The vertical component of the gravitation field tension with the usage of the solid angle is determined. The example of the calculation of the symmetrical gravitation field is given.

**Key words:** *gravitation field, tension, symmetry.*

Гравитационное взаимодействие между телами осуществляется через гравитационное поле (или поле тяготения). Всякое тело является источником гравитационного поля. Это поле проявляет себя в том, что на помещенное в него другое тело действует сила тяготения, прямо пропорциональная массе этого тела.

Гравитационное поле характеризуется напряженностью поля. Напряженность гравитационного поля  $\vec{G}$  равна силе, с которой это поле действует на материальную точку с массой, равной единице, и помещенную в данную точку пространства:

$$\vec{G} = \frac{\vec{F}}{m}, \quad (1)$$

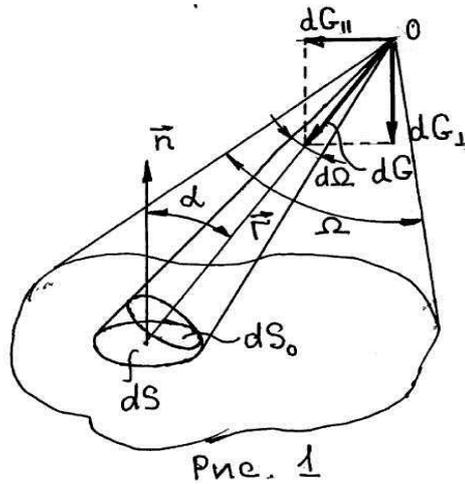
где  $\vec{F}$  – гравитационная сила, действующая на материальную точку с массой  $m$  в данной точке.

Напряженность гравитационного поля является векторной величиной.

Если поле создано системой материальных точек или тел шаровой формы, то для определения напряженности гравитационного поля  $\vec{G}$  системы используется формула для материальных точек и принцип суперпозиции. В случае распределения массы по поверхности или объему для расчета напряженности  $\vec{G}$  в любой точке применяется метод дифференцирования и интегрирования. При симметричном распределении массы по поверхности

относительно точки, в которой определяется напряженность гравитационного поля  $\vec{G}$ , в расчетах можно применить телесный угол.

Выведем формулу напряженности  $\vec{G}$  как функцию телесного угла. Возьмем поверхность произвольной формы с поверхностной плотностью массы  $\sigma = \frac{dm}{dS}$  и определим напряженность  $\vec{G}$  в произвольной точке  $O$ . На поверхности выделяем элементарную площадку  $dS$ , проводим из этой площадки радиус-вектор  $\vec{r}$  и нормаль  $\vec{n}$  (см. рис. 1). Конус с вершиной в точке  $O$ , основанием которого является площадка  $dS$ , охватывает элементарный телесный угол  $d\Omega$ .



Напряженность  $d\vec{G}$ , создаваемую массой на площадке  $dS$ , разложим на две составляющие  $dG_{\perp}$  и  $dG_{\parallel}$  и определим, чему равна перпендикулярная составляющая  $dG_{\perp}$ :

$$dG_{\perp} = dG \cdot \cos \alpha = \gamma \frac{dm \cdot \cos \alpha}{r^2} = \gamma \frac{\sigma \cdot dS \cdot \cos \alpha}{r^2}. \quad (2)$$

$dS \cdot \cos \alpha = dS_0$  – это площадка, расположенная перпендикулярно к радиусу-вектору  $\vec{r}$ .

Отношение площадки  $dS_0$  к квадрату радиуса  $r^2$  есть элементарный телесный угол  $d\Omega = \frac{dS_0}{r^2}$ , и тогда

$$dG_{\perp} = \gamma \sigma d\Omega. \quad (3)$$

Проинтегрировав последнее уравнение по телесному углу, получим выражение для перпендикулярной составляющей вектора напряженности гравитационного поля всей поверхности

$$G_{\perp} = \gamma \sigma \Omega, \quad (4)$$

где  $\sigma$  – поверхностная плотность массы,  
 $\Omega$  – телесный угол, охватываемый поверхностью.

Результирующая горизонтальной составляющей напряженности при симметричном распределении массы по поверхности и объему равна нулю, поэтому в этом случае для определения напряженности гравитационного поля достаточно найти её вертикальную составляющую, используя формулу (4).

Рассмотрим пример применения формулы (4) при расчете напряженности  $G$ : тонкий однородный диск радиусом  $R$  имеет массу  $M$ . Определить силу гравитационного взаимодействия между этим диском и материальной точкой массой  $m$ , лежащей на оси диска на расстоянии  $h$  от него.

Силу гравитационного взаимодействия между материальной точкой массой  $m$  и диском определяем из формулы (1):

$$\vec{F} = m\vec{G},$$

где  $\vec{G}$  – напряженность гравитационного поля диска в точке  $A$ , где находится материальная точка (см. рис. 2).

