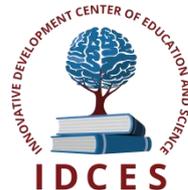


**ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE**



**АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК В  
СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

**Выпуск II**

**Сборник научных трудов по итогам  
международной научно-практической конференции  
(14 января 2015г.)**

**г. Санкт-Петербург  
2015 г.**

**Актуальные вопросы технических наук в современных условиях/Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. № 2. Санкт-Петербург, 2015. 231 с.**

**Редакционная коллегия:**

доктор технических наук, профессор Аракелян Эдик Койрунович (г.Москва), доктор физико-математических наук, профессор Будагян Ирина Фадеевна (г.Москва), доктор технических наук, доцент Бунаков Павел Юрьевич (г.Коломна), кандидат технических наук Валеев Анвар Рашитович (г.Уфа), доктор технических наук, профессор Высоцкий Лев Ильич (г.Саратов), доктор технических наук, профессор Галкин Александр Фёдорович (г.Санкт-Петербург), кандидат технических наук, доцент Горюнова Валентина Викторовна (г.Пенза), кандидат педагогических наук, доцент Давлеткиреева Лилия Зайнитдиновна (г.Магнитогорск), доктор технических наук, профессор Дадашев Мирали Нуралиевич (г.Москва), доктор технических наук, профессор Денисов Валерий Николаевич (г.Санкт-Петербург), кандидат технических наук Егоров Алексей Борисович (г.Харьков), доктор технических наук, профессор Жуманиязов Максуд Жаббиевич (г.Ургенч), доктор технических наук, профессор Заднепровский Рэм Петрович (г.Волгоград), кандидат технических наук Иванов Валерий Игоревич (г.Москва), кандидат технических наук Ключева Инна Викторовна (г.Новосибирск), кандидат технических наук, доцент Корниенко Владимир Тимофеевич (г.Ростов-на-Дону), кандидат технических наук, профессор Куберский Сергей Владимирович (Алчевск), доктор технических наук Курганова Юлия Анатольевна (г.Москва), кандидат технических наук Мостовой Антон Станиславович (г.Энгельс), доктор технических наук, профессор Мухуров Николай Иванович (г.Минск), кандидат технических наук, доцент Никулин Владимир Валерьевич (г.Саранск), кандидат технических наук, профессор Охрименко Ольга Владимировна (г.Вологда-Молочное), доктор технических наук, профессор Пачурин Герман Васильевич (г.Нижний Новгород), кандидат технических наук Полонский Яков Аркадьевич (г.Волгоград), кандидат технических наук Решетняк Сергей Николаевич (г.Москва), инженер, аспирант Рычков Евгений Николаевич (г.Пуатье), доктор химических наук Хентов Виктор Яковлевич (г.Новочеркасск)

В сборнике научных трудов по итогам международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы технических наук в современных условиях» (г.Санкт-Петербург) представлены научные статьи, тезисы, сообщения студентов, аспирантов, соискателей учёных степеней, научных сотрудников, докторантов, специалистов практического звена Российской Федерации, а также коллег из стран ближнего и дальнего зарубежья.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за подбор и точность приведенных фактов, цитат, статистических данных, не подлежащих открытой публикации. Мнение редакционной коллегии может не совпадать с мнением авторов. Материалы размещены в сборнике в авторской правке.

Сборник включен в национальную информационно-аналитическую систему "Российский индекс научного цитирования" (РИНЦ).
---

## Оглавление

### СЕКЦИЯ №1.

<b>ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01) .....</b>	<b>7</b>
3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ В "T-FLEX CAD 3D"	
Погребняк Г.Е., профессор, д.т.н. Белов В.В. ....	7
<b>ФЕМАР – СПЕЦИФИКА И ОСОБЕННОСТИ</b>	
Пименов С.А., Зорков П.П. ....	12
<b>ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕНСОРА ОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ</b>	
Осипович Д.А. ....	17

### СЕКЦИЯ №2.

<b>ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00) ..</b>	<b>20</b>
<b>АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ</b>	
Еременко В.Т., Борисов О.М. ....	20
<b>КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И ТРЕКЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА</b>	
Меерович В.Д. ....	24
<b>МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНОМ ПОРТАЛЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ</b>	
Мишин Д.С. ....	32
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДВИЖУЩИМИСЯ В КОЛОННЕ НАЗЕМНЫМИ РОБОТАМИ</b>	
Тупиков П.А., Таланов А.Г. ....	33
<b>МОДЕЛИ СИГНАЛОВ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ</b>	
Андриянов Н.А., Дементьев В.Е. ....	37
<b>ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ</b>	
Куликов Р.Е. ....	41
<b>ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ</b>	
Сапронов А.А., Дуванов Д.А., Пашенко М.М., Устинов И.О. ....	43
<b>ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХРАНЕНИЯ ГАЗА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ</b>	
Ягупов В.А., Еременко С.В., Масалыгин К.К., Ставцева А.Г. ....	47
<b>ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО НАХОЖДЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КВАНТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ</b>	
Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Потапов В.С. ....	49
<b>ПОСТРОЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ МНОГОМЕРНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ</b>	
Лебедева О.В., Тырсин А.Н. ....	53
<b>ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ПУТЕВЫХ МАШИН</b>	
Бунаков П.Ю., Фокин С.В. ....	60
<b>РАЗРАБОТКА ФАСЕТНОГО КЛАССИФИКАТОРА РИСКОВ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА</b>	
Псоянц В.Г. ....	63
<b>РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ</b>	
Таганов А.И., Захаров С.Г. ....	66
<b>УПРАВЛЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ КОМПОНЕНТОЙ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>	
Ажмухамедов А.И. ....	69

### СЕКЦИЯ №3.

<b>ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00).....</b>	<b>72</b>
--	-----------

### СЕКЦИЯ №4.

<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00) .....</b>	<b>72</b>
<b>АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВОГО ПОТОКА В ЗУБЧАТЫХ ГИДРОМАШИНАХ</b>	
Долганов Р.А., Валиуллин Н.М. ....	72
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМАЧИВАНИЯ АЛЮМИНИЕМ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – АЛЮМИНИЙ</b>	
Ковтунов А.И., Мямин С.В., Меджидов К.И. ....	75

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВАРИАТОРОВ Валиуллин Н.М., Долганов Р.А. ....	78
<b>СЕКЦИЯ №5.</b>	
<b>ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00) .....</b>	<b>82</b>
ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЗАИНСКОЙ ГРЭС В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ Гафуров А.М. ....	82
ВЫБОР МОДЕЛИ УСИЛИТЕЛЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ Косолапов А.В. ....	85
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВМЕСТНО С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ Моренко К.С. ....	87
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ: ВИДЫ, ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЕНИЕ Фролов В.А. ....	90
ЭФФЕКТИВНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ Васильев В.Я., Жаткин А.М. ....	92
<b>СЕКЦИЯ №6.</b>	
<b>ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00) .....</b>	<b>104</b>
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА Ческидов В.В. ....	104
К ВОПРОСУ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦА Шемякин В.С., Скопов С.В., Соколов И.В., Корнилков С.В. ....	108
ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ И ИЗНОС РАБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ НАСОСА Поветкин В.В., Татыбаев М.К., Альпеисов А.Т., Бектибай Б.Ж., Ткаченко Д.Е. ....	113
<b>СЕКЦИЯ №7.</b>	
<b>МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00) .....</b>	<b>119</b>
ВАКУУМНАЯ ПЕЧЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КАЛЬЦИЯ Фалин В.В., Кривоносов Д.М. ....	119
ИЗУЧЕНИЕ МАТРИЦ ДЛЯ ВЫСОКОГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ Львов В.В., Бута К.О. ....	125
<b>СЕКЦИЯ №8.</b>	
<b>ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00) .....</b>	<b>128</b>
К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ШИН ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Гридчина И.Н. ....	128
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРУЗОВЫЕ АВТОПЕРЕВОЗКИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ПО МНОГОСТОРОНИМ РАЗРЕШЕНИЯМ ЕКМТ Муравьев М.А. ....	131
МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Шепелев М.И. ....	135
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ Сливинский Е.В., Гридчин Д.В., Суздальская Е.А. ....	138
НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ПРОТОКОЛА IPV6 СЕРВИС-ПРОВАЙДЕРАМИ Михлевич Д.С., Подсумкова Л.А. ....	142
ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КЛАПАНОВ ГРМ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ Сливинский Е.В., Митина Т.Е., Родионова М.А. ....	146
РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА NTPRO 5000 Мушастый В.О. ....	149
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ САМОСВАЛЬНЫХ ПРИЦЕПОВ Сливинский Е.В., Митина Т.Е., Фетисов К.С. ....	151
УПРОЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Пронин Р.Е. ....	155
<b>СЕКЦИЯ №9.</b>	
<b>АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10) .....</b>	<b>159</b>

**СЕКЦИЯ №10.**

<b>СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00) .....</b>	<b>159</b>
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ	
Матвеев А.В., Овчинников А.А. ....	159
МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИИ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО ОТХОДА	
Мирюк О.А. ....	162
ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ	
Григорьев В.А. ....	165
ФОРМУЛИРОВКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДАЛЬНЕЙШЕГО НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	
Ульшин А.Н. ....	168
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ИЗГИБ С КРУЧЕНИЕМ	
Родевич В.В., Арзамасцев С.А. ....	171

**СЕКЦИЯ №11.**

<b>ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00) .....</b>	<b>175</b>
ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ	
Минаев Д.В. ....	175
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА	
Чернов Г.А. ....	177
ТЕРМОРЕАКТИВНЫЙ ПОЛИИМИД СЕТЧАТОГО СТРОЕНИЯ	
Мухаметов Р.Р. ....	178

**СЕКЦИЯ №12.**

<b>ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00) .....</b>	<b>181</b>
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОДОВОГО ЭКСТРАКТА ДЛЯ ЗАМЕНЫ САХАРОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ	
Бурмагина Т.Ю., Гнездилова А.И. ....	181

**СЕКЦИЯ №13.**

<b>ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00) .....</b>	<b>184</b>
---	------------

**СЕКЦИЯ №14.**

<b>ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00) .....</b>	<b>184</b>
ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ СОБСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ КВАЗАРОВ ПО ДАННЫМ АСТРО- И ФОТОМЕТРИИ	
Варгашкин В.Я. ....	184
ИССЛЕДОВАНИЕ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА	
Насыбуллин А.Р., Туганов П.Ю., Врачев Е.Э. ....	194
КОМПЕНСАЦИЯ УГЛОЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ	
Кравец Е.В., Петров П.Н. ....	197
РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЗАМЕРУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ (ВИБРАЦИЙ)	
Алексеев А.В., Александров М.В. ....	200
СВЧ - ДАТЧИК КОНТРОЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Врачев Е.Э., Туганов П.Ю., Насыбуллин А.Р. ....	203

**СЕКЦИЯ №15.**

<b>ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00) .....</b>	<b>205</b>
АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ	
Дураков А.А., Михайлова М.Ю. ....	205

**СЕКЦИЯ №16.**

<b>БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00) .....</b>	<b>209</b>
ТРАВМАТИЗМ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ И ТЯЖЕЛЫМ ИСХОДОМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ	
Студенникова Н.С. ....	209

<b>СЕКЦИЯ №17.</b>	
<b>ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ</b>	
<b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12) .....</b>	<b>212</b>
ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СРЕДЕ УЧЕБНО-НАУЧНОГО ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	
Болдырев А.В., Павельчук М.В. ....	212
<b>СЕКЦИЯ №18.</b>	
<b>ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ</b>	
<b>(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23) .....</b>	<b>215</b>
<b>СЕКЦИЯ №19.</b>	
<b>НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08) .....</b>	<b>215</b>
ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКА CUO В ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ОКСИДИРОВАНИЕМ	
Козлов А.В. ....	215
<b>СЕКЦИЯ №20.</b>	
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05) .....</b>	<b>218</b>
ОБНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРИ ПОМОЩИ SIGNALR	
Рыбкина М.В., Чугунов А.П., Строев В.Д. ....	218
ПРИНЦИП ИСТОРИЗМА В СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ	
Кочергин И.Г., Кочетков В.А., Лутохин И.В., Солдатиков И.В. ....	219
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА	
Михайлов В.В., Тюлюков В.Н., Гвоздевский И.Н., Морозов Д.А., Гончаров М.В. ....	226
<b>СЕКЦИЯ №21.</b>	
<b>МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08) .....</b>	<b>228</b>
<b>ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2015 ГОД .....</b>	<b>229</b>

## **СЕКЦИЯ №1. ИНЖЕНЕРНАЯ ГРАФИКА, САПР, САД, САЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.01.01)**

### **3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ В "T-FLEX CAD 3D"**

**Погребняк Г.Е., профессор, д.т.н. Белов В.В.**

МГОСГИ, г.Коломна

Период конца XX и начала XXI века знаменовался резким скачком в развитии информационных технологий. Компьютерная инфраструктура в наши дни проникла в каждую сферу человеческой деятельности, в частности технический прогресс затронул и область машиностроения. Появились такие научные отрасли как автоматизация производства, системы автоматизированного проектирования (САПР) и др. Трехмерное проектирование деталей и узлов в изделиях машиностроения зарекомендовало себя одним из самых эффективных и перспективных направлений, более известное как 3D-моделирование в системах автоматизированного проектирования. Системой САПР, реализующей процесс 3D-моделирования, называется САД система (Computer Aided Design System). В условиях современного производства ни одно машиностроительное предприятие при технологическом проектировании изделий не обходится без внедрения и использования САД системы.

3D-моделирование изделий машиностроения позволяет спроектировать деталь или узел изделия в виде конечного готового состояния, соблюдая все конструктивные критерии и особенности конструкторско-технологической документации. При наличии дополнительных модулей САД системы, данную модель можно рассчитывать на прочность, проводить статистический и динамический анализ, применять ЧПУ-обработку различных механических и технологических операций. Также любая САД система по 3D-модели может спроектировать чертеж детали или узла, спецификацию и другие конструкторско-технологические документы. В современных САД системах также есть возможность создания кинематического или циклодинамического движения 3D-модели в пространстве с помощью модуля анимации, позволяющая записать этот процесс в видеофайл стандартных форматов.

В настоящее время на международном рынке САПР существует множество САД систем, успешно внедряемых в производство различных стран мира. На российском рынке более известны такие системы:

- "КОМПАС-3D" - производитель "Аскон" (Россия);
- "AutoCAD" - производитель "Autodesk" (США);
- "AutodeskInventor" - производитель "Autodesk" (США);
- PTC Creo 2.0 - производитель "PTC" (США);
- "T-FLEX CAD 3D" - производитель "ТопСистемы" (Россия);
- "Solid Edge" - производитель "Siemens" (Германия);
- "NX" - производитель "Siemens" (Германия).

Следует отметить, что российские производители занимают не последнее место на мировой арене, а системы из зарубежных стран имеют свои филиалы и полностью локализованы на территории России. Особое внимание хочется уделить системе "T-FLEX CAD 3D" отечественного производителя "ТопСистемы". Несколько лет назад разработчики во главе с отделом программистов этой компании создали свое собственное процессорное ядро, на основе которого работает программная среда САД системы. Также "T-FLEX CAD 3D" является единственной параметрической системой на российском рынке и одной из самых сильных систем по параметризации не только в Европе, но и на международной арене. "ТопСистемы" обеспечили большую функциональность для трехмерного моделирования изделий, сделав свой продукт удобным при проектировании. Но несмотря на эти достоинства, процесс 3D-моделирования любой САПР все равно имеет свои сложности при выполнении работы, например, если деталь (узел) изделия машиностроения имеет сложную геометрию, много конструктивно-важных элементов или большое количество деталей (если сборочная единица). Для того чтобы успешно создать 3D-модель изделия машиностроения необходимо иметь:

- знания в области инженерии;
- навык пользования САД системами;
- знания в области инженерной графики и начертательной геометрии для черчения в САД системе;
- знания конструкторской документации для чтения и анализа чертежей;
- опыт программирования для параметризации переменных модели;
- доступ к содержанию государственных стандартов (ГОСТ).

Но для максимального успеха и эффективного результата выше указанных способностей недостаточно, для этого необходимо составить алгоритм действий перед началом выполнения задания. Рациональный план позволит использовать минимальные средства и сократить время работы, и поэтому алгоритм следует разделить на этапы:

- 1) техническое задание;
- 2) конструкторско-технологическая документация;
- 3) моделирование деталей:
  - простые и малогабаритные детали;
  - технологически сложные (среднего уровня) детали;
  - сложные корпусные и крупногабаритные детали;
- 4) стандартные изделия и крепежные заводские детали;
- 5) сборочное моделирование:
  - соединение деталей в узлы (подборки);
  - полная сборка все составляющих изделия;
- 6) анимация движения по переменным и оптимизация модели.

Каждый пункт необходимо описать подробно. В первом этапе необходимо поставить задачу или составить техническое задание. В задаче нужно определить, что является конечным результатом, если это 3D-модель изделия, то необходимо собрать всю информацию по этому проекту, в него входит наименование, служебное назначение, принцип работы, чертежи, спецификации, схема сборки и технические требования изделия. Следует произвести теоретический анализ объекта для полного представления конечного вида изделия. После выполнения этой задачи и сбора всей информации можно переходить к следующему этапу.

Во втором этапе подразумевается комплексное изучение всей конструкторско-технологической документации проекта, в состав которой входят сборочные чертежи изделия, входящих в него узлов, отдельные чертежи всех деталей, спецификации к каждой сборочной единице, схемы сборки и дополнительные технологические документы. В процессе изучения следует детали разделить на категории по принципам конструкторского содержания и сложности геометрии, например: 1 - простые по конструктивному признаку и геометрии с габаритами малых размеров; 2 - средние по конструктивному признаку и геометрии, содержащие технологические элементы, которые имеют важное значение в принципе работы изделия, различных габаритных размеров; 3 - сложные по конструктивному признаку и геометрии, содержащие много технологических элементов и геометрию контура высокого уровня, обладающие большими габаритными размерами. К первой категории деталей относятся фланцы, упоры, штуцеры, кольца, валы, втулки и другие простые детали. Ко второй категории относятся валы-шестерни, зубчатые колеса, оси, поршни, корпусные крышки и другие детали. И к третьей категории относятся сложные корпусные габаритные детали, в основном отливки, а также детали со сложной сферической геометрией профиля высшего порядка.

После полного анализа конструкторско-технологической документации (КТД) можно приступать к самому процессу 3D-моделирования объектов. Третий этап является самым продолжительным по времени и трудоемким по сложности выполнения, поэтому его следует разделить на несколько подэтапов, начать нужно с первой категории деталей, описанной выше, т.е. простых деталей. Смысл этой подзадачи заключается в том, что запомнить простые алгоритмы действия пользования CAD системой "T-FLEX CAD 3D" и освоить функции моделирования на начальном уровне. В моделировании простых деталей не требуется много операций, около 2-3 на деталь, в некоторых случаях даже всего одной операций. В основном используются операции "Вытапливание" и "Вращение" - это самые распространенные операции САПР. Если тело вращения, то следует воспользоваться операцией "Вращение", если же тело состоит из прямых плоскостей или корпусную форму, то тогда необходима операция "Вытапливание", для выполнения которой необходимо и достаточно построить профиль детали в режиме эскиза, единственными условиями являются замкнутость профиля и отсутствия пересечения линий профиля. Построение выполняется с помощью стандартных команд геометрии, такие как точка, прямая, окружность и их взаимного расположения, представленные как вспомогательные линии, по которым обводится сам профиль, это является отличительной чертой "T-FLEX CAD 3D" от других CAD систем и одновременно преимуществом - любое построение можно параметризовать, что предоставляет возможность в свободном редактировании и варьировании любых элементов системы. Последним шагом операции является задание глубины (высоты) тела посредством ввода числового значения. При операции "Вращение" отличий немного, тоже строится замкнутый профиль без взаимных пересечений, но только его одна половина, ограниченная осью вращения, результат операции получается вращение профиля вокруг оси на определенный угол, в большинстве случаев равный 360°, т.е. полный круг. Распространенной функцией также является операция "Сглаживание", ее значение заключается в создании скруглений и фасок, ребер, плоскостей и поверхностей созданного тела, эти

элементы можно получить и при операции "Выталкивание" и "Вращение", построив в эскизе все необходимые скругления и фаски с помощью команды "Фаска". После того как все простые детали готовы, можно переходить ко второй категории. Детали среднего уровня нуждаются в широком использовании возможностей системы, приходится применять много различных операций. Например, при моделировании вала-шестерни с шлицевым и квадратным отверстиями, невозможно ограничиться только операциями "Выталкивание" и "Вращение", необходимо воспользоваться и другими дополнительными функциями. При вращении вала, невозможно смоделировать шлицевое и квадратное отверстия и зубья внешнего диаметра поверхности вала, при построении профиля вала следует учесть размеры шлицевого отверстия и зубьев, чтобы оставить пустое пространство для их создания. Квадратное отверстие можно выдавить с помощью операции "Выталкивание", выбрав конфигурацию "Вычитание", предварительно построив профиль квадрата по размерам чертежа. Шлицевое отверстие или соединение также можно выдавить, но выбрав конфигурацию "Сложение", профиль шлица можно построить по размерам чертежа, или воспользоваться ГОСТом, который указывается в этом соединении, где представлены все необходимые размеры для построения. В шлицевых соединениях обозначают количество шлицев (зубьев) и для того, чтобы не выдавливать один шлиц несколько раз, следует воспользоваться операцией "Массив", выбрать "Круговой", указать на созданный шлиц и ось вращения вала, в параметрах ввести количество и шаг между зубьями, в результате получится шлицевое отверстие в валу. Затем следует полученный массив соединить с телом вала, т.к. массивы определяются как отдельные тела, для этого нужно воспользоваться операцией "Булева", в которой в качестве операндов выбираются тело вала и массив шлицев, при этом надо задать конфигурацию "Сложение", в итоге получится цельный вал с шлицевым отверстием. При моделировании прямолинейного зубчатого соединения можно воспользоваться таким же порядком действий, только профиль зуба можно построить с помощью ГОСТа и параметров соединения, указанных конструктором чертежа в соответствующей таблице, но для косоугольных зубчатых соединений этих операций недостаточно. В этом случае существует операция "Спираль", которая позволяет любой построенный профиль выдавить под любым углом на винтовой поверхности, эта функция применяется при моделировании также конических и косозубых зубчатых соединений различного профиля зубьев, а также червячных передач. В режиме операции "Спираль" необходимо выбрать профиль, ось вращения, точки привязки, ввести значения радиусов (половине размера диаметра) зубчатого соединения и выбрать одну из двух конфигураций: "Шаг от длины" и "Витки от длины", в данном косоугольном зубчатом соединении указывается угол наклона зубьев  $\beta$ , поэтому следует выбрать конфигурацию "Витки от длины". Для того, чтобы рассчитать количество витков необходимо угол  $\beta$  разделить на один полный оборот витка, равный  $360^\circ$ , отсюда получим количество витков, значение не может  $\geq 1$ . После применим круговой массив и операцию "Булева" и получим модель вала-шестерни с косозубым зубчатым соединением.

Отверстия - одни из самых часто используемых технологических элементов в изделиях, САПР "T-FLEX CAD 3D" предлагает очень удобный и быстрый способ их моделирования с помощью операции "Отверстие", данная функция позволяет автоматически смоделировать отверстие, указав только точку (узел) на поверхности или окружность (или дугу окружности) для определения ее центра, в режиме операции возможны конфигурации все стандартных типов отверстий по ГОСТ, в которых можно варьировать размеры, сортированные в соответствующем типе отверстия. Это операция увеличивает эффективность моделирования отверстий, сокращая время и уменьшая трудоемкость.

После создания двух категорий деталей переходим к моделированию третьей категории - самой сложной. На этом этапе моделирования необходимо применить все возможности CAD системы "T-FLEX CAD 3D". Желательно для более быстрого и эффективного результата нужно детально изучить чертежи. В геометрически сложных корпусных деталях при анализе чертежа следует спланировать последовательность операций, если процесс будет хаотичным, т.е. часто отменять изменять, переставлять операции, редактировать геометрию эскизов, то модель получится с ошибками, которые будет невозможно исправить без удаления выполненных элементов (операции, профили, плоскости и др.), 3D-модель будет слабо восприимчива к любым изменениям и последующим действиям с ней, возможно потребуется начать моделирование сначала, что явно снизит эффективность и производительность работы и увеличит отведенное на работу время. Конечно, алгоритм действий невозможно сразу спланировать идеально, но процесс корректировки будет более гибок и модель будет более адаптивна.

В моделировании геометрически сложных корпусных деталей, в которых присутствует двухконтурная геометрия, это такая поверхность, в которой направление профиля не перпендикулярно самому профилю, а под определенным углом или по определенной траектории. САПР "T-FLEX CAD 3D" предлагает для решения этой задачи операцию "По траектории", которая реализует смещение профиля по необходимой траектории, для этого нужно построить профиль, который будет иметь смещение, и путь (траектория), по которому будет смещен профиль. В режиме операции "По траектории" выбираются 3D профиль и 3D путь, а затем выбирается

конфигурация взаимного их положения. "T-FLEX CAD 3D" включает в себя подобную операцию, но более высоко уровня - это "По параметрам", эта функция позволяет создавать объекты криволинейного профиля высших порядков, образованные по собственному закону движения, который реализуется через параметры переменных.

Довольно часто в корпусных деталях на криволинейных поверхностях располагаются одинаковые технологические элементы (канавки, пазы, вафельная сетка), для того чтобы максимально упростить процесс их создания система предлагает операцию "Массив по пути", эта функция имеет подобное действие, что и операция "По траектории", предлагается выбрать созданный элемент и путь (траектория), по которому будут создаваться копии, также необходимо ввести количество копий, шаг и длину. Операция "Массив по параметрам" копирует элементы в программируемом порядке через параметры переменных.

После завершения создания модели следует внимательно просмотреть ее со всех точек для обнаружения лишних пересечений, трещин или раковин, также проверить на наличие ошибок в окне диагностики, желательно попробовать внести небольшие изменения в геометрии, отверстиях, массивах, предварительно сохранив 3D-модель, эти процедуры проводятся для тестирования и проверки адаптивности модели к изменениям.

После того как все детали готовы переходим к четвертому этапу, к формированию стандартных изделий и заводских крепежных деталей. Для выполнения этого необходимо воспользоваться спецификациями узлов и всего изделия, в этих конструкторских документах отображены названия всех используемых стандартных изделий с указанием ГОСТа, к которому они относятся. CAD система "T-FLEX CAD 3D" при установке программного модуля "Стандартные изделия" в каталоге библиотек будут доступны стандартные изделия по ГОСТ, в этих библиотеках присутствуют параметрические 3D-модели самых распространенных стандартных изделий. Выбрав в каталоге нужное наименование и ГОСТ изделия откроется окно, в которой на одной странице отображена его модель, а на других его чертеж и параметры, которые можно варьировать под необходимые размеры и конфигурации. Измененные под нужные параметры стандартные изделия можно сохранить отдельным файлом, чтобы не искать его снова.

В случае заводских крепежных деталей, то они не относятся к ГОСТ и поэтому имеют оригинальную заводскую конфигурацию и структуру. Для их выявления следует обратиться к спецификациям и отобрать те детали, у которых нет метки о наличии чертежа. После поиска заводские детали необходимо спроектировать самостоятельно и смоделировать их, в большинстве случаев это крепежные (болты, шурупы, гайки, стержни и др.) или очень простые детали.

В итоге все детали готовы, нужно приступить к следующему этапу, сборочному моделированию. Сперва необходимо смоделировать все узлы, входящие в изделие, у каждого узла есть спецификация, в которой представлены наименования деталей, стандартных изделий, заводских деталей, входящих в состав узла и количество в узле каждого наименования. Для того чтобы определить правильную последовательность сборки понадобится схема сборки, в которой описываются точная последовательность и способ сборки. В САПР "T-FLEX CAD 3D" процесс сборки осуществляется двумя способами: метод сопряжений и метод координатной привязки. Первый метод является самым популярным, он позволяет сопрягать модели (детали) по различным принципам:

- 1) совпадение - реализует соприкосновение любых элементов моделей (точки, ребра, плоскости, поверхности, тела);
- 2) параллельность - реализует параллельное расположение плоскостей;
- 3) перпендикулярность - реализует перпендикулярное расположение плоскостей;
- 4) касание - реализует касание плоскостей, поверхностей, тел моделей;
- 5) соосность - реализует соосное расположение элементов с осями;
- 6) расстояние - устанавливает расстояние между любыми элементами моделей;
- 7) угол - устанавливает угол между любыми элементами моделей;
- 8) колеса - устанавливает передаточное отношение между ребрами, плоскостями, поверхностями, телами моделей;
- 9) винт (колесо - рейка) - устанавливает передаточное отношение между резьбовым элементом и ребром, гранью или плоскостью;
- 10) отношение линейных скоростей - устанавливает отношение между элементами, содержащими ось.

Из перечня видно, что вариантов сопряжения много, но эффективность на практике показала, что это вызывает трудности: модель не всегда создает указываемые сопряжения, сообщая об ошибке в окне диагностики, а также выполняет сопряжения, отделяясь от других сопрягаемых фрагментов. В некоторых случаях модель придавала вид нереального физического объекта, содержащее искривление геометрии. Решение этих ошибок заставляет заново собирать модель, а в некоторых случаях вообще не поддается решению. Можно сделать вывод,

что сопряжения работают некорректно и вызывают больше проблем, чем решений. На этом фоне хорошо себя зарекомендовал второй способ сборки - метод координатной привязки. Реализация этого метода заключается в следующем: выбираем 3D-фрагмент, который хотим добавить в сборку, импортируемая модель имеет свою систему координат и начало отсчета, в меню режима добавления нужно выбрать "Преобразования", предполагается задать перемещения по трем осям - X, Y, Z, можно рассчитать вручную на сколько нужно переместить объект по необходимой координате или задавать через пространственные элементы модели (точка, ребро, грань, плоскость, дуга, центр, ось, поверхность), а также можно вращать объект в зависимости двух осей, единственное условие, чтобы эти две оси были различны, перемещения или вращения в этот момент фиксируются в динамическом режиме, т.е. можно наблюдать в какое положение передвинется объект в реальном времени относительно общей системы координат пространства всей модели. При этом методе не возникает никаких ошибок и проблем и позволяет создавать привязки фрагментов относительно друг друга, что гораздо упрощает параметризацию всей сборки. Кстати, нужно отметить, что два этих метода можно комбинировать, они никак не конфликтуют друг с другом, но сопряжения от этого свою работу не улучшат.

После сборки все узлы следует их соединить в одну сборочную единицу способами, описанными выше. В результате получится готовое изделие, необходимо произвести проверку на отсутствие пересечений фрагментов сборки.

САПР "T-FLEX CAD 3D" включает в себя модуль анимации движения моделей через переменные. В интерфейсе CAD системы есть модуль "Параметры", в котором находятся функции "Анимация" и "Сценарий анимации", которые реализуют анимацию движения в динамическом режиме модели. Для осуществления анимации необходимо создать переменные, которые привязаны к элементам модели или к самой модели. В модуле "Параметры" есть команда "Переменные", в которой можно создать и редактировать переменные. Переменная должна иметь в названии хотя бы одну букву латинского алфавита, а значение переменной можно задать явно, в виде числового значения или набора математических функций с числами, и неявно, в виде зависимостей других созданных переменных. Привязка переменных к моделям реализуется в свойстве объекта "Преобразования", выше описанное в координатном методе сборки фрагментов. Только вместо чисел задаются переменные, можно с математическими операторами. Для того чтобы создать анимацию одной переменной, можно воспользоваться командой "Анимация", в меню этой команды предлагается выбрать из списка нужную переменную, но только одну, ввести значения минимума и максимума переменной и шаг, с которым она будет изменяться. Если для получения необходимой анимации невозможно ограничиться одной переменной, следует использовать команду "Сценарий анимации". Сначала предлагается создать новый или выбрать уже созданный сценарий анимации, после откроется окно, слева у которого будет список созданных переменных с их значениями, а справа окно графиков зависимости переменной от значения времени T, чтобы создать график необходимо выбрать переменную и в нижнем меню выбрать "Добавить", после откроется окно на поле графиков, в котором предлагается выбрать минимум и максимум переменной. Время T тоже можно изменить, для этого нужно перейти в команду "Шкала времени" в верхнем меню режима "Сценарий анимации" и задать пределы времени T в секундах. Каждой переменной соответствует свой график зависимости от времени T, на этом графике нужно создать узлы - точки с координатами (X (переменная); T (время)), количество узлов может быть бесконечно много, значение переменных будет изменяться в течение времени T в заданном диапазоне. В нижней части меню можно выбрать "Применить" и "Анимация" для запуска анимации динамическом режиме. Анимацию можно записать в видеофайл с заданием нужных параметров качества, времени и скорости передачи информации.

Анимация в САПР "T-FLEX CAD 3D" обладает функцией "Оптимизация", она реализует процесс получения оптимального объекта динамическом режиме при определенных параметрах и диапазоне их варьирования. В оптимизации переменная, значение которой необходимо получить, в трех конфигурациях - минимизировать, максимизировать и приравнять. Эти три конфигурации означают, что оптимизируемая переменная при определенном диапазоне значений других переменных будет стремиться: 1) достигнуть минимального значения; 2) достигнуть максимального значения; 3) достигнуть равенства заданному значению. Это функция часто используется при полностью параметрических моделях, т.е. все размеры модели параметризированы и имеют свои связи. Для проектировщика модели необходимо, например, определить максимальный вес тела, при условиях заданного объема и диапазона заданных размеров (переменных). "Оптимизация" в этой задаче очень удобна и проста в использовании.

Все этапы выполнены, изделие готово к дальнейшим действиям (анализ, ЧПУ, производство и изготовление). В заключении хочется отметить, что САПР "T-FLEX CAD 3D" является одной из лучших CAD систем на производстве в области проектирования изделий машиностроения, обосновывая высокой эффективностью, производительностью, уровнем параметризации и удобством.

### Список литературы

1. Бунаков П.Ю. Сквозное проектирование в T -FLEX . М.: ДМК Пресс, 2009.
2. Евгенийев Г.Б. Интеллектуальные системы проектирования : учеб. пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009.
3. Капустин Н.М., Кузнецов П.М., Дьяконова Н.П. Комплексная автоматизация в машиностроении: Учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия». 2005.
4. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE). СПб. Питер. 2004.
5. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-еизд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002.

## ФЕМАР – СПЕЦИФИКА И ОСОБЕННОСТИ

**Пименов С.А., Зорков П.П.**

НГТУ, г.Нижний Новгород

В последнее время на специализированных CAE форумах очень часто звучат мысли об архаичности системы FEMAP, о том, что программа мало распространена в России и не пользуется успехом. С другой стороны, разработчиком системы Femap является компания Siemens PLM Software, которая так же является разработчиком еще одной, альтернативной по функционалу CAE системы - NX Advanced Simulation. Системы FEMAP и NX Advanced Simulation это пред-постпроцессоры, базовым решателем которых является NX Nastran. Поэтому возникает вопрос: "Зачем компании Siemens PLM Software развивать два альтернативных по функционалу пред-постпроцессора с одним базовым решателем?" Может быть, FEMAP это тупиковая ветка, которая постепенно уйдет, или все таки это специализированный пред-постпроцессор, рассчитанный на специальный круг задач, для которых NX Advanced Simulation малоэффективен? В чем же специфика и особенности системы FEMAP? Все эти вопросы рассмотрим в данной статье.

### 1 Работа с геометрией

Можно сказать, что FEMAP, также как и NX Advanced Simulation, независимый от CAD систем пред-постпроцессор – связующее звено между CAD данными в виде 3D моделей и решателем. Решатель здесь – это некоторое математическое ядро, осуществляющее вычисления в задачах инженерного анализа. С точки зрения поддержки решателя, Femap и NX Advanced Simulation также независимые программные продукты, так как кроме базового решателя NX Nastran есть возможность подключения внешних, таких как MSC Nastran, LS-DYNA, Ansys, Abagus и другие.

Система FEMAP входит в так называемую "легкую" линейку программных продуктов Siemens PLM Software. Ранее эта линейка называлась Velocity Series. Как правило в "легких" линейках программных продуктов вся необходимая для инженерного анализа геометрия (3D модели и сборки) разрабатывается в соответствующей CAD системе, в нашем случае это Solid Edge. Учитывая "родство форматов" геометрия Solid Edge без проблем открывается в FEMAP для дальнейшей генерации на ее основе сеток конечных элементов. Как уже было ранее замечено, Femap независимый от CAD систем пред-постпроцессор, поэтому есть возможность импорта "чужой" геометрии в формате Parasolid или других нейтральных форматах. Кроме этого в FEMAP предусмотрен свой функционал для построения геометрии, причем геометрия может быть достаточно сложной. Конечно, функционал FEMAP по геометрическому моделированию значительно уступает по возможностям соответствующему функционалу в CAD системах, но здесь следует учитывать, что для инженерного анализа конструкторская геометрия как правило избыточна и требует некоторой идеализации для корректного определения конечно-элементных сеток. Поэтому предусмотренный в FEMAP геометрический функционал рассчитан именно на построение идеализированных моделей.