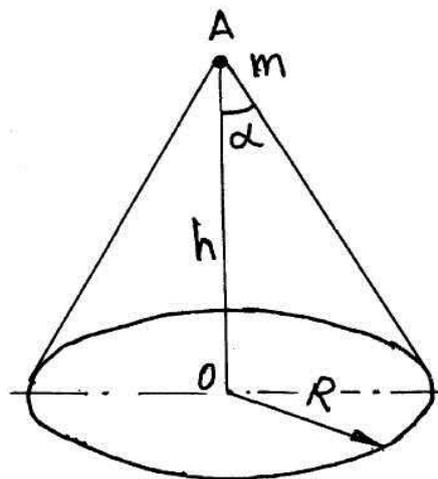


Рис. 2

Так как точка  $A$  расположена симметрично относительно диска, то для определения напряженности гравитационного поля применяем формулу (4):

$$\vec{G} = \gamma\sigma\Omega,$$

где  $\sigma = \frac{M}{\pi R^2}$  – поверхностная плотность массы диска;

$\Omega = 2\pi(1 - \cos\alpha)$  – телесный угол конуса, охватывающего диск,

$\cos\alpha = \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}}$ . После подстановки всех найденных величин находим силу

взаимодействия между материальной точкой и диском

$$F = \frac{2\gamma mM}{R^2} \left( 1 - \frac{h}{\sqrt{R^2 + h^2}} \right).$$

## НЕКОТОРЫЕ ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ДЕПОЗИТНОЙ ПОЛИТИКИ КОММЕРЧЕСКОГО БАНКА

А.В. Виноградова<sup>1</sup>, И.И. Кулешова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Алтайская государственная педагогическая академия»

<sup>2</sup>Рубцовский индустриальный институт (филиал)

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет

им. И.И. Ползунова»

**Аннотация:** В работе сформирована модель оптимизационной задачи депозитной политики банка на первоначальном этапе, где в качестве целевой функции рассматривается максимум процентного дохода, и решение этой задачи предполагается осуществлять при помощи имитационного моделирования.

**Ключевые слова:** депозитная политика банка, оптимизационная задача, целевая функция, имитационное моделирование.

## SOME APPROACHES TO SOLVING THE OPTIMIZATION TASK OF THE DEPOSIT POLICY OF COMMERCIAL BANKS

A.V. Vinogradova<sup>1</sup>, I.I. Kuleshova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Altai state pedagogical Academy

<sup>2</sup>Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of

Polzunov Altai State Technical University

**Abstract:** In this paper the model of the optimization task of the deposit policy of the bank at the initial stage is formed. The target function of the model is to get the maximum percentage of income. The solution of this task is expected to be implemented by means of simulation modelling.

**Key words:** deposit policy of the bank, optimization task, the target function, simulation modelling.

Рассматривая существующие сегодня в коммерческих банках системы формирования показателей их финансовых результатов, в том числе депозитной политики банка, в которой прибыли отводится роль обобщающего макроэкономического показателя деятельности банка, нельзя недооценить значение промежуточных результирующих показателей по подразделениям банка, тех или иных видов банковской деятельности, банковских продуктов и услуг.

Развитие банковской системы России подтвердило необходимость повышения роли депозитной политики коммерческого банка, а следовательно, и исследования путей ее совершенствования.

Актуальными направлениями в данном исследовании являются, во-первых, оценка роли депозитной политики в обеспечении устойчивости коммерческого банка и, во-вторых, моделирование депозитной политики коммерческого банка во взаимоотношениях с клиентами.

В работе [6] предполагается, что оптимизация депозитной политики должна быть основана на расчете внутренней стоимости кредитных операций. Суть этого показателя заключается в том, что договорной процент определяется реальной ценой кредитных ресурсов и спредом – между процентными ставками, по которым банк привлекает средства и по которым выдает их

заемщикам. При этом для безубыточной деятельности банка договорная цена кредита должна быть не ниже суммы средней реальной стоимости ресурсов и достаточной маржи ( $M_d$ ). Она представляет собой минимальный разрыв в ставках по активным и пассивным операциям, позволяющий банку покрывать общие расходы, не приносящие прибыль.

$$M_d = (R_o - R_p + R_a - D_p)A_d,$$

где  $R_o$  – операционные расходы банка;

$R_p$  – проценты уплаченные;

$R_a$  – расходы на содержание аппарата управления;

$D_p$  – прочие доходы;

$A_d$  – средний остаток активов, приносящих доход.

К прочим доходам относятся доходы банка от операций не кредитного характера; проценты и комиссии, полученные за прошлые периоды; штрафы, пени, неустойки.

Таким образом, договорная цена банка, покрывающая расходы, связанные с предоставлением кредита, есть минимально допустимый процент по кредитной операции, обеспечивающий безубыточность ее осуществления.

В работе [5] рассматривается еще одна, не менее важная составляющая депозитной политики коммерческого банка – ставка размещения средств. Предложена модель, экономический смысл которой состоит в том, что ставка размещения средств – это минимальная ставка размещения средств, при которой затраты по привлечению и конечному размещению средств будут покрыты доходами от этого размещения. Устанавливая нижнюю границу привлечения средств, банк должен определить свою потребность в ресурсах на текущий момент и на ближайшую перспективу. Для этого банк должен владеть информацией о конъюнктуре денежного рынка своего региона.

Однако само по себе привлечение депозитов не может быть самоцелью для банка, в работе [2] исследуется модель стоимости привлечения депозитов при ограниченных доходах от их кредитного размещения. При стечении определенных обстоятельств коэффициент абсорбции депозитов может стать нулевым или отрицательным. Такая ситуация недопустима, и поэтому в упреждающем порядке требуется минимизировать объем привлечения депозитов, необходимый для удовлетворения кредитных заявок клиентов коммерческого банка.

Предположим, что имеется  $m$  видов привлекаемых депозитов. Пусть  $Y_i$  – обозначает величину  $i$ -го депозита, а  $B_i$  – цену привлечения  $i$ -го депозита ( $i=1, 2, \dots, m$ ). Тогда функция  $G = \sum_{i=1}^m Y_i \cdot B_i$  представляет собой стоимость привлечения депозитов, которую требуется минимизировать.

Будем считать, что прогнозируется поступление  $n$  кредитных заявок,  $G_j$  – величина кредита по  $j$ -й кредитной заявке, а  $A_{ij}$  – часть  $i$ -го депозита, идущего на удовлетворение  $j$ -й кредитной заявки, исходя из ликвидности данного коммерческого банка. Таким образом, можем сформулировать задачу о минимизации затрат по привлечению депозитов, при условии, что

$$G = \sum_{i=1}^m Y_i \cdot B_i \geq G = \sum_{i=1}^m G_i ; G = \sum_{j=1}^n A_{ij},$$

т.е. депозитная работа банка будет, по крайней мере, безубыточной до тех пор, пока найденное соотношение будет меньше величины процентного дохода по удовлетворенным кредитным заявкам.

Различные подходы к анализу совокупных расходов и доходов банка дают возможность для изучения всего состава производимых банком расходов и доходов и оценки влияния на их величину не только главных факторов, но и тех, которые сложно выявить лишь на основе группировки затрат по одному признаку. Указанные анализы позволяют находить резервы повышения прибыли банка и оценивать эффективность ее использования, оптимизировать его деятельность.

Так как процентная политика является неотъемлемой частью формирования депозитной политики коммерческого банка, она должна регулировать значения процентных ставок по депозитам и ссудным операциям и устанавливать их на уровне, обеспечивающем рентабельность банковских операций.

Следовательно, оптимизационная задача депозитной политики банка на первоначальном этапе оптимизационного процесса может выглядеть так [3]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m W_i(U_i^w) &\leq S_0, \\ \sum_{j=1}^n Z_j(U_j^z) &\leq D_0 - SK, \\ \sum_{j=1}^n Z_j(U_j^z) - \sum_{i=1}^m W_i(U_i^w) &\leq U, \\ \sum_{i=1}^m W_i(U_i^w) &\geq 0; \sum_{j=1}^n Z_j(U_j^z) \geq 0, \end{aligned}$$

где  $S_0$  – предложение инвестиций,

$D_0$  – спрос на инвестиции,

$SK$  – собственный капитал,

$U$  – желаемая величина гэпа.

В качестве целевой функции будет рассматриваться максимум процентного дохода:

$$\max \left\{ c = \sum_{j=1}^n Z_j(U_j^z) * U_j^z - \sum_{i=1}^m W_i(U_i^w) * U_i^w \right\},$$

где  $U_j^z$  – кредитная ставка процента,

$U_i^w$  – депозитная ставка процента,

$\sum_{j=1}^n Z_j(U_j^z)$  – кредитные ресурсы,

$\sum_{i=1}^m W_i(U_i^w)$  – привлекаемые ресурсы на рынке депозитов.

Данная задача исследования кредитно-инвестиционной политики банка на этапе становления рыночных отношений даже является сложной нелинейной динамической задачей, которая должна учитывать рассмотренные выше применяемые в банковской практике финансовые инструменты поддержания доходности, ликвидности и снижения рисков. Также необходимо рассмотреть модель на региональном уровне, учесть показатели инфляции и региональные составляющие. Решение этой задачи целесообразно осуществлять при помощи имитационного моделирования. Так как в настоящее время имитационное моделирование играет огромную роль в современных информационных технологиях, оно помогает решить возникающие практические задачи описания и исследования систем, в которых необходимо оценить влияние множества случайных факторов, учесть сложное взаимодействие элементов во времени и пространстве, провести многовариантный анализ с целью выбора наиболее эффективного решения, изучить процессы, происходящие в новых объектах [1].

Реализация имитационной модели при этом возможна в настоящее время при применении двух подходов к построению модели: специализированных систем (языков) моделирования (GPSS, AnyLogic, Arena и т.д.) и универсальных языков программирования высокого уровня (C++, Delphi и т.д.).

Специализированные системы имитационного моделирования ориентированы, в основном, на построение имитационной модели как отдельного объекта для последующего анализа. Основным аспектом является визуализация процесса и результатов моделирования. Специализированные языки не обеспечивают возможность создания графического интерфейса пользователя, отвечающего требованиям программного комплекса, не имеют мощных средств работы с базами данных. В свою очередь универсальные языки не имеют характерных для языков моделирования средств формализации и описания модели, необходимых для структур хранения данных [4].

В ходе проведенного анализа было выявлено, что наиболее подходящей средой моделирования является инструмент AnyLogic. Выбор среды был обусловлен рядом основных преимуществ данного программного продукта: способность решать задачи моделирования любого масштаба и уровня абстракции, большие возможности визуализации создаваемых моделей при помощи анимаций, возможность определить сколь угодно сложную дискретно-событийную логику, наличие исключительно развитого базового языка дискретного и смешанного дискретно-непрерывного моделирования и т.д. Данная среда моделирования была применена относительно управления производственными процессами промышленных предприятий [4]. В рассмотренных ранее работах и в российской практике данная среда моделирования не была апробирована для банковской сферы, и моделирования оптимизации депозитной политики в частности. Таким образом, необходимо разработать модель оптимизации депозитной политики с учетом региональных особенностей банков и применить данный подход на практике. Применение представленных моделей позволит выявить новые подходы и границы исследования исключительно важной для практики деятельности коммерческих банков проблемы формирования и реализации депозитной политики.