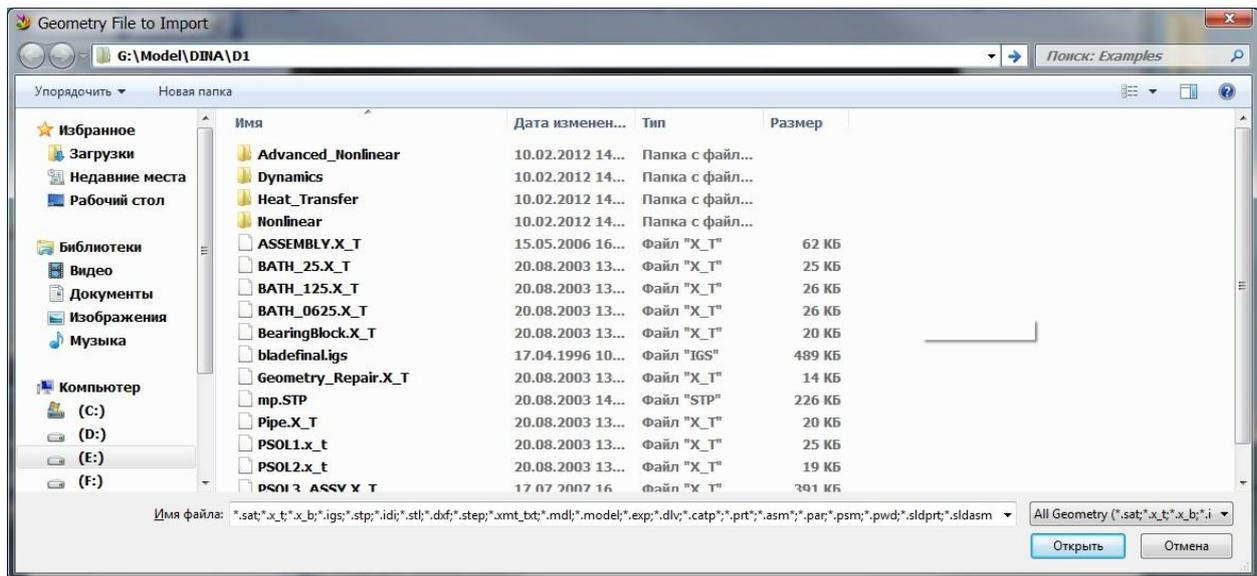


Рис.1. Импорт геометрии в нейтральных форматах

Что же у NX Advanced Simulation в плане работы с геометрией? Здесь все просто, модуль NX Advanced Simulation не что иное как CAE составляющая "тяжелой" системы автоматизированного проектирования NX. Поэтому в любой момент можно перейти в CAD модуль системы и получить в распоряжение весь необходимый геометрический функционал, который, как известно, много шире чем в CAD системах "легких" линеек.

## 2 Работа с сетками конечных элементов

И система FEMAP, и NX Advanced Simulation имеют возможность генерировать конечно-элементные сетки различной топологии на основе геометрии или без неё. Это и объемные сетки на основе тетраэдров или гексаэдров, это и плоские сетки на основе треугольников или четырехугольников, это и балочные сетки. Поддерживаются конечные элементы разных порядков. Имеется возможность использовать специальные конечные элементы. В Femap и в NX Advanced Simulation предусмотрена возможность моделирования практически всех типов материалов. Материалы: изотропные, ортотропные, анизотропные. Нелинейные упругие, би-линейные и пластичные. Упрочнение: изотропное или кинематическое. Допускается задавать зависимости характеристик материала от температуры и т.п.

Алгоритмы сеточной генерации в FEMAP и NX Advanced Simulation принципиальной разницы не имеют. Единственное различие - это поддержка в NX Advanced Simulation ассоциативности конечно-элементной сетки и геометрии, на основе которой и сгенерированная данная сетка. Полной ассоциативной связи с возможностью автоматизированного обновления конечно-элементной модели при изменении геометрии (как это есть в NX Advanced Simulation) в Femap нет и не будет. И это сделано не просто так, дело в том, что система FEMAP предназначена для решения тех задач, где не требуется подобных ассоциативных связей.

Действительно существуют задачи, для которых ассоциативная связь конечно-элементной сетки и геометрии не просто не нужна, а скорее даже вредна. Например, если требуется рассчитать прочность ферменной конструкции, то в конечно-элементной постановке, как правило, используются балочные конечные элементы для моделирования расчетной схемы пространственной рамы. Естественно для генерации балочных сеток наиболее удобна идеализированная модель фермы в виде рамной схемы, которая кардинально отличается от 3D модели фермы построенной в CAD системе. Поэтому, в данном случае, гораздо быстрее построить расчетную схему без использования CAD модели и без каких либо ассоциативных связей между конечными элементами и геометрией.

И еще один пример. Если требуется рассчитать достаточно простую модель, а это балки, пластины и т.п., то такую расчетную модель в FEMAP построить намного быстрее и дешевле во всех смыслах, нежели использовать "тяжелый" NX. Действительно, зачем из пушки стрелять по воробьям?

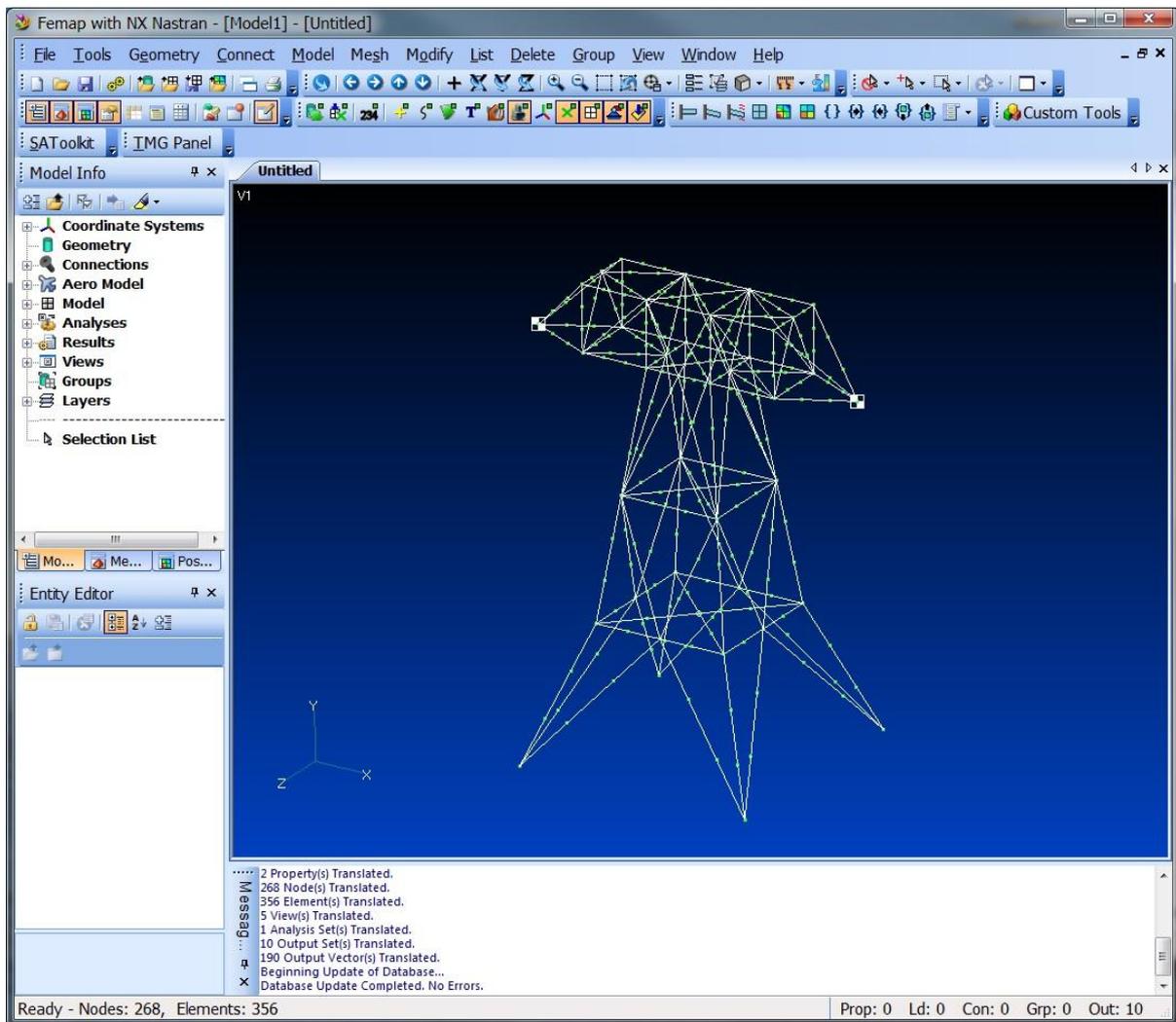


Рис.2. Рамная схема с применением балочных и специальных конечных элементов

Для построения конечно-элементных сеток без использования геометрии в FEMAP предусмотрен специальный функционал. Указанный функционал эффективен для быстрого конечно-элементного моделирования простых конструкций или конструкций, составные части которых унифицированы. Следует заметить, что в старшие версии NX этот функционал перешел именно из FEMAP, но при этом в стандартных CAE шаблонах NX этот набор инструментов скрыт.

FEMAP, также как и NX Advanced Simulation, позволяет создавать конечно-элементные модели на основе 3D сборок. Технологии создания конечно-элементных моделей 3D сборок в обоих программных продуктах во многом схожи. Это, как правило, применение сеток из тетраэдров второго порядка и условий контактного взаимодействия или контактных конечных элементов в местах соприкосновения деталей.

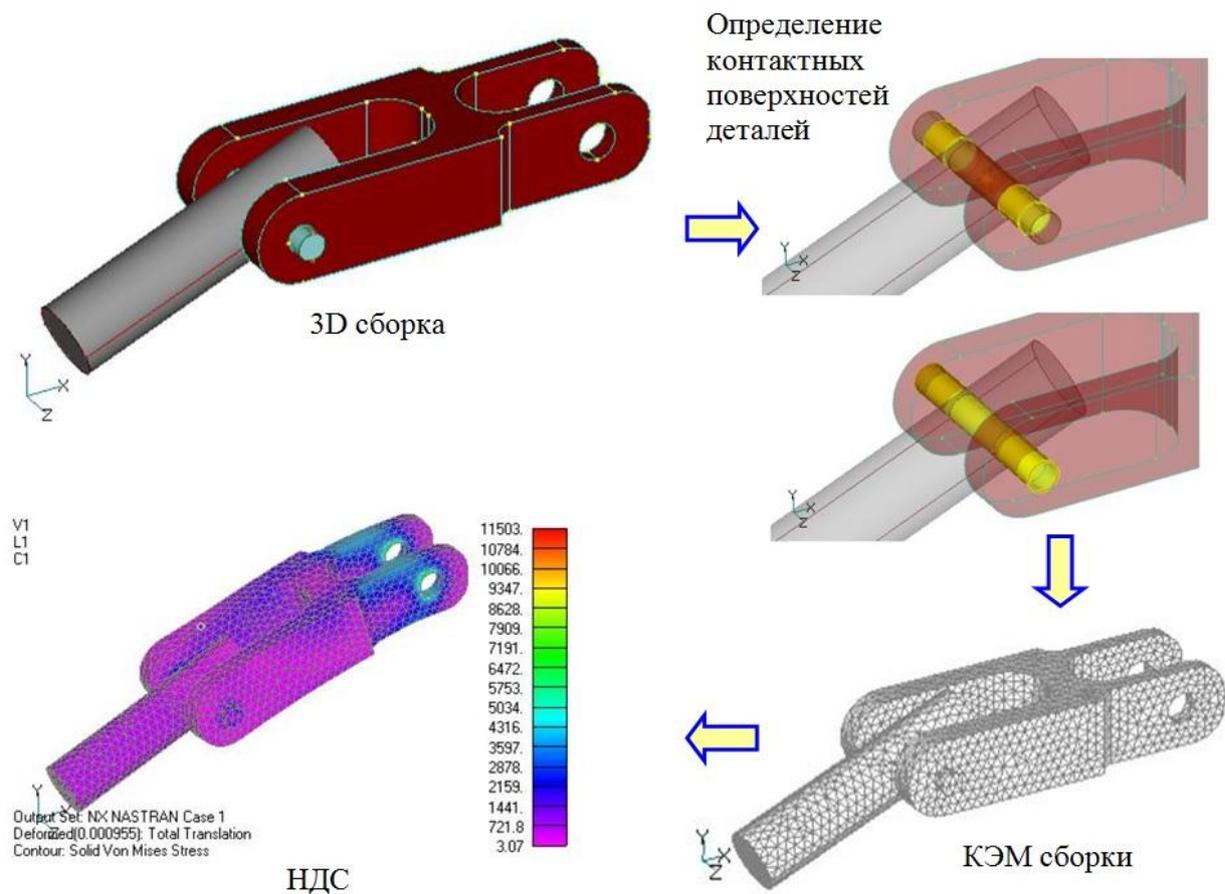


Рис.3. Создание конечно-элементной модели на основе 3D сборки

FEMAP и NX – открытые системы, имеющие некий набор инструментов: для исполнения одних и тех же действий, написания подпрограмм, макросов для автоматизации САЕ процессов, составления собственных наборов интерфейса. В среде FEMAP программирование построено с применением API функций и подход к построению собственных приложений аналогичен подходу по созданию макросов в Microsoft Office. В NX процесс создания собственных приложений-настроек более сложен и требует не только профессиональных программистов, но и наличие специальной лицензии на NX Open.

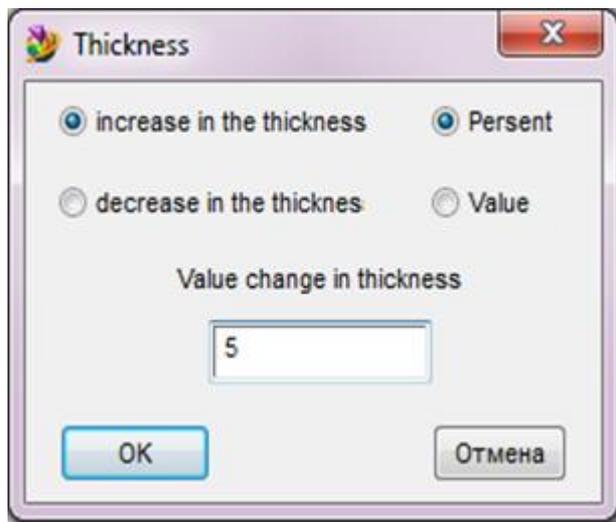


Рис.4. Диалоговое окно программы пользователя

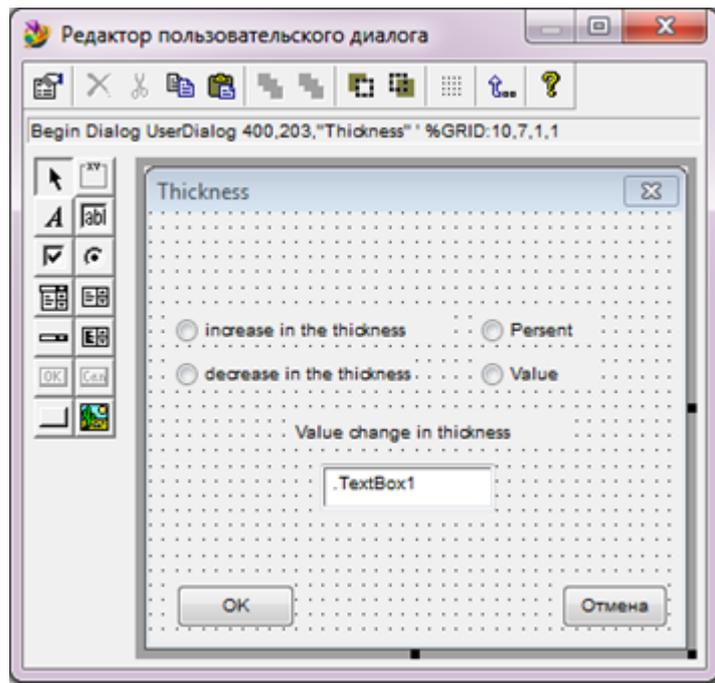


Рис.5. Создание диалогового окна с применением FEMAP API

И еще немного об интерфейсе FEMAP касательно работы с сетками конечных элементов. В FEMAP в отличие от NX Advanced Simulation интерфейс англоязычный и построен на терминах и подходах, применяемых в большинстве коммерческих CAE систем (MSC Nastran, LS-DYNA, Ansys, Abagus). Таким образом, если Вы работали в какой-то другой коммерческой CAE системе, то Вы очень быстро и без особого труда освоите FEMAP.

### 3 Прочностные расчеты

Система FEMAP на базе решателя NX Nastran позволяет проводить анализ прочности конструкций в статической и динамической постановках, получать решение связанных многодисциплинарных задач, нестационарных нелинейных пространственных задач, задач механики композитов и композитных структур, строительной и технологической механики, проводить анализ теплопереноса. В основу NX Advanced Simulation кроме возможностей решателя NX Nastran легли решения, пришедшие из системы I-DEAS – это решатели Master FEM, Laminate Composites, Advanced Durability, разрабатываемые с 1967 года компанией SDRC и принадлежащие на сегодняшний день компании Siemens PLM Software. Именно возможность выхода на решения от системы I-DEAS отличают пред-постпроцессор NX Advanced Simulation от FEMAP.

### 4 Расчеты тепломассопереноса и моделирование гидрогазодинамических процессов

Расчеты тепломассопереноса в FEMAP проводятся в стационарной постановке, методом конечных элементов с применением решателя NX Nastran. Дополнительно к пред-постпроцессору FEMAP можно подключить специализированный тепловой модуль TMG. Указанный модуль позволяет проводить исследование установившихся и неуставившихся процессов тепломассопереноса и моделирование гидрогазодинамических процессов с применением методов конечных разностей и конечных объемов.

Решатель TMG – пришедший из системы I-DEAS решатель, с 1983 года разрабатываемый компанией Maya Heat Transfer Technologies и впоследствии вошедший в программные продукты Siemens PLM Software.

В FEMAP модуль TMG вошел в том же виде как и присутствовал в системе I-DEAS, без каких либо принципиальных изменений. В этом плане пользователи I-DEAS без особого труда и без потери своих ранних наработок переходят работать в FEMAP.

В NX Advanced Simulation решение TMG трансформировалось в набор решателей NX Thermal/Flow, NX ESC и др. Изменился интерфейс пользователя (он стал в стиле системы NX), и значительным образом расширился функционал. Формально это уже не TMG, а набор принципиально новых решателей для моделирования тепломассопереноса и гидрогазодинамических процессов, сопоставимых по возможностям с ANSYS Professional, ANSYS Fluent.

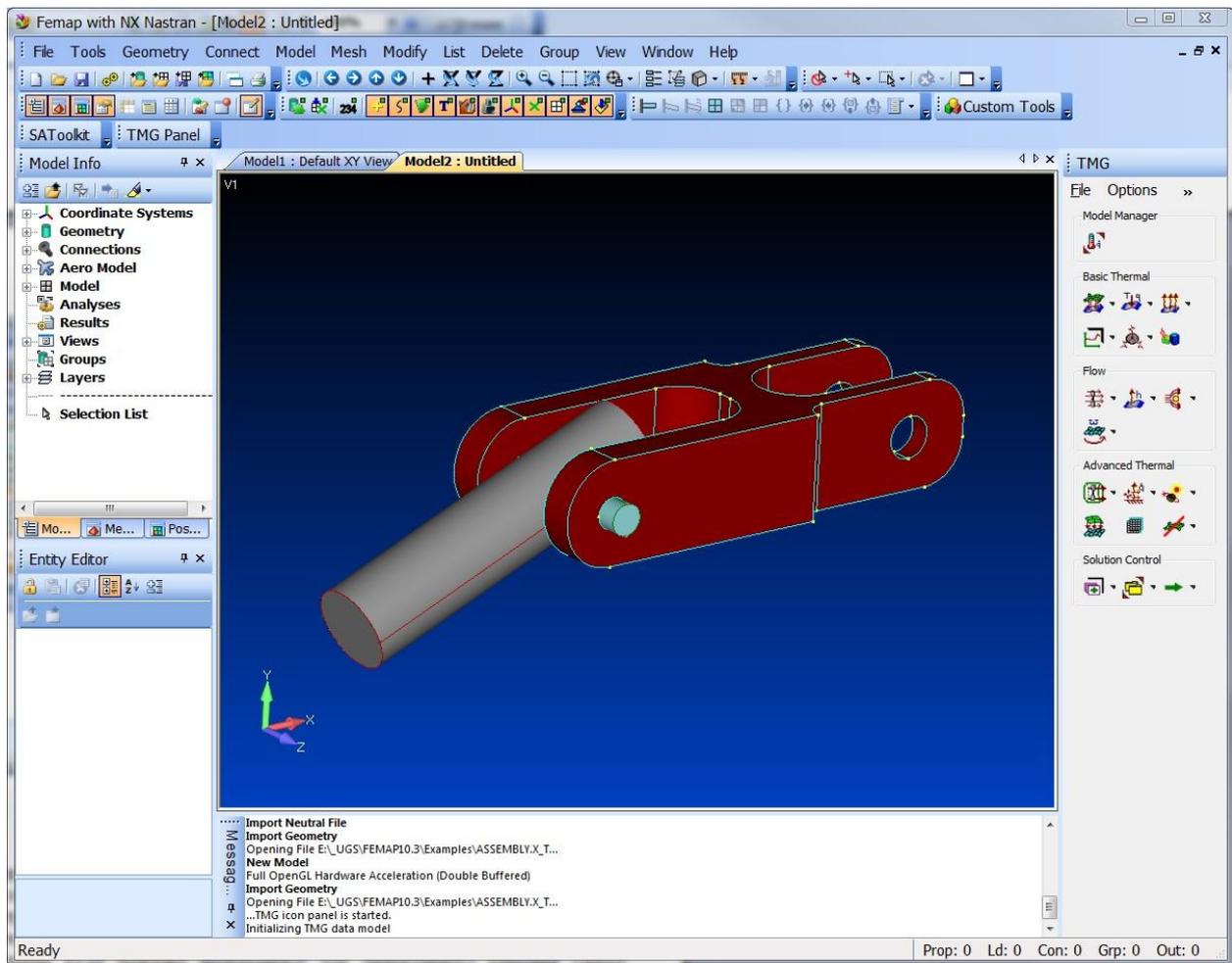


Рис.6. Панель TMG в интерфейсе FEMAP

#### Заключение.

С учетом возможностей по сеточному моделированию и встроенных решателей NX Nastran и TMG система FEMAP является независимой полнофункциональной средой для моделирования, имитации и оценки результатов анализа характеристик изделий. Ни о какой архаичности FEMAP речи идти не может, скорее это специализированное CAE приложение от Siemens PLM Software, необходимое для эффективного решения строго определенного класса задач.

## ВИРТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СЕНСОРА ОПТИЧЕСКОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ УПРАВЛЯЮЩИХ ПРОГРАММ

**Осипович Д.А.**

ПНИПУ, г.Пермь

Организация сквозного автоматизированного управления всем стадиями жизненного цикла продукции является одной и первостепенных задач для обеспечения конкурентоспособности производства. Поэтому требуется включать в виртуальную мастер-модель изделия, используемую на всех стадиях жизненного цикла, не только технологическое описание процессов механической обработки, но также процессов измерения и контроля. Причем не только в виде результатов измерений отдельных экземпляров изготовленных деталей и узлов, но при разработке контрольных операций. Для обеспечения качества разрабатываемых процессов требуется использовать адекватные модели используемого при проведении измерений оборудования [1]. А для организации автоматизированного позиционирования рабочих частей измерительного оборудования – адекватные алгоритмы преобразования трехмерной геометрии модели в команды для привода.

Технология оптической оцифровки с использованием системы, состоящей из проектора и двух предварительно ориентированных фотокамер с общей точкой фокусировки, является одной из самых производительных по объему данных среди методов бесконтактных измерений. При этом качество получаемых моделей и время, необходимое для получения модели полной поверхности, существенно зависит от взаимного положения сенсора измерительной системы и объекта измерения в процессе оцифровки. В первую очередь это связано с возможностью перекрытия целевой области другими элементами объекта измерений, приспособления или самого сенсора. Поэтому задача виртуального моделирования процесса оцифровки является актуальной. Полученные в результате моделирования относительные координаты и углы поворота сенсора необходимо воспроизводить с высокой точностью при реализации разработанного процесса. При этом для выполнения роботизированного позиционирования пространственные координаты положения и ориентации сенсора, определенные относительно точки фокуса на поверхности измеряемого объекта, необходимо преобразовать в обобщенную абсолютную систему координат.

При разработке геометрической модели измерительной системы для виртуальной отладки разрабатываемых процессов оцифровки с последующим преобразованием результатов в управляющую программу необходимо в первую очередь расположить несколько систем координат (СК) [2], определяющих положения узлов установки и функции связи между ними (Рисунок 1).

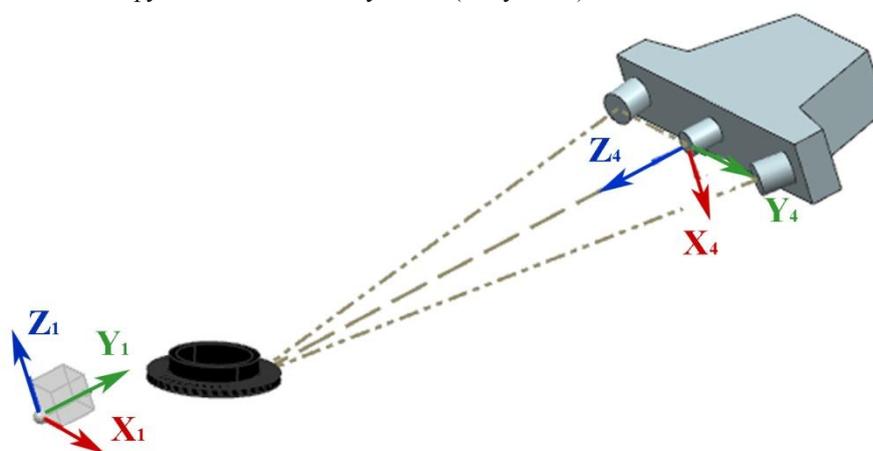


Рис. 1. Расположение СК ключевых узлов в виртуальной модели измерительной системы.

СК1 – абсолютная система координат, связанная с абсолютным нулем измерительной системы, относительно которого выполняется программирование перемещений сенсора. Направление осей абсолютной системы координат определяется согласно документации на используемое оборудование и не изменяется в процессе выполнения оцифровки.

СК4 – рабочая система координат сенсора, связанная с сенсором в рабочем положении. Это положение рассчитывается в результате виртуального моделирования переходов оцифровки и определяется относительно измеряемой поверхности детали. Координаты начальной точки этой СК определяются положением точки привязки сенсора. Расположение осей определяется предварительно найденной оптимальной ориентацией базиса сенсора, при этом ось Z совпадает с осью проектора, ось Y с горизонтальной линией, соединяющей камеры.

Для удобства описания преобразования вводятся вспомогательные системы координат, получаемые смещением и поворотом двух исходных.

СК2 - Смещенная СК, определяющая положение сенсора в рабочей точке около измеряемого объекта. Оси направлены параллельно осям СК1, а начальная точка совпадает с начальной точкой СК4 (Рисунок 2а).

Преобразование координат точек из СК2 в СК1 выполняется путем только линейного смещения.

$$T_1^2 = \begin{bmatrix} I & Q_1^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где I - единичная матрица;

$Q_1^2 = [q_x q_y q_z]$  - вектор линейного переноса, состоящий из координат начальной точки СК2, определенных относительно СК1.

СК3 - СК, определяющая углы наклона и поворота сенсора в исходном положении. Начало совпадает с началом СК2. Ось Z совпадает с осью проектора, ось Y с горизонтальной осью, соединяющей камеры в исходном положении (Рисунок 2б).

Преобразование координат точек из СК3 в СК2 выполняется путем только поворота, т.к. их начальные точки совпадают.

$$T_2^3 = \begin{bmatrix} R_2^3 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

где  $R_2^3 = \begin{bmatrix} l_x l_y l_z \\ m_x m_y m_z \\ n_x n_y n_z \end{bmatrix}$  -матрица переноса, состоящая из векторов осей  $X_3, Y_3, Z_3$ , определенных

относительно СК2.

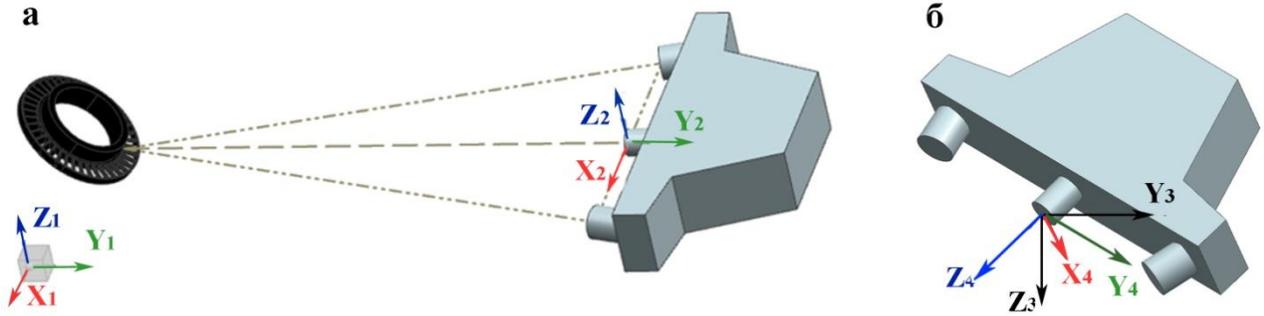


Рис.2. Определение вспомогательных систем координат для преобразования: а – СК2 относительно СК1, б – СК3 относительно СК4.

Начало СК3 также совпадает с началом СК4, описывающей положение сенсора в процессе моделирование измерений. Переход между этими системами координат осуществляется путем вращения и наклона корпуса сенсора с закрепленными осями системы при переходе от исходного положения сенсора к рабочему.

Преобразование координат точек из СК4 в СК3 выполняется путем только поворота, т.к. их начальные точки совпадают.

$$T_3^4 = \begin{bmatrix} R_3^4 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix},$$

где  $R_3^4 = \begin{bmatrix} l'_x l'_y l'_z \\ m'_x m'_y m'_z \\ n'_x n'_y n'_z \end{bmatrix}$  -матрица переноса, состоящая из векторов осей  $X_4, Y_4, Z_4$ , определенных

относительно СК3.

Для определения этих векторов используются углы поворота сенсора в рабочем положении относительно исходного:

$\theta_A$  - угол наклона относительно оси X,

$\theta_B$  - угол поворота вокруг оси Z,

$$R_3^4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_B \cos\theta_A & -\sin\theta_B \sin\theta_A \cos\theta_B \\ \sin\theta_B \cos\theta_A & \cos\theta_B & 0 \\ -\sin\theta_A \sin\theta_B \sin\theta_A & \cos\theta_A \end{bmatrix}$$

Таким образом, путем последовательного преобразования координат рабочего положения и ориентации сенсора относительно измеряемого объекта можно получить значения управляющих параметров для выполнения роботизированного позиционирования. Результирующее уравнение для преобразования координат рабочего повернутого положения сенсора относительно абсолютной СК формулируется следующим образом:

$$P_1 = T_1^2 \cdot T_2^3 \cdot T_3^4 \cdot P_4 = \begin{bmatrix} R_2^3 \cdot R_3^4 & Q_1^2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot P_4,$$

где  $P_1$  и  $P_4$  – координаты точки фокусировки сенсора оптической измерительной системы на поверхности объекта измерения относительно абсолютной и сенсорной СК, представленные в векторной форме.

Основным отличием разрабатываемой модели от модели, приведенной в [2] является необходимость учета дополнительных степеней свободы, связанных с наклоном и поворотом базиса измерительной системы относительно нормали к целевой поверхности измеряемого объекта, поскольку при использовании оптической технологии важно корректно оценивать область перекрытия участков, одновременно фиксируемых камерами.

Таким образом, разработанная модель оптической измерительной системы позволяет повысить эффективность проектирования операций бесконтактных измерения и контроля за счет детального учета особенностей объекта измерения. А полученные соотношения для преобразования координат выбранного оптимального положения сенсора относительно измеряемой детали являются основой для разработки управляющих программ роботизированного позиционирования сенсора.

#### **Список литературы**

1. Lin A. C. Automatic 3D measuring system for optical scanning of axial fan blades / A. C. Lin, C. Hui-Chin // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2011. - №57 - P.701-717.
2. Zexiao X. Modeling and verification of a five-axis laser scanning system / X. Zexiao, Z. Chengguo, Z. Qiumei, Z. Guoxiong // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - 2005. - №26 - P.391-398.

## **СЕКЦИЯ №2.**

### **ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.00)**

#### **АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕРРИТОРИАЛЬНО РАСПРЕДЕЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛИЗАЦИИ**

**Еременко В.Т., Борисов О.М.**

ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», г.Орел

В настоящее время информационные технологии (ИТ) во всем мире развиваются ускоренными темпами. Одним из передовых и перспективных направлений развития ИТ является технология виртуализации. Под виртуализацией понимается предоставление набора вычислительных ресурсов или их логического объединения, абстрагированное от аппаратной реализации, и обеспечивающее при этом логическую изоляцию вычислительных процессов, выполняемых на одном физическом ресурсе.

Виртуализация подразделяется на виртуализацию платформ и виртуализацию ресурсов. Виртуализация платформ представляет собой создание программных систем на базе реального аппаратно-программного комплекса. Виртуализация ресурсов представляет собой комбинирование или упрощение аппаратных ресурсов для пользователя и получение пользовательских абстракций оборудования [1].

Установлено, что аппаратное обеспечение содержит специальное ПО, которое называется гипервизором. Отметим, что его основной задачей является обеспечение взаимодействия виртуальной машины с аппаратными ресурсами путем предоставления виртуальной машине минимально необходимого набора аппаратных ресурсов.

Выявлено, что каждый экземпляр виртуальной машины содержит свою операционную систему и набор прикладного ПО. Необходимо упомянуть, что система, которая представляет свои аппаратные и программные ресурсы, называется хостовой. Система, которая выполняется на базе хостовой системы, называется гостевой.

Структурная схема виртуализации представлена на Рисунке 1.



Рис.1. Структурная схема виртуализации

К основным типам виртуализации относятся [2]:

1. Виртуализация операционной системы - представляет собой совмещение нескольких операционных систем, функционирующих на одной аппаратной основе.

2. Виртуализация серверов приложений - процесс интеллектуальной балансировки нагрузки. Отметим, что балансировщик нагрузки управляет несколькими серверами и приложениями, как единой системой, при этом, для пользователя система представляется единым сервером.

3. Виртуализация приложений - использование программного обеспечения в рамках изолированной виртуальной среды.

4. Виртуализация АСУ - представляет собой объединение аппаратных и программных ресурсов в единую виртуальную среду.

5. Виртуализация аппаратного обеспечения - разбиение компонент аппаратного обеспечения на сегменты, управляемые отдельно друг от друга.

Технологии виртуализации позволяют: оптимизировать использование вычислительных ресурсов; повысить масштабируемость и расширяемость инфраструктуры АСУ ТРП с минимальным простоем оборудования и отсутствием за счет этого сбоев; повысить отказоустойчивость АСУ за счет быстрого перераспределения виртуального ресурса.

1. Экономия физических ресурсов - использование одного физического сервера вместо нескольких позволяет эффективно экономить электроэнергию, место в серверной, затраты на сопутствующую инфраструктуру, что ведет к сокращению расходов.

2. Повышение масштабируемости и расширяемости инфраструктуры – возможность модернизации аппаратных ресурсов с минимальным простоем оборудования и отсутствием сбоев в результате этого процесса.

3. Повышение отказоустойчивости - при отказе хостовой системы, все гостевые системы быстро и без проблем переносятся на исправную систему. При этом различия в аппаратной части хостовой системы не играют никакой роли.

Учитывая тот факт, что виртуализация является сводом технологий, то, очевидно, существует множество различных типов технологий построения виртуальной среды (ВС) АСУ ТРП, при этом, каждый тип имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому, возникает необходимость выбора технологии виртуализации, которая наиболее эффективно сможет использовать вычислительные ресурсы АСУ ТРП.