## Список литературы

1. Амелин, С.В. Организация управления производством на основе моделирования / С.В. Амелин // Организатор производства. М., 2008. – №2. – С. 93-96.
2. Власов, А.А. Оптимизация портфельной политики коммерческого банка в современных условиях: Автореферат / А.А. Власов. Самара, 2008. – С. 3-6.
3. Егорова, Н.Е. Математические методы финансового анализа. / Н.Е. Егорова, А.М. Смулов // Финансовый анализ банков. – 1998. – №2. – С. 110-120.
4. Сорокин, А.В. Использование имитационного моделирования для повышения эффективности управления производственными процессами промышленных предприятий. Монография / А.В. Сорокин. Барнаул, 2011. – С. 20-23.
5. Шульков, С.А. Депозитная политика и ее роль в обеспечении устойчивости коммерческого банка: Автореферат / С.А. Шульков. Саратов, 2008. – С. 5-7.
6. Щетинин, М.Е. Оптимизация политики доходности коммерческого банка в условиях кризиса: Автореферат / М.Е. Щетинин. М., 2010. – С. 3-5.

## О КОРРЕКТНОСТИ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ

Е.С. Глушкова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** В работе рассматривается задача определения коэффициентов квазилинейного уравнения гиперболического типа с двумя пространственными переменными по некоторой информации о решении задачи Коши для этого уравнения. Доказана теорема единственности решения рассматриваемой обратной задачи в классе аналитических функций. Доказана корректность решения обратной задачи по отношению к малым изменениям входных данных. В предположении существования решения обратной задачи при доказанной теореме единственности и устойчивости решения делается вывод об условной корректности обратной задачи.

**Ключевое слово:** *обратная задача.*

## ABOUT THE CORRECTNESS OF THE SOLUTION OF AN INVERSE PROBLEM

E.S. Glushkova

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** The paper considers the problem of determining the coefficients of a quasilinear equation of hyperbolic type with two spatial variables on some information about the solution of the Cauchy problem for this equation. The theorem of the uniqueness of the solution of the inverse problem in the class of analytic functions is proved. The correctness of the solution of the inverse problem in regard to small changes of input data is also proved. In assumption of existence of the

solution of the inverse problem with the proven theorem of uniqueness and stability of solutions, it is concluded that the correctness of the inverse problem is conditional.

**Key word:** *inverse problem.*

В работе рассматривается квазилинейное уравнение гиперболического типа

$$u_{tt} = u_{xx} + u_{yy} + f(u, u_t) \quad (1)$$

с начальными условиями

$$u|_{t=0} = \varphi(x, y), \quad u_t|_{t=0} = \psi(x, y). \quad (2)$$

Требуется определить функцию  $f(u, u_t)$ , если решение задачи Коши (1), (2) известно в точках плоскости  $y = 0$ :

$$u|_{y=0} = g(x, t). \quad (3)$$

Доказана следующая теорема.

Пусть  $\varphi(x, y)$ ,  $\psi(x, y)$ ,  $g(x, t)$  являются аналитическими функциями своих независимых переменных в окрестности точки  $O(0, 0)$ .

Тогда если функция  $g(x, t)$  такая, что  $\sqrt{g_x'^2(0, 0) + g_t'^2(0, 0)} \neq 0$  и удовлетворяет условиям согласования

$$\varphi(0, 0) = g(0, 0), \quad \psi(0, 0) = g_t(0, 0), \text{ то}$$

в окрестности точки  $(\varphi(0, 0), \psi(0, 0))$  решение обратной задачи (1) – (3) единственно в классе аналитических функций  $f(u, u_t)$ .

Также показана устойчивость решения задачи (1) – (3) к малым изменениям выходных данных.

Таким образом, обратная задача (1) – (3) является условно корректной.

#### Литература

1. Курант, Р. Уравнения с частными производными / Р. Курант. М.: Мир, 1964. 832 с.

### **К ВОПРОСУ О РАЗРЕШИМОСТИ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ НАХОЖДЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПОГЛОЩЕНИЯ**

О.В. Ефременкова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** В работе изучается разрешимость обратной параболической задачи нахождения коэффициента поглощения специального вида.

**Ключевые слова:** *краевая задача, параболическое уравнение, обратная задача.*

# TO THE QUESTION OF THE SOLVABILITY OF A PARABOLIC INVERSE PROBLEM OF FINDING THE COEFFICIENTS OF ABSORPTION

O.V. Efremenkova

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** In this paper we study the solvability of the inverse parabolic problem of finding the coefficient of absorption of a special kind.

**Key words:** *boundary value problem, parabolic equation, inverse problem.*

Пусть  $D$  – интервал  $(0,1)$  оси  $Ox$ ,  $Q$  – прямоугольник  $\{(x, t): x \in D, t \in (0, T), 0 < T < +\infty\}$ . Далее, пусть  $h_0(x, t)$ ,  $h_1(x, t)$ , ...,  $h_m(x, t)$ ,  $f(x, t)$ ,  $u_0(x)$ ,  $\mu_1(t)$ , ...,  $\mu_m(t)$  – функции, заданные при  $x \in D$ ,  $t \in [0, T]$ . А точки  $x_1, \dots, x_m$ , лежащие в  $D$ , удовлетворяют условию  $0 < x_1 < \dots < x_m < 1$ .