Установлено, что наиболее универсальным методом организации ВС является применение технологии туннелирования, которая применяется для передачи потока данных оперативно-диспетчерского управления (ОПД)ВС АСУ ТРП по каналам передачи данных (КПД) АСУ ТРП. Это происходит путем инкапсуляции потока данных ОПДАСУ ТРП в поток данных ОПД ВС АСУ ТРП. Образованный туннель представляет собой виртуальный сквозной канал, который имеет одну точку входа (начальная точка) и одну или несколько выходов (конечных точек). Этими точками являются различное оборудование, имеющее специальное аппаратное и программное обеспечение, совместимое с выбранными технологиями построения туннеля ВС АСУ ТРП.

Основной задачей, решаемой туннелем является обеспечение конфиденциальности передаваемых данных, поэтому, никто, кроме адресата, не сможет расшифровать передаваемый пакет. Обычно, в ВС АСУ ТРП шифрование и туннелирование организуется на канальном и сетевом уровнях модели OSI. Поэтому, различают

ВС канального уровня (L2VPN) и ВС сетевого уровня (L3VPN). Выявлено, что ВС канального уровня совершенно прозрачна для технологий более высоких уровней, поэтому поток данных ОПД передается без каких-либо изменений. Недостатком ВС канального уровня является необходимость использования одного и того же протокола канального уровня всем оборудованием, что не всегда представляется возможным. ВС сетевого уровня управляют маршрутизацией потока данных ОПД, что позволяет использовать больше возможностей технологий виртуализации [2].

Анализ показал, что основными технологиями виртуализации для построения ВС являются MPLS, IPsec, L2TP, PPTP и SSL. Рассмотрим достоинства и недостатки каждого из них.

Технология MPLS, представляет собой такой механизм передачи потока данных ОПД, который воспроизводит некоторые свойства ВС АСУ ТПП с коммутацией каналов поверх ВС АСУ ТПП с коммутацией пакетов, что позволяет ему при передаче потока данных ОПД, добавлять к нему специальную идентифицирующую метку. Отметим, что содержимое потока данных ОПД не анализируется во внутренних узлах ВС АСУ ТПП, которые поддерживают MPLS, что позволяет использовать MPLS в качестве механизма инкапсуляции специализированного потока данных, например, между сервером сбора первичных данных и удаленной базой данных в центре обработки данных. Основным преимуществом MPLS как туннельной технологии является возможность резервирования необходимых ресурсов ВС АСУ ТПП для определенного типа потока данных [3]. Недостатком технологии MPLS является высокая стоимость оборудования.

Технология IPsec представляет собой набор механизмов, основная цель которой заключается в обеспечении безопасности. Поэтому, в ней реализован полный набор инструментов для решения таких задач, как аутентификация, шифрование и защита от повторной передачи перехваченного потока данных ОПД.

IPsec основана на трех механизмах:

1. Authentication Header, который выполняет функцию обеспечения целостности передаваемого потока данных ОПД, предотвращение повторной передачи потока данных ОПД и аутентификацию источника информации.

2. Encapsulating Security Payload выполняет функцию шифрования передаваемого потока данных ОПД.

3. Internet Security Association and Key Management Protocol обеспечивает использование механизмов обмена ключами с помощью таких технологий, как Kerberized Internet Negotiation of Keys и Internet Key Exchange.

В работе технологии IPsec выделяют пять этапов [4]:

1. Создание политики безопасности на каждом узле IPsec. Происходит определение используемых алгоритмов и параметров шифрования, а также определение потока данных ОПД, подлежащего шифрованию.

2. Запуск механизма, который обеспечивает первоначальную аутентификацию сторон, а также обмен общими секретными ключами.

3. После формирования безопасного ККД между сторонами, механизм IKE создает IPsec туннель.

4. Происходит передача потока данных ОПД между узлами через IPsec-туннели.

К достоинствам этой технологии относится режим передачи потока данных ОПД без предварительного соединения, что позволяет экономить вычислительные ресурсы оборудования. Отметим, что технология IPsec может использоваться в любой ВС как способ защиты передаваемой информации.

Технология L2TP представляет собой механизм туннелирования потока данных ОПД канального уровня с помощью сетевого уровня. Его главным достоинством является возможность создавать туннель в различных АСУ ТПП. Необходимо отметить, что конечными точками сформированного L2TP-туннеля служат два устройства, это концентратор доступа L2TP и сервер L2TP. Отметим, что поток данных может передаваться в обоих направлениях сформированного туннеля [2]. Технология L2TP наиболее часто используется для организации ВС канального уровня. Отметим, что описанный механизм не имеет никаких средств безопасности передаваемого потока данных ОПД, поэтому его необходимо комбинировать с другими технологиями, например с IPsec.

Технология PPTP представляет собой туннельный механизм типа точка-точка, который устанавливает защищенное соединение с вычислительным оборудованием за счёт создания специального туннеля. Он позволяет инкапсулировать поток данных ОПД и передавать их через ВС. К достоинствам этой технологии относится широкая поддержка механизма разнообразными устройствами. В этом протоколе имеется ряд уязвимостей, поэтому использовать его при проектировании новых ВС не рекомендуется.

Технология SSL позволяет создать защищенное соединение между двумя вычислительными ресурсами, используя защиту данных с открытым ключом в качестве способа подтверждения подлинности отправителя и получателя, а также использует корректирующие коды и безопасные хэш-функции для обеспечения надёжности передаваемого потока данных ОПД. Безопасность соединения обеспечивается за счёт аутентификации и защиты данных. Для защиты данных используются такие алгоритмы, как RC4, MD5 и RSA. К достоинствам технологии SSL можно отнести высокую безопасность передаваемого потока данных ОПД. Существует открытая библиотека

OpenSSL, на основании которой разработана технология с открытым исходным кодом - OpenVPN. Она использует механизмы SSLv3/TLSv1, а также ряд других технологий для построения высокозащищенной ВС. Основным достоинством OpenVPN является гибкость в настройке. OpenSSL имеет поддержку шифрования с множеством различных криптографических алгоритмов (например, Camelia, 3DES, AES, Blowfish, CAST-128 и другие). Технология AES является передовой технологией, использующей 128-битный размер блока, благодаря чему увеличивается скорость шифрования больших массивов данных. Скорость работы OpenVPN зависит от используемого алгоритма шифрования, но обычно она выше IPsec. К достоинствам этой технологии относятся возможность гибкой настройки, высокий уровень защиты передаваемых данных, возможность использования широкого спектра алгоритмов шифрования.

Необходимо отметить, что применение технологии виртуализации связано с рядом проблем, таких как решение вопросов совместимости и поддержки различных механизмов аппаратным обеспечением АСУ ТПП, учет расходов мощностей на осуществление виртуализации и саму архитектуру ВС АСУ ТПП в целом. В процессе реализации ВС АСУ ТПП приходится сталкиваться с ситуациями, когда средства виртуализации не позволяют прикладному ПО или информационным системам работать с некоторыми устройствами. Выявлено, что причиной служит тот факт, что промежуточный уровень представления данных вносит определенные затруднения в работу некоторого ПО. Это означает, что использование виртуализации требует подготовки и тщательного тестирования АСУ ТПП с целью обеспечения полноценной работы и функциональности тестируемого решения.

Установлено, что основной целью виртуализации является оптимизация использования аппаратного обеспечения. Поэтому, персонал должен следить за нагрузкой на виртуальные компоненты (ВК) и при необходимости перераспределять вычислительные ресурсы между ними или сами виртуальные компоненты перемещать между аппаратными платформами. Таким образом, при настройке виртуальных компонентов необходимо применять специальные средства определения загруженности, помогающие устанавливать оптимальный баланс нагрузки.

Анализ показал, что при всех преимуществах технологии виртуализации, она имеет один существенный недостаток - понижение общей живучести ВС АСУ ТПП. Это объясняется тем, что наряду с отказами, связанными с аппаратным обеспечением, добавляются отказы, связанные с программным обеспечением. Это приводит к увеличению отказов в работе ВС АСУ ТПП. Поэтому, применение технологии виртуализации, должно сопровождаться мерами по повышению живучести ВС АСУ ТПП.

Отметим, что решение задачи обеспечения живучести стандартным подходом, путем абсолютно полного резервирования всех вычислительных ресурсов АСУ ТПП, является малоэффективным так, как ведет к многократному увеличению затрат на построение и обслуживание АСУ ТПП.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что применение технологий виртуализации с использованием механизмов SSL, L2TP и IPSec позволяет повысить эффективность использования вычислительных ресурсов АСУ ТПП, снизить затраты на сопровождение имеющейся инфраструктуры АСУ ТПП и повысить гибкость системы в целом.

Установлено, что использование технологии виртуализации порождает задачу повышения живучести ВС АСУ ТПП. Необходимо упомянуть, что эффективность повышения живучести ВС АСУ ТПП выше эффективности повышения живучести АСУ ТПП. Это связано с совместным использованием одного и того же вычислительного ресурса ВС для повышения живучести различных виртуальных компонентов (ВК) АСУ ТПП, что позволяет сократить дополнительную резервируемую полосу пропускания, а значит и затраты на обслуживание АСУ ТПП.

#### Список литературы

1. Базовые сервисы технологии MPLS [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.justadmin.ru/cisco/bazovie\\_servisi\\_tekhnologii\\_mpls](http://www.justadmin.ru/cisco/bazovie_servisi_tekhnologii_mpls). Дата обращения: 29.10.2014.
2. Виртуализация [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.ixbt.com/cm/virtualization.shtml>. Дата обращения: 29.10.2014.
3. Еременко В.Т. Математическое моделирование беспроводного сегмента вычислительной сети АСУ ПП. / В.Т. Еременко, Д.В. Анисимов, Т.М. Парамохина, А.А. Лякишев// Информационные системы и технологии. – 2013, № 3. – С.67 – 72.
4. Еременко, В.Т. Идентификация моделей дискретных линейных систем с переменными, медленно изменяющимися параметрами./ В.Т. Еременко // Радиотехника и электроника. – 2010, №1. Том 55. – С. 1-10.
5. Еременко, В.Т. Моделирование информационных потоков в сетях передачи данных интегрированных АСУ / С.И. Афонин, В.Т. Еременко, Т.М. Парамохина, Л.В. Кузьмина, Д.А. Плащенков // Информационные системы и технологии. – 2011, № 6 – С. 35 – 42.

6. Еременко, В.Т. Методы решения задач распределения информационных потоков в сетях передачи данных предприятия на основе резервирования ресурсов. / С.И. Афонин, В. Т. Еременко, Л.В. Кузьмина, и др. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 1 – С.78 – 84.
7. IPSec Overview Part One: General IPSec Standards [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=25470>. Дата обращения: 29.10.2014.
8. VPN. Обзор технологий [Электронный ресурс] - Режим доступа: [http://www.justadmin.ru/cisco/vpn\\_obzor\\_tekhnologii](http://www.justadmin.ru/cisco/vpn_obzor_tekhnologii). Дата обращения: 29.10.2014.

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ И ТРЕКЕРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТА

**Меерович В.Д.**

РГУПС, г.Ростов-на-Дону

Введение. В настоящее время при решении навигационной задачи подвижных объектов на основе спутниковых измерений используются или различные модификации метода наименьших квадратов (МНК), или разнообразные варианты фильтра Калмана [2,3]. МНК используется для определения решения на текущий момент времени (мгновенное позиционирование), а фильтр Калмана – для сглаживания траектории движения и устранения «выбросов» координат относительно оцениваемой траектории движения.

Точность определения параметров движения объекта при использовании последнего оказывается выше, чем в МНК, но требует обязательного знания уравнений движения каждого конкретного объекта. Это принципиально затрудняет использование существующих калмановских навигационных алгоритмов в подавляющем большинстве подвижных объектов, когда неизвестны ни траектория движения, ни вид физической модели, ни характер действующих на объект возмущений и т.д. В то же время, очевидно, что применение методов динамической нелинейной фильтрации для обработки спутниковых измерений в самом общем случае их использования позволит значительно повысить точность определения навигационных параметров в силу ухода от различных упрощающих допущений (дополнительной информации об объекте, о помехах и т.п.), используемых в существующих алгоритмах спутниковой навигации.

1. Постановка задачи. Проанализируем принципиальную возможность построения универсальных алгоритмов динамического нелинейного стохастического оценивания навигационных параметров по спутниковым измерениям для любых подвижных объектов. Формируемые при этом алгоритмы фильтрации должны быть инвариантны к виду физической модели объекта, изменению во времени параметров его движения, характеру возмущений и пр. и не зависеть от вида используемого режима спутниковых измерений. Для подобного построения данных алгоритмов рассмотрим возможность использования кодовых и доплеровских измерений спутниковых навигационных систем (СНС). При этом решение поставленной задачи рассмотрим для СНС с высокой частотой поступления навигационных сообщений, позволяющей считать характер спутниковых измерений по отношению к динамике изменения навигационных параметров объекта непрерывным. (В настоящее время частота приема спутниковых сообщений в навигационных приемниках Topcon (ранее Javad), Trimble уже составляет 100 Гц с дальнейшей тенденцией к ее увеличению [5].)

В наиболее общем случае информационный сигнал доплеровских измерений (псевдоскорость)  $Z_V$  может быть представлен следующим образом [2,3]:

$$Z_V = [(\xi_c - \xi)(V_{\xi_c} - V_{\xi}) + (\eta_c - \eta)(V_{\eta_c} - V_{\eta}) + (\zeta_c - \zeta)(V_{\zeta_c} - V_{\zeta})] \times \\ \times (\sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2})^{-1} + W_{Z_V}, \quad (1)$$

где  $\xi_c, \eta_c, \zeta_c$  – известные координаты спутника в гринвичской СК (ГСК),  $\xi, \eta, \zeta$  – текущие координаты объекта в ГСК,  $V_{\xi_c}, V_{\eta_c}, V_{\zeta_c}$  – известные проекции вектора скорости спутника на оси ГСК,  $V_{\xi}, V_{\eta}, V_{\zeta}$  – проекции вектора скорости объекта на оси ГСК,  $W_{Z_V}$  – стохастическая марковская помеха, обусловленная различными погрешностями измерения.

Очевидно, что сигналы доплеровских измерений несут информацию как о текущих координатах объекта, так и о его скорости, т.е. могут быть непосредственно использованы при синтезе алгоритмов фильтрации навигационных параметров.

При последующем использовании спутниковых измерений полагаем также, что еще для объекта существует возможность приема т.н. трекерных измерений - сигналов псевдоскорости и псевдодалности от базовой станции до объекта, передаваемых с базовой станции на объект [1]. В связи с этим, сформулируем поставленную задачу как задачу синтеза динамических алгоритмов нелинейного оценивания навигационных параметров подвижных объектов, инвариантных к их виду и характеру движения, на основе комплексирования спутниковых и трекерных измерений.

2. Инвариантная непрерывная модель изменения навигационных параметров объекта.

Для возможности теоретически строгого решения задачи апостериорного оценивания вектора состояния объекта необходимо, прежде всего, иметь его уравнения состояния, записанные в стохастической дифференциальной форме Ланжевена (причем, в соответствии с вышеизложенным, - инвариантные к виду физической модели объекта, характеру его движения и виду действующих на него возмущений). Для решения этой задачи рассмотрим уравнение (1). Относительно вектора скорости объекта его можно переписать в виде:

$$\begin{aligned} [(\xi_c - \xi)V_{\xi_c} + (\eta_c - \eta)V_{\eta_c} + (\zeta_c - \zeta)V_{\zeta_c}] - \sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2} (Z_V - W_{Z_V}) = \\ = (\xi_c - \xi)V_{\xi} + (\eta_c - \eta)V_{\eta} + (\zeta_c - \zeta)V_{\zeta}, \end{aligned}$$

или в векторной форме:

$$(\varepsilon_c - \varepsilon)^T V_c - [(\varepsilon_c - \varepsilon)^T (\varepsilon_c - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_V - W_{Z_V}) = (\varepsilon_c - \varepsilon)^T V, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_c = \begin{vmatrix} \xi_c & \eta_c & \zeta_c \end{vmatrix}^T$ ,  $\varepsilon = \begin{vmatrix} \xi & \eta & \zeta \end{vmatrix}^T$ .

Очевидно, что для определения всех компонентов вектора скорости объекта  $V = \dot{\varepsilon}$  приведенного уравнения, полученного по доплеровским измерениям одного спутника, недостаточно. Для формирования недостающих уравнений предварительно введем следующие обозначения:  $\varepsilon_{c_i} = \begin{vmatrix} \xi_{c_i} & \eta_{c_i} & \zeta_{c_i} \end{vmatrix}^T$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,

вектор координат  $i$ -го спутника в ГСК,  $V_{c_i} = \begin{vmatrix} V_{\xi_{c_i}} & V_{\eta_{c_i}} & V_{\zeta_{c_i}} \end{vmatrix}^T$  - вектор скорости  $i$ -го спутника в ГСК,  $Z_{V_i}$  - сигнал доплеровских измерений  $i$ -го спутника,  $W_{Z_{V_i}}$  - погрешности доплеровских измерений  $i$ -го спутника.

Для возможности определения вектора скорости объекта  $V = \dot{\varepsilon}$  запишем систему уравнений, аналогичных (2), но построенных уже по доплеровским измерениям трех спутников:

$$\begin{aligned} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} - [(\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{V_1} - W_{Z_{V_1}}) &= (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}, \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} - [(\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{V_2} - W_{Z_{V_2}}) &= (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}, \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T V_{c_3} - [(\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{V_3} - W_{Z_{V_3}}) &= (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}. \end{aligned}$$

Обозначив далее для сокращения записи  $[(\varepsilon_{c_i} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_i} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} = \rho_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ ,

$$\rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) = \begin{vmatrix} \rho_1 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_3 \end{vmatrix}, \quad Z_{V_0} = \begin{vmatrix} Z_{V_1} \\ Z_{V_2} \\ Z_{V_3} \end{vmatrix}, \quad W_{Z_{V_0}} = \begin{vmatrix} W_{Z_{V_1}} \\ W_{Z_{V_2}} \\ W_{Z_{V_3}} \end{vmatrix},$$

запишем полученную систему уравнений в векторном виде:

$$\begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T V_{c_3} \end{pmatrix} - \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) Z_{V_0} + \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) W_{Z_{V_0}} = \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T \end{pmatrix} \dot{\varepsilon}.$$

Данная система легко допускает разрешение относительно вектора скорости объекта  $V = \dot{\varepsilon}$  :

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon} &= \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T V_{c_3} \end{pmatrix} - \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) Z_{V_0} + \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) W_{Z_{V_0}} = \\ &= \Phi_\varepsilon(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) (\Xi(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, V_{c_1}, V_{c_2}, V_{c_3}, \varepsilon) - \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) Z_{V_0} + \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) W_{Z_{V_0}}), \\ &\quad \varepsilon_0 = \varepsilon(0), \end{aligned}$$

$$\text{где } \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T \end{pmatrix}^{-1} = \Phi(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) - \text{матрица, обратная матрице } \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T \end{pmatrix} \text{ (Приложение),}$$

$$\Xi(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, V_{c_1}, V_{c_2}, V_{c_3}, \varepsilon) = \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} \\ (\varepsilon_{c_3} - \varepsilon)^T V_{c_3} \end{pmatrix},$$

и с учетом стохастического характера вектора помехи  $W_{Z_{V_0}}$  должна быть дополнена его описанием соответствующей системой нелинейных стохастических уравнений:

$$\dot{W}_{Z_{V_0}} = \mathcal{G}(W_{Z_{V_0}}, t) + \nu,$$

где  $\mathcal{G}(W_{Z_{V_0}}, t)$  - известная нелинейная вектор-функция,  $\nu$  - центрированный белый гауссовский шум (БГШ) с известной матрицей интенсивностей  $D_\nu$ .

Окончательно приведенные уравнения состояния объекта в векторной форме Ланжевена могут быть записаны следующим образом:

$$\dot{Y} = F(Y, t) + F_1 \nu, \quad (3)$$

где  $Y = \left| \varepsilon^T W_{Z_{V_0}}^T \right|^T$ ,  $Y_0 = Y(0)$ ,  $F_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ E_3 \end{pmatrix}$ ,  $E_3$  - единичная матрица размерности 3,

$$F(Y, t) = \begin{pmatrix} \Phi_\varepsilon(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) (\Xi(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, V_{c_1}, V_{c_2}, V_{c_3}, \varepsilon) - \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) Z_{V_0} + \rho(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) W_{Z_{V_0}}) \\ \mathcal{G}(W_{Z_{V_0}}, t) \end{pmatrix}.$$

Принципиальными особенностями полученных уравнений (3) являются, во-первых, их общий характер (т.к. при их выводе не было сделано никаких упрощающих допущений о физической модели объекта, характере его движения и виде действующих на него возмущений), а во-вторых, возможность использования на их основе

методов нелинейной стохастической фильтрации, обеспечивающих оптимальность оценок навигационных переменных при обработке информации с СНС.

3. Уравнения наблюдения и оценки вектора состояния объекта. С целью использования данной возможности необходимо получить, следуя [3,4], уравнение наблюдателя за вектором  $Y$  (т.е. аналитическую модель сигнала, несущего информацию о компонентах вектора  $Y$ ). Для этого воспользуемся сигналами кодовых измерений  $Z_R$  (псевдодальностей), которые в общем виде могут быть записаны как:

$$Z_R = \sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2} + c(\Delta\tau - \Delta T) + W_H + W_T + W_R, \quad (4)$$

где  $C$  - номинальное значение скорости света в вакууме,  $\Delta\tau$  - погрешность часов приемника,

$\Delta T$  - погрешность часов спутника,  $W_H, W_T$  - погрешности, обусловленные прохождением радиосигнала через ионосферу и тропосферу,  $W_R$  - погрешности, включающие аппаратурные погрешности приемника объекта и передатчика спутника, погрешности многолучевости и случайные погрешности измерения.

Анализ наблюдателя (4) показывает, что сигналы измерения даже одного спутника явно зависят от всех координат объекта (обеспечивают их полное наблюдение), т.е. для теоретически строгого решения задачи апостериорного оценивания вектора координат объекта достаточно кодовых измерений дальностей, полученных от одного спутника. Но на практике при непосредственном использовании информационного сигнала (4) возникает проблема подавления всех вышеперечисленных помех данных измерений, мощность которых может существенно превосходить мощность полезного сигнала (истинной дальности). Для решения этой задачи в настоящее время используются различные алгоритмы компенсации погрешностей часов и погрешностей, обусловленных прохождением радиосигнала через атмосферу [2], а также применяется дифференциальный режим измерений по кодовым дальностям, реализуемый с помощью контрольного навигационного приёмника с известными географическими координатами – т.н. базовой станции. Но алгоритмы компенсации погрешностей, несмотря на усложнение навигационных вычислений, обеспечивают лишь частичное подавление соответствующих помех, а дифференциальный режим, в силу принципа его организации, не позволяет избавиться от ошибок, которые являются общими для базовой станции и объекта: ошибок прогнозирования часов спутников, ошибок ионосферных задержек, ошибок тропосферных задержек, имеющих место на базовой станции; ошибок смещения часов базовой станции. Более того, для организации дифрежима на базовой станции необходимо иметь навигационный вычислитель, мощность которого зависит от состава наблюдаемого спутникового созвездия.

Для устранения этих недостатков схему организации режима измерений предлагается изменить следующим образом. Во-первых, с базовой станции на объект передаются не поправки дальности, а просто сигнал псевдодальности от базовой станции до объекта  $Z_{RT}$  (т.н. трекерный сигнал):

$$Z_{RT} = \sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2} + c(\Delta\tau - \Delta\tau_B) + W_{RT}, \quad (5)$$

где  $\xi_B, \eta_B, \zeta_B$  - известные координаты базовой станции,  $\Delta\tau_B$  - погрешность часов базовой станции,  $W_{RT}$  - погрешности, включающие аппаратурные погрешности передатчика базовой станции и приемника объекта, погрешности многолучевости и случайные погрешности измерения.

Во-вторых, с базовой станции непосредственно транслируется на объект принятый ею сигнал псевдодальности от спутника до базовой станции  $Z_{RB}$ :

$$Z_{RB} = \sqrt{(\xi_c - \xi_B)^2 + (\eta_c - \eta_B)^2 + (\zeta_c - \zeta_B)^2} + c(\Delta\tau_B - \Delta T) + W_H + W_T + W_{RB}, \quad (6)$$

где  $W_{RB}$  - погрешности, включающие аппаратурные погрешности приемника базовой станции и передатчика спутника, погрешности многолучевости и случайные погрешности измерения.

В-третьих, в качестве сигнала измерения (используемого далее для наблюдения координатного вектора объекта) рассматривается не сигнал псевдодальности от спутника до объекта, а линейная комбинация  $Z_{R^*}$  сигналов  $Z_R, Z_{RB}, Z_{RT}$ :

$$Z_{R^*} = Z_R - Z_{RB} - Z_{RT}.$$

В этом случае в соответствии с (4),(5),(6) сигнал  $Z_{R^*}$  имеет вид:

$$Z_{R^*} = \sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2} + c(\Delta\tau - \Delta T) + W_H + W_T + W_R - \\ - (\sqrt{(\xi_c - \xi_B)^2 + (\eta_c - \eta_B)^2 + (\zeta_c - \zeta_B)^2} + c(\Delta\tau_B - \Delta T) + W_H + W_T + W_{RB}) -$$

$$\begin{aligned}
& -(\sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2} + c(\Delta\tau - \Delta\tau_B) + W_{RT}) = \\
& = \sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2} - \sqrt{(\xi_c - \xi_B)^2 + (\eta_c - \eta_B)^2 + (\zeta_c - \zeta_B)^2} - \\
& - \sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2} + W_R - W_{RB} - W_{RT}.
\end{aligned}$$

Очевидно, что комбинированный сигнал  $Z_{R^*}$  свободен от погрешностей, в наибольшей степени влияющих на точность спутниковой навигации: погрешностей часов объекта, базовой станции и спутника, а также погрешностей, обусловленных прохождением радиосигнала через ионосферу и тропосферу. Более того, анализируя линейную комбинацию погрешностей  $W_R - W_{RB} - W_{RT}$ , можно отметить ее независимость от характерных для традиционной схемы помех, также существенно влияющих на общую точность решения навигационной задачи: аппаратных погрешностей передатчика спутника и погрешностей многолучевости при передаче навигационных сообщений от спутника. В целом, это резко снижает уровень помех в сигнале  $Z_{R^*}$ , что при использовании его для формирования наблюдателя вектора координат повышает точность оценки последнего. Обозначая далее совокупность помех  $W_R - W_{RB} - W_{RT}$  как  $W_{RH}$  и аппроксимируя ее БГШ с нулевым средним и интенсивностью  $D_{RH}$ , а также учитывая, что координаты базовой станции и всех спутников известны с высокой точностью, запишем сигнал наблюдения  $Z_{RH}$  вектора координат объекта  $\mathcal{E} = \begin{bmatrix} \xi & \eta & \zeta \end{bmatrix}^T$  как:

$$\begin{aligned}
Z_{RH} &= Z_{R^*} + \sqrt{(\xi_c - \xi_B)^2 + (\eta_c - \eta_B)^2 + (\zeta_c - \zeta_B)^2} = \sqrt{(\xi_c - \xi)^2 + (\eta_c - \eta)^2 + (\zeta_c - \zeta)^2} - \\
& - \sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2} + W_{RH} = H_R(\mathcal{E}, \mathcal{E}_c, \mathcal{E}_B) + W_{RH}, \quad (7)
\end{aligned}$$

где  $\mathcal{E}_B = \begin{bmatrix} \xi_B & \eta_B & \zeta_B \end{bmatrix}^T$ .

Сигнал наблюдения (7) получен на основе кодовых измерений только одного спутника, но при этом обеспечивает полную наблюдаемость всех пространственных координат объекта – т.е. позволяет в полной мере использовать для их оценки методы оптимальной стохастической фильтрации [4]. Но т.к. для формирования вектора состояния объекта  $Y$  все равно необходимо наличие измерений с трех спутников, то целесообразно для увеличения информативности наблюдателя использовать при синтезе уравнений наблюдения аналогичные (7) комбинации измерений на основе измерений псевдодальностей с трех спутников:

$$\begin{aligned}
Z_{RH_i} &= Z_{R^*i} + \sqrt{(\xi_{ci} - \xi_B)^2 + (\eta_{ci} - \eta_B)^2 + (\zeta_{ci} - \zeta_B)^2} = \sqrt{(\xi_{ci} - \xi)^2 + (\eta_{ci} - \eta)^2 + (\zeta_{ci} - \zeta)^2} - \\
& - \sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2} + W_{RH_i} = H_{R_i}(\mathcal{E}, \mathcal{E}_{c_i}, \mathcal{E}_B) + W_{RH_i}, \quad i=1,2,3.
\end{aligned}$$

В этом случае размерность наблюдателя вектора  $Y$  увеличивается до трех:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{RH_1} \\ Z_{RH_2} \\ Z_{RH_3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_{R_1}(\mathcal{E}_{c_1}, \mathcal{E}_B, Y) \\ H_{R_2}(\mathcal{E}_{c_2}, \mathcal{E}_B, Y) \\ H_{R_3}(\mathcal{E}_{c_3}, \mathcal{E}_B, Y) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_{RH_1} \\ W_{RH_2} \\ W_{RH_3} \end{bmatrix} = H(\mathcal{E}_{c_1}, \mathcal{E}_{c_2}, \mathcal{E}_{c_3}, \mathcal{E}_B, Y) + W, \quad (8)$$

что незначительно увеличивает вычислительные затраты, но повышает точность оценки вектора координат.

Полученное представление объекта в форме «объект-наблюдатель» (3), (8) позволяет построить для вектора состояния объекта  $Y$  апостериорную плотность  $\rho_Z(Y, t)$ , знание которой, по существу, решает проблему определения любых вероятностных его оценок [4]. Процедура формирования  $\rho_Z(Y, t)$  в общем случае сводится к решению интегро-дифференциального уравнения с частными производными (уравнения Стратоновича), которое в общем случае не имеет аналитического решения. Поэтому в теории нелинейной фильтрации для получения оценок нелинейных процессов вида (3) используют различные приближенные (субоптимальные) методы [4], наиболее известным и востребованным из которых является обобщенный (нелинейный) фильтр Калмана. Его использование, как правило, позволяет достичь необходимого компромисса между требуемой точностью и вычислительными затратами в реальных системах навигации и не встречает

никаких принципиальных трудностей как в бортовых вычислителях общего назначения, так и специализированного.

Следуя [4], уравнения (3), (8) в форме «объект-наблюдатель» позволяют записать обобщенный фильтр Калмана для вектора состояния объекта:

$$\begin{aligned}\hat{Y} &= F(\hat{Y}, t) + K(\hat{Y}, t) [Z - H(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \hat{Y})], \\ K(\hat{Y}, t) &= R \frac{\partial H^T(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \hat{Y})}{\partial \hat{Y}} D^{-1},\end{aligned}\quad (9)$$

$$\dot{R}(\hat{Y}, t) = \frac{\partial F(\hat{Y}, t)}{\partial \hat{Y}} R(\hat{Y}, t) + R(\hat{Y}, t) \frac{\partial F^T(\hat{Y}, t)}{\partial \hat{Y}} + F_1 D_v F_1^T - K(\hat{Y}, t) D K^T(\hat{Y}, t),$$

где  $\hat{Y}$  - оценка вектора состояния  $Y(t)$ ,  $R(\hat{Y}, t)$  - апостериорная ковариационная матрица,

$$\hat{Y}_0 = M(Y_0), \quad R_0 = M\left\{ (Y_0 - \hat{Y}_0)(Y_0 - \hat{Y}_0)^T \right\}, \quad D = \begin{vmatrix} D_{RH_1} & 0 & 0 \\ 0 & D_{RH_2} & 0 \\ 0 & 0 & D_{RH_3} \end{vmatrix}.$$

По сравнению с применяемым в настоящее время для вторичной обработки спутниковой информации МНК [2,3] предложенный алгоритм обладает всеми известными преимуществами фильтра Калмана перед ним, вытекающими из дополнительного использования уравнений движения объекта и независимости от особенностей градиентной матрицы измерений, что позволяет повысить в целом точность определения параметров движения наблюдаемого объекта.

4. Минимизация спутникового созвездия. Различные неблагоприятные факторы эксплуатации подвижных объектов могут приводить к уменьшению числа наблюдаемых спутников, что, в свою очередь, вызывает неустойчивость (и даже невозможность) решения навигационной задачи по традиционным алгоритмам. В отличие от традиционной схемы рассматриваемый подход позволяет сократить минимально необходимое число спутников до двух при сохранении всех его преимуществ, изложенных выше. В этом случае навигационный приемник объекта должен обеспечивать прием доплеровских измерений не только спутников, но и базовой станции, имеющих, соответственно, вид (с учетом нулевой скорости базовой станции):

$$Z_{VT} = -[(\xi_B - \xi)V_\xi + (\eta_B - \eta)V_\eta + (\zeta_B - \zeta)V_\zeta] (\sqrt{(\xi_B - \xi)^2 + (\eta_B - \eta)^2 + (\zeta_B - \zeta)^2})^{-1} + W_{VT},$$

где  $W_{VT}$  - погрешности доплеровских измерений базовой станции.

При подобной организации измерений для формирования уравнений навигационного вектора объекта (аналогично вышеизложенному) достаточно доплеровских измерений базовой станции и всего лишь *двух* спутников:

$$\begin{aligned}(\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} - [(\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{V_1} - W_{Z_{V_1}}) &= (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}, \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} - [(\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{V_2} - W_{Z_{V_2}}) &= (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}, \\ -[(\varepsilon_B - \varepsilon)^T (\varepsilon_B - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} (Z_{VT} - W_{VT}) &= (\varepsilon_B - \varepsilon)^T \dot{\varepsilon}.\end{aligned}$$

Вводя для сокращения записи дополнительные обозначения

$$[(\varepsilon_B - \varepsilon)^T (\varepsilon_B - \varepsilon)]^{\frac{1}{2}} = \rho_B, \quad \rho_\tau(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) = \begin{vmatrix} \rho_1 & 0 & 0 \\ 0 & \rho_2 & 0 \\ 0 & 0 & \rho_B \end{vmatrix}, \quad Z_{V\tau} = \begin{vmatrix} Z_{V_1} \\ Z_{V_2} \\ Z_{VT} \end{vmatrix}, \quad W_{Z_{V\tau}} = \begin{vmatrix} W_{Z_{V_1}} \\ W_{Z_{V_2}} \\ W_{VT} \end{vmatrix},$$

запишем полученную систему уравнений в векторном виде:

$$\begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} \\ 0 \end{pmatrix} - \rho_\tau(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) Z_{V\tau} + \rho_\tau(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) W_{Z_{V\tau}} = \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T \\ (\varepsilon_B - \varepsilon)^T \end{pmatrix} \dot{\varepsilon}.$$

Данная система, как и в случае полного созвездия, допускает разрешение относительно вектора скорости объекта  $V = \dot{\varepsilon}$  :

$$\dot{\varepsilon} = \Phi_{\varepsilon B}(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) \begin{pmatrix} (\varepsilon_{c_1} - \varepsilon)^T V_{c_1} \\ (\varepsilon_{c_2} - \varepsilon)^T V_{c_2} \\ 0 \end{pmatrix} - \rho_\tau(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) Z_{V\tau} + \rho_\tau(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) W_{Z_{V\tau}},$$

где  $\Phi_{\varepsilon B}(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, \varepsilon) = \Phi_\varepsilon(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3} = \varepsilon_B, \varepsilon)$ .

Сравнительный анализ полученных уравнений с системой уравнений полного созвездия показывает, что введение измерений скорости относительно базовой станции вместо доплеровских измерений одного из спутников помимо сокращения минимально необходимого числа спутников еще и упрощает уравнения объекта.

Здесь в качестве наблюдателя вектора координат можно рассматривать, аналогично вышеизложенному, непосредственно как спутниковые, так и трекерный, сигналы измерения псевдодалности объекта, но для высокоточного наблюдения наиболее целесообразно использовать приведенные выше комбинированные сигналы для двух спутников:

$$Z_M = \begin{pmatrix} Z_{RH_1} \\ Z_{RH_2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{R1}(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_B, Y) \\ H_{R2}(\varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, Y) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} W_{RH_1} \\ W_{RH_2} \end{pmatrix} = H_M(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_B, Y) + W_M.$$

В этом случае размерность наблюдателя сокращается, что может ухудшить точность оценивания, но при этом положительным фактором является некоторое уменьшение вычислительных затрат. Фильтр, построенный на основе данного наблюдателя, будет аналогичен фильтру (9) при соответствующей замене обозначений.

Интересной особенностью описанного подхода является возможность организации многоструктурной схемы фильтрации при числе спутников  $m$  больше двух, вытекающая из возможности одновременного синтеза  $C_m^2$  различных уравнений координатного вектора объекта, а также еще и  $C_m^2$  различных наблюдателей вектора координат одного и того же объекта. Это позволяет еще больше повысить точность позиционирования путем последующей статистической обработки полученных оценок (например, с использованием робастных алгоритмов).

5.Пример. Для иллюстрации эффективности предложенного подхода было проведено моделирование алгоритма фильтрации (9) на временном интервале  $t \in [0; 800] c$  с шагом  $\Delta t = 0,01 c$  методом Рунге-Кутты 4-го порядка. Движение объекта задавалось по локсодромической кривой с азимутальным углом  $42^\circ$  из точки с долготой -  $30^\circ$ , широтой -  $45^\circ$  ( $\varepsilon_0 = [2\ 254\ 963,52 \quad 4\ 509\ 927,05 \quad 3\ 905\ 711,39]^T m$ ) и законом изменения проекции скорости объекта на плоскость меридиана:  $V_M = 17(0,7 + \sin 0,004t)$  м/с. В качестве модели помех измерений был использован аддитивный гауссовский вектор-шум с нулевым матожиданием и с.к.о. для: кодовых измерений - 12м, доплеровских измерений - 0.5м/с. На рис.1 приведены графики изменения во времени ошибок оценивания координат объекта. По окончании временного интервала моделирования максимальные ошибки компонентов навигационного вектора составили:  $\Delta \xi - 0,9 m$ ,  $\Delta \eta - 1,1 m$ ,  $\Delta \zeta - 0,8 m$ , что сопоставимо с точностью стационарного режима дифференциальных измерений и свидетельствует о возможности весьма эффективного практического использования предложенного подхода.

Закключение. Рассмотренный подход к решению задачи спутниковой навигации на основе нелинейного стохастического фильтра, инвариантного к виду объекта и характеру его движения, помимо известных

преимущества фильтра Калмана перед традиционной схемой обработки спутниковых сообщений на основе МНК, позволяет также:

- сократить минимально необходимое число спутников с 4-х до 2-х,
- убрать навигационный вычислитель с базовой станции,
- обеспечить инвариантность сигнала наблюдения координат объекта к наиболее существенным помехам спутниковых измерений: погрешностям часов объекта, базовой станции и спутника, а также погрешностям, обусловленным прохождением радиосигнала через ионосферу и тропосферу.

Подобные преимущества позволяют, во-первых, значительно удешевить процесс формирования сети базовых станций, а во-вторых, повысить точность оценки текущих координат подвижных объектов независимо от характера их движения.

Приложение

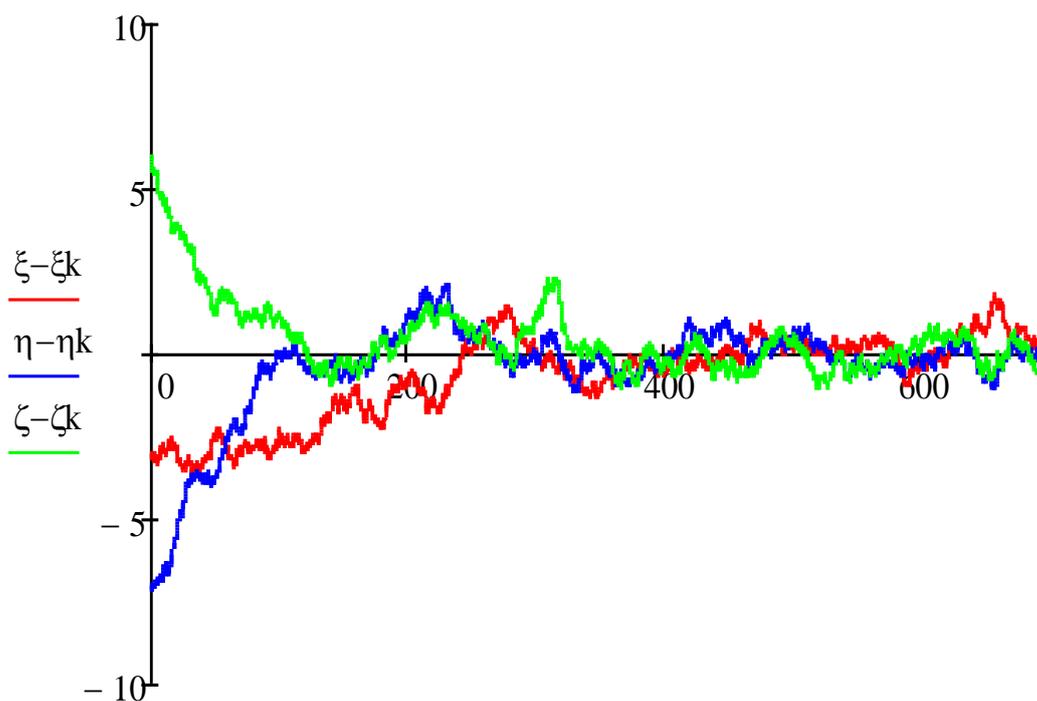
При обозначениях:

$$(\xi_{c_i} - \xi) = \xi_i, (\eta_{c_i} - \eta) = \eta_i, (\zeta_{c_i} - \zeta) = \zeta_i, \quad i = 1, 2, 3,$$

матрица  $\Phi(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon)$  имеет вид:

$$\Phi_{\varepsilon}(\varepsilon_{c_1}, \varepsilon_{c_2}, \varepsilon_{c_3}, \varepsilon) = \left\{ \xi_1(\eta_2\zeta_3 - \eta_3\zeta_2) - \eta_1(\xi_2\zeta_3 - \xi_3\zeta_2) + \zeta_1(\xi_2\eta_3 - \xi_3\eta_2) \right\}^{-1} \times$$

$$\begin{vmatrix} \eta_2\zeta_3 - \eta_3\zeta_2 & -\eta_1\zeta_3 + \eta_3\zeta_1 & \eta_1\zeta_2 - \eta_2\zeta_1 \\ \xi_3\zeta_2 - \xi_2\zeta_3 & -\xi_3\zeta_1 + \xi_1\zeta_3 & \xi_2\zeta_1 - \xi_1\zeta_2 \\ \xi_2\eta_3 - \xi_3\eta_2 & -\xi_1\eta_3 + \xi_3\eta_1 & \xi_1\eta_2 - \xi_2\eta_1 \end{vmatrix}$$



Solution4<sup><0></sup>

Рис.1. Графики изменения во времени ошибок оценивания координат объекта

#### Список литературы

1. Интерактивная геоинформационная система «Сириус-навигатор» // Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2010614154 от 25.06.2010г. – Животченко В.С. и др.
2. Интерфейсный контрольный документ ГЛОНАСС (5.1 редакция). - М.: РНИИ КП, 2008 г.
3. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. Перова А.И., Харисова В.Н.– М.: Радиотехника, 2010. – 800 с.

4. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.
5. [www.trimble.com](http://www.trimble.com)

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В КОРПОРАТИВНОМ ПОРТАЛЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Мишин Д.С.

ОрЮИ МВД России имени В.В. Лукьянова, г.Орел

Поступательное развитие средств вычислительной техники инициировало широкое развитие, внедрение и использование информационных ресурсов и телекоммуникационных сетей. Использование современных информационных технологий позволило повысить оперативность взаимодействия и протекания процессов обмена данными из информационных массивов, что способствовало повышению конкурентности телекоммуникационных систем. Эти преимущества используются многими крупными предприятиями, особенно если они имеют свои филиалы, реализующие совместные проекты, в удаленных регионах и, зачастую, возникает необходимость оперативного информационного обмена с любой рабочей станции.

В этом случае необходимо обеспечить централизацию управления информационных ресурсов с обязательным обеспечением совместной работы пользователей в пределах вычислительной сети. Кроме того, требуется реализация комплекса мер с целью повышения живучести информационных систем и снижения уровня опасности возникающих рисков. Указанные условия решает создание и использование корпоративного портала промышленного предприятия.

Содержание существующих информационных массивы и анализ запросов к ним специалистов оказывают существенное влияние структуру и содержание создаваемого портала. Построение эффективной структуры позволяет повысить качество принимаемых управленческих решений, а также обеспечить сбор и обработку данных для используемых автоматизированных систем управления.

При этом необходимо обеспечение таких принципов как принцип автономности, заключающийся в обеспечении точек доступа к информационным массивам посредством web-интерфейса, и принцип координации, заключающийся в возможности обмена данными с информационными массивами конкретного пользователя.

Таким образом, корпоративный портал промышленного предприятия обеспечивает накопление и систематизацию поступающей информации, а также способствует повышению эффективности информационного обмена между штатными сотрудниками. При этом необходимо учитывать, что различным категориям работников необходим доступ только к определенной информации. Так задачи рядовых сотрудников, в основном, заключаются в наполнении массивов информационных ресурсов и работе с конфиденциальной информацией. Управленческое звено и аналитические подразделения работают уже с сгруппированными информационными массивами с использованием специализированного программного обеспечения. Все это требует обязательного разграничения доступа для различных категорий работников. [1] Посторонние пользователи, в свою очередь, должны иметь возможность ознакомиться с общедоступной информацией по данному промышленному предприятию.

На основании рассмотренного можно сделать вывод о необходимости разделения содержимого информационных массивов корпоративного портала промышленного предприятия на две основные части. Открытая часть должна содержать общедоступную информацию, а закрытая – конфиденциальную.

В свою очередь, закрытая часть корпоративного портала промышленного предприятия тоже разделяется на несколько блоков, по возможности доступа к информационным массивам между рядовыми сотрудниками и управленческим звеном. Выполнение подобного условия достигается разграничением доступа к данным и определением ответственных за содержание информационных массивов. [2]

Рядовым сотрудникам для выполнения служебных обязанностей, в основном, необходима неструктурированная информация, содержащая необходимые нормативные документы, научно-техническую информацию, данные о руководстве, производстве и передовом опыте. При этом, рост объема данных в информационных системах, не смотря на упрощение процессов поиска и управления, отрицательно сказывается на повышении эффективности работы сотрудников.

Повысить эффективность функционирования промышленного предприятия позволяет Система Сбалансированных Показателей или BSC (Balanced Scorecard). Используемые в системе «ключевые показатели

эффективности» или KPI (Key Performance Indicator) позволяет оценивать бизнес-процессы, качество управления персоналом и работу с клиентами. При этом, предлагаемые направления могут, по необходимости, меняться или дополняться. [3]

Открытая часть корпоративного портала промышленного предприятия, обычно, подключена к глобальной вычислительной сети Интернет, что позволяет собирать, обобщать и анализировать данные из открытых Интернет-ресурсов. Использование информационных технологий позволяет наблюдать за рынком товаров и услуг, что позволяет своевременно корректировать стратегию развития промышленного предприятия. Кроме того, использование электронных площадок для обеспечения торговли и обслуживания производимых товаров позволяет существенно расширить географию продаж.

В результате можно сделать вывод о необходимости обязательно разделения на открытую и закрытую части создаваемого корпоративного портала промышленного предприятия. Подобная структура позволяет обеспечить безопасность информационных массивов и снизить возникающие риски. Качественное построение структуры создаваемого портала и корректное использование его сотрудниками позволяет повысить эффективность работы всего промышленного предприятия.

#### **Список литературы**

1. Ерёмченко, В.Т. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации / В.Т. Ерёмченко, И. С. Полянский, И. И. Беседин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 11. – С.15 – 21.
2. Ерёмченко, В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Ерёмченко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Ерёмченко, С.В. Ерёмченко // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 3. – С.51 -58.
3. Ерёмченко, В.Т. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий С.И. Афонин, В.Т. Ерёмченко. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 2 – С.99 – 105.

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ДВИЖУЩИМИСЯ В КОЛОННЕ НАЗЕМНЫМИ РОБОТАМИ**

**Тупиков П.А., Таланов А.Г.**

МГТУ МИРЭА, г.Москва

В данной работе рассматривается задача о стабилизации расстояния между движущимися в колонне роботами. Данная задача имеет большой практический смысл. Так как эта задача применима для решения ряда практических задач. Примерами таких задач может являться задача минимизация затрат топлива за счет уменьшения сопротивления воздуха, при движении в колонне, минимизация человеческих ресурсов в процессе поставки сырья (боеприпасов).

Рассмотрим движение робота на плоскости (Рисунок 1.1).

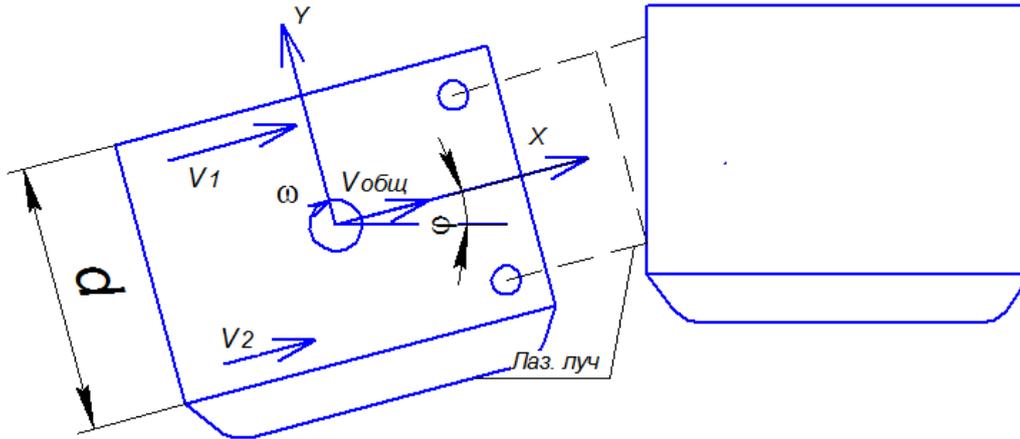


Рис.1. Движение роботов на плоскости.

Исходя из Рисунка 1, кинематическую модель промышленного робота (ПР) с учетом отсутствия проскальзывания гусениц по поверхности движения имеет вид:

$$\frac{dX}{dt} = V_{\text{общ}} \cos(\varphi) = \frac{V_1 + V_2}{2} \cos(\varphi);$$

$$\frac{dY}{dt} = V_{\text{общ}} \sin(\varphi) = \frac{V_1 + V_2}{2} \sin(\varphi);$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \omega = \frac{V_1 - V_2}{2d} \cos(\varphi),$$

Общая структура системы представлена на Рисунке 2.



Рис.2. Обобщенная структура системы управления.

Разработаем блочную структурную модель системы в системе математического моделирования MATLAB, используя пакет Simulink (Рисунок 3). Для разработки модели исходные данные будут взяты из [1].

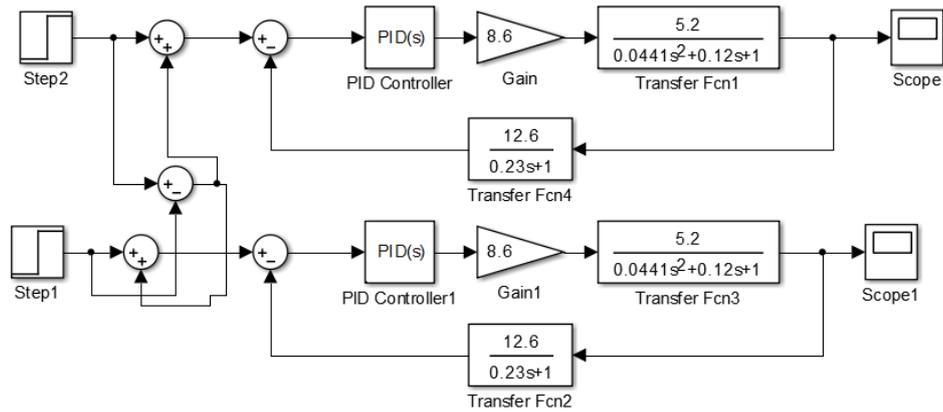


Рис.3. Структурная схема системы управления.

На Рисунке 3 представлена структура системы управления. Двигатели, представление инерционным звеном второго порядка, датчики обратной связи представлены инерционным звеном, исполнительные механизмы представен усилительным звеном.

Рассмотрим вариант прямолинейного линейного движения (Рисунок 4.):

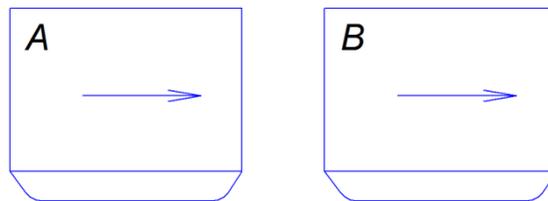


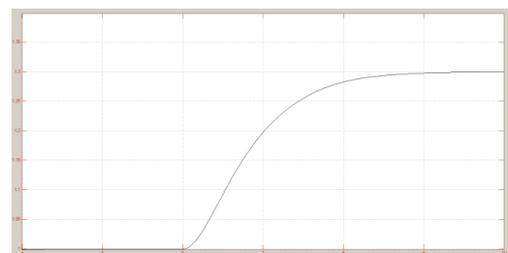
Рис.4. Демонстрация движения роботов.

1) Резко увеличение скорости в заданный промежуток времени.

Пусть в момент времени 5 сек. робот А резко увеличил скорость. Переходный процесс скорости этого действия представлен на Рисунке 5 в виде 2 переходных процессах.



Зависимость расстояния от времени  
робота



Зависимость скорости от 2го 1 робота

Рис.5. Демонстрация процесса резкого увеличения скорости. робота А (слева) и реакция робота В (справа).

Пусть скорость робота А плавно изменяется по синусоидальному закону. В таком случае переходный процесс робота В представлен на Рисунке 6 и Рисунке 7.

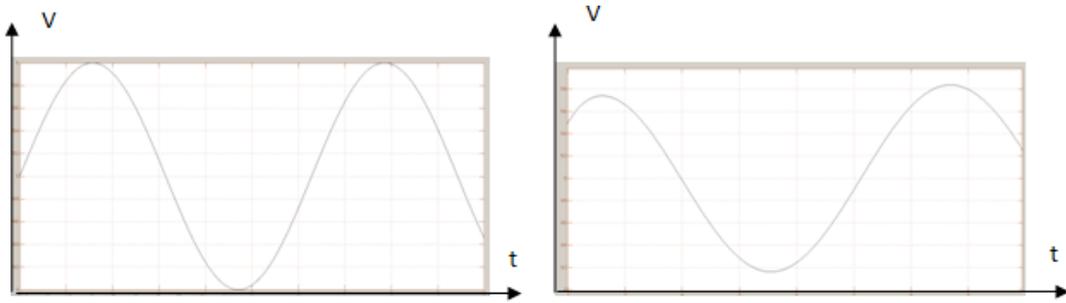


Рис.6. Демонстрация процесса колебания скорости (м/с) робота А (слева) и реакция робота В (справа).

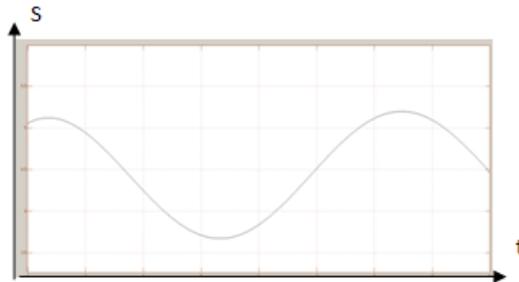


Рис.7. Демонстрация процесса колебания расстояния между роботами.

### Имитационное моделирование

Чтобы убедиться в работе системы, реализуем схему, представленную на Рисунке 7.

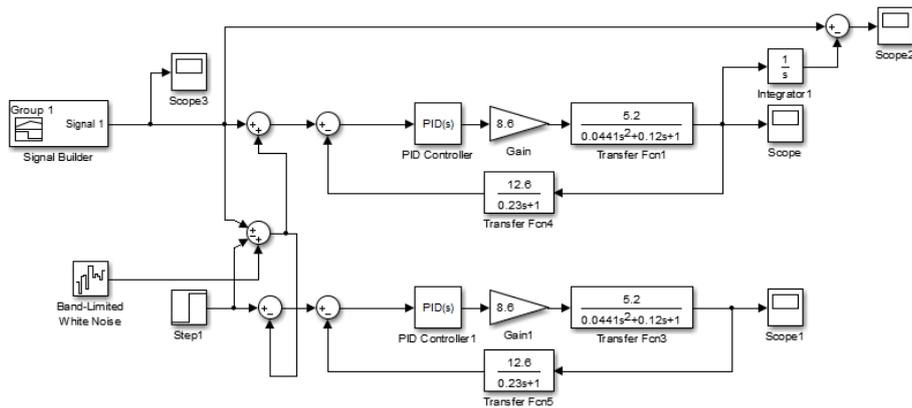


Рис.7. Система для реализации имитационного моделирования

В элементе SignalBuilder построен сигнал, представленный на Рисунке 8.

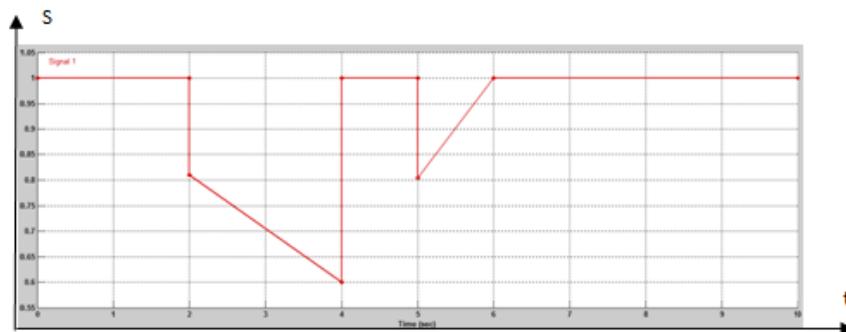


Рис.8. Имитация изменения дистанции впереди идущего робота

После моделирования получаем график изменения скорости второго робота (Рисунок 9), и график расстояния между ними (Рисунок 10).

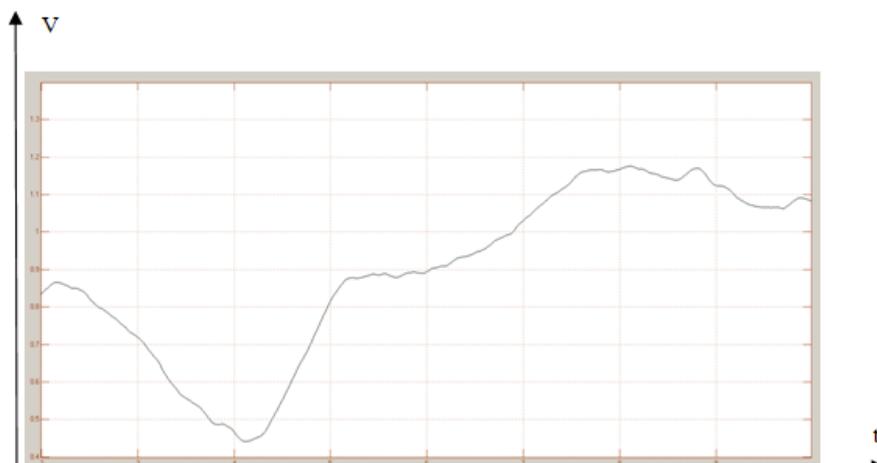


Рис.9. Имитация скорости движения робота повторяющего движения впереди идущего.

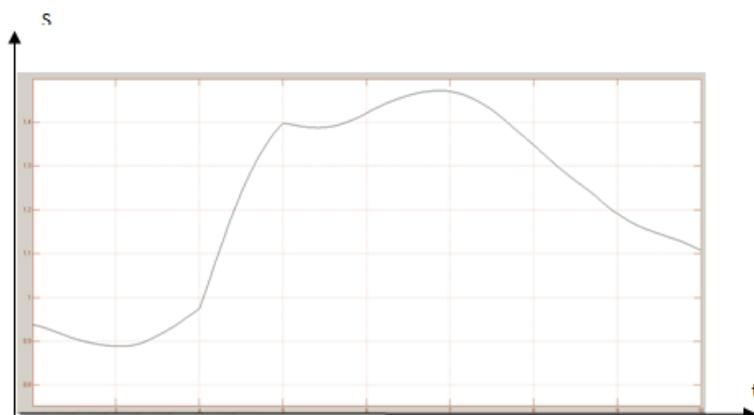


Рис.10. Имитация изменения расстояния между роботами.

Выводы: В данной работе была разработана ММО – система стабилизации расстояния между движущимися в колонне роботами. Как показывает имитационное моделирование, второй робот повторяет движение впереди идущего. При маневрах возможны незначительные колебания расстояния, объясняемые инерционными свойствами системы.

#### Список литературы

1. Федотов, А. В. Анализ систем автоматического управления с использованием автоматизированных систем MATLAB и CLASSIC/ А. В. Федотов – Омск.: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 66 с.
2. Дьяконов, В.П. MATLAB7./R2006/R2007:Самоучитель.–М.:ДМК Пресс, 2008.–768с.

### МОДЕЛИ СИГНАЛОВ СО СЛУЧАЙНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

**Андрянов Н.А., Дементьев В.Е.**

ФГБОУ ВПО УлГТУ, г. Ульяновск

В настоящее время все большее и большее распространение получают системы регистрации земной поверхности. Множество космических аппаратов обеспечивают человечество огромными массивами данных. В основном это так называемые многозональные изображения (МЗИ), у которых имеется две пространственные координаты, а также время съёмки и частота спектрального диапазона. Понятно, что для качественной обработки МЗИ необходимы специальные автоматизированные алгоритмы. Тем не менее, анализ показывает, что на сегодня отсутствует достаточно полное решение, по крайней мере, двух проблем.

Первая связана с описанием МЗИ как единой аэрокосмической совокупности. Ее решение должно быть связано с разработкой новых эффективных моделей сигналов. Существующие модели, несмотря на свое разнообразие [1, 5] способны описывать изображения лишь с ограниченным числом статистических параметров.

Вторая проблема заключается в необходимости разработки новых алгоритмов обработки сигналов, применяемых к МЗИ в режиме реального времени [2, 4, 6].

Имитация МЗИ, которые содержат неоднородные области, выражаемые различными объектами на изображении, возможна с использованием дважды стохастических моделей [3, 7, 8]. В работе [7], например, «дважды стохастичность» означает, что, кроме представления основного процесса случайным полем (СП), осуществляется реализация СП для корреляционных параметров. Эти параметры, в свою очередь, используются для построения главной модели. Дважды стохастические модели удобны для описания и не требуют больших вычислительных затрат. Однако такие модели не всегда могут удовлетворительно описать реальное МЗИ. Действительно, объект на изображении представлен не только отличными от фона статистическими свойствами, но и, возможно, значительно отличается от него по яркости.

Таким образом, проблема описания МЗИ является достаточно актуальной. Поиск соответствующих моделей для описания объектов со значительно отличающейся от фона яркостью, также может быть произведен в классе дважды стохастических моделей. Предлагается реализация модели с учетом изменчивости ее основных статистических параметров: математического ожидания, дисперсии, коэффициентов корреляции.

В начале рассмотрим модель для одномерного сигнала, выраженного простой авторегрессией первого порядка:

$$x_i = \rho x_{i-1} + \sqrt{\sigma_x^2(1-\rho^2)}\xi_i, \quad (1)$$

где  $\rho$  - коэффициент корреляции;  $\sigma_x^2$  - дисперсия случайного процесса  $\{x_i\}$ ;  $\{\xi_i\}$  - последовательность независимых гауссовых случайных величин, такая что  $M\{\xi_i\} = 0$  и  $M\{\xi_i^2\} = \sigma_\xi^2 = 1$ .

Известно, что среднее значение процесса (1) равно нулю. Дважды стохастическая модель на базе (1) может быть записана с учетом:

$$\rho = \{\rho_i\}, \quad \rho_i = r\rho_{i-1} + \sqrt{\sigma_\rho^2(1-r^2)}\zeta_i, \quad (2)$$

где  $r$  - коэффициент корреляции;  $\sigma_\rho^2$  - дисперсия случайного процесса  $\{\rho_i\}$ ;  $\{\zeta_i\}$  - последовательность независимых гауссовых случайных величин, такая что  $M\{\zeta_i\} = 0$  и  $M\{\zeta_i^2\} = \sigma_\zeta^2 = 1$ .

Вообще говоря, реализация (2) требует дальнейших преобразований, чтобы полученные коэффициенты, будучи подставлены в модель (1), действительно имели смысл корреляционных параметров. Однако для имитации одного объекта на фоне преобразование может быть выполнено путем двухуровневой дискретизации:

$$\begin{cases} \rho_i = \rho_0, \text{ если } \rho_i < 0 \\ \rho_i = \rho_1, \text{ если } \rho_i \geq 0 \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\rho_0$  и  $\rho_1$  - коэффициенты корреляции фона и объекта соответственно.

Преобразование (3) в модели с изменяющимися корреляционными параметрами, средними значениями и дисперсиями переписывается в виде:

$$\begin{cases} \rho_i = \rho_0, m_i = m_0, \sigma_i^2 = \sigma_0^2 \text{ если } \rho_i < 0 \\ \rho_i = \rho_1, m_i = m_1, \sigma_i^2 = \sigma_1^2 \text{ если } \rho_i \geq 0 \end{cases}, \quad (4)$$

где  $m_0$  и  $m_1$  - средние значения случайного процесса для фона и объекта,  $\sigma_0^2$  и  $\sigma_1^2$  - дисперсии случайного процесса для фона и объекта.

Окончательно имеем модель вида  $x_i = \rho_i x_{i-1} + \sqrt{\sigma_i^2(1-\rho_i^2)}\xi_i$ , после реализации которой, к каждому элементу добавляется значение  $m_i$ . Пример такой модели представлен на Рисунке 1.



Рис.1. Реализация модели сигнала со случайными параметрами

Очевидно, что представленный на Рисунке 1, случайный процесс обладает разными статистическими характеристиками на разных участках, т. е. является нестационарным. Например, участок из отсчетов 330 – 360 отличается от соседних.

На Рисунках 2 – 4 представлены полученные после преобразования (4) параметры модели. При этом коэффициент  $r = 0.96$  выбран достаточно близким к единице с целью увеличения протяженности участков с одинаковыми параметрами.

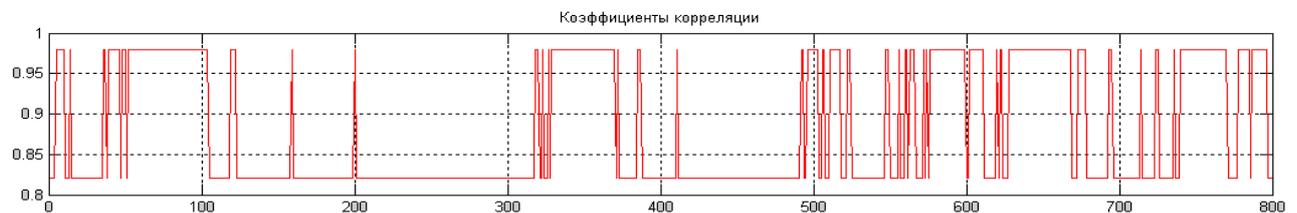


Рис.2. Коэффициенты корреляции ( $\rho_0 = 0.82$ ,  $\rho_1 = 0.98$ )

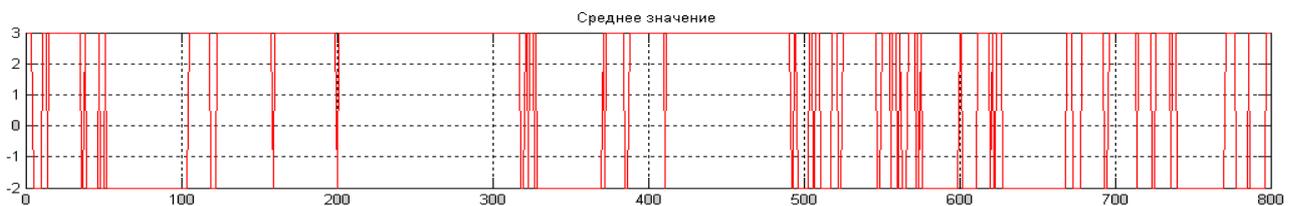


Рис.3. Среднее значение ( $m_0 = 3$ ,  $m_1 = -2$ )

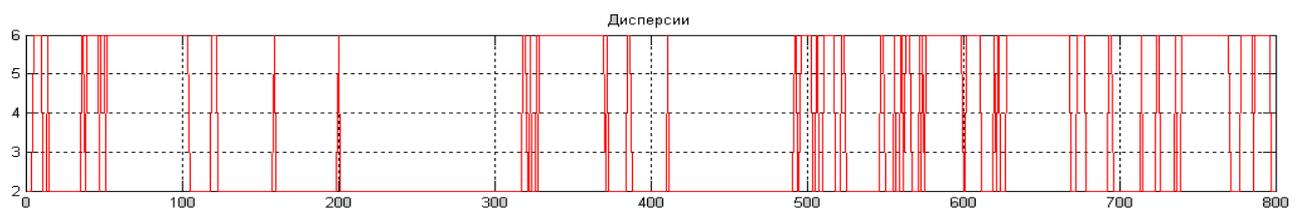
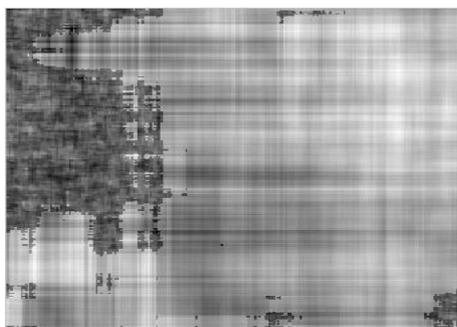


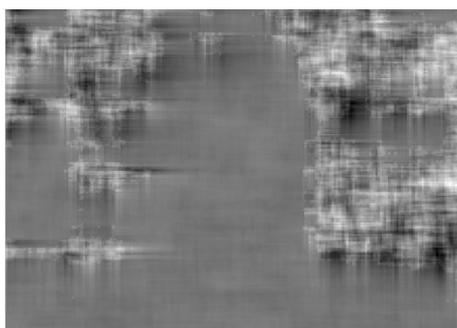
Рис.4. Дисперсии ( $\sigma_0^2 = 2$ ,  $\sigma_1^2 = 6$ )

Лучших реализаций для параметров можно добиться с использованием более сложных математических моделей, например, моделей с кратными корнями. С их помощью, в частности, можно добиться плавного изменения случайного процесса.

Применение предложенной методики для двумерного случая позволяет получить изображения с неоднородными участками. Примеры таких изображений при различных параметрах фона и объекта представлены на Рисунке 5.



$$a - \rho_0 = 0.75, \rho_1 = 0.99, \sigma_0^2 = 1, \\ \sigma_1^2 = 3, m_0 = 2, m_1 = -1.5$$



$$б - \rho_0 = 0.9, \rho_1 = 0.92, \sigma_0^2 = 10, \\ \sigma_1^2 = 0.1, m_0 = 0.5, m_1 = -1.2$$

Рис.5. Модели изображений со случайными параметрами

Таким образом, предложен метод имитации нестационарных случайных полей на основе изменяющихся статистических параметров.

#### Список литературы

1. Васильев К.К., Служивый М.Н. Математическое моделирование систем связи: Учебное пособие. – 2-изд., перераб. и доп. - Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 170 с.
2. Васильев К.К. Представление и быстрая обработка многомерных изображений. / К.К.Васильев, В.Р.Крашенинников, И.Н.Синицын, В.И.Синицын // Научные технологии. - № 3. 2002. с. 4-24.
3. Васильев К.К. Оценивание параметров дважды стохастических случайных полей / К. К. Васильев, В. Е. Дементьев, Н.А. Андриянов // Радиотехника, 2014, №7, с. 103-106.
4. Даджион Д., Мерсеро Р. Цифровая обработка многомерных сигналов. – М.: Мир, 1988, 488 с.
5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. - Москва: Техносфера, 2010. - 562 с.
6. Яне Б. Цифровая обработка изображений. - Москва: Техносфера, 2007. - 584 с.
7. К. Vasiliev, V. Dementiev, N. Andriyanov Twice stochastic models of images The 11<sup>th</sup> International Conference «Pattern recognition and image analysis: new information technologies» (PRIA-11-2013) - Samara, The Russian Federation, 2013. vol. 1, p. 334-337.
8. Woods J., Dravida S., Mediavilla R. Image Estimation Using Doubly Stochastic Gaussian Random Field Models // Pattern Analysis and Machine Intelligence, issue №2, vol. 9 – February, 1987, pp. 245-253.

# ОБНАРУЖЕНИЕ ОТКАЗОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

**Куликов Р.Е.**

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г.Саратов

Аннотация. В работе рассматривается процесс обнаружения отказов электротехнических компонентов сложных систем управления технологическим оборудованием. Описаны возможные варианты технических состояний электротехнических систем. Приведены критерии, позволяющие оценить степень соответствия выходных параметров компонентов систем заданным требованиям технических условий (ТУ). Произведен анализ применения интеллектуальных систем поддержки решения задач предметной области.

Ключевые слова: электротехническая система управления, обнаружение отказов, работоспособное состояние, явный отказ, база знаний

Введение.