**Обратная задача.** Найти функции  $u(x, t)$ ,  $q_1(t)$ , ...,  $q_m(t)$ , связанные в прямоугольнике  $Q$  уравнением

$$u_t - u_{xx} + [h_0(x, t) + q_1(t)h_1(x, t) + \dots + q_m(t)h_m(x, t)]u = f(x, t), \quad (1)$$

при выполнении для функции  $u(x, t)$ , условий:

$$u(0, t) = u(1, t) = 0, \quad 0 < t < T, \quad (2)$$

$$u(x, 0) = u_0(x), \quad x \in D, \quad (3)$$

$$u(x_k, t) = \mu_k(t), \quad k = 1, \dots, m, \quad 0 < t < T. \quad (4)$$

Обратная задача при условиях (2) и (3) – обычная начально-краевая задача для параболического уравнения, условия же (4) – условия переопределения, усиленные наличием дополнительных неизвестных функций  $q_1(t)$ , ...,  $q_m(t)$ . Задачи подобного типа изучались и ранее [1, 2], но лишь для случая  $m=1$ .

Для решения поставленной задачи доказываем существование решения обратной теоремы при заданных условиях переопределения. При доказательстве используется комбинация метода срезающих функций и метода неподвижной точки [3].

## Список литературы

1. Ivanchov, M. Inverse problems for equations of parabolic type / M. Ivanchov. VNTL Publ. 2003.

2. Lamos, H. Inverse problem of determining the coefficient depend times for heat equation / H. Lamos // Тихонов и современная математика. Обратные и некорректно поставленные задачи. М., 2006.

3. Кожанов, А.И. Нелинейные нагруженные уравнения и обратные задачи / А.И. Кожанов // Журн. вычисл. математики и мат. физики. 2004. Т. 44. №4. С. 722-744.

4. Дженалиев, М.Т. К теории линейных краевых задач для нагруженных дифференциальных уравнений / М.Т. Дженалиев. Алматы: Ин-т теоретической и прикладной математики, 1995. – 270 с.

# О РАЗРЕШИМОСТИ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ ОДНОГО КЛАССА ВЫРОЖДАЮЩИХСЯ УРАВНЕНИЙ СОБОЛЕВСКОГО ТИПА

И.И. Кулешова

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)  
ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет  
им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** В данной работе рассмотрены некоторые простейшие модели уравнений неразрешенных относительно временной производной (уравнения соболевского типа).

**Ключевые слова:** краевая задача, уравнение соболевского типа, регулярные решения.

## ABOUT THE SOLVABILITY OF THE INITIAL BOUNDARY VALUE PROBLEM FOR ONE CLASS OF DEGENERATE EQUATIONS OF SOBOLEV TYPE

I.I. Kuleshova

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Polzunov Altai State Technical University*

**Abstract:** This paper discusses the simplest models of equations unsolved in regard to the time derivative (Sobolev type equation).

**Key words:** boundary value problem, Sobolev type equation, regular solutions.

Цель настоящей работы – доказательство существования регулярных или «почти» регулярных решений.

Пусть  $D$  – интервал  $(0, 1)$  оси  $Ox$ ,  $Q$  – прямоугольник  $D \times (0, T)$ ,  $0 < T < +\infty$ ,  $a(x)$ ,  $b(x)$ ,  $a_0(x)$ ,  $b_0(x)$  и  $f(x, t)$  – заданные при  $x \in \bar{D}$ ,  $t \in [0, T]$  функции,  $A$  и  $B$  – операторы, заданные равенствами

$$Au = \frac{\partial}{\partial x} (a(x)u_x) + a_0(x)u,$$

$$Bu = \frac{\partial^2}{\partial x^2} (b(x)u_{xx}) + b_0(x)u.$$

**Краевая задача.** Найти функцию  $u(x, t)$ , являющуюся в прямоугольнике  $Q$  решением уравнения

$$Au_t + Bu = f(x, t) \quad (1)$$

и такую, что для нее выполняются условия

$$u(x, 0) = 0, \quad x \in D, \quad (2)$$

$$u(0, t) = u(1, t) = u_{xx}(0, t) = u_{xx}(1, t) = 0, \quad 0 < t < T. \quad (3)$$

**Теорема 1.** Пусть выполняются условия

$$a(x) \in C^1(\bar{D}), \quad b(x) \in C^3(\bar{D}), \quad a_0(x) \in C(\bar{D}), \quad b_0(x) \in C(\bar{D});$$

$$\begin{aligned}
a(x) &\geq 0, \quad b(x) \leq 0, \quad a(x) - b(x) \geq k_0 > 0, \\
a_0(x) &\leq -\bar{a}_0 < 0, \quad b_0(x) \leq 0 \quad \text{при } x \in \bar{D}; \\
|b^{(i)}(x)| &\leq C_0 \sqrt{|b(x)|}, \quad i = 1, 2, \quad x \in \bar{D}; \\
b(0)b(1) &> 0.
\end{aligned}$$

Тогда если функция  $f(x, t)$  такова, что  $f(x, t) \in L_2(Q)$ ,  $f_t(x, t) \in L_2(Q)$ ,  $f(x, 0) \equiv 0$  при  $x \in \bar{D}$ , то краевая задача (1) – (3) имеет решение  $u(x, t)$  такое, что

$$\begin{aligned}
u(x, t) &\in L_2(0, T; W_2^2(D)), \quad u_t(x, t) \in L_2(0, T; W_2^2(D)), \\
b(x)u_{xxxx}(x, t) &\in L_2(Q),
\end{aligned}$$

и это решение единственно.

**Теорема 2.** Пусть выполняются все условия теоремы 1 как для коэффициентов уравнения (1), так и для функции  $f(x, t)$ . Кроме того, пусть выполняются дополнительные условия

$$\begin{aligned}
a(x) &\in C^2(\bar{D}), \quad a_0(x) \in C^1(\bar{D}), \quad b_0(x) \in C^1(\bar{D}) \quad k_0 - 4C_0^2T > 0; \\
f_x(x, t) &\in L_2(Q), \quad f(0, t) = f(1, t) = 0 \quad \text{при } t \in [0, T].
\end{aligned}$$

Тогда краевая задача (1) – (3) имеет решение  $u(x, t)$  такое, что  $u(x, t) \in L_2(0, T; W_2^2(D))$ ,  $u_t(x, t) \in L_2(0, T; W_2^2(D))$ .

Таким образом, мы доказали существование регулярных или почти регулярных решений краевой задачи для уравнений соболевского типа.

#### Список литературы

1. Кожанов А.И. О свойствах решений для одного класса псевдопараболических уравнений / А.И. Кожанов // Докл. РАН. 1992. Т. 236. №5. С. 781-786.
2. Kozhanov, A.I. Certain classes of degenerate Sobolev – Galpern equations / A.I. Kozhanov // Sib. Adv. Math. 1994. №1. P. 65-94.
3. Кожанов, А.И. Вырождающиеся уравнения соболевского типа / А.И. Кожанов // Неклассические уравнения математической физики. Новосибирск: Ин-т математики СО РАН, 1998. С. 4-13.
4. Якубов, С.Я. Линейные дифференциально-операторные уравнения и их приложения / С.Я. Якубов. Баку: Элм, 1985. – 220 с.
5. Рисс, Ф. Лекции по функциональному анализу / Ф. Рисс, Б. Секефальви-Нядь. М.: Мир, 1979. – 592 с.

# ОБРАТНЫЕ ЗАДАЧИ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ АНАЛОГОВ ИТЕРИРОВАННОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Г.А. Обухова (Кириллова)

*Рубцовский индустриальный институт (филиал)*

*ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»*

**Аннотация:** Исследуется разрешимость линейных обратных задач определения вместе с решением дифференциального уравнения также неизвестного внешнего воздействия. Дифференциальное уравнение представляет собой обобщение итерированного уравнения теплопроводности.

Коэффициентные обратные задачи, как линейные, так и нелинейные, для параболических уравнений второго порядка достаточно хорошо изучены. Для параболических уравнений высокого порядка подобные задачи менее изучены. Для итерированных же уравнений теплопроводности и их обобщений линейные и нелинейные обратные задачи ранее не изучались.

**Ключевые слова:** обратная задача, параболическое уравнение, уравнение теплопроводности.

## INVERSE PROBLEMS FOR SOME EQUIVALENTS OF ITERATED HEAT EQUATION

G.A. Obuhova (Kirillova)

*Rubtsovsk Industrial Institute (branch) of  
Altai State Technical University*

**Abstract:** The solvability of linear inverse problems of definition together with the solution of differential equations of also unknown external influence has been investigated. The differential equation is a generalization of the iterated heat equation.

Coefficient inverse problems, both linear and non-linear, for the parabolic equations of the second order have been investigated well enough. For the parabolic equations of high order the similar problems have not been investigated enough. For iterated heat equations and their generalizations the linear and nonlinear inverse problems have not been studied previously.

**Key words:** inverse problem, parabolic equation, heat equation.

Пусть  $\Omega$  есть интервал  $(0, 1)$  оси  $Ox$ ,  $Q$  есть прямоугольник  $\Omega \times (0, T)$ ,  $0 < T < +\infty$ ,  $a(x, t)$ ,  $c(x, t)$ ,  $f(x, t)$ ,  $K(x, t)$ ,  $h_x(x, t)$ ,  $x=0, \dots, m$  – заданные функции, определенные при  $x \in \bar{\Omega}$ ,  $t \in [0, T]$ ,  $t_1, \dots, t_m$  – заданные числа, такие, что  $0 < t_1 < t_2 < \dots < t_m \leq T$ .