Изучение механизмов возникновения отказов является составной частью процессов проектирования и опытного ввода в эксплуатацию сложных систем управления технологическим оборудованием. При этом процесс обнаружения отказов электротехнических компонентов в структурах систем управления представляет значительный интерес для специалистов, занятых разработкой, производством и эксплуатацией таких систем. Важное значение имеет также учет факторов внешней среды, воздействующих на конечные инженерные варианты систем при их использовании по целевому назначению.

В соответствии с требованиями технических условий на электротехнические системы управления, предполагаются известными: структурная организация составных компонентов систем и алгоритмы их функционирования; вход-выходные функциональные зависимости и допусковые ограничения на их числовые значения; известными являются также штатные циклы испытания электротехнических объектов.

Критерии обнаружения отказов компонентов в структурах электротехнических систем управления

Современный отечественный электропривод серии ЭПВ (асинхронными электродвигателями) с векторной системой управления, обладающий достаточно сложной структурной организацией и множеством возможных (потенциальных) отказов различных составных компонентов [1], представляет собой пример электротехнической системы.

На Рисунке 1 приведены различные варианты технических состояний для компонентов электротехнических систем управления при условии воздействия критичных факторов внешней среды ( $W_k, W_m, W_r$ ), в качестве которых могут выступать тепловые воздействия, электростатические воздействия, электромагнитные поля, вибрации, давление. В рамках рассматриваемой предметной области необходимо обнаружить явные (Рисунок 1, в) и скрытые (потенциальные, Рисунок 1, г) отказы; при этом необходимо учесть динамику изменения выходных сигналов в конкретных контрольных точках съема диагностической информации соответствующих электротехнических объектов.

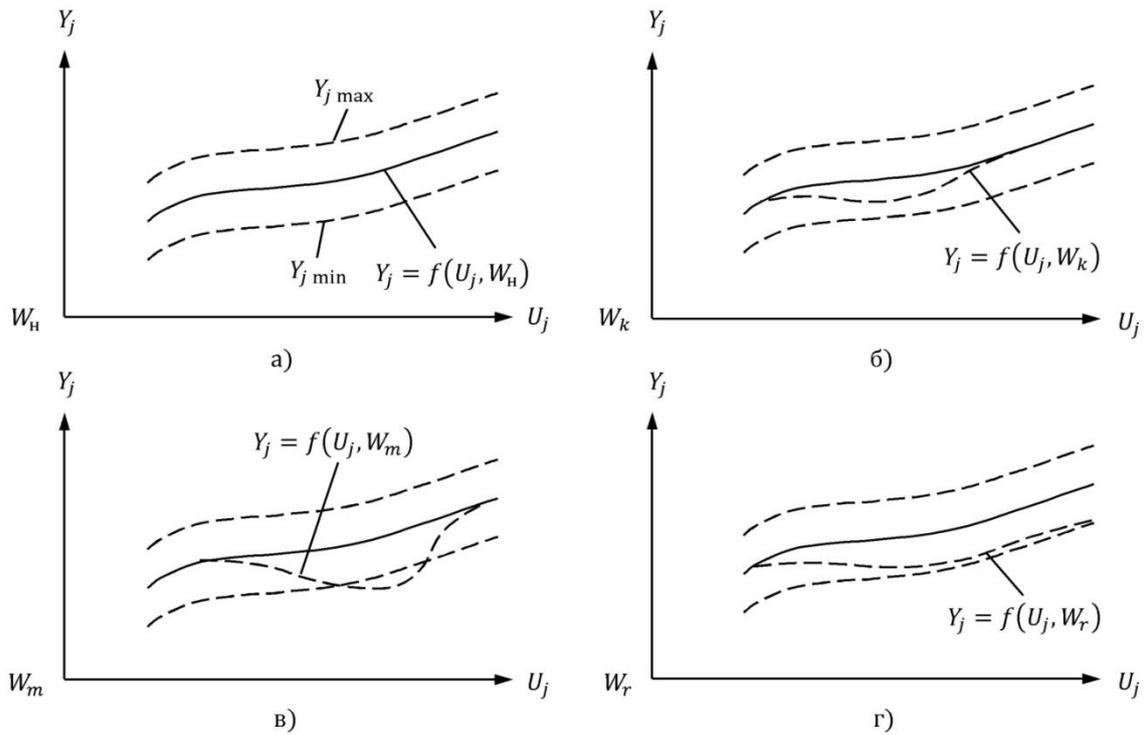


Рис.1. Различные технические состояния компонентов электротехнической системы управления:  
а – соотношение вход-выходных параметров компонентов системы при номинальных условиях внешней среды ( $W_n$ ); в условиях влияния подмножества факторов внешней среды (б-г): б – работоспособное состояние ( $W_k$ ); в – явный отказ ( $W_m$ ); г – скрытый отказ ( $W_r$ )

Для оценивания степени соответствия выходных параметров электротехнических компонентов в структурах сложных систем управления заданным требованиям технических условий (ТУ) должны применяться соответствующим образом подготовленные критерии. В качестве таких критериев используются зависимости вида [2, 3]:

- критерий обнаружения явных отказов электротехнических компонентов в структуре систем управления

$$K = \begin{cases} 0, & \text{при } Y_{j \min} \leq \hat{Y}_j \leq Y_{j \max} \\ 1, & \text{при } Y_{j \min} > \hat{Y}_j, \hat{Y}_j > Y_{j \max} \end{cases} \Big|_{\{D_j\}}, \quad (1)$$

где  $\hat{Y}_j, j = \overline{1, m}$  – измеренное значение  $j$ -го выходного параметра системы;  $Y_{j \max}, Y_{j \min}$  – максимальное и минимальное (предельные) значения  $j$ -го выходного параметра системы соответственно; 1 – несоответствие значения выходного параметра компонента допусковым ограничениям (отказ); 0 – выходной параметр находится в допуске (работоспособное состояние).

- критерий обнаружения отказов с учетом динамики изменения числовых значений выходных параметров систем управления в предыстории параметрического пространства

$$K_{II} = \left[ \frac{(\hat{Y}_{i \max}^P - Y_{iH}^P)}{\Delta Y_{i \max}^P} + \frac{(Y_{jH}^P - \hat{Y}_{j \min}^P)}{\Delta Y_{j \min}^P} \right] / 2 > \beta_j \Big|_{\{D_j\}}, \quad (2)$$

где  $\Delta Y_{i \max}^P = Y_{i \max}^P - Y_{iH}^P, \Delta Y_{j \min}^P = Y_{jH}^P - Y_{j \min}^P, j = \overline{1, m}$  – допусковые ограничения  $p$ -го выходного параметра системы;  $i, j$  – моменты измерения выходного параметра, отражающие динамику изменения числового значения параметра в предыстории,  $i \neq j$ ;  $\hat{Y}_{i \max}^P, \hat{Y}_{j \min}^P$  – максимальные и минимальные измеренные значения  $p$ -го выходного параметра объекта в  $i$ -е и  $j$ -е моменты времени соответственно;  $\beta_j$  – числовое значение порогового уровня выходного параметра системы.

Критерий  $K_{II}$  (2) может использоваться для обнаружения как явных отказов (Рисунок 1, в), так и скрытых (потенциальных) отказов (Рисунок 1, г) за счет анализа динамики изменения и количественной оценки числовых значений деградации выходных параметров электротехнических компонентов и систем управления на их основе в целом.

Концепция применения интеллектуальных систем.

Важное значение имеет процесс построения базы данных и знаний. Особое место в теории интеллектуального управления занимает логический подход, причем в [4, 5] подчеркивается, что различие данных и знаний может усматриваться в уровне сложности их представления. Данные – это константы и факты, то есть элементарные формулы с предикатами [4, 6]. Знания – это формулы с кванторами [4, 5]. Такие формулы образуют предикатные (первопорядковые) языки. При этом языки предикатов отличаются от пропозициональных (булевских) языков существенно большей выразительной силой, позволяя формализовать более широкие знания для последующей обработки машинно-ориентированными правилами [4, 6]. В предикатных языках определяются первопорядковые логические теории (исчисление предикатов), а в пропозициональных – исчисление высказываний.

Возможность использования предикатных языков для формализации процессов обнаружения отказов показана в [2, 7]. В [6, 7] обоснована важность преобразования структурированных данных в знания. При этом формулы с кванторами применяются в качестве средства извлечения знаний в виде перечней работоспособных состояний и обнаруживаемых отказов электротехнических систем управления [2, 7].

Заключение.

В работе рассмотрены возможные технические состояния составных компонентов электротехнических систем управления технологическим оборудованием, критерии обнаружения отказов систем, типы организации баз данных и знаний как основы интеллектуальных систем поддержки процессов предметной области. Концепция дальнейших исследований связана с развитием методических средств оценивания работоспособных состояний, обнаружения и технического диагностирования отказов сложных электротехнических систем.

#### Список литературы

1. Электроприводы с преобразователями частоты серии ЭПВ (исполнение 2). Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 2008. 181 с.
2. Дрогайцев В.С., Куликов Р.Е., Ушаков В.А. Интеллектуальные средства в процессах диагностирования отказов бортовых систем управления летательных аппаратов в условиях влияния внешней среды. Часть I // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 7. С. 3–11.
3. Дрогайцев В.С., Куликов Р.Е. Подход к техническому диагностированию отказов бортовых систем управления летательных аппаратов в условиях влияния внешней среды // Авиакосмическое приборостроение. 2014. № 10. С. 5–14.
4. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федун Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физико-математическая литература, МАИК «Наука/Интерпериодика», 2000. 352 с.
5. Аншаков О.М. ДСМ-метод и модификационные исчисления // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 1. С. 55–79.
6. Вагин В.Н., Головина Е.Ю., Загорянская А.А., Фомина М.В. Достоверный и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах. М.: Физико-математическая литература, МАИК «Наука/Интерпериодика». 2004. 704 с.
7. Ушаков В.А., Говоренко Г.С., Козлов С.В., Дрогайцев В.С. Системный подход к ситуационному управлению отказоустойчивостью технических объектов в условиях нештатных ситуаций. Построение интеллектуальных систем // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2008. № 5. С. 39–46.

#### ОЦЕНКА ЖИВУЧЕСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

Сапронов А.А., Дуванов Д.А., Пашенко М.М., Устинов И.О.

Академия ФСО России, г.Орел

Специфика любого промышленного предприятия в настоящее время такова, что его производственные и административные площади могут быть разнесены территориально и связаны между собой различными

информационными потоками. Решение задачи управления этими объектами связано с развитием и внедрением информационных и коммуникационных технологий в сферу управления промышленными предприятиями, а именно автоматизированных систем управления критически важными производственными объектами. В состав этих систем в свою очередь входят автоматизированные системы управления технологическими процессами критически важных производственных объектов, которые применяются для сбора первичной технологической информации в реальном времени и ее передачи на вышестоящие уровни управления критически важными производственными объектами для принятия решений [2-8].

Общая структурная схема современной автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами представлена на Рисунке 1.

Создание автоматизированных систем управления критически важными производственными объектами промышленного производства в условиях частного или корпоративного вложения капитала в промышленные предприятия требует реализации специфических требований владельцев предприятий [1].



Рис.1. Структура современной автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами

В настоящее время к таким требованиям относится «живучесть» автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами, под которой понимается свойство автоматизированной системы, заключающееся в ее способности восстанавливать свой функционал и поддерживать значения основных эксплуатационных показателей в допустимых диапазонах при неблагоприятных воздействиях внешней среды, не предусмотренных регламентом нормальной работы посредством использования специальных механизмов адаптации, рационального перераспределения имеющихся ресурсов, введения избыточности и проведением организационно-технических мероприятий на этапе проектирования.

На этапе проектирования автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами необходимо проводить работу по подготовке раздела ТЗ «требования по живучести». Специальная группа специалистов должна определять требования по живучести с позиции стоимости закладываемых решений, а также их рациональности и необходимости.

Один из пунктов решения данной задачи является реализация наиболее эффективных способов управления свойством живучести на основе структурных преобразований (изменение состава, конфигурации, внесения избыточности, количества и пропускной способности каналов передачи информации) и преобразований, связанных с изменением значений показателей функциональных свойств автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами.

Для решения этой задачи предлагается использовать метод анализа иерархий (МАИ) [9], который применяется для решения слабоструктурированных и неструктурированных проблем.

Для осуществления выбора варианта построения сети управления необходимо представить автоматизированную системы управления критически важными производственными объектами как совокупность двух полюсных сетей и решить следующие задачи:

1. По предлагаемым показателям, которые определяют структуру разработать иерархию выбора альтернативных вариантов.
2. С учетом предпочтений по критериям, составить матрицы парных сравнений показателей и с учетом шкалы предпочтений составить матрицы парных сравнений по множеству альтернатив.
3. Провести оценку суждений, которые используются при составлении матриц парных сравнений.
4. Для альтернативных вариантов выбрать показатели качества, а также определить максимальный или предпочтительный.

Фокусом иерархии (Рисунок 2) принимается предпочтительный вариант структуры автоматизированной системы управления критически важными производственными объектами. Коэффициенты исправного действия по типам двухполюсных сетей будут являться показателями, по которым оцениваются варианты и находятся на уровне критериев. А данные по каждому из вариантов, которые были получены в результате моделирования процесса будут на уровне альтернатив.



Рис.2. Применение метода анализа иерархий для осуществления выбора предпочтительного варианта структуры АСУ критически важными производственными объектами

Для составления матрицы парных сравнений (Табл.2, 3), в которых можно с помощью суждений экспертов по шкале предпочтений, представленной в Табл.1, привести в соответствие степеням предпочтений одного сравниваемого критерия перед другим некоторые числа. Таким образом в результате сравнения можно определить не только превосходство, и его степень.

Таблица 1

Шкала отношений (степени значимости действий)

Степень значимости	Определение	Объяснение
1	Одинаковая значимость	Два критерия вносят одинаковый вклад в достижение цели
3	Некоторое преобладание значимости одного критерия над другим (слабая значимость)	Существуют соображения в пользу предпочтения одного из критериев, однако эти соображения недостаточно убедительны
5	Существенная или сильная значимость	Имеются надежные данные или логические суждения для того, чтобы показать предпочтительность одного из критериев
7	Очевидная или очень сильная значимость	Убедительное свидетельство в пользу одного критерия перед другим
9	Абсолютная значимость	Свидетельства в пользу предпочтения одного критерия другому в высшей степени убедительны

Сравнение полученных альтернатив автоматизированных систем управления критически важными производственными объектами по каждому критерию производится на уровне альтернатив.

Таблица 2

Матрица парных сравнений для критериев

Критерий	$K_{ид}^1$	$K_{ид}^2$	$K_{ид}^3$	<b>З</b>	Собственный вектор, $B$	Вес критерия, $W_i$
$K_{ид}^1$	1	$K_1$	$K_2$	$K_4$	$B_1 = \sqrt[4]{1 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_4}$	$w_1 = B_1 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
$K_{ид}^2$	$1/K_1$	1	$K_3$	$K_5$	$B_2 = \sqrt[4]{1/K_1 \cdot 1 \cdot K_3 \cdot K_5}$	$w_2 = B_2 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
$K_{ид}^3$	$1/K_2$	$1/K_3$	1	$K_6$	$B_3 = \sqrt[4]{1/K_2 \cdot 1/K_3 \cdot 1 \cdot K_6}$	$w_3 = B_3 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
<b>З</b>	$1/K_4$	$1/K_5$	$1/K_6$	1	$B_4 = \sqrt[4]{1/K_4 \cdot 1/K_5 \cdot 1/K_6 \cdot 1}$	$w_4 = B_4 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$

Таблица 3

Сравнение вариантов (альтернатив) по критериям (составляется для каждого критерия)

Варианты / критерии	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	Собственный вектор, $B$	Важность $j$ -ой альтернативы по $i$ -му критерию, $P_{ji}$
$B_1$	1	$K_{12}$	$K_{13}$	$K_{14}$	$B_1 = \sqrt[4]{1 \cdot K_{12} \cdot K_{13} \cdot K_{14}}$	$P_{i1} = B_1 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
$B_2$	$1/K_{12}$	1	$K_{23}$	$K_{24}$	$B_2 = \sqrt[4]{1/K_{12} \cdot 1 \cdot K_{23} \cdot K_{24}}$	$P_{i2} = B_2 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
$B_3$	$1/K_{13}$	$1/K_{23}$	1	$K_{34}$	$B_3 = \sqrt[4]{1/K_{13} \cdot 1/K_{23} \cdot 1 \cdot K_{34}}$	$P_{i3} = B_3 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$
$B_4$	$1/K_{14}$	$1/K_{24}$	$1/K_{34}$	1	$B_4 = \sqrt[4]{1/K_{14} \cdot 1/K_{24} \cdot 1/K_{34} \cdot 1}$	$P_{i4} = B_4 / (B_1 + B_2 + B_3 + B_4)$

Оценка однородности суждений экспертов при разработке матриц парных сравнений (ИО - индекса однородности) выполняется по формулам с использованием величины отклонения максимального собственного значения матрицы парных сравнений от ее порядка:

$$ИО = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)}, \quad (1)$$

$$ОО = \frac{ИО}{M(ИО)}, \quad (2)$$

где  $\lambda_{\max}$  – максимальное собственное значение матрицы парных сравнений;  $n$  – ранг матрицы;  $M(ИО)$  – среднее значение (математическое ожидание) индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений, которое основано на экспериментальных данных [9].

В качестве допустимого используется значение отношения однородности (ОО). Если для матрицы парных сравнений отношение однородности  $ОО > 0,10$ , то это говорит о значительном нарушении логики суждений, которое было у эксперта при заполнении матрицы, поэтому необходимо заново выбрать данные, чтобы по ним построить матрицы и повысить однородность.

Полученные значения весов собственных векторов альтернатив при сравнении по критериям и веса собственных векторов критериев позволят определить наилучшую альтернативу построения автоматизированной

системы управления критически важными производственными объектами по формуле:

$$V_j = \sum_{i=1}^N w_i \cdot P_{ji}, \quad (3)$$

где  $V_j$  – показатель качества  $j$ -й альтернативы (варианта построения);  $w_i$  – вес  $i$ -го критерия;  $P_{ji}$  – важность  $j$ -й альтернативы по  $i$ -му критерию.

Альтернатива, у которой значение показателей качества больше, является предпочтительной и она, соответственно, будет удовлетворять экспертов по живучести и затратам.

Применение метода анализа иерархий дает возможность еще на этапе проектирования автоматизированных систем управления критически важными производственными объектами закладывать необходимые параметры по «живучести» в самой структуре, с учетом неоднородности ее элементов.

#### Список литературы

1. Восканьянц, А.А. Автоматизированное управление процессами прокатки: Учеб. пособие/А.А. Восканьянц; Московский гос. техн. ун-т им. Н.Э.Баумана – М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2010. – 85 с.
2. Еременко, В. Т. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов / В.Т. Еременко, А.В. Тютякин // Контроль. Диагностика. – 2013, № 1. – С. 24 – 31.
3. Ерёмченко, В.Т. Синтез локально-оптимальной структуры классификатора информационных ресурсов по критерию минимума средней длины процедуры поиска / А.А. Батенков., И.С. Полянский, К.А. Батенков, М.А. Сазонов, В.Т. Еременко // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 7. – С.3 – 8.
4. Ерёмченко, В.Т. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации / В.Т. Еременко, И.С. Полянский, И.И. Беседин // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 11. – С.15 – 21.
5. Ерёмченко, В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Ерёмченко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Ерёмченко, С.В. Ерёмченко // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 3. – С.51 -58.
6. Еременко, В.Т. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий С.И. Афонин, В.Т. Еременко. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 2 – С.99 – 105.
7. Ерёмченко, В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Ерёмченко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Ерёмченко, С.В. Ерёмченко // Информационные системы и технологии. – 2014. – № 3. – С.51 -58.
8. Каган Б.М., Долкерт В.М., Каневский М.М. Управляющий вычислительный комплекс с автоматической реконфигурацией для ответственных АСУ ТП//В кн.: Кибернетические проблемы АСУ ТП. Материалы семинара. - М.: Знание, МДНТП,-1978. С. 3-11.
9. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.

## ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ХРАНЕНИЯ ГАЗА НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

**Ягунов В.А., Еременко С.В., Масалыгин К.К., Ставцева А.Г.**

Учебно-научно исследовательский институт информационных технологий  
ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», г.Орел

Для решения задачи необходимо теоретическим и экспериментальным путем выбрать наиболее информативные и устойчивые признаки для описания технологических процессов хранилищ газа (ТПХГ), позволяющие с заданной достоверностью распознать принадлежность этого хранилища.

Экспериментальная часть исследований состоит в накоплении различными способами информации по ТПХГ, описываемых различными характеристиками. Такие исследования представляют весьма трудоемкий и дорогостоящий процесс.

Создание априорных баз данных часто дополнительно затруднено тем обстоятельством, что информативность различных характеристик ТПХГ зависит от задач, решаемых при использовании этой информации. Так, например, параметры, имеющие высокую информативность для объекта, при идентификации аварийной ситуации, могут быть совершенно неинформативны в случае контроля стационарных режимов работы [1].

Учитывая невозможность выполнения всех зачастую противоречивых требований потребителей информации, производимой системой, получение и накопление информации целесообразно осуществлять в интересах решения наиболее важных задач.

ТПХГ могут характеризоваться различными физическими величинами. Для их сравнительной оценки целесообразно использовать универсальный показатель, определяющий их информативность, независимо от размерности измеряемых физических величин.

В качестве такого показателя может быть использован информационный показатель, определяемый изменением энтропии при выяснении состояния некоторой совокупности ТПХГ, описанных в базе, по какому-либо параметру.

Определим полную информацию, которая может быть получена при распознавании  $N$  объектов по параметру  $X$  для следующей математической модели описания распознаваемых хранилищ [2].

Различают хранилища с постоянными значениями параметра  $X$  и хранилища с флуктуацией параметра, для которых параметр  $X$  определяется набором дискретных значений в диапазоне  $X_{min} < X_m < X_{max}$ . Необходимо отметить, что в связи с наличием ошибок при оценке параметра  $X$  системой анализа информации, описание хранилища с постоянным значением параметра тоже определяется интервалом значений  $X_0 < X < X_x$ , величина которого зависит от ошибок измерения параметра  $X$  и заданной достоверности оценки параметра  $X$  (доверительный интервал оценки величины  $X$ ).

Таким образом, описание совокупности  $N$  хранилищ по параметру  $X$  характеризуется последовательностью интервалов значений, описывающих каждое хранилище, величина которых определяется ошибками измерений параметра  $X$  или индексом флуктуации этого параметра (предполагается, что диапазон изменения параметра при его флуктуации значительно превышает величину доверительного интервала при оценке постоянных значений).

Интервалы значений параметра  $X$ , описывающие отдельные хранилища, могут иметь общие участки значений для различных хранилищ. Если измеренное значение параметра  $X$  объекта находится в пределах таких «перекрывающихся» интервалов, распознать его по параметру  $X$  невозможно. В связи с этим при оценке информативности параметра  $X$  для заданной базы хранилищ все интервалы их значений, в которых однозначное решение задачи распознавания невозможно, должны быть исключены из общей совокупности информативных значений параметра  $X$ .

Таким образом, совокупный интервал информативных значений спектра  $X(H_x)$  определяется величиной [3]:

$$H_x = \sum_{i=1}^n X_{m(cp)t} - \sum_{j=1}^k X_{nj} \quad (1)$$

где  $X_{nj}$  - длина  $j$ -го интервала, в котором значения параметра  $X$  пересекаются;  $k$  - общее число пересекающихся интервалов.

Общее число состояний параметра  $X(L_x)$ , которое может определить система анализа, зависит не только от величины совокупного интервала информативных значений параметра  $X$ , но и разрешающей способности этой системы  $P_x$  по параметру  $X$ . Показатели, определяющие точность и разрешающую способность системы анализа, обычно связаны монотонной зависимостью.

Как правило,  $P_x = (2 \div 6) C_x$ , где  $C_x$  - среднеквадратическая ошибка измерений параметра  $X$ . Величина  $L_x$  определяется по формуле [4]:

$$L_x = \frac{H_x}{P_x} \quad (2)$$

Так как все состояния параметра  $X$  до начала измерений априорно равновероятны, то информация  $I_x$ , полученная от всех информативных измерений параметра  $X$ , вычисляется из соотношения [5]:

$$I_x = \log \left[ 1/P_x \left( \sum_{i=1}^n X_{m(cp)t} - \sum_{j=1}^k X_{nj} \right) \right] \quad (3)$$

Таким образом, для оценки ТПХГ, были выбраны наиболее информативные и устойчивые признаки описания ТПХГ. Принято решение использовать универсальный показатель, который будет определять

информативность ТПХГ. В качестве такого показателя мы использовали изменение энтропии при уточнении совокупности ТПХГ, имеющих описание в базе. В работе была получена полная информация при распознавании объектов по определенному параметру для математической модели описания распознаваемых хранилищ.

#### Список литературы

1. Еременко, В.Т. Методологические аспекты выбора профилей сбора и обработки данных в системах неразрушающего контроля и диагностики технических объектов / В.Т. Еременко, А.В. Тютякин // Контроль. Диагностика. – 2013, № 1. – С. 24 – 31.
2. Сахаров А.А. Концепция построения и реализации информационных систем, ориентированных на анализ данных // СУБД. – 1996 - №4 – с. 55-70.
3. Ерёменко, В.Т. Синтез локально-оптимальной структуры классификатора информационных ресурсов по критерию минимума средней длины процедуры поиска / А.А. Батенков., И.С. Полянский, К.А. Батенков, М.А. Сазонов, В.Т.Еременко// Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 7. – С.3 – 8.
4. Чернецкий В.И. Статистические оценки параметров. – Петрозаводск. – 1987.
5. Ерёменко, В.Т. Методологические аспекты синтеза оптимальной древовидной структуры в системах сбора и обработки информации / В. Т. Еременко, И. С. Полянский, И.И. Беседин// Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2013, № 11. – С.15 – 21.
6. Хетагуров Я.А. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления. М.: Высшая школа, 2006. – с.223.
7. Ерёменко, В.Т. Направления и проблемы интеграции автоматизированных систем управления для предприятий с непрерывным технологическим циклом / В.Т. Ерёменко, Д.С. Мишин, Т.М. Парамохина, А.В. Ерёменко, С.В. Ерёменко //Информационные системы и технологии. – 2014. – № 3. – С.51 -58.
8. Еременко, В.Т. Создание теоретических основ автоматизации и построения технологической составляющей АСУ территориально распределенных предприятий С.И. Афонин, В. Т. Еременко. // Информационные системы и технологии. – 2012, № 2 – С.99 – 105.

## ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО НАХОЖДЕНИЮ ОПТИМАЛЬНОЙ МОДЕЛИ КВАНТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ

**Гузик В.Ф., Гушанский С.М., Потапов В.С.**

ИТАЮФУ, г.Таганрог

Введение. Планирование эксперимента [1] — это комплекс мероприятий, направленных на эффективную постановку опытов. Данная работа будет посвящена проведению полного факторного эксперимента моделей квантовых вычислителей, анализ их адекватности с точки зрения наличия у них определенных параметров. Также оценим связность некоторых характеристик этих моделей. Планирование эксперимента включает:

1. Выдвижение целей эксперимента, его визуального описания.
2. Конкретизация условий выполнения эксперимента.
3. Выбор вида испытаний.
4. Определение входных и выходных показателей на основе сбора и анализа предварительной (априорной) информации.
5. Написание плана эксперимента и его проведение — число и порядок опытов, способ сбора, хранения и документирования полученных данных.
6. Статистическая обработка результатов эксперимента, построение математической модели поведения исследуемых характеристик.
7. Объяснение полученных результатов.

Цель исследования. Цель исследования заключается в том, чтобы создать некий образ (модель) квантового вычислителя [2] с различными типовыми решениями (элементами), стремящийся к идеалу, и позволить пользователям самим строить под свои потребности систему. Достижение этой цели позволит устранить обозначенные проблемы. Кроме того, выбирая «блоки» для своей системы, пользователь в случае необходимости сможет их поменять (подстроить под изменившиеся требования), что делает модель гибкой.

Объект исследования. Для удобства разработки, модификации, портируемости вычислителя, связи с языками программирования и средами разработки он имеет многослойную архитектуру:

1. Ядро - это компонент, который содержит в себе всё необходимое для моделирования кубит [3] (квантового регистра [4]) и набора операций (гейтов [5]), которые применяются к данным кубита.

Ядро эмулятора осуществляет эмуляцию одного квантового регистра с помощью его вектора состояния, реализацию произвольных одно- и двухкубитовых вентилях, предоставляет функции для чтения и записи как для регистра, так и для его отдельных кубитов. В отладочных целях имеется доступ непосредственно к вектору состояния. Для облегчения работы с ядром имеются функции, реализующие конкретные, одно- и двухкубитовые вентили. В настоящее время реализованы все функции ядра и основные квантовые вентили. Библиотека написана на языке Си и допускает как статическую, так и динамическую компоновку с программами пользователя.

2. Библиотека базовых квантовых алгоритмов включает реализацию наиболее часто используемых рутинных квантовых алгоритмов, например, квантового Фурье-преобразования (QFT).

3. Интерфейсы для языков программирования дают возможность использования ядра эмулятора с уже существующими языками, средами разработки и библиотеками без его доработки и перекомпиляции.

Моделирование квантовых вычислений требует специализированного программного обеспечения, которое позволит легко эмулировать выбранную квантовую схему. Примером реализации программного обеспечения, удовлетворяющего таким условиям, является написанный на языке Фортран с использованием MPI набор программ QSMPI. Он представляет собой не что иное, как большой выбор операторов: оператор Паули, преобразование Адамара, контролируемое отрицание, фазовый сдвиг, квантовое преобразование Фурье и др.

Проведение полного факторного эксперимента для конкретной задачи. Полный факторный эксперимент (ПФЭ) [6] – это объединение воедино ряда измерений, которые подчиняются следующим условиям:

- Число измерений составляет  $2^n$ , где  $n$  – количество факторов,  $2$  – число уровней;
- Каждый фактор принимает только два значения – верхнее и нижнее;
- В процессе измерения верхние и нижние значения факторов комбинируются во всех возможных сочетаниях.

В задачах, связанных с практическим характером, часто требуется не только создать, построить математическую модель некоторой системы, но и одновременно оценить ее характеристики и параметры с помощью численных значений. Очень часто построение модели, независимо от своей области деятельности и функциональной направленности, не может быть успешно выполнено без проведения ряда экспериментов, проводимых над такими моделями. В общем случае отклик модели описывается функцией из  $n$  переменных вида:

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

Математическая модель получается в результате аппроксимации этой функции какой-либо другой функцией, например, линейной

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n,$$

где  $a_0, a_1, a_2 \dots a_n$  – искомые параметры модели.

Математическая модель позволяет выделить для исследования наиболее важные свойства модели, абстрагируясь от его несущественных характеристик. Часто моделирование позволяет сформулировать новые гипотезы и получить новые знания о модели, которые при ее исследовании были недоступны.

Матрица эксперимента. Выделим 2 важных фактора (характеристики), влияющих на успешную работу модели квантового вычислителя.

Таблица 1

Факторы эксперимента

№	Факторы	Значения (верхние и нижние -1, +1)
1.	Исходное количество гейтов	6-20
2.	Ограничение по количеству кубит	2-32

В таблице выше описаны не только факторы, но и их пограничные значения.

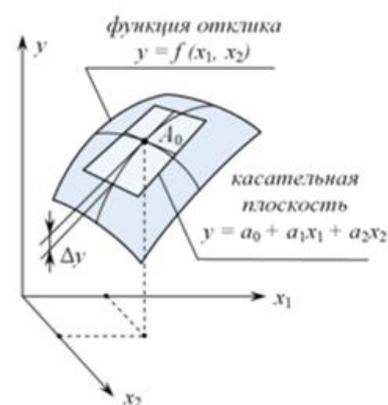


Рис. 1. Функция отклика системы.

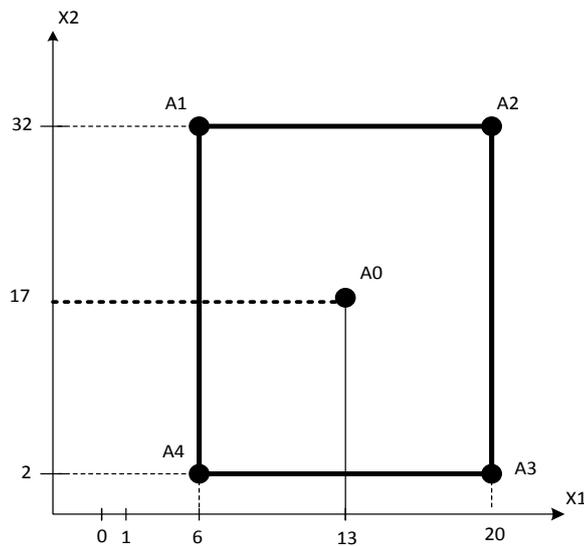


Рис.2. Расположение экспериментальных точек в двумерном пространстве.

В планировании эксперимента сложившейся практикой является использование кодированных значений факторов: +1 и -1. Параметры эксперимента можно записать в виде таблицы, где строки – это опыты, а столбцы – значения факторов. Будем называть такие таблицы матрицами планирования эксперимента. Число измерений в данном случае будет составлять  $2^2$ .

Таблица 2

Матрица эксперимента

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$y$	$x_1$	$x_2$	$y$
1	-1	-1	$y_1$	6	2	25
2	+1	-1	$y_2$	20	2	50
3	-1	+1	$y_3$	6	32	75
4	+1	+1	$y_4$	20	32	100

Полагая, что линейная модель процесса имеет вид:

$$y = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2$$

На основании полученных результатов можно составить систему четырёх уравнений с двумя переменными:

$$\begin{cases} a_0 + 6 * x_1 + 2 * x_2 = 25; \\ a_0 + 20 * x_1 + 2 * x_2 = 50; \\ a_0 + 6 * x_1 + 32 * x_2 = 75; \\ a_0 + 20 * x_1 + 32 * x_2 = 100. \end{cases} \quad \left( \begin{array}{ccc|c} 1 & 6 & 2 & 25 \\ 1 & 20 & 2 & 50 \\ 1 & 6 & 32 & 75 \\ 1 & 20 & 32 & 100 \end{array} \right)$$

В матрице эксперимента второй и третий столбцы представляют собой значения факторов, четвёртый столбец – значения отклика системы, а первый столбец содержит единицы, соответствующие единичным коэффициентам свободного члена модели  $a_0$ .

Решение системы. Чтобы облегчить решение системы, проведём нормировку факторов. Верхним значениям факторов присвоим нормированное значение +1, нижним значениям – нормированное значение -1, среднему значению – нормированное значение 0.

$$\begin{cases} +a_0 - a_1 - a_2 = 25 \\ +a_0 + a_1 - a_2 = 50 \\ +a_0 - a_1 + a_2 = 75 \\ +a_0 + a_1 + a_2 = 100 \end{cases}$$

Тогда,  $4a_0 = 25 + 50 + 75 + 100 = 250$ . Тогда  $a_0 = 62,5$ . Чтобы найти  $a_1$  изменим знак на противоположный во всех нечетных строках, тогда  $a_1 = 12,5$  и  $a_2 = 25$ .

Таким образом, линейная модель технологического процесса в окрестностях точки (13;17) имеет вид

$$y = 62,5 + 12,5 * x_1 + 25 * x_2$$

Но эта модель состоит из нормированных факторов, и чтобы получить реальные значения необходимо вернуться к ненормированным. Окончательно получаем модель в естественных координатах:

$$y = 1 + 1,786 * x_1 + 1,667 * x_2$$

Постановка задачи регрессионного анализа. Регрессионный анализ — метод статистического изучения зависимости одной или нескольких независимых переменных  $X_1, X_2, \dots, X_p$  на зависимую переменную  $Y$ . Рассчитаем средние (промежуточные) данные, требуемые для составления СЛАУ, с помощью которой определяются коэффициенты уравнения регрессии методом наименьших квадратов.

$$\begin{cases} a_0 * 4 + a_1 * \sum_{i=0}^4 x_{1(i)} + a_2 * \sum_{i=0}^4 x_{2(i)} = \sum_{i=0}^4 Y(i) \\ a_0 * \sum_{i=0}^4 x_{1(i)} + a_1 * \sum_{i=0}^4 x_{1(i)}^2 + a_2 * \sum_{i=0}^4 x_{1(i)} * x_{2(i)} = \sum_{i=0}^4 Y(i) * x_{1(i)} \\ a_0 * \sum_{i=0}^4 x_{2(i)} + a_1 * \sum_{i=0}^4 x_{1(i)} * x_{2(i)} + a_2 * \sum_{i=0}^4 x_{2(i)}^2 = \sum_{i=0}^4 Y(i) * x_{2(i)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4a_0 + 52a_1 + 68a_2 = 250 \\ 52a_0 + 872a_1 + 884a_2 = 3600 \\ 68a_0 + 884a_1 + 2056a_2 = 5750 \end{cases}$$

Решается составленная СЛУ с помощью обратной матрицы.

$$\begin{pmatrix} 4 & 52 & 68 \\ 52 & 872 & 884 \\ 68 & 884 & 2056 \end{pmatrix} * \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 250 \\ 3600 \\ 5750 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 4 & 52 & 68 \\ 52 & 872 & 884 \\ 68 & 884 & 2056 \end{pmatrix}^{-1} * \begin{pmatrix} 250 \\ 3600 \\ 5750 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3,15 \\ 1,5 \\ 1,6 \end{pmatrix}$$

Искомое уравнение регрессии

$$y = 3,15 + 1,5 * x_1 + 1,6 * x_2$$

Таблица 3

Коэффициенты уравнения регрессии.

№	$Y_2 \text{ расч } (i) = 3,15 + 1,5 * x_1 + 1,6 * x_2$	$Y_1 \text{ расч } (i) = 3,15 + 1,5 * x_1$
1.	15,35	12,15
2.	36,35	33,15
3.	63,35	12,15
4.	84,35	33,15

$$s_1^2 = \sum_{i=0}^4 (y(i) - y_1 \text{ расч } (i))^2 = 8867,9; s_2^2 = \sum_{i=0}^4 (y(i) - y_2 \text{ расч } (i))^2 = 659,9;$$

Рассчитаем коэффициент частной корреляции:

$$R_{y(1,2)} = \sqrt{\frac{S_1^2 - S_2^2}{S_1^2}} = 0,96$$

Зависимость (связь) между переменными весьма тесная.

Результаты эксперимента и их обсуждение. Индекс детерминации используют для характеристики качества уравнения регрессии. Чем больше  $R^2$ , тем большая часть дисперсии результативного признака ( $y$ ) объясняется уравнением регрессии и тем лучше уравнение регрессии описывает исходные данные. Такое высокое значение (0,96) показывает правильность выбора пары факторов. Остальные же 0,04% объясняется влиянием других факторов на взаимодействие данных характеристик.

Средняя ошибка аппроксимации:

$$A = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{S_1^2 - S_2^2}{S_1^2} \right| * 100\% = \frac{0,025598}{4} * 100\% = 0,64\%$$

Общее суждение о качестве модели высокое (полученный критерий намного ниже максимально допустимых значений: 12-15 %).

Заключение.

В данной работе, были рассмотрены характеристики традиционных моделей квантовых вычислителей. Также был проведен полный факторный эксперимент, составлены матрица эксперимента и математическая модель. Была проведена обработка экспериментальных данных с помощью регрессионного анализа и метода наименьших квадратов, в следствии чего было доказано, что предложенная модель с набором характеристик адекватна.

#### Список литературы

1. Н.И. Сидняев, Н.Т. Вилисова Введение в теорию планирования эксперимента // Методическое пособие // 2011
2. Квантовый компьютер // URL: <http://compress.ru/article.aspx?id=17653> (Дата обращения: 01.12.2014)
3. Кубит // URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Кубит> (Дата обращения: 05.12.2014)
4. Гайнутдинова А.Ф. квантовые вычисления // Казанский государственный университет Методическое пособие // 2007
5. Квантовый вентиль // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый\\_вентиль](https://ru.wikipedia.org/wiki/Квантовый_вентиль) (Дата обращения: 09.12.2014)
6. Полный факторный эксперимент // URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Полный\\_факторный\\_эксперимент](https://ru.wikipedia.org/wiki/Полный_факторный_эксперимент) (Дата обращения: 13.12.2014)

## ПОСТРОЕНИЕ ЭНТРОПИЙНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ МНОГОМЕРНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Лебедева О.В., Тырсин А.Н.

Челябинский государственный университет, РФ, г.Челябинск,  
Уральский федеральный университет, РФ, г.Екатеринбург

Представим стохастическую систему  $S$  в виде многомерной случайной величины  $Y = (Y_1, \dots, Y_m)$ . Будем считать, что данное представление является адекватной математической моделью системы  $S$ . Каждый элемент  $Y_k$  вектора  $Y$  является одномерной непрерывной случайной величиной, которая характеризует функционирование соответствующего элемента исследуемой системы. Элементы могут быть как взаимозависимыми, так и не зависеть друг от друга. Совместную дифференциальную энтропию многомерной случайной величины  $Y$  будем определять по формуле [7]:

$$H(Y) = - \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} f_Y(x_1, x_2, \dots, x_m) \ln f_Y(x_1, x_2, \dots, x_m) dx_1 dx_2 \dots dx_m$$

где  $f_Y(x_1, x_2, \dots, x_m)$  – совместная плотность распределения случайных величин  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ .

В [5] показано, что если распределения компонент  $Y_k$  имеют параметры сдвига и масштаба, то при условии сохранения типов распределений, изменение энтропии случайного вектора  $\mathbf{Y}$  определяется по формуле

$$\Delta H(\mathbf{Y}) = H(\mathbf{Y}^{(2)}) - H(\mathbf{Y}^{(1)}) = \sum_{k=1}^m \ln \frac{\sigma_{Y_k^{(2)}}}{\sigma_{Y_k^{(1)}}} + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^m \ln \frac{1 - R_{Y_k^{(2)}/Y_1^{(2)} \dots Y_{k-1}^{(2)}}^2}{1 - R_{Y_k^{(1)}/Y_1^{(1)} \dots Y_{k-1}^{(1)}}^2}, \quad (1)$$

$\mathbf{Y}^{(1)} = (Y_1^{(1)}, Y_2^{(1)}, \dots, Y_m^{(1)})$ ,  $\mathbf{Y}^{(2)} = (Y_1^{(2)}, Y_2^{(2)}, \dots, Y_m^{(2)})$  – две системы непрерывных случайных величин, каждые соответствующие компоненты которых  $Y_k^{(1)}$ ,  $Y_k^{(2)}$  ( $k = 1, 2, \dots, m$ ) определены на всей числовой оси, имеют конечные дисперсии  $\sigma_{Y_k^{(j)}}^2$  и описываются однотипными законами распределения, с некоторыми параметрами положения и масштаба;  $R_{Y_k^{(j)}/Y_1^{(j)} \dots Y_{k-1}^{(j)}}^2$  – индексы детерминации соответствующих регрессионных зависимостей,  $k = 2, 3, \dots, m$ ,  $j = 1, 2$ .

Обозначив  $\Delta H(Y)_\Sigma = \sum_{k=1}^m \ln \frac{\sigma_{Y_k^{(2)}}}{\sigma_{Y_k^{(1)}}}$ ;  $\Delta H(Y)_R = \frac{1}{2} \sum_{k=2}^m \ln \frac{1 - R_{Y_k^{(2)}/Y_1^{(2)} \dots Y_{k-1}^{(2)}}^2}{1 - R_{Y_k^{(1)}/Y_1^{(1)} \dots Y_{k-1}^{(1)}}^2}$ , представим

формулу (1) как

$$\Delta H(Y) = \Delta H(Y)_\Sigma + \Delta H(Y)_R,$$

где  $\Delta H(Y)_\Sigma$  и  $\Delta H(Y)_R$  – приращения энтропии за счет изменения дисперсий и корреляций случайных величин  $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ .

Компонента  $H(Y)_\Sigma$  определяет предельную энтропию, соответствующую полной независимости элементов системы. Поэтому условно назовем её энтропией хаотичности. Величина  $H(Y)_R$  равна энтропии за счет совместной корреляционной взаимосвязи между элементами системы, ее условно можно назвать энтропией самоорганизации.

Рассмотрим алгоритм построения энтропийной модели (1) динамики многомерной стохастической системы по экспериментальным данным.

1. Вычислим динамику энтропии в течение времени  $t = 1, \dots, l$ :  $\Delta^1 H(Y), \dots, \Delta^l H(Y)$ .

2. Найдем критический период  $\Delta^{\max}$ , в котором динамика энтропии максимальна.

3. В критическом периоде  $\Delta^{\max}$  рассмотрим  $\Delta^{\max} H(Y)_\Sigma$  и  $\Delta^{\max} H(Y)_R$ :

3.1. Если  $\Delta^{\max} H(Y)_\Sigma > \Delta^{\max} H(Y)_R$ , то компонента  $k = \max\{\Delta H(Y_k)\}_{k=1}^m$  оказала наибольшее влияние на изменение в системе.

3.2. Если  $\Delta^{\max} H(Y)_R > \Delta^{\max} H(Y)_\Sigma$ , то компонента

$k = \max\{|\Delta R_{Y_1/Y_2 Y_3 \dots Y_k}|, |\Delta R_{Y_2/Y_1 Y_3 \dots Y_k}|, \dots, |\Delta R_{Y_k/Y_1 Y_2 \dots Y_{k-1}}|\}_{k=1}^m$  оказала наибольшее влияние на изменение в системе.

Очевидно, что основная трудность использования модели (1) состоит в формализации оценивания индексов детерминации, поскольку формы соответствующих регрессионных зависимостей не известны.

Множественный индекс детерминации показывает долю дисперсии результативной переменной  $Y$ , объясненной вариацией факторных переменных  $X_1, \dots, X_m$ , включённых в нелинейную модель регрессии [1]

$$R_{Y/X_1 \dots X_m}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}, \quad (2)$$

где  $\bar{y}$  – среднее значение результирующей переменной,  $\hat{y}_i$  – значения регрессии,  $y_i$  – фактические значения переменной  $Y$ .

У эмпирической регрессии функциональная форма не известна, поэтому значения  $\hat{y}_i$  определяют без построения уравнения регрессии, используя непараметрические методы.

Известны два основных подхода для построения непараметрической регрессии – это группировка данных и сглаживание данных.

Рассмотрим вычисление показателя тесноты связи по аналитической группировке. Группировка – это распределение единиц по группам в соответствии со следующим принципом: различия между единицами, отнесенными к одной группе, должны быть меньше, чем между единицами, отнесенными к разным группам [2]. При вычислении показателя тесноты методом группировки характер данных (количество, плотность расположения на диаграмме рассеяния) должен допускать:

- их группирование относительно объясняющей переменной;
- возможность подсчета средних значений объясняемой переменной внутри каждого интервала группирования.

Один из известных способов группировки для случая, когда имеется одна объясняющая переменная, по которой производится группировка, основан на задании числа интервалов  $L$  разбиения по формуле Старджесса [2]

$$L = 1 + 3,222 \lg n,$$

при этом величина интервала равна  $h = (x_{\max} - x_{\min}) / L$ , где  $x_{\max} - x_{\min}$  – разность между наибольшим и наименьшим значениями признака.

Основным недостатком аналитического группирования является невозможность его эффективного применения при многомерности данных.

Другим известным методом группировки статистических данных является кластерный анализ. Кластерный анализ – это способ группировки многомерных объектов, основанный на представлении результатов отдельных наблюдений точками подходящего геометрического пространства с последующим выделением групп как «сгустков» этих точек (кластеров, таксонов) [3, 4]. В кластерном анализе группировочные признаки подвергаются объединению с помощью некоторой «метрики» – евклидова расстояния или иной, то есть качество кластеризации многомерной выборки (окончательный вариант разбиения объектов на классы) напрямую зависит от того, насколько правильно выбрана эта метрика, отражающая расстояния между объектами выборки.

Основными недостатками кластерного анализа при группировании являются:

- невозможность применения при плохой делимости данных на кластеры;
- необходимость априорных знаний о радиусе кластеров.

Таким образом, метод группирования не позволяет оценить индекс детерминации для произвольных многомерных данных, так как требует априорной информации для разбиения исследуемых данных на группы.

В [6] рассмотрен ряд непараметрических алгоритмов построения регрессии, основанных на сглаживании значений  $y_i$ . К ним следует отнести ядерное сглаживание, оценки  $k$ -ближайших соседей, оценки ортогональных разложений, сглаживание сплайнами и др.

Основным недостатком данного подхода является проблема выбора размера окрестности усреднения (апертуры сглаживающего фильтра). Заниженное значение окрестности недостаточно сглаживает непараметрическую регрессию, что приводит к завышению индекса детерминации. А, завышенное значение окрестности, наоборот, приводит к чрезмерному сглаживанию, при этом индекс детерминации занижается. Какого-либо универсального критерия выбора оптимальной окрестности сглаживания не предложено.

В [6] представлены различные методы выбора параметра сглаживания, такие как кросс-проверка, штрафные функции и метод постановки. Показано, что в действительности существует целая область субъективного выбора ширины окна внутри медленно сужающегося доверительного интервала, соответствующего оптимуму. Представлены различные методы адаптации параметра сглаживания к локальной кривизне кривой, такие как бутстреп и суперсглаживатель. Недостатками предложенных в [6] методов является

их многообразие и сложность, что затрудняет их использование на произвольных, многомерных выборках данных.

Рассмотрим подход, устраняющий недостатки, присущие методам группировки и сглаживания.

Опишем алгоритм, осуществляющий построение непараметрической регрессии с помощью сглаживания линейной регрессией.

Пусть имеем многомерную выборку  $(x_{i1}, \dots, x_{im}, y_i)$ ,  $i = 1, \dots, n$ . Формируем матрицу расстояний  $\mathbf{R}$ ,

$$\text{элементы которой } r_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2}, \quad i, j = 1, \dots, n.$$

Для каждого  $i$ -го наблюдения подбираем оптимальную выборку из  $L_i$  ближайших соседей согласно матрице  $\mathbf{R}$ , так чтобы построенное уравнение линейной регрессии

$$\tilde{y}_l = a_{i0} + \sum_{k=1}^m a_{ik} x_{lk}, \quad l \in L_i = \{l_1, l_2, \dots, l_{L_i}\} \quad (3)$$

имело минимальную дисперсию ошибок регрессии

$$s_{L_i}^2 = \frac{\sum_{j \in L_i} (y_j - \tilde{y}_j)^2}{L_i - m - 1} \rightarrow \min_{3(m+1) < L_i \leq n}. \quad (4)$$

Для оптимальной локальной выборки из  $L_i$  ближайших соседей по формуле (3) формируем значение  $\hat{y}_i$  непараметрической регрессии

$$\hat{y}_i = a_{i0} + \sum_{k=1}^m a_{ik} x_{ik}.$$

По сформированному таким образом множеству значений  $\hat{y}_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , по (2) найдем оценку индекса детерминации множественной регрессии.

Очевидно, что оптимальные размеры локальных выборок  $L_i$  согласно (4) в общем случае будут различными. Это позволит учесть изменение градиента теоретической функции регрессии в зависимости от значений факторных переменных и дисперсии случайной компоненты. Так как не использовалось никаких предположений о виде функции регрессии, то описанный алгоритм является непараметрическим.

Отметим, что оценку коэффициентов регрессии в (3) выполняют по-разному, в зависимости от особенностей исходных данных, например, можно использовать метод наименьших квадратов, метод наименьших модулей, а также робастные методы.

На модельных данных выполним сравнение известных алгоритмов непараметрического оценивания индекса детерминации и предложенного алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией. Воспользуемся методом статистического моделирования Монте-Карло.

Пример 1. Рассмотрим двумерную стохастическую систему  $(X, Y)$ . Пусть  $y = 1 - x - e^{-200(x-1/2)^2} + \varepsilon$ , где  $x \sim R[-1, 1]$  – равномерное распределение на отрезке  $[-1; 1]$ ,  $\varepsilon \sim N(0, 1)$  – нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и единичным среднеквадратическим отклонением, объем выборки  $N = 100$ .

Данный пример был рассмотрен в [6] и показано, что такая модель отражает некоторый «крайний» случай, поскольку «практически весь сигнал забит шумом». Однако этот пример показывает, что реально может происходить на практике.

Для рассмотрения сглаживающего алгоритма воспользуемся ядерной оценкой с шириной окна  $h = 0,05$  и

гауссовским ядром  $K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} e^{-u^2/2}$ . В [6] показано, что более сильное сглаживание должно существенно «размывать» структуру зависимости, а меньшая ширина окна должна давать слишком грубую

кривую. Если бы использовалось другое ядро, например, ядро с компактным носителем, картина была бы иной при этой же ширине окна, так как различные ядра по-разному нормированы.

Результаты вычисления теоретического индекса детерминации, индекса детерминации с использованием алгоритмов группирования, сглаживания и предложенного алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией представлены в таблице. Проведено  $M = 1000$  испытаний.  $D_R^2$  – дисперсия индекса детерминации.

Пусть  $R_{теор}^2$  – теоретическое значение индекса детерминации,  $R_{сп}^2$  – индекс детерминации, полученный с помощью алгоритма группирования,  $R_{сг}^2$  – индекс детерминации, полученный с помощью алгоритма сглаживания,  $R_{рег}^2$  – индекс детерминации, полученный с помощью алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией.

Таблица 1

Сравнение индекса детерминации для модельных данных при  $x \sim R[-1,1]$

$y = 1 - x - e^{-200(x-1/2)^2} + \varepsilon$ , где $x \sim R[-1,1], \varepsilon \sim N(0,1)$	$R^2$	$D_R^2$
$R_{теор}^2$	0,248	0,0016
$R_{сп}^2$	0,256	0,0053
$R_{сг}^2$	0,305	0,0046
$R_{рег}^2$	0,275	0,0063

Таблица 2

Сравнение индекса детерминации для модельных данных при  $x \sim R[-2,2]$

$y = 1 - x - e^{-200(x-1/2)^2} + \varepsilon$ , где $x \sim R[-2,2], \varepsilon \sim N(0,1)$	$R^2$	$D_R^2$
$R_{теор}^2$	0,580	0,0057
$R_{сп}^2$	0,575	0,0039
$R_{сг}^2$	0,657	0,0034
$R_{рег}^2$	0,589	0,0055

Таблица 3

Сравнение индекса детерминации для модельных данных при  $x \sim R[-3,3]$

$y = 1 - x - e^{-200(x-1/2)^2} + \varepsilon$ , где $x \sim R[-3,3], \varepsilon \sim N(0,1)$	$R^2$	$D_R^2$
$R_{теор}^2$	0,759	0,0061
$R_{сп}^2$	0,741	0,0021
$R_{сг}^2$	0,822	0,0017
$R_{рег}^2$	0,765	0,0029

Анализ результатов, представленных в Табл.1–3, свидетельствует о следующем. В предложенном алгоритме на основе сглаживания линейной регрессией при малых значениях индекса детерминации наблюдается отклонение  $R_{рег}^2$  от  $R_{теор}^2$  на небольших апертурах (объем локальной сглаживающей выборки), так как случайная компонента подавляется не полностью. Это означает, что часть ее дисперсии переходит в дисперсию регрессионной зависимости. В результате оценка индекса детерминации искусственно завышается. С увеличением апертуры случайная компонента подавляется все больше и больше, в результате оценка индекса детерминации постепенно уменьшается, приближаясь к своему теоретическому значению.

Пример 2. Рассмотрим двумерную стохастическую систему  $(X, Y)$ . Пусть  $y = x^2 + \varepsilon$ , где  $x \sim R[-2,2], \varepsilon \sim N(0,1)$ . Выполним сравнение известных алгоритмов непараметрического оценивания индекса детерминации и предложенного алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией при объеме выборки  $N = 40, 70, 100$  (количество испытаний  $M = 1000$ ).

Для рассмотрения сглаживающего алгоритма также воспользуемся ядерной оценкой с гауссовским ядром  $K(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-u^2/2}$ . Однако в данном случае наиболее оптимальной является ширина окна  $h = 0,15$ .

Таблица 4

Сравнение индекса детерминации при изменении объема выборки данных

$y = x^2 + \varepsilon$ , где $x \sim R[-2,2], \varepsilon \sim N(0,1)$	$N = 40$		$N = 70$		$N = 100$	
	$R^2$	$D_R^2$	$R^2$	$D_R^2$	$R^2$	$D_R^2$
$R_{теор}^2$	0,614	0,0181	0,603	0,0089	0,597	0,0059
$R_{сп}^2$	0,557	0,0100	0,559	0,0058	0,551	0,0039
$R_{сз}^2$	0,611	0,0082	0,575	0,0052	0,563	0,0036
$R_{рег}^2$	0,541	0,0110	0,569	0,0076	0,582	0,0053

Рассмотрение результатов расчета (см. Табл.4) показывает, что в предложенном алгоритме на основе сглаживания линейной регрессией с увеличением объема выборки  $N$  индекс детерминации  $R_{рег}^2$  стремится к своему теоретическому значению  $R_{теор}^2$ .

Пример 3. Рассмотрим двумерную стохастическую систему  $(X, Y)$ . Пусть  $y = x^2 + \varepsilon$ , где  $x \sim R[-2,2], \varepsilon \sim N(0,1)$ . Выполним сравнение предложенного алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией со сглаживанием на основе нелинейной регрессии (например, параболической регрессии) при объеме выборки  $N = 40, 70, 100$ , количество испытаний  $M = 1000$ .

Пусть  $R_{параб}^2$  – индекс детерминации, полученный с помощью алгоритма на основе сглаживания параболической регрессией.

Таблица 5

Сравнение индекса детерминации, полученного с помощью предложенного алгоритма для линейной и нелинейной регрессии

$y = x^2 + \varepsilon$ , где $x \sim R[-2,2], \varepsilon \sim N(0,1)$	$N = 40$		$N = 70$		$N = 100$	
	$R^2$	$D_R^2$	$R^2$	$D_R^2$	$R^2$	$D_R^2$

$R_{теор}^2$	0,614	0,0181	0,603	0,0089	0,597	0,0059
$R_{регр}^2$	0,541	0,0110	0,569	0,0076	0,582	0,0053
$R_{параб}^2$	0,564	0,0104	0,584	0,0066	0,588	0,0042

Сравнение результатов расчета (см. Табл.5) показывает, что если градиент теоретической функции регрессии существенно изменяется, то целесообразно в предложенном алгоритме использовать нелинейную регрессию, особенно на малых выборках данных.

Пример 4. Рассмотрим систему  $(X, Y, Z)$ . Пусть  $z = 5x^2 + y^2 + \varepsilon$ , где  $x, y \sim R[-1,1], \varepsilon \sim N(0,1)$ , объем выборки  $N = 70$ , число испытаний  $M = 1000$ .

В многомерном случае алгоритмы группирования требуют априорной информации для разбиения исследуемых данных на группы. При использовании алгоритмов сглаживания, как в одномерном, так и в многомерном случае возникает вопрос выбора оптимального критерия окрестности сглаживания. Сравним индексы детерминации известных алгоритмов с различными аперттурами и алгоритма на основе сглаживания линейной регрессией с теоретическим значением индекса детерминации.

Таблица 6

Сравнение индекса детерминации для многомерных данных

	$R_{теор}^2$	$R_{сп}^2$			$R_{сг}^2$			$R_{регр}^2$
		$L = 3$	$L = 4$	$L = 5$	$h = 0,01$	$h = 0,04$	$h = 0,07$	
$R^2$	0,616	0,406	0,586	0,659	0,839	0,625	0,525	0,599
$D_R^2$	0,0259	0,0066	0,0054	0,0040	0,0033	0,0045	0,0042	0,0049

Пример 4, как видно из Табл.6, свидетельствует, что предложенный алгоритм на основе сглаживания линейной регрессией для многомерного случая значительно превосходит известные алгоритмы. Он обеспечивает высокую точность оценивания индекса детерминации. Известные алгоритмы являются не устойчивыми, их результаты зависят от параметров  $L, h$ .

Выводы.

Предложенное сглаживание на основе линейной регрессии обладает следующими особенностями.

1. Для каждого наблюдения мы выбираем ближайшие по евклидову расстоянию точки. Действительно, нелинейная зависимость может проявлять себя по-разному. Рассмотрение простой окрестности точки для сложной нелинейной зависимости при вычислении регрессии может привести к ошибочным результатам.

2. Для выбора оптимальной окрестности, мы не используем априорные данные о виде модели и не подбираем окрестность эвристически, а для каждого наблюдения ищем окрестность с минимальной дисперсией ошибок регрессии. Очевидно, что чем меньше значение дисперсии ошибок регрессии, тем качество однотипной модели выше. Поэтому задачу (4) можно считать формальным критерием эффективности для нахождения оптимальной окрестности (числа соседних точек).

3. Если градиент теоретической функции регрессии существенно изменяется, то при сглаживании вместо линейной регрессии можно использовать нелинейную регрессию, например, в виде квадратических функций. В частности, для двух переменных вместо парной линейной регрессии имеем параболическую регрессию. При этом критерий оптимальности выбора окрестности для сглаживания остается тем же. Это делает рассматриваемый подход универсальным.

4. Для многомерного случая (три и более переменных) сглаживание на основе регрессии существенно выигрывает по сравнению с известными алгоритмами.

5. Предложенный метод непараметрического оценивания индекса детерминации на основе локального сглаживания регрессией обеспечивает достаточную точность для многомерных выборочных данных. Это позволяет на его основе оценивать энтропийные модели динамики многомерных стохастических систем по экспериментальным данным.

### Список литературы

1. Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Исследование зависимостей. – М.: Финансы и статистика, 1985. – 487 с.
2. Елисеева И.И., Юзбашев М.М. Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И.И. Елисеевой. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.
3. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. – Новосибирск: Изд-во института математики, 1999. – 270 с.
4. Мандель И.Д. Кластерный анализ. – М.: Финансы и статистика, 1988. – 176 с.
5. Тырсин А.Н., Ворфоломеева О.В. Исследование динамики многомерных стохастических систем на основе энтропийного моделирования / Информатика и ее применения. – 2013. – Т. 7. Вып. 4. – С. 3–10.
6. Хардле В. Прикладная непараметрическая регрессия. М.: Мир, 1993. – 349 с.
7. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Издательство иностранной литературы, 1963. – 830 с.

## ПРОГРАММНАЯ ОБРАБОТКА АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОВРЕМЕННЫХ ПУТЕВЫХ МАШИН

**Бунаков П.Ю., Фокин С.В.**

МГОСГИ, г. Коломна Московской области

Железные дороги – ведущая стратегическая транспортная сеть практически любого государства. Ритмичность и интенсивность железнодорожных перевозок представляют собой основные факторы, определяющие уровень развития экономики страны, поэтому состояние железнодорожного полотна служит ключом к обеспечению эффективного грузооборота. Путевые работы являются сложными, трудоемкими (малопривлекательными) и многооперационными. На ремонтных работах требуется выполнять до 80 технологических операций, а при текущем обслуживании полотна их количество увеличивается до 120. Для комплексной механизации и автоматизации путевых работ созданы одно- и многооперационные путевые машины. [3] По этой причине одним из важных направлений работы в железнодорожной отрасли является совершенствование специального подвижного состава. Высокая производительность и надежность машин дает возможность постоянно поддерживать состояние полотна в требуемом состоянии, гарантирующем высокий темп передвижения транспорта. Неисправность путевой машины часто приводит к значительным убыткам, поскольку нарушение графика ремонтных работ вызывает сбой в расписании движения поездов. С развитием технологий ремонта и обслуживания пути в конструкциях специального подвижного состава появляются новые агрегаты и узлы. Это приводит к повышению производительности путевых машин и снижению эксплуатационных затрат. Однако наращивание функционала путевой техники усложняет задачу поддержания её в состоянии пригодном для эксплуатации. Для решения данной задачи требуется внедрение современных методов мониторинга, контроля и диагностики, которые позволяли бы своевременно и достоверно оценивать состояние узлов и деталей. Мониторинг текущего состояния путевой машины дает возможность выявить проблемы в её работе ещё до того, как они станут причиной поломки оборудования. [6]

В системах диагностики и мониторинга специального подвижного состава в качестве источника первичной информации для оценки состояния объекта используются датчики. Их можно разделить на два типа – аналоговые и дискретные. От характеристик датчика зависит качество получаемого сигнала. При использовании аналоговых датчиков их измерительные каналы являются сложной частью системы мониторинга и диагностики. Качество полученных данных зависит не только от погрешности средств измерений, но и от корректности методики измерений, а также правильности выполнения кабельной разводки. Измерительные каналы систем мониторинга и диагностики создаются, как правило, в полевых условиях, что является причиной появления ошибок и помех. [2]

Таким образом, сигнал, поступающий на вход рабочей промышленной системы мониторинга и диагностики даже при грамотной кабельной разводке, чаще всего имеет помехи. С помехами приходится бороться как аппаратными, так и программными средствами. В данной статье описывается способ сглаживания аналогового сигнала при реализации человеко-машинного интерфейса в системе диагностики специального подвижного состава РПБ-01.

При реализации человеко-машинного интерфейса важно представить данные таким образом, чтобы они максимально просто воспринимались оператором. Доказано, что традиционный приборный интерфейс с

динамическими элементами (движущиеся стрелки и указатели) более наглядно отображает информацию, требующую когнитивной обработки, нежели иные графические приборы. Современные средства, обладающие богатыми вычислительными и изобразительными возможностями, позволяют отобразить как стрелочный прибор для удобного восприятия информации, так и конкретизированное численное значение. [1]

Разделяют два этапа обработки входных сигналов: первичный (предварительный) и вторичный. [4] В общем случае на входе системы ( $V(t)$ ) имеется смесь полезного сигнала ( $x(t)$ ), некоторого шума ( $n(t)$ ) и различных помех ( $p(t)$ ):

$$V(t) = x(t) + n(t) + p(t),$$

где  $n(t)$  является характеристикой самого датчика, а  $p(t)$  – некоторое искажающее воздействие самой физической среды, в которой распространяется сигнал (например, затухание). Подавление шума  $n(t)$  и помехи  $p(t)$  является задачей предварительной обработки сигнала. Для её решения используются аппаратные и программно-аппаратные средства. [4]

Вторичная обработка сигнала необходима в системах мониторинга для качественной оценки состояния объекта и конкретного отображения параметра на автоматизированном рабочем месте (АРМ) оператора. Присутствие только средств первичной обработки сигнала не может гарантировать стабильное, фиксированное значение параметра на экране монитора. Сигнал по-прежнему может колебаться около истинного значения. Это затрудняет восприятие данных и вносит трудности в работу оператора.

Этап вторичной обработки сигнала реализуется на ЭВМ программными методами и характеризуется гибкостью используемых алгоритмов. Для аналоговых сигналов зачастую необходимо применять методы сглаживания.

Сглаживание представляет собой некоторый способ локального усреднения данных, при котором несистематические компоненты взаимно компенсируют друг друга. Существуют различные методы сглаживания, но самым популярным является метод скользящего среднего. В этом методе каждый член ряда заменяется простым или взвешенным средним нескольких соседних членов. Вместо среднего можно использовать медиану значений этих членов. Основное преимущество медианного сглаживания по сравнению со сглаживанием методом скользящего среднего состоит в том, что результат становится более устойчивыми к выбросам. Таким образом, если в данных имеются выбросы, связанные, например, с ошибками измерений, то сглаживание медианой обычно приводит к более гладким кривым, по сравнению со скользящим средним. Основной недостаток медианного сглаживания состоит в том, что при отсутствии явных выбросов, он дает менее гладкую функцию на выходе.

В тех случаях, когда ошибка измерения очень большая, используется сглаживание методом наименьших квадратов, взвешенных относительно расстояния, или метод отрицательного экспоненциально взвешенного сглаживания. Все эти методы отфильтровывают шум и преобразуют данные в достаточно гладкую кривую. Ряды с относительно небольшим количеством наблюдений и систематическим расположением точек могут быть сглажены с помощью бикубических сплайнов. [7]

Сигнал с аналогового датчика проходит первичную обработку, поэтому явные выбросы отфильтровываются. Ввиду их отсутствия при вторичной обработке для сглаживания функции целесообразно применение метода скользящего среднего. В этом случае значение сигнала на выходе вычисляться по формуле:

$$Y(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p(t-i) = \frac{p(t) + p(t-1) + \dots + p(t-n+2) + p(t-n+1)}{n},$$

где  $Y(t)$  – значение скользящего среднего в момент времени  $t$ ,  $n$  – количество значений исходной функции для расчета скользящего среднего (сглаживающий интервал или «окно»),  $p(t-i)$  – значение исходного сигнала в момент времени  $t-i$ . [5]

От ширины сглаживающего интервала зависит вид выходного сигнала: чем он шире, тем более плавным получается сигнал на выходе.

Как показала практика, при использовании различного типа аналоговых датчиков с линейной характеристикой ширина сглаживающего интервала может находиться в диапазоне от трех до одиннадцати. Ширина размером 3 допустима в том случае, если сигнал быстро изменяется (с частотой выше 1 Гц), и более пологое сглаживание может привести к запаздыванию отображения истинного значения. Примерами таких сигналов могут служить частота оборотов двигателя или давление масла в гидросистеме. Ширина сглаживающего интервала размером более чем 7 применима для остальных случаев, когда сигнал изменяется

плавно, не меняя быстро своих значений. К таким сигналам относятся, например, температура двигателя или уровень топлива в баке.

Блок-схема алгоритма сглаживания сигнала методом скользящего среднего приведена на Рисунке 1.



Рис.1. Блок-схема реализации подпрограммы нахождения скользящего среднего.

Приведенный алгоритм используется при реализации человеко-машинного интерфейса системы мониторинга и диагностики путевой машины российского производства РПБ-01.

Применение сглаживания результатов наблюдений после первичной обработки сигнала программно-аппаратными методами позволяет представить оператору данные в виде, удобном для восприятия и анализа. При создании системы мониторинга для тяжелой путевой техники это особенно актуально, так как сигналы от датчиков подвергаются воздействию огромного количества помех на борту машины. Метод скользящего среднего качественно решает задачу сглаживания и при этом не требует больших вычислительных ресурсов и памяти.

#### Список литературы

1. Анохин А. Человеко-машинный интерфейс для поддержки когнитивной деятельности операторов АС [Текст] // Анохин А. Н., Ивкин А.С. Ядерные измерительно-информационные технологии. – Москва, 2012. –№1 (41).С. 57-66.
2. Денисенко В. Динамическая погрешность измерительных каналов АСУ ТП. [Текст] / В. Денисенко // СТА. – 2004. –№ 2. – с. 92-101.
3. Путь и путевое хозяйство. [Электронный ресурс] Сайт для студентов и работников путевого хозяйства. – Электрон. текстовые данные – Режим доступа: <http://rzd-puteetz.ru/klassifikatsiya-putevy-h-mashin/> Дата обращения: 24.12.2014.
4. Тропченко А.Ю. Цифровая обработка сигналов. Методы предварительной обработки. [Текст] / А. Ю. Тропченко, А.А. Тропченко. Учебное пособие по дисциплине «Теоретическая информатика». // Санкт-Петербургский Государственный Университет Информационных технологий, механики и оптики. Санкт-Петербург, 2009 – с. 6-7.

5. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки. Институт экологии Волжского бассейна Российской Академии наук. [Электронный ресурс] – Электронный журнал "Jahrbuch für EcoAnalytic und EcoPatologic" – Электрон. текстовые данные – Режим доступа: <http://www.ievbras.ru/ecostat/Kiril/Library/Book2/Content222/Content222.htm> Дата обращения: 27.12.2014
6. Фокин С. В. Надежность работы железнодорожных путевых машин: проблемы и пути решения. [Текст] / Бунаков П. Ю., Фокин С. В. // Современные проблемы транспортного комплекса России: сборник науч. трудов. – Магнитогорск (в печати)
7. Электронный учебник по статистике StatSoft. [Электронный ресурс] – Электронный учебник – Электрон. текстовые данные – Режим доступа: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/sttimser.html#systematic> Дата обращения: 27.12.2014

## РАЗРАБОТКА ФАСЕТНОГО КЛАССИФИКАТОРА РИСКОВ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА

**Псоянц В.Г.**

РГРТУ, г.Рязань

Практика современной инженерной деятельности показывает, что управление программными проектами отождествляется с директивным исполнением плановых мероприятий, сформированных при открытии проекта. Для современной инженерии характерна высокая степень неопределенности и стохастическая динамика условий выполнения работ. Это обстоятельство является причиной возникновения событий и ситуаций, являющихся источниками рисков и требующих постоянной корректировки плана выполнения проекта (процесса). Современная проектная деятельность должна строиться на принципах гибкости, которая является главной предпосылкой обеспечения ее рискованной устойчивости. Для успешного формирования методологии обеспечения рискованной устойчивости необходимо решить ряд задач управления рисками, в числе которых ключевую позицию занимает задача о комплексном риске, а также исследование факторов жизненного цикла программного проекта порождающих рисков угрозы, анализ и классификацию рисков.

Вопрос создания общей методологии оценки комплексного риска проектных работ является фундаментом, определяющим рискованную устойчивость проекта в целом и позволяющим оценить риски на высших проектных уровнях (риски этапов, риски стадий, интегральный риск проекта).