Обратная задача I: найти функции  $u(x, t)$  и  $q_1(x), \dots, q_m(x)$ , связанные в прямоугольнике  $Q$  уравнением

$$\begin{aligned} u_{tt}(x, t) + a(x, t)u_{xxt}(x, t) + u_{xxxx}(x, t) + c(x, t)u(x, t) = \\ = f(x, t) + \sum_{k=1}^m q_k(x)h_k(x, t) \end{aligned} \quad (1)$$

при выполнении для функции  $u(x, t)$  условий

$$u(0, t) = u(1, t) = u_x(0, t) = u_x(1, t), \quad 0 < t < T, \quad (2)$$

$$u(x, 0) = u_t(x, 0) = 0, \quad x \in \Omega, \quad (3)$$

$$u(x, t_k) = 0, \quad k = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Обратная задача II: найти функции  $u(x, t)$  и  $q(x)$ , связанные в прямоугольнике  $Q$  уравнением

$$\begin{aligned} u_{tt}(x, t) + a(x, t)u_{xxt}(x, t) + u_{xxxx}(x, t) + c(x, t)u(x, t) = \\ = f(x, t) + q_0(x)h_0(x, t) \end{aligned} \quad (5)$$

при выполнении для функции  $u(x, t)$  условий (2) и (3), а также условия

$$\int_0^T k(x, t)u(x, t)dt = 0, \quad x \in \Omega. \quad (6)$$

Уточним, что левая часть уравнений (1) или (5) в случае  $a(x, t) = -2$ ,  $c(x, t) = 0$  как раз представляет собой итерированный оператор теплопроводности.

Далее, в обратных задачах I и II условия (2) и (3) есть условия обычной начально-краевой задачи для уравнений (1) или (5) с известной правой частью, условия (4) и (6) представляют собой переопределения, необходимость которых обуславливается наличием неизвестных коэффициентов  $q_1(x), \dots, q_m(x)$  или же  $q_0(x)$  соответственно (в литературе условия (4) принято называть условиями неопределенности на временных слоях, условие же (6) – условием интегрального переопределения).

#### Список литературы

1. Кириллова, Г.А. О некоторых обратных задачах для параболического уравнения четвертого порядка / Г.А. Кириллова, А.И. Кожанов // Математические заметки Якутского государственного университета. 2000. Т.7, вып. 1. С. 35-49.

2. Кириллова, Г.А. Линейная обратная задача с интегральным переопределением для одного класса параболических уравнений высокого порядка / Г.А. Кириллова // Математические заметки Якутского государственного университета. 2002. Т.9, вып. 2. С. 57-74.

3. Кириллова, Г.А. Обратная задача для параболического уравнения высокого порядка с неизвестным коэффициентом при решении в случае интегрального переопределения / Г.А. Кириллова // Мат. заметки ЯГУ. 2003. Т.10, вып. 1. С. 34-45.

## РАЗЛИЧНЫЕ СПОСОБЫ НАХОЖДЕНИЯ ПЛОЩАДИ ТРАПЕЦИИ

Л.К. Сьяпова

*Горно-Алтайский государственный университет*

**Аннотация:** В статье рассматриваются способы вычисления площади трапеции при изучении школьной математики. Автор подробно описывает путь решения задач при выборе этих способов вычисления площади трапеции.

**Ключевые слова:** *учитель, проблемы, площадь, фигура, формула.*

## DIFFERENT WAYS OF CALCULATION OF THE AREA OF TRAPEZIUM

L.K. Syjarova

*Gorno-Altai State University*

**Abstract:** The article considers the ways of calculation of the area of trapezium when studying school mathematics. The author describes the ways of solution of such tasks in details.

**Key words:** *teacher, problems, area, figure, formula.*

Математика – не только самый объемный из изучаемых предметов в школе, но он еще и один из самых требовательных к определенному режиму, в котором эксплуатируется память ребенка. Донести материал до ребенка бывает совсем невозможно без наличия в его голове определенного набора так называемых «свежих фактов и понятий». Кроме того, требуются навыки и способность быстро извлекать из памяти и обрабатывать информацию, полученную в разное время. Для удержания широчайшего спектра математических знаний ученика необходим определенный режим занятий с достаточным количеством многократного и систематического использования свойств изученных математических объектов.

Грамотная организация работы по изучению нахождения площади фигур школьного курса математики зависит, в первую очередь, от умения учителя выполнять правильные действия для правильного подсчета [1]. Так, при изучении площадей планиметрических фигур возникают проблемы, которые, на наш взгляд, можно легко устранить, ориентируя школьников на использование в образовательном процессе разных методик подсчета площадей.

Ученики часто не могут выучить элементарные формулы нахождения площадей фигур, следовательно – не понимают, как и где их можно применять. Например, при решении задач на нахождение площади планиметрической фигуры возможно применение различных формул ее нахождения:

- формулы Пика;
- формулы Герона;
- формулы площади трапеции через длины ее оснований и высоту;
- формула нахождения площади трапеции через среднюю линию.

Рассмотрим комбинаторную формулу Пика для вычисления площадей многоугольников, которые расположены на решетках.

Исторический анализ ее происхождения показал, что формула Пика была доказана более 100 лет назад. Пик Георг Александров (1859-1943 гг.) – австрийский математик – открыл известную сегодня всем формулу в 1899 году. Кроме этой формулы Георг Пик открыл и доказал другие полезные и успешно используемые математические факты: теоремы Пика, Пика-Жюлиа, Пика-Невалины, неравенство Шварца-Пика. Эта формула является классическим результатом комбинаторной геометрии и геометрии чисел. Этот факт даёт геометрические доказательства формулы для разницы подходящих дробей цепной дроби [2].