Другой важной исследовательской задачей процесса управления рисками является вопрос классификации рисков. Это обусловлено тем, что с одной стороны в основе оценки и минимизации комплексных рисков проектных работ лежит анализ единичных рисков проекта, который включает процесс их идентификации, основанный на использовании классификаторов. С другой стороны, создание классификатора направлено на структурирование большого объема субъективной информации циркулирующей на этапе анализа рисков.

В перечне процедур идентификации проектных рисков процедура классификации рисков ещё не достигла завершённого уровня разработки. Поэтому формирование обобщённого классификатора проектных рисков является назревшей актуальной задачей.

Построение классификаторов основывается на описании классифицируемой сущности как понятия, т.е. на описании этой сущности упорядоченным иерархическим множеством атрибутов-категорий.

В работе применяется описательная модель проектного риска в виде двухуровневой информационной структуры, построенной на использовании качественных и количественных показателей (Табл.1).

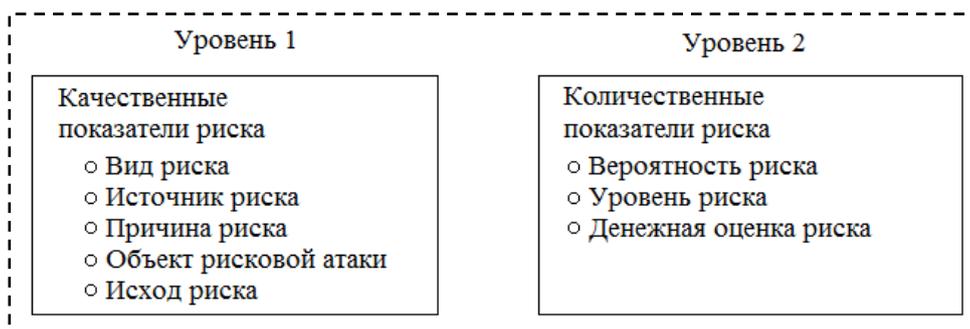


Рис.1. Описательная модель проектного риска

В данной модели система качественных показателей риска задает классы характеристик, нуждающихся в детализации. Для выполнения работ такого рода обычно используется механизм фасетной классификации [1], который является эффективным инструментом системного описания абстрагированных сущностей на понятийном уровне.

Фасетные классификаторы относятся к группе классификаторов комбинаторного типа. В простейшем варианте фасетный классификатор представляет собой связный двухуровневый древовидный граф, вершины которого задают состав атрибутов, описывающих классифицируемую сущность, а рёбра - структуру отношений между этими атрибутами.

В иерархической системе фасетного классификатора (Табл.1) нулевым уровнем классификатора является вершина  $R$ , задающая классифицируемую сущность. Множество вершин  $D$  первого иерархического уровня задаёт множество элементов первой ступени декомпозиции классифицируемой сущности. Эти вершины играют роль дискриминаторов и описывают аспекты классификации. Второй иерархический уровень классификатора образован вершинами  $A$  графа, которые задают семейство подмножеств атрибутов- категорий, в которых каждое из подмножеств является декомпозицией соответствующего дискриминатора и представляет собой набор альтернативных реализаций этого дискриминатора. В общем случае фасетная классификационная структура содержит  $I$  дискриминаторов, которые декомпозированы на группы, включающие по  $J_i$  атрибутов-категорий. [2,3,4]

Таблица 1

Фасетная классификационная структура

Уровень 0 – Классифицируемая сущность ( $R$ )– риск
Уровень 1 – Дискриминаторы ( $D_i$ ) – аспекты классификации
Уровень 2 – Атрибуты-категории ( $A_{ij}$ )–альтернативные реализации

Таким образом, вершины нижнего уровня представляют собой множество атрибутов-категорий классифицируемой сущности, которые в совокупности описывают на понятийном уровне  $K$  возможных вариантов реализации этой сущности. При этом каждая  $k$ -тая альтернативная реализация описывается неповторяющимся сочетанием  $ij$ -тых вершин нижнего уровня классификатора, извлеченных по одной из каждой  $i$ -той группы, связанной с каждым из  $I$  имеющихся дискриминаторов классификатора (Рисунок 2).

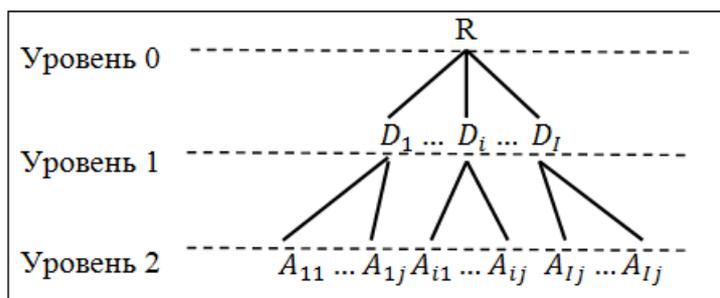


Рис.2. Архитектура фасетного классификатора

Где  $R$  – Классифицируемая сущность (Риск),  $D_i$  – Дискриминаторы сущности  $R$ ,  $A_{ij}$  – Атрибуты дискриминаторов  $D_i$ .

Данные, полученные при аналитическом обзоре рассматриваемой нами проблемы, позволяют констатировать, что в рассмотренных публикациях [] не предложены разработки, которые можно было бы без изменений использовать в качестве классификатора проектных рисков. Однако материалы этих работ создают необходимые предпосылки для формирования такого классификатора путем систематизации опубликованных данных и расширения этой информации данными, накопленными практическим опытом работы в области управления рисками. Такая работа была проделана в рамках настоящего исследования и представлена в Табл.2 и 3.

Таблица 2

Фасетный классификатор сущности "проектный риск"

ПРОЕКТНЫЙ РИСК = $\langle\{D_i\}   i = \overline{1..I}\rangle$	
Вид риска	$D_1$ – Область проявления риска $\langle A_{1i}\rangle   i = \overline{1..I}$ $D_2$ – Прогнозируемость риска $\langle A_{2i}\rangle   i = \overline{1..I}$

	$D_3$ – Управляемость риска $\langle A_{3i} \rangle   i = \overline{1.3}$ $D_4$ – Уникальность риска $\langle A_{4i} \rangle   i = \overline{1.3}$ $D_5$ – Стадия существования риска $\langle A_{5i} \rangle   i = \overline{1.2}$ $D_6$ – Вероятность риска $\langle A_{6i} \rangle   i = \overline{1.5}$ $D_7$ – Значимость риска $\langle A_{7i} \rangle   i = \overline{1.5}$
Источник риска	$D_8$ – Локализация источника риска $\langle A_{8i} \rangle   i = \overline{1.2}$ $D_9$ – Природа источника риска $\langle A_{9i} \rangle   i = \overline{1.20}$ $D_{10}$ – Вид динамики риска $\langle A_{10i} \rangle   i = \overline{1.4}$
Причина риска	$D_{11}$ – Происхождение причины риска $\langle A_{11i} \rangle   i = \overline{1.2}$ $D_{12}$ – Характер причины риска $\langle A_{12i} \rangle   i = \overline{1.2}$
Объект риска	$D_{13}$ – Адресация рискованной угрозы $\langle A_{13i} \rangle   i = \overline{1.3}$ $D_{14}$ – Масштаб рискованной угрозы $\langle A_{14i} \rangle   i = \overline{1.4}$
Исход риска	$D_{15}$ – Результаты ожидаемого исхода $\langle A_{15i} \rangle   i = \overline{1.3}$ $D_{16}$ – Значимость ожидаемого ущерба $\langle A_{16i} \rangle   i = \overline{1.5}$ $D_{17}$ – Характер ожидаемого ущерба $\langle A_{17i} \rangle   i = \overline{1.18}$

В предложенном фасетном классификаторе (Табл.2 и Табл.3), первый уровень классификационной структуры содержит дискриминаторы проектных рисков.

Таблица 3

Атрибуты классификатора сущности "проектный риск"

$D_1$	Область проявления риска: Политическая, Правовая, Гражданская, Финансовая, Предпринимательская, Маркетинговая, Ресурсная, Организационная, Производственная, Календарная, Управленческая, Персональная, Коммерческая, Информационная, Социальная, Демографическая, Экологическая, Форс-мажорная.
$D_2$	Прогнозируемость риска: Прогнозируемый, Непрогнозируемый.
$D_3$	Управляемость риска: Полностью управляемый, Частично управляемый, Неуправляемый.
...	...
$D_6$	Вероятность риска: Ничтожная ( $P=0-0,1$ ), Маловероятна ( $P>0-0,4$ ), Весьма вероятная ( $P>0,4-0,6$ ), Очень вероятная ( $P>0,6-0,9$ ), Почти достоверная ( $P>0,9-1$ ).
$D_7$	Значимость риска: Низкая (Потери до 10% прибыли), Умеренная (>10-40%), Существенная (>40-60%), Высокая (>60-90%), Предельная (>90%).
...	...
$D_{13}$	Адресация рискованной угрозы: Проект, Проектный продукт, Инфраструктура проекта.
$D_{14}$	Масштаб рискованной угрозы: Генеральный, Стратегический, Tактический, Оперативный.
$D_{15}$	Результат ожидаемого исхода: Благоприятный, Нейтральный, Неблагоприятный.
$D_{16}$	Значимость ожидаемого ущерба: Низкая (Потери до 10% прибыли), Умеренная (>10-40%), Существенная (>40-60%), Высокая (>60-90%), Предельная (>90%).
$D_{17}$	Характер ожидаемого ущерба: Политический Правовой Гражданский Финансовый Предпринимательский Маркетинговый Ресурсный Организационный Производственный Календарный Управленческий Персональный Коммерческий Информационный Социальный Демографический Экологический Форс-мажорный

Уровню дискриминаторов условно предшествует уровень с пятью показателями, которые группируют дискриминаторы по качественным показателям (Рисунок 1). Второй уровень декомпозиции классифицируемой сущности содержит множества атрибутов-категорий, описывающих реализации каждого из дискриминаторов сущности «риск».

Практическое применение классификатора имеет два аспекта: информационная поддержка идентификации ожидаемых проектных рисков и специфицирование проектных рисков, выявленных на стадии мониторинга.

В составе первого аспекта классификатор рисков выступает в роли обобщенной системной модели контрольного списка проектных рисков. Так, в предложенном классификаторе (рисунок 1) множество дискриминаторов  $D_i$  разбивает классификационные признаки и их реализации  $A_{ij}$  на пять групп - вид риска ( $D_{1-7}$ ), источник риска ( $D_{8-10}$ ), причина риска ( $D_{11-12}$ ), объект рискованной атаки ( $D_{13-14}$ ), исход риска ( $D_{15-17}$ ). Эти группы образуют набор подмножеств атрибутов риска, освещающих главные описательные аспекты проектных рискованных угроз. [4,5]

Таким образом, классификатор сущности «риск»  $\langle A_{ij} | i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J} \rangle \in \langle D_i | i = \overline{1, I} \rangle \in R$  предлагает менеджеру проектных рисков системное описание множества рисков, имевших место в предшествующих аналогичных проектах. Это обобщённое множество играет роль эталонного набора, на котором идентифицируется подмножество рисков  $R$ , ожидаемых в рассматриваемом конкретном проекте. Выполнение этой процедуры осуществляется по принципу совпадения специфических признаков конкретного проекта, спроецированных на систему атрибутов обобщённого классификатора проектных рисков.

Представленные в работе результаты по решению задачи классификации состава контролируемых рисков проекта на этапе анализа рисков для этапа мониторинга позволяют существенно повысить эффективность процесса управления рисками в условиях нечеткости исходных проектных данных.

Дальнейшим расширением представленного метода является разработка средств автоматической классификации рисков программного проекта методами нечеткой кластеризации, который направлен на определение рационального состава рисков проекта и повышение эффективности процесса управления рисками.

### Список литературы

1. Минькович Т.В. Классификация моделей в литературе по информатике // Информатика и образование. - 2001. - № 9. - С. 24-29.
2. Псоянц В.Г. Модель качественного анализа оценки проектных рисков // Сборник современное общество, образование и наука. – Тамбов, 2014.
3. Таганов Р.А., Таганов А.И. Метод нечеткой кластеризации рисков для формализации анализа рисков программного проекта //Материалы III Международного научно-практического семинара«Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте». Коломна, 2005. - <http://imscal.rk9.ru/2005>.
4. Таганов А.И., Таганов Р.А., Суворов А.В. Классификация рисков проекта методами нечеткого кластерного анализа // Материалы 15-й Международной науч. техн. конф. «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Часть 2. Рязань: РГРТУ, 2008. - С. 22-24.
5. Таганов А.И., Таганов Р.А. Метод определения оптимальной альтернативы реагирования на этапе мониторинга рисков // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета, 2003. №11. С. 115 -118.

## РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ ПРОГРАММНОГО ПРОЕКТА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**Таганов А.И., Захаров С.Г.**

ФГБОУ ВПО «РГРТУ», г.Рязань

Требования являются основой для любого проекта. Они определяют потребности заинтересованных сторон, а так же тот функционал, которым система впоследствии должна обладать.

Анализ требований — это процесс сбора требований к программному проекту, их систематизации, документированию, анализа, выявления противоречий, неполноты, разрешения конфликтов в процессе разработки программного проекта.

Анализ требований может быть длинным и трудным процессом. Новые системы изменяют окружающую среду и отношения между людьми, поэтому важно определить все заинтересованные лица, принять во внимание все их потребности и гарантировать, что они понимают значения новых систем. Аналитики могут использовать несколько методов, чтобы выявить следующие требования от клиента: проведение интервью, использование фокус-групп или создание списков требований. Более современные методы включают создание прототипов и сценариев использования. Где необходимо, аналитик будет использовать комбинацию этих методов, чтобы выявить точные требования заинтересованных лиц так, чтобы была создана система, которая удовлетворяет деловые потребности.

В связи с этим, для повышения эффективности работы аналитика и снижения затрат, актуальна задача автоматизации процесса анализа требований.

В докладе рассматривается подход к программной реализации метода анализа требований программного проекта на основе использования формальных правил нечетких сетей Петри. Нечеткие сети Петри (НСП) позволяют конструктивно решать задачи нечеткого моделирования и нечеткого управления, в которых

неопределенность имеет нестохастический или субъективный характер.

В рассматриваемой экспериментальной версии программной реализации нечеткого метода анализа требований проекта используются НСП, получаемые в результате введения нечеткости в начальную маркировку и в правила срабатывания переходов базового формализма ординарных сетей Петри. Здесь нечеткая сеть Петри типа  $C_f$  определяется как  $C_f = (N, f, \lambda, m_0)$ , где:

$N = (P, T, I, O)$  – структура НСП  $C_f$ , которая аналогична структуре ординарных СП и для которой  $I: P \times T \rightarrow \{0,1\}$  и  $O: T \times P \rightarrow \{0,1\}$  – входная и выходная функции переходов соответственно;

$f = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  – вектор значений функции принадлежности нечеткого срабатывания переходов, при этом  $f_j \in [0,1]$  ( $\forall j \in \{1,2,\dots,u\}$ );

$\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w)$  – вектор значений порога срабатывания переходов, при этом  $\lambda_j \in [0,1]$  ( $\forall j \in \{1,2,\dots,u\}$ );

$m = (m_1^0, m_2^0, \dots, m_n^0)$  – вектор начальной маркировки, каждая компонента которого определяется значением функции принадлежности нечеткого наличия одного маркера в соответствующей позиции данной НСП  $C_f$ , при этом  $m_i^0 \in [0,1]$  ( $\forall i \in \{1,2,\dots,n\}$ ).

Динамика изменения начальной и последующих маркировок НСП  $C_f$  после момента ее запуска подчиняется следующим правилам  $P(C_f)$ :

( $P_1$ ) Правило определения текущей маркировки. Любое текущее состояние НСП  $C_f$  определяется вектором  $m = (m_1, m_2, \dots, m_n)$ , компоненты которого ( $m_i \in [0,1]$ ) интерпретируются как значения функции принадлежности нечеткого наличия одного маркера в соответствующих позициях  $p_i \in P$  НСП  $C_f$ . Начальное состояние НСП определяется вектором начальной маркировки  $m_0$ .

( $P_2$ ) Правило (условие) активности перехода. Переход  $t_k \in T$  НСП  $C_f$  называется активным (разрешенным, возбужденным) при некоторой текущей маркировке  $m$ , если выполнено следующее условие:

$$\min_{(j \in \{1,2,\dots,n\}) \wedge (I(p_j, t_k) > 0)} \{m_j\} \geq \lambda_k \quad (1)$$

где  $\lambda_k$  – значения порога срабатывания перехода  $t_k \in T$ . Другими словами, переход  $t_k \in T$  НСП  $C_f$  является активным, если во всех его входных позициях имеются ненулевые значения компонентов вектора текущей маркировки, а минимальное из них – не меньше порога срабатывания рассматриваемого перехода.

( $P_3$ ) Правило нечеткого срабатывания перехода. Если переход  $t_k \in T$  НСП  $C_f$  является активным при некоторой текущей маркировке  $m$ , (т. е. для него выполнено условие (1)), то нечеткое срабатывание данного перехода, осуществляемое мгновенным образом, приводит к новой маркировке  $m^v = (m_1^v, m_2^v, \dots, m_n^v)$ , компоненты вектора которой определяются по следующим формулам:

- для каждой из входных позиций  $p_i \in P$ , для которых  $I(p_i, t_k) > 0$ :

$$m_i^v = 0 \quad (\forall p_i \in P) \wedge (I(p_i, t_k) > 0) \quad (2)$$

- для каждой из выходных позиций  $p_j \in P$ , для которых  $O(t_k, p_j) > 0$ :

$$m_j^v = \max\{ m_j, \min\{m_i, f_k\} \} \quad (\forall p_j \in P) \wedge (O(t_k, p_j) > 0) \quad (3)$$

( $i \in \{1,2,\dots,n\}) \wedge (I(p_i, t_k) > 0$ )

где  $f_k$  – значение функции принадлежности или мера возможности нечеткого срабатывания (запуска) перехода  $t_k \in T$ , которое задается при определении конкретной НСП  $C_f$ .

Если некоторые из позиций  $p_i \in P$  являются одновременно входными и выходными для разрешенного перехода  $t_k \in T$ , то для них компоненты вектора новой маркировки рассчитываются последовательно, вначале по формуле (2), а затем – по формуле (3).

При решении прикладных задач нечеткого моделирования и выполнения процесса приближенных рассуждений используются модифицированные НСП  $C'_f = (N, f, \lambda, m_0)$ , для которых правила  $P_1, P_2$  такие же, как и рассмотренные выше для  $P(C_f)$ , а правило  $P_3$  модифицировано и принимает следующий вид:

( $P_3'$ ) При расчете компонентов вектора новой маркировки  $m$  как для входных, так и для выходных позиций используется единая формула (3). Это правило обусловлено тем обстоятельством, что НСП  $C'_f$  используют для интерпретации маркеров в позициях понятие нечеткой истинности высказывания. Значение последнего не становится равным нулю для высказываний в левой части правил продукций после их выполнения при данной интерпретации.

При этом, любое правило нечеткой продукции может быть представлено в виде фрагмента НСП. В этом случае аппарат функционирования НСП позволяет осуществить ограниченный нечеткий логический вывод для решения задачи анализа требований. Например, правило нечеткой продукции вида "ПРАВИЛО  $i$ : ЕСЛИ А, ТО В" представляется как некоторый переход  $t_i \in T$  НСП  $(N, f, \lambda, m_0)$ , при этом условию А этого правила соответствует входная позиция  $p_i \in P$  этого перехода а заключению – выходная позиция  $p_k \in P$  этого перехода  $t_i$  (Рисунок 1).

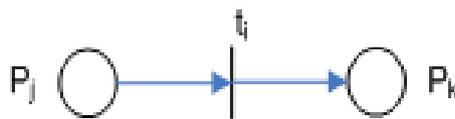


Рис.1. Фрагмент нечеткой сети Петри для представления правила нечеткой продукции

На основе использования модифицированных НСП разработана экспериментальная версия автоматизированной системы анализа требований программного проекта.

Основными функциональными модулями автоматизированной системы следует считать: базу правил нечетких продукций, блок нечеткого логического вывода, модуль модификации базы правил, модули фаззификации и дефаззификации.

Входными данными для анализа являются экспертные оценки основных характеристик требований. На выходе алгоритма получаем оценки осуществимости требований и влияния требований на бюджет проекта. С учетом вышесказанного процесс анализа требований принимает вид, изображенный на рисунке (Рисунок 2).

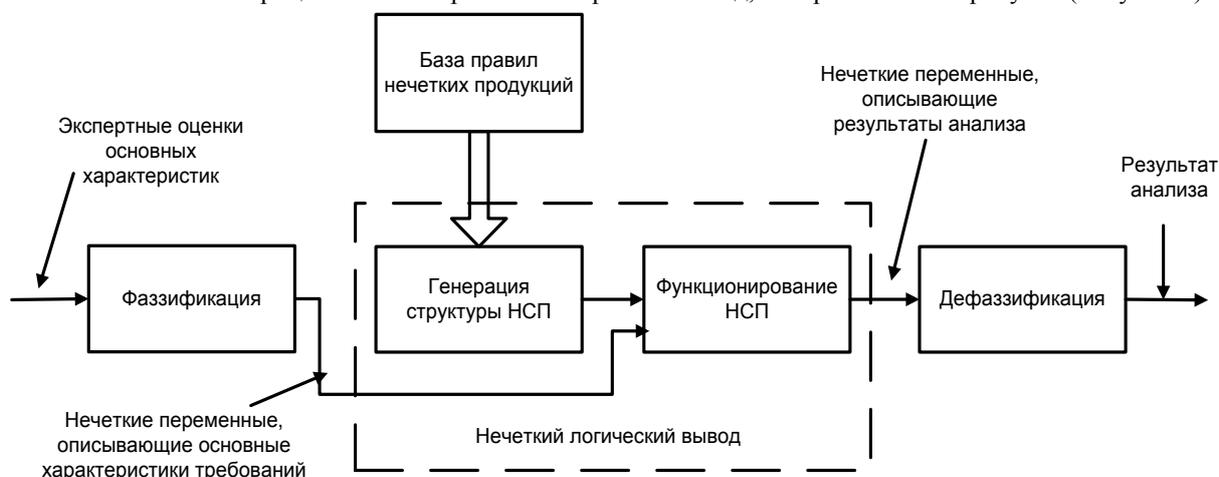


Рис.2. Модель процесса анализа требований с применением НСП

Процесс генерации структуры НСП заключается в последовательном разборе каждого правила нечеткой продукции из базы. Далее в зависимости от результатов разбора правила происходит модификация матриц входных и выходных позиций нечеткой сети Петри (модификация структуры сети).

Функционирование НСП основано на изменении маркировки выходных позиций переходов. На основе начальной маркировки определяются активные переходы сети, далее для каждого активного перехода изменяется маркировка выходных позиций, в соответствии с правилами функционирования сетей Петри. Процесс продолжается до тех пор, пока происходит изменение маркировки НСП.

В процессе работы с системой специалист по требованиям взаимодействует с алгоритмически взаимосвязанной совокупностью открывающихся интерфейсных окон. При этом интерфейс подсистемы организован в виде стандартного оконного интерфейса Windows XP, который обеспечивает интуитивно понятную схему работы программы и позволяет избежать некорректных действий пользователя. Все это позволяет специалисту в небольшие сроки производить анализ большого числа требований.

#### Список литературы

1. Корячко В.П., Таганов А.И., Таганов Р.А. Методологические основы разработки и управления требованиями к программным системам. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. -224 с
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ, 2004. 736 с.
3. Таганов А.И. Представление правил нечетких продукций в нечеткой системе анализа и сокращения рисков проекта на основе нечетких сетей Петри // Системы управления и информационные технологии. 2009. № 4(38). С. 46-51.
4. Таганов А.И., Манаев М.В. Модели, методы и инструментальные средства анализа рисков ИПИ- проекта на основе использования нечетких сетей Петри// Межвуз. сб. научных трудов «Информационные технологии в образовании». Рязань: РГРТУ, 2009. С. 63-73.

### УПРАВЛЕНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ КОМПОНЕНТОЙ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Ажмухамедов А.И.**

ФГБОУ ВПО АГТУ, г.Астрахань

Современная парадигма управления рассматривает персонал как один из основных ресурсов, в значительной степени определяющий успешность деятельности организации. Данным ресурсом необходимо грамотно управлять, создавая оптимальные условия для его развития.

При этом специфика человеческих ресурсов заключается в том, что они имманентно содержат в себе неопределенность. Поэтому задача моделирования и управления социотехническими системами (СТС), включающими в себе социальную компоненту, превращается в слабо формализуемую проблему [6].

При ее решении лицу, принимающему решение (ЛПР), приходится манипулировать качественной информацией в виде гипотез, интуитивных понятий и смысловых образов. Многочисленные исследования процессов принятия решений подтверждают, что ему несвойственно мыслить и принимать решения только в количественных характеристиках. Он мыслит, прежде всего, качественно, и для него поиск решения – это, поиск, в первую очередь, замысла решения, где количественные оценки играют вспомогательную роль [3].

Для поддержки этого процесса, особенно на ранних его этапах, представляется целесообразным использовать когнитивный подход к моделированию и управлению, поскольку «он направлен на разработку формальных моделей и методов, поддерживающих интеллектуальный процесс решения проблем благодаря учету в этих моделях и методах когнитивных возможностей человека (восприятие, представление, познание, понимание, объяснение) при решении им управленческих задач» [1].

Кроме того, неоспоримыми достоинствами когнитивного моделирования по сравнению с другими методами, являются возможность формализации численно неизмеримых факторов, использования неполной, нечеткой и даже противоречивой информации [4].

Исходя из этого, для оценки состояния антропогенных элементов СТС предложена нечеткая когнитивная модель (НКМ) («модель субъекта») в виде нечеткого графа (Рисунок 1).

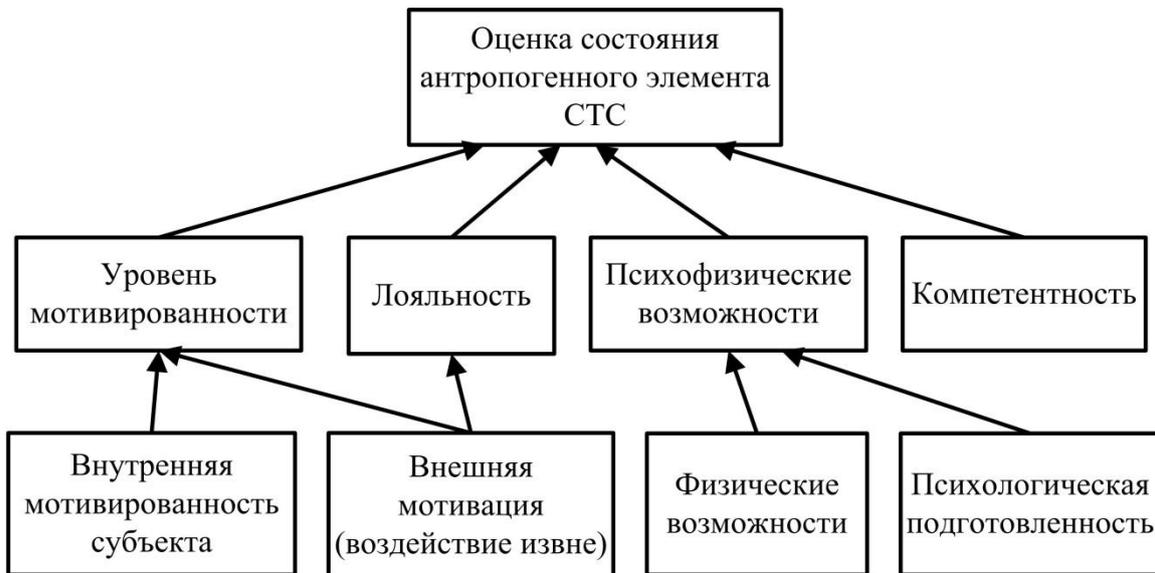


Рис.1. НКМ оценки состояния антропогенного элемента СТС

Значения большинства концептов НКМ (внутренняя мотивация, лояльность, физические возможности, психологическая подготовленность, компетентность) могут быть определены с помощью соответствующих тестов, средств поведенческого анализа, агентурных методов, негласного наблюдения и т.д. [5;8]. При этом задача состоит в том, чтобы привести значения данных концептов к заданному ЛПР уровню с помощью механизмов управления составом и структурой участников социальной подсистемы, а также методами институционального, мотивационного и информационного воздействия.

Управление составом и структурой участников социальной подсистемы предусматривает распределения совокупности  $N$  задач между исполнителями с учетом того, что их характеристики, так же как и требования для успешного выполнения задач, обычно выражаются в вербальной форме («отличное знание», «свободное владение», «высокое чувство ответственности» и т.п.).

Проблему можно формализовать следующим образом: из множества  $S$  кандидатов необходимо подобрать команду исполнителей таким образом, чтобы суммарное по всем значениям  $l$  и  $m$  различие между значениями характеристик  $\{KZ_{lm}\}$ , которые необходимы для выполнения  $l$ -й задачи, и значениями компетенций и психофизиологических черт характера  $\{KP_{jm}\}$   $j$ -го исполнителя  $l$ -й задачи было минимальным. Отклонение нежелательно как в отрицательную, так и в положительную сторону. В первом случае оно приводит к падению качества выполняемых работ и для ряда задач вообще недопустимо (исполнитель не сможет решить задачу), во втором – к неэффективности использования работника, т.к. более высокая квалификация исполнителя, как правило, требует более высокого уровня оплаты.

Данная задача может быть эффективно решена на основе методики, предложенной в [2]. На начальной стадии решения для каждой задачи  $Z_l$  ( $l=1, \dots, N$ ) антропогенной подсистемы, формируется перечень необходимых для ее успешного выполнения требований к сотруднику  $KZ_l = \{KZ_{lm}\}$  ( $m=1, \dots, M_l$ ) (например, с помощью предложенного в [7] метода функционального моделирования). При этом  $M_l$  для каждой из задач  $Z_l$  может быть разным.

Решение задачи после получения множества необходимых требований предусматривает два этапа. На первом – с помощью различных тестовых методов, экспертных оценок, методов поведенческого анализа, сбора информации о предыдущих достижениях и т.п., оцениваются характеристики претендентов, необходимые при решении задач в рамках организации. На втором – на основе полученных данных отбирается наиболее подходящий состав исполнителей и формируется оптимальная структура социальной подсистемы. Для этого находят индексы схожести (ИС):

$$\Omega_{lm}^j = (1 + \tilde{\rho}) / 2 \quad (1)$$

$$\tilde{\rho} = (\rho_{in} - \rho_{out}) / (\rho_{in} + \rho_{out}) \quad (2)$$

где  $\rho_{in} = \int_{a_1}^{a_4} (\min[\mu_A(x); \mu_B(x)]) dx$ ;  $\rho_{out} = \left| \int_{b_1}^{b_4} [\mu_B(x)] dx - \rho_{in} \right|$ ;  $\mu_A(x)$  - функция

принадлежности нечеткого числа (НЧ)  $KZ_{lm}$ , отражающего  $m$ -ое требование для выполнения  $l$ -й задачи;  $\mu_B(x)$  - функции принадлежности НЧ  $KP_{jm}$ , отражающего  $m$ -ую характеристику  $j$ -го претендента.

Определенный таким образом индекс схожести, изменяясь в диапазоне от 0 до 1, характеризует близость соответствующих оценок. После выполнения этого шага, задавшись для каждого из требований некоторым значением предельно допустимого отклонения ИС  $\Omega_{l\text{крит}}^j$ , можно исключить из дальнейшего рассмотрения варианты распределения задач, содержащие индексы схожести меньшие критического.

После этого вычисляется интегральный индекс соответствия  $\delta_l^j$  (ИИС)  $j$ -го претендента каждой из  $l$  задач проекта:

$$\delta_l^j = \begin{cases} 0, & \text{если } \exists m : \Omega_{lm}^j < \Omega_{l\text{крит}}^j \quad (m = 1, \dots, M_l) \\ \sum_{m=1}^{M_l} \alpha_{lm} \Omega_{lm}^j, & \text{если для } \forall m : \Omega_{lm}^j \geq \Omega_{l\text{крит}}^j \end{cases} \quad (3)$$

Найденное значение  $\delta_l^j$  используется в качестве индекса эффективности выполнения  $l$ -й задачи  $j$ -м претендентом. Таким образом, методика подбора исполнителей позволяет управлять кадровым составом организации, а различные варианты распределения задач, по сути, определяют структуру ее антропогенной подсистемы.

Снизить общую неопределенность в системе и повысить структуризацию, делая взаимодействие между подсистемами, а также элементами социальной подсистемы между собой, более четкими и предсказуемыми, позволяют механизмы институционального управления. Данный вид управления предусматривает регламентацию поведения субъекта в рамках организации путем введения ограничений и закрепления определенных норм.

Однако, в большинстве случаев излишняя регламентация чревата резким снижением лояльности отдельных субъектов и как следствие катастрофическим падением эффективности функционирования системы в целом вплоть до полного разрушения. Отрицательное влияние на эффективность работы персонала оказывает и то, что сотрудники не в состоянии постоянно помнить все пункты требований, регламентирующих их деятельность, а частое обращение к текстам регламентов и инструкций увеличивает затрачиваемое на выполнение операций время, что, в свою очередь, отрицательно сказывается на эффективности работы.

Таким образом, усиление регламентации деятельности персонала не может быть бесконечным и должно сопровождаться дополнительными мерами по повышению лояльности, информированности и степени мотивированности субъектов социальной подсистемы организации, которые реализуются методами мотивационного и информационного управления.

Механизмы мотивационного управления, примененные с учетом психофизических особенностей субъекта, способны оказать существенное влияние на формирование высокого положительного уровня внутренней мотивированности сотрудников банка и повышение уровня их лояльности по отношению к организации.

Однако зависимость эффективности деятельности от уровня мотивации носит нелинейный характер. По мере увеличения интенсивности мотивации качество деятельности изменяется по колоколообразной кривой: сначала повышается, затем, после перехода через точку наиболее высоких показателей успешности, постепенно снижается. Уровень мотивации, при котором деятельность выполняется максимально успешно, называется оптимумом мотивации. Выявленная закономерность получила название закона Йеркса-Додсона, многократно экспериментально подтверждена и признана одним из немногих объективных, бесспорных психологических феноменов [9]. При этом согласно второму закону Йеркса-Додсона, чем сложнее для субъекта выполняемая деятельность, тем более низкий уровень мотивации является для нее оптимальным.

Таким образом, как при институциональном, так и при мотивационном управлении необходимо применять оптимальную интенсивность соответствующих механизмов воздействия на персонал.

### Список литературы

1. Авдеева З.К., Коврига С.В., Макаренко Д.И. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций (CASC'2006). Труды 6-й Международной конференции / Под ред. З.К. Авдеевой, С.В.Ковриги. М.: Институт проблем управления РАН. – 2006., С.41-54.
2. Ажмухамедов И.М., Ажмухамедов А.И. Методика формирования команды для реализации IT-проектов на основе нечеткой когнитивной модели оценки компетенций // Прикладная информатика - 2011, № 4 (34), С.70-76.
3. Диев В.С. Нечеткость в принятии решений // Философия науки, 1998.– № 1(4).– С.45–52.

4. Максимов В.И., Корноушенко Е.К. Аналитические основы применения когнитивного подхода при решении слабоструктурированных задач // Труды ИПУ РАН. - М., 1999. – Т. 2. – С.95-109.
5. Пономаренко В.В. Практическая характерология с элементами прогнозирования и управления поведением (методика «семь радикалов») / В.В. Пономаренко. — Ростов н/Д : Феникс, 2006. - 252 с.
6. Проталинский О.М., Ажмухамедов И.М. Системный анализ и моделирование слабо структурированных и плохо формализуемых процессов в социотехнических системах / «Инженерный вестник Дона»: электронный научно-инновационный журнал, 3/2012 // [http://www. ivdon.ru/magazine/latest/ n3y2012/ 910/](http://www.ivdon.ru/magazine/latest/n3y2012/910/) (дата обращения 15.12.2014).
7. Скороход С.В. Применение функциональных моделей IDEFO для анализа квалификационных характеристик рабочих мест на основе нечётких целей // Известия ТРТУ.– Таганрог, Изд-во ТРТУ-2007.- №3(73), - С.13–18.
8. Смолян Г.Л., Солнцева Г.Н. Человеческий фактор в обеспечении безопасности информационной инфраструктуры // [Электронный ресурс] [http://emag.iis.ru/arc/ infosoc/ emag.nsf/BPA/](http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/) (дата обращения 15.12.2014).
9. Степанов С.С. Популярная психологическая энциклопедия: - М.: Эксмо, 2005. - 672с.