Формула Пика задается следующим образом:  $S = \frac{\Gamma}{2} + B - 1$ , где  $S$  – площадь многоугольника, с вершинами в узлах квадратной сетки;  $\Gamma$  – количество узлов сетки, лежащих на границах многоугольника (на сторонах и в вершинах),  $B$  – количество узлов сетки, лежащих внутри многоугольника. Например, необходимо найти площадь трапеции ABCD, изображенной на рисунке 1: узлы сетки – точки, в которых пересекаются линии сетки, внутренние узлы многоугольника – красные, узлы на границах многоугольника – зелёные.

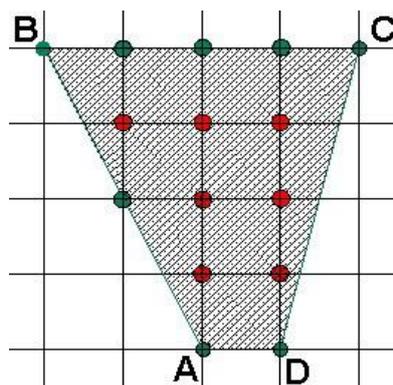


Рисунок 1. Задача на вычисление площади плоской фигуры

Рассмотрим более подробно: находим основания, затем их складываем, умножаем на высоту. А теперь рассмотрим эту же задачу, но с применением формулы Пика. Это простой прием, и его школьникам нужно знать. Так, находим количество зеленых узлов, лежащих на сторонах трапеции, это число равно  $\Gamma = 8$ . Затем находим количество узлов, лежащих внутри. Их будет ровно  $B = 7$ . Тогда площадь будет равна:  $S = \frac{\Gamma}{2} + B - 1 = 4 + 7 - 1 = 10$  клеток [3, С. 354].

Если есть сомнения, то всегда можно проверить по формуле площади трапеции или непосредственным подсчетом клеток через достраивание фигуры до прямоугольника.

Следующая формула Герона для нахождения площади трапеции:

$$S = \frac{a+b}{|a-b|} \sqrt{(p-a)(p-b)(p-a-c)(p-a-d)} .$$

Герон Александрийский – греческий математик и механик. Герона относят к величайшим за всю историю человечества инженерам. Он первым изобрёл автоматические двери, автоматический театр кукол, автомат для продаж, скорострельный самозаряжающийся арбалет, паровую турбину, автоматические декорации, прибор для измерения протяжённости дорог (древний одометр) и др. Первым начал создавать программируемые устройства, такие как вал со штырьками с намотанной на него верёвкой, он занимался геометрией, механикой, гидростатикой, оптикой. Основные произведения: Метрика, Пневматика, Автоматопэтика, Механика (произведение сохранилось целиком в арабском переводе), Катоптрика (наука о зеркалах; сохранилась только в латинском переводе) и др. На рисунке 2 представлена трапеция.

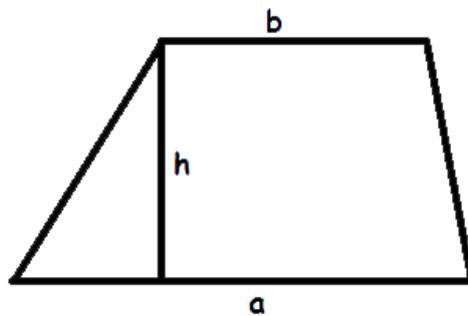


Рисунок 2. Трапеция

Следующая формула для нахождения площади трапеции – формула через длины оснований и высоту. Площадь трапеции равна произведению полусуммы ее оснований на высоту:

$$S = \frac{1}{2}(a+b) \cdot h ,$$

где  $S$  – площадь трапеции,  $a$ ,  $b$  – длины основ трапеции,  $c$ ,  $d$  – длины боковых сторон трапеции,  $p = \frac{a+b+c+d}{2}$  – полупериметр трапеции. Эту формулу часто используют в школе. Учитывая, что полусумма основания трапеции – это средняя линия трапеции, можно перейти к формуле нахождения трапеции через среднюю линию:  $S = l \cdot h$ .

Таким образом, мы показали различные способы вычисления площади плоской фигуры (трапеции) с использованием формулы Пика, формулы Герона, формулы нахождения площади трапеции через длины ее оснований и высоту и формулы нахождения площади трапеции через ее среднюю линию. Это наиболее простые методы, но в большинстве случаев – самые эффективные.

### Список литературы

1. Темербекова, А.А. Методика преподавания математики: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 032100 «Математика» / А.А. Темербекова. – М., 2003. – 153 с.
2. Вавилов, В.В. Многоугольники на решетках / В.В. Вавилов, А.В. Устинов. – М.: МЦНМО, 2006. – С. 45-51.
3. Темербекова, А.А. Математическая подготовка школьников к ЕГЭ: методика определения площади плоской фигуры / А.А. Темербекова // Информация и образование: границы коммуникаций (INFO'13): сборник научных трудов / под ред. А.А. Темербековой, Н.П. Гальцовой. – Горно-Алтайск: ГАГУ, 2013. – С. 352-355.



Научное издание

**ИНЖЕНЕРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ДОСТИЖЕНИЯ – ОСНОВА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ**

Материалы IV Всероссийской научно-технической  
конференции 27-28 ноября 2014 г.

Редактор Е.Ф. Изотова

Подписано в печать 26.12.14. Формат 60x84 /16.  
Усл. печ. л. 28,13. Тираж 50 экз. Заказ 14 1337. Рег. №192.

Отпечатано в ИТО Рубцовского индустриального института  
658207, Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6.