### **СЕКЦИЯ №3.**

#### **ЭЛЕКТРОНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.27.00)**

### **СЕКЦИЯ №4.**

#### **МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.00)**

##### **АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СИЛОВОГО ПОТОКА В ЗУБЧАТЫХ ГИДРОМАШИНАХ**

**Долганов Р.А., Валиуллин Н.М.**

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ, г.Набережные Челны

Введение. Благодаря простоте конструкции шестеренные гидромашин получили очень широкое распространение в качестве нерегулируемых насосов, применяемых для питания гидропередаточных устройств небольшой мощности с дроссельным управлением, для подачи смазки, для питания систем управления. Зубчатые шестеренные гидромашин являются обратимыми механизмами, самыми простыми и имеющими наименьшую стоимость из всех гидрообъемных гидромашин. Однако они не нашли широкого применения в трансмиссиях транспортных средств из-за сложности обеспечения бесступенчатого регулирования крутящего момента на выходном валу и изменения его частоты вращения. Проблема осуществления регулирования зубчатых гидромашин решается в случае преобразования их в гидромеханические дифференциальные механизмы [1, 2].

Использование в качестве исполнительных механизмов в дифференциальных гидрообъемных передачах шестеренчатых гидронасосов и гидромоторов обусловлено следующими свойствами последних:

- зубчатые шестеренные гидромашин легко трансформируются в дифференциальный механизм, в котором центральная шестерня является ведущей, если это гидронасос, или ведомой, если это гидромотор, шестерни в количестве не менее двух, установленные на осях в подвижном корпусе являются сателлитами;

- величина потока мощности на каждой из шестерён изменяется с изменением размеров шестерён и, соответственно, с изменением передаточного числа между ними;

- суммирование мощности происходит частично за счёт силового взаимодействия в зубчатом зацеплении при передаче мощности с одной шестерни на другую, и частично за счет преодоления моментов сопротивления обусловленных действием неуравновешенных гидростатических сил давления жидкости, которые создают неравные окружные моменты на каждой из шестерён [3, 4].

Моменты, приложенные к шестерням шестеренной гидромашин, определяются действием сил давления жидкости на те же площадки, которые определяют процесс образования подачи. Для расчета подачи на рисунке 1, шестерни гидронасоса заменены плоскими системами, в которых точка  $A$  – точка зацепления шестерён в рассматриваемый момент времени  $t$ . Прямые  $O_1A = \rho_1$  и  $O_2A = \rho_2$ , соединяющие эту точку с центрами шестерён, и прямые  $O_1F_1$  и  $O_2F_2$  разделяют области всасывания и нагнетания.

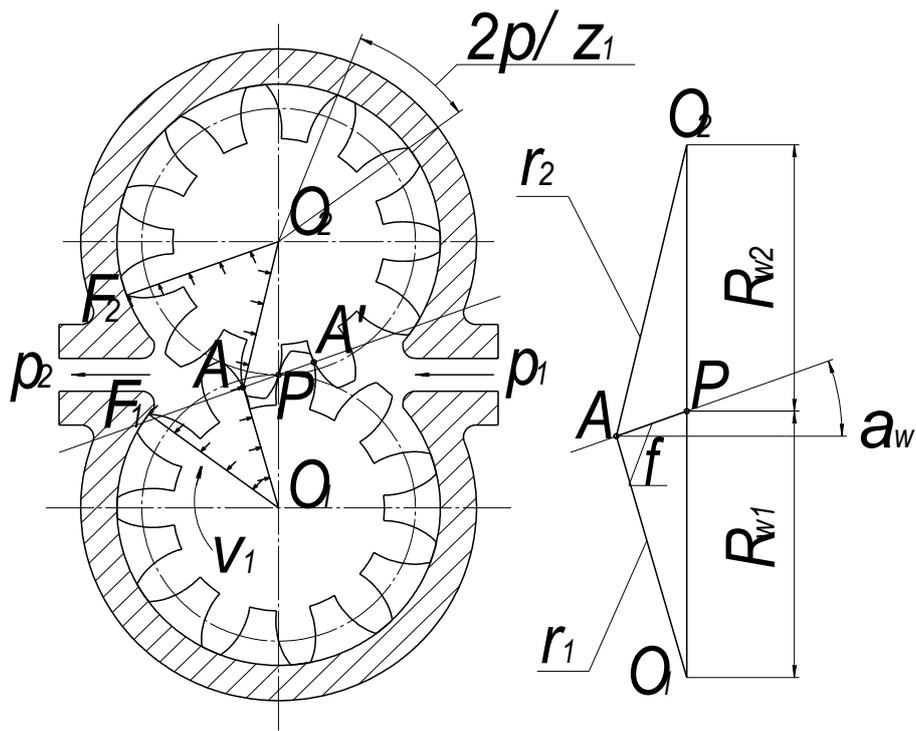


Рис.1. Схема для расчета подачи гидронасоса с одним ведомым колесом

Мгновенное значение момента на валу гидронасоса с одним ведомым колесом внешнего зацепления можно определить из баланса энергии. Имея в виду, что с одной стороны подача насоса  $Q = \frac{dV}{dt} = \frac{M_1\omega_1 + M_2\omega_2}{p_n}$ , а с другой стороны  $V = Q/n_1$  получим  $M = \frac{p_n Q}{2\pi n_1} = \frac{p_n Q}{\omega_1} = \frac{M_1\omega_1 + M_2\omega_2}{\omega_1} = M_1 + M_2 \frac{\omega_2}{\omega_1}$ .

То есть часть мощности воспринимается непосредственно на ведущей шестерни (на валу гидронасоса), а другая часть на ведомом колесе гидронасоса, и через передаточное отношение от ведомого колеса к ведущей шестерни передается на вал гидронасоса. График изменения моментов от угла поворота вала гидронасоса изображен на Рисунке 2.

Учитывая это мгновенное значение момента на валу гидронасоса запишется как

$$M = \frac{p_n b}{2} \left[ K - f^2 \left( 1 + \frac{R_{w1}}{R_{w2}} \right) \right].$$

Одному рабочему циклу машины соответствует поворот шестерен на угловой шаг  $2\pi/z_1$  ( $z_1$  – число зубьев ведущей шестерни). При этом точка контакта зубьев перемещается по линии зацепления. Это вызывает переменность подачи и как следствие крутящего момента на протяжении рабочего цикла.



1. Исходя из анализа сил и моментов, действующих в шестеренных гидромашинах можно сделать вывод, что шестеренные гидромашинны можно преобразовать в гидромеханические дифференциальные механизмы, которые можно рассматривать как первую ступень гидромеханических вариаторов.

2. Гидромеханический дифференциальный механизм имеет следующие особенности:

- имеет две степени свободы;

- коэффициент распределения моментов от неуравновешенных гидростатических сил давления определяет наличие и величину голономных и неголономных связей между ведущими и ведомыми звеньями зубчатых гидромашин;

- использование потока рабочей жидкости в качестве гидравлической связи между гидромеханическим дифференциалом и одним из возможных механизмов преобразования гидравлической энергии в механическую, позволяет создать бесступенчатую гидромеханическую передачу;

- механический момент, снимаемый с водила гидромеханического дифференциального механизма можно суммировать с другим механическим моментом, получаемым после преобразования мощности гидравлического потока;

- при изменении угловых скоростей звеньев гидромеханического дифференциального механизма, происходит изменение подачи гидронасоса, что обеспечивает внутренний автоматизм при преобразовании мощности гидравлического потока в механический.

Это позволит решить задачу создания высокомоментных гидромеханических вариаторов.

#### Список литературы

1. Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Автоматические трансмиссии с динамическими связями на базе дифференциальных гидромеханических вариаторов. [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. М: ООО «Издательский дом «Спектр». – 2012. – №9. – С 50-55.
2. Фасхиев Х.А., Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Силовые соотношения в гидромеханическом дифференциальном механизме [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. – 2013. – №9. – С. 38-43.
3. Фасхиев Х.А., Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Анализ распределения силового потока в гидромеханическом дифференциальном механизме [Текст] // Вестник Ижевского государственного технического университета. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ. – 2007. – № 4. – С. 20-24.
4. Волошко В.В., Галимянов И.Д., Салахов И.И., Мавлеев И.Р. Кинематический и силовой анализ универсального многопоточного дифференциального механизма автоматических коробок переада [Текст] // Известия Московского государственного технического университета «МАМИ». – М: МГТУ «МАМИ», 2012. – Т. 1. №2(14). – С. 318-328.
5. Мавлеев И.Р. Разработка рациональных схем и конструкций высокомоментных гидромеханических вариаторов для транспортных средств: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Набережные Челны, 2007. – 19 с.
6. Салахов И.И. Разработка рациональных схем автоматических коробок переада на основе планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2013. – 23 с.
7. Мавлеев И.Р. Разработка рациональных схем и конструкций высокомоментных гидромеханических вариаторов для транспортных средств: дис. ... канд. техн. наук. – Набережные Челны, 2007. — 147 с.
8. Салахов И.И. Разработка рациональных схем автоматических коробок переада на основе планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма: дис. ... канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2013. – 177 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ СМАЧИВАНИЯ АЛЮМИНИЕМ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО – АЛЮМИНИЙ

**Ковтунов А.И., Мямин С.В., Меджидов К.И.**

Тольяттинский государственный университет, г.Тольятти

Алюминирование является одним из эффективных методов увеличения долговечности металлических конструкций и экономии черных металлов. В литературе нет единого мнения о строении диффузионных алюминиевых покрытий [1], что объясняется, прежде всего, способностью системы алюминий – железо образовывать большое количество различных соединений с высокой чувствительностью процесса

диффузионного насыщения к условиям его существования [2]. В результате при жидкофазном алюминировании или получении слоистых композиционных материалов углеродистая сталь – алюминий на границе раздела металлов образуется переходный интерметаллидный слой [3]. Переходный слой может состоять из следующих интерметаллидов:  $FeAl_3$ ,  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_2$ ,  $FeAl$ ,  $Fe_3Al$  и твердого раствора алюминия в железе ( $\alpha$ -фазы) [2].

Скорость диффузии алюминия в сталь достаточно высока, поэтому при контакте стального листа с расплавом алюминия на стали сначала появляется интерметаллидный слой, по которому происходит дальнейшее смачивание стали жидким алюминием. Причем чем дольше контакт стали и алюминия, тем толще интерметаллидный слой и тем больше фаз он в себя включает. Данные о влиянии образующегося переходного слоя на процессы смачивания противоречивы. В ряде работ говорится, что переходный слой препятствует процессу смачивания стали алюминиевым расплавом.

Для проведения исследований смачивания алюминием переходных слоев были изготовлены интерметаллиды следующих фаз:  $FeAl_3$ ,  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_2$ ,  $FeAl$ ,  $Fe_3Al$ . Интерметаллиды изготавливались путем сплавления стали 08кп и алюминия марки А7 в индукционной печи в атмосфере аргона. Затем из интерметаллида изготавливались пластинки размером 40x40 и толщиной 3 мм. Исследование смачивания интерметаллида алюминием марки А7 проводилось в соответствии с ГОСТ 23904-79 «Пайка. Метод определения смачивания материалов припоями». Для активации поверхности интерметаллида были выбраны хлористо-фтористые и фтористые флюсы систем:  $KCl-NaCl-Na_3AlF_6-NaF$ ,  $KF-LiF$ ,  $K_2F_6Ti$ ,  $K_2F_6Zr$ ,  $KF-AlF_3$ , широко применяемые при литье, сварке и пайке алюминиевых сплавов [4].

Исследования процессов смачивания проводились при температурах 700°C, 800 °C, 900 °C и времени выдержки 10 минут.

Исследуя процессы смачивания стали алюминием [4] было установлено, что максимальные значения характеристик смачивания достигаются при активации стальной поверхности флюсом на основе эвтектической системы  $KF-AlF_3$ , поэтому при дальнейших исследованиях предпочтение отдавалось этому составу активирующего флюса.

В ходе исследований смачивания алюминием интерметаллидных сплавов было установлено, что характер смачивания определяется не только температурой процесса но и составом интерметаллидных фаз (Рисунок 1).

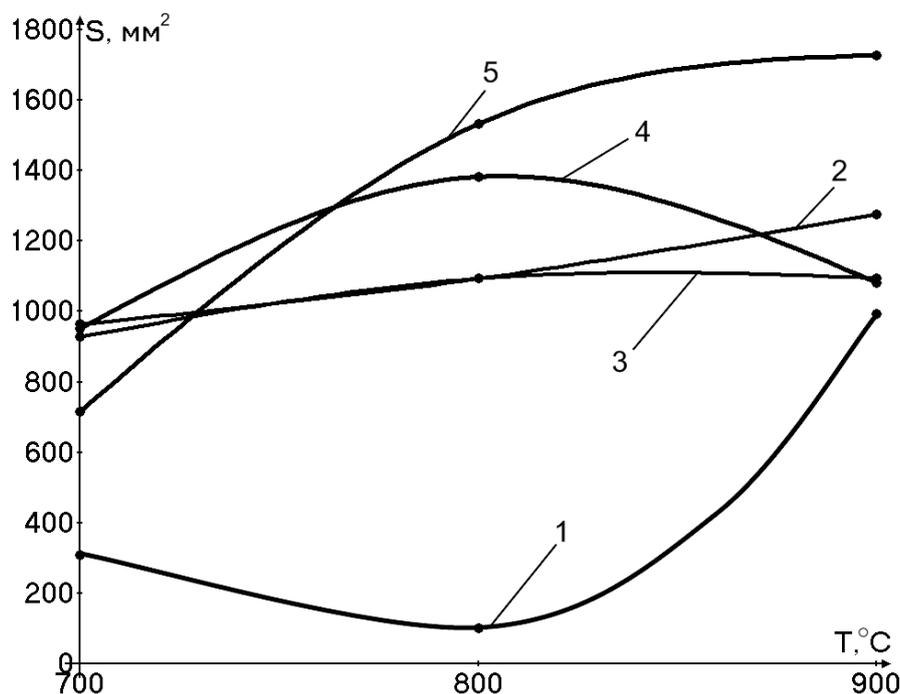


Рис.1. Зависимость площади растекания от температуры процесса и состава интерметаллида при активации поверхности флюсом эвтектической системы  $KF-AlF_3$ , 1-  $Fe_3Al$ , 2- $FeAl$ , 3- $FeAl_2$ , 4- $Fe_2Al_5$ , 5- $FeAl_3$

При активации поверхности флюсом эвтектической системы  $KF-AlF_3$  наименьшая площадь растекания наблюдается при химическом составе образцов, соответствующем интерметаллиду  $Fe_3Al$ . Интерметаллид  $Fe_3Al$  содержит минимальное количество алюминия из интерметаллидов, образующихся в системе железо-алюминий. Площадь растекания алюминия заметно повышается при использовании образцов на основе интерметаллидов с

большим содержанием алюминия. Максимальная площадь растекания наблюдается при использовании образцов из сплавов на основе фазы  $FeAl_3$  (Рисунок 1).

Эта тенденция просматривается и при использовании в качестве активаторов других флюсовых составов (Рисунок 2).

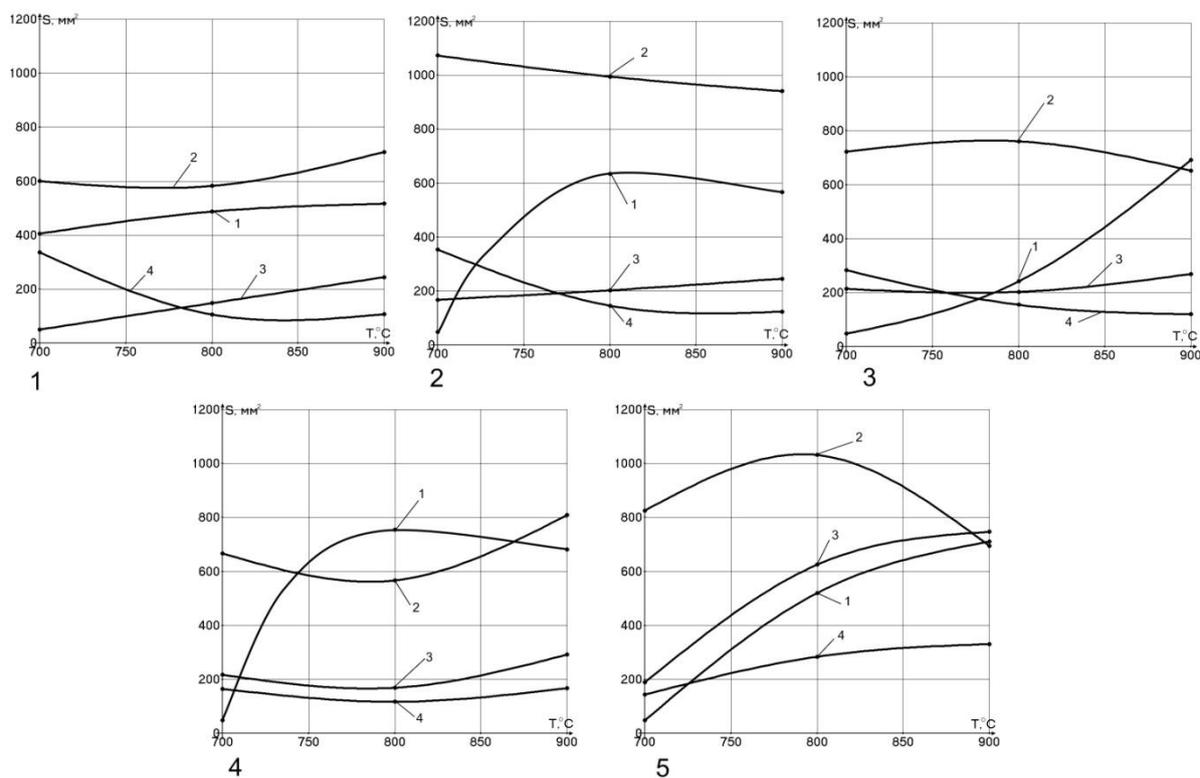


Рис.2. Зависимость площади растекания от температуры процесса при активации поверхности 1-  $Fe_3Al$ , 2-  $FeAl$ , 3- $FeAl_2$ , 4- $Fe_2Al_5$ , 5- $FeAl_3$  флюсами 1-  $KCl-NaCl-Na_3AlF_6-NaF$ , 2-  $KF-LiF$ , 3-  $K_2F_6Ti$ , 4-  $K_2F_6Zr$

Использование для активации флюса на основе эвтектики  $KF-LiF$  незначительно уменьшило площадь растекания алюминия по поверхности интерметаллидов (Рисунок 2). Это связано с одной стороны с большей растворимостью оксида алюминия в калиевом криолите, чем в литиевом, а с другой стороны фторид калия более значительно снижает межфазное натяжение на границе алюминиевый расплав-флюс [5].

При использовании многокомпонентный флюса  $KCl-NaCl-Na_3AlF_6-NaF$  активное растекание начинается при температурах выше  $800\text{ }^{\circ}C$  (Рисунок 2). Такая же ситуация наблюдается и при растекании алюминия по стали [4].

Низкие значения площади растекания алюминия по поверхности интерметаллидов наблюдались при использовании флюсов  $K_2F_6Ti$  и  $K_2F_6Zr$ , в то время как при растекании по стали, в ранее проведенных исследованиях, характеристики смачивания были одними из самых высоких [4].

Выводы:

1. Максимальные значения площади растекания алюминия по поверхности интерметаллидов системы железо-алюминий ( $Fe_3Al$ ,  $FeAl$ ,  $FeAl_2$ ,  $Fe_2Al_5$ ,  $FeAl_3$ ) наблюдаются при использовании в качестве активатора флюсов системы  $KF-AlF_3$  и  $KF-LiF$ .

2. С повышением содержания алюминия в интерметаллидах системы железо-алюминий увеличивается площадь растекания алюминия по их поверхности с активацией хлористо-фтористыми или фтористыми флюсами.

#### Список литературы

1. Пахмурский В.И., Пих В.С., Бродяк Д.Д. // Антикоррозионные покрытия. Л» Наука, 1983. С.22—28.
2. Тюрин, А.Г. Диаграммы химической и электрохимической устойчивости горячих металлических покрытий на низкоуглеродистой стали / А. Г. Тюрин // Вестн. Челяб. ун та. Серия 4. Химия. - 1996. -№1(1). - С. 81-92.
3. Аксенова Э.В., Дорошевич Э.И. // Совместимость и адгезионное взаимодействие расплавов с металлами. Киев: Наук, думка, 1978. СД54—162.

4. Ковтунов А. И., Мямин С.В., Чермашенцева Т.В. Исследование процессов смачивания стали алюминием при производстве слоистых композитов/А. И. Ковтунов, С.В. Мямин, Т.В. Чермашенцева // Сварочное производство, 2011, № 3.-С.8-11
5. Рабкин Д.М. Металлургия сварки плавлением алюминия и его сплавов. Киев: Наук, думка, 1986. С.256

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ВАРИАТОРОВ

**Валиуллин Н.М., Долганов Р.А.**

Набережночелнинский институт (филиал) КФУ, г.Набережные Челны

Дифференциальный гидромеханический вариатор предназначен для автоматического бесступенчатого преобразования вращательного движения между валом двигателя и валом рабочего органа машин и механизмов с целью обеспечения оптимального режима совместной работы двигателя и вариатора при изменяющейся произвольно величине внешней нагрузки на рабочем органе.

Дифференциальные гидромеханические вариаторы могут быть весьма разнообразны по своей кинематической схеме и структуре. Дифференциальный гидромеханический вариатор можно рассматривать состоящим из двух гидромеханических дифференциальных механизмов, отличающиеся от известных наличием гидравлической связи между кинематическими звеньями, представляющими собой дифференциальные схемы шестеренных гидромашин, что позволяет получить различные значения распределение потоков гидравлической и механической мощностей и обеспечивает автоматическое регулирование параметров дифференциального гидромеханического вариатора. При этом для увеличения коэффициента трансформации в кинематическую схему вариатора могут быть включены дополнительно механический дифференциальный механизм с различным значением внутреннего передаточного числа и дополнительный ряд зубчатых передач.

Проектирование дифференциальных гидромеханических вариаторов представляет собой сложную комплексную проблему, решение которой может быть разбито на три самостоятельных этапа [1, 2]. Первым этапом проектирования является установление кинематической схемы вариатора. Вторым этапом проектирования является разработка конструктивных форм механизма. Третьим этапом проектирования является разработка технологических и технико-экономических показателей проектируемого механизма. [3, 4].

Проектирование кинематической схемы. Проектирование кинематической схемы дифференциального гидромеханического вариатора заключается в определении оптимальных схем гидромеханических дифференциальных механизмов, являющихся кинематическими звеньями вариатора, и выборе их передаточных чисел исходя из условия равновесия ротора вариатора (водила) при максимальном коэффициенте трансформации. При этом необходимо учитывать некоторые дополнительные условия, связанные с конструктивными требованиями.

Кинематическая схема дифференциального гидромеханического вариатора, составленная из двух гидромеханических дифференциальных механизмов с шестернями внешнего зацепления, изображена на Рисунке 1.

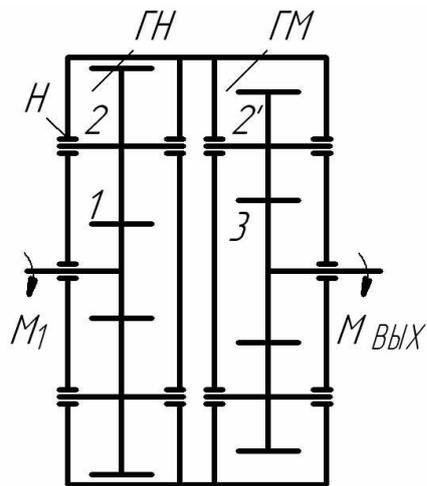


Рис.1. Гидромеханический дифференциальный вариатор: 1 – колесо входного вала; 2 – ведомые колеса гидронасоса (сателлиты); 2' – ведущие колеса гидромотора (сателлиты); 3 – ведомое колесо гидромотора (выходной вал вариатора); H – водило (корпус гидронасоса); ГН – дифференциальный гидронасос; ГМ – дифференциальный гидромотор

Эта схема обладает высоким значением КПД при давлениях жидкости до 10-15 МПа и применима в трансмиссиях легковых автомобилей с максимальным коэффициентом трансформации меньше 5.

При определении передаточных чисел кинематических звеньев схемы вариатора изображенного на Рисунке 1 приходится предварительно задаваться необходимым максимальным коэффициентом трансформации и передаточным числом дифференциального гидронасоса. Дальнейший процесс проектирования можно проводить по алгоритму, схема которого представлена на Рисунке 2.

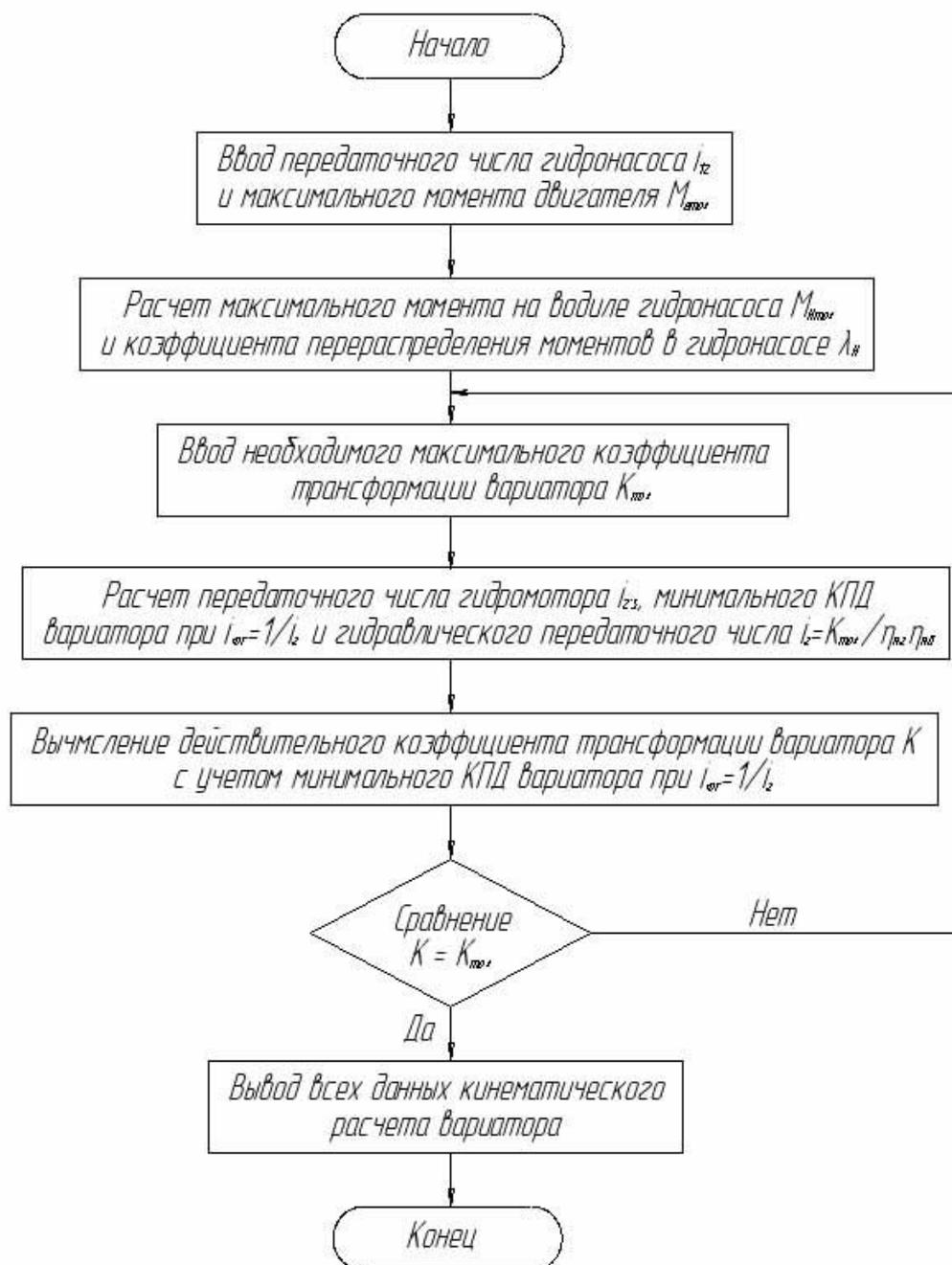


Рис.2. Схема алгоритма для расчета основных кинематических параметров дифференциального гидромеханического вариатора

При неподвижном водиле вариатора крутящий момент от внешнего источника энергии передается на входное звено дифференциального гидронасоса. При передаче максимального крутящего момента, на водиле со стороны дифференциального гидронасоса действует реактивный момент, определяемый по формуле:

$$M_{H1} = -\frac{M_1(i_{21} - 1)}{\lambda_n + i_{21}} \eta_{H1},$$

где  $M_1$  – подводимый момент, Н·м;  $i_{21}$  – передаточное число дифференциального гидронасоса;  $\lambda_n$  – коэффициент перераспределения гидростатических моментов в гидронасосе;  $\eta_{H1}$  – КПД механического потока мощности в дифференциальном гидронасосе.

Этот момент имеет направление, совпадающее с направлением вращения входного звена вариатора. При относительном вращении шестерен дифференциального гидронасоса создается гидравлический поток рабочей жидкости, который создает крутящий момент на выходном валу дифференциального гидромотора

$$M_{\text{ВЫХ}} = -M_1 i_2 \eta_{\text{ГН}} \eta_{\text{ГМ}} = -K_{\text{max}} M_1,$$

где  $i_2$  – гидравлическое передаточное число вариатора;  $\eta_{\text{ГН}}$  – КПД гидравлического потока мощности на дифференциальном гидронасосе;  $\eta_{\text{ГМ}}$  – КПД гидравлического потока мощности на дифференциальном гидромоторе;  $K_{\text{max}}$  – максимальный коэффициент трансформации вариатора.

Гидравлическое передаточное число необходимое для обеспечения максимального коэффициента трансформации определится по формуле:

$$i_2 = \frac{V_{\text{ОМ}}}{V_{\text{ОН}}} = \frac{K_{\text{max}}}{\eta_{\text{ГН}} \eta_{\text{ГМ}}},$$

где  $V_{\text{ОМ}}$  – рабочий объем дифференциального гидромотора, м<sup>3</sup>;  $V_{\text{ОН}}$  – рабочий объем дифференциального гидронасоса, м<sup>3</sup>.

Водило воспринимает также реактивный момент со стороны дифференциального гидромотора, направленный в противоположную сторону вращения входного звена вариатора и определяемый как

$$M_{\text{Н2}} = -\frac{M_1 i_2 \eta_{\text{ГН}} \eta_{\text{ГМ}} (1 - i_{2'3})}{\lambda_m + i_{2'3}} \eta_{\text{Н2}},$$

где  $\lambda_m$  – коэффициент перераспределения гидростатических моментов в гидромоторе;  $i_{2'3}$  – передаточное число дифференциального гидромотора;  $\eta_{\text{Н2}}$  – КПД механического потока мощности в дифференциальном гидромоторе.

Условие равновесия водила дифференциального гидромеханического вариатора

$$M_{\text{Н1}} = M_{\text{Н2}};$$

$$\frac{i_{21} - 1}{\lambda_n + i_{21}} \eta_{\text{Н1}} = \frac{i_2 \eta_{\text{ГН}} \eta_{\text{ГМ}} (1 - i_{2'3})}{\lambda_m + i_{2'3}} \eta_{\text{Н2}}.$$

Таким образом, при заданных передаточном числе дифференциального гидронасоса и максимальном коэффициенте трансформации вариатора из уравнения равновесия водила определяется передаточное число дифференциального гидромотора.

После определения кинематических параметров звеньев дифференциального гидромеханического вариатора необходимо определить конструктивные и геометрические параметры, к которым относятся рабочие объемы и кратность действия дифференциальных гидронасоса и гидромотора, модуль, числа зубьев и ширина шестерен.

Для уменьшения габаритов гидромашин числа зубьев желательно выбирать при всех прочих равных условиях возможно меньшим, а модуль большим [5, 6]. Для устранения подрезания ножек зубьев выполняют положительное смещение исходного контура.

Заключение. Предложенная методика проектирования бесступенчатых трансмиссий на базе дифференциальных гидромеханических вариаторов, заключающаяся в последовательном выборе передаточных чисел кинематических звеньев механизма из условия равновесия ротора вариатора (водила), а также основных параметров зубчатых зацеплений, обеспечивающих необходимые рабочие объемы гидромашин для передачи максимального крутящего момента, позволяет подобрать основные кинематические и силовые параметры передачи для различного класса транспортных средств, оценить влияние этих параметров на тягово-скоростные свойства автомобиля еще на стадии проектирования и осуществить оптимизацию выбранных параметров исходя из условий эксплуатации. А спроектированная бесступенчатая КП легкового автомобиля позволяет получить изменение тягового усилия на колесах в зависимости от скорости движения автомобиля автоматически и бесступенчато. [7, 8]

#### Список литературы

1. Мавлеев И.Р. Разработка рациональных схем и конструкций высокомоментных гидромеханических вариаторов для транспортных средств: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Набережные Челны, 2007. – 19 с.
2. Салахов И.И. Разработка рациональных схем автоматических коробок передач на основе планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма: автореф. дис. ...канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2013. – 23 с.

3. Мавлеев И.Р. Разработка рациональных схем и конструкций высокомоментных гидромеханических вариаторов для транспортных средств: дис. ...канд. техн. наук. – Набережные Челны, 2007. — 147 с.
4. Салахов И.И. Разработка рациональных схем автоматических коробок передач на основе планетарной системы универсального многопоточного дифференциального механизма: дис. ...канд. техн. наук. – Ижевск: ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2013. – 177 с.
5. Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Автоматические трансмиссии с динамическими связями на базе дифференциальных гидромеханических вариаторов. [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. М: ООО «Издательский дом «Спектр». – 2012. – №9. – С 50-55.
6. Фасхиев Х.А., Волошко В.В., Мавлеев И.Р. Силовые соотношения в гидромеханическом дифференциальном механизме [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. – 2013. – №9. – С. 38-43.
7. Волошко В.В., Мавлеев И.Р., Салахов И.И., Шайхутдинов И.Ф. Автомобильная многоступенчатая коробка передач [Текст] // Справочник. Инженерный журнал. – 2014. – №11. – С. 46-49.
8. Волошко В.В., Мавлеев И.Р., Салахов И.И. Автомобильная многоступенчатая коробка передач [Текст]. Патент №2508486 РФ // «Бюллетень изобретений». – 2014. – №6.

## СЕКЦИЯ №5.

### ЭНЕРГЕТИКА И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.14.00)

#### ВОЗМОЖНОСТИ ПОВЫШЕНИЯ ВЫРАБОТКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ЗАИНСКОЙ ГРЭС В ЗИМНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

**Гафуров А.М.**

ФГБОУ ВПО «КГЭУ», г.Казань

Заинская ГРЭС (государственная районная электростанция) является самой крупной по установленной мощности тепловой конденсационной электростанцией Татарстана. Расположена она в городе Заинск, в непосредственной близости от Заинского водохранилища на реке Зай. В настоящее время установленная электрическая мощность Заинской ГРЭС составляет 2200 МВт (11 конденсационных блоков К-200-130 по 200 МВт).

Полезное использование сбросной низкопотенциальной теплоты на Заинской ГРЭС, образующейся при конденсации отработавшего в турбине К-200-130 пара, обычным путем затруднительно, вследствие того, что температура конденсации незначительно (на 10-20К) отличается от температуры окружающей среды, особенно в летний период времени.

В Табл.1 приводятся данные по расходу охлаждающей воды на конденсационные установки паровых турбин К-200-130 при номинальном режиме их работы и расчетных значениях температуры охлаждающей воды на входе в конденсатор [1].

Таблица 1

Марка паровой турбины	Давление пара в конденсаторе, кПа	Расход пара в конденсаторе, кг/с	Теплопроизводительность конденсатора, кВт	Расход охлаждающей воды, м <sup>3</sup> /ч
К-200-130	3,5	111	238616,7	25000

В зимний период времени, когда температура окружающей среды намного ниже температуры конденсации отработавшего в турбине К-200-130 пара, появляется возможность сработать такой теплоперепад с помощью низкокипящих рабочих тел, работающих в низкотемпературном тепловом двигателе по органическому циклу Ренкина.

Предлагается утилизировать сбросную низкопотенциальную теплоту (скрытую теплоту парообразования) отработавшего в турбине К-200-130 пара с помощью нагрева в конденсаторе паровой турбины К-200-130 сжиженного углекислого газа CO<sub>2</sub> (или пропана C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), циркулирующего в замкнутом контуре низкотемпературного теплового двигателя (Рисунок 1), работающего по органическому циклу Ренкина [2,3].

Причем охлаждение низкокипящего рабочего газа  $\text{CO}_2$  (или  $\text{C}_3\text{H}_8$ ) осуществляют низкотемпературным наружным воздухом окружающей среды в зимний период времени.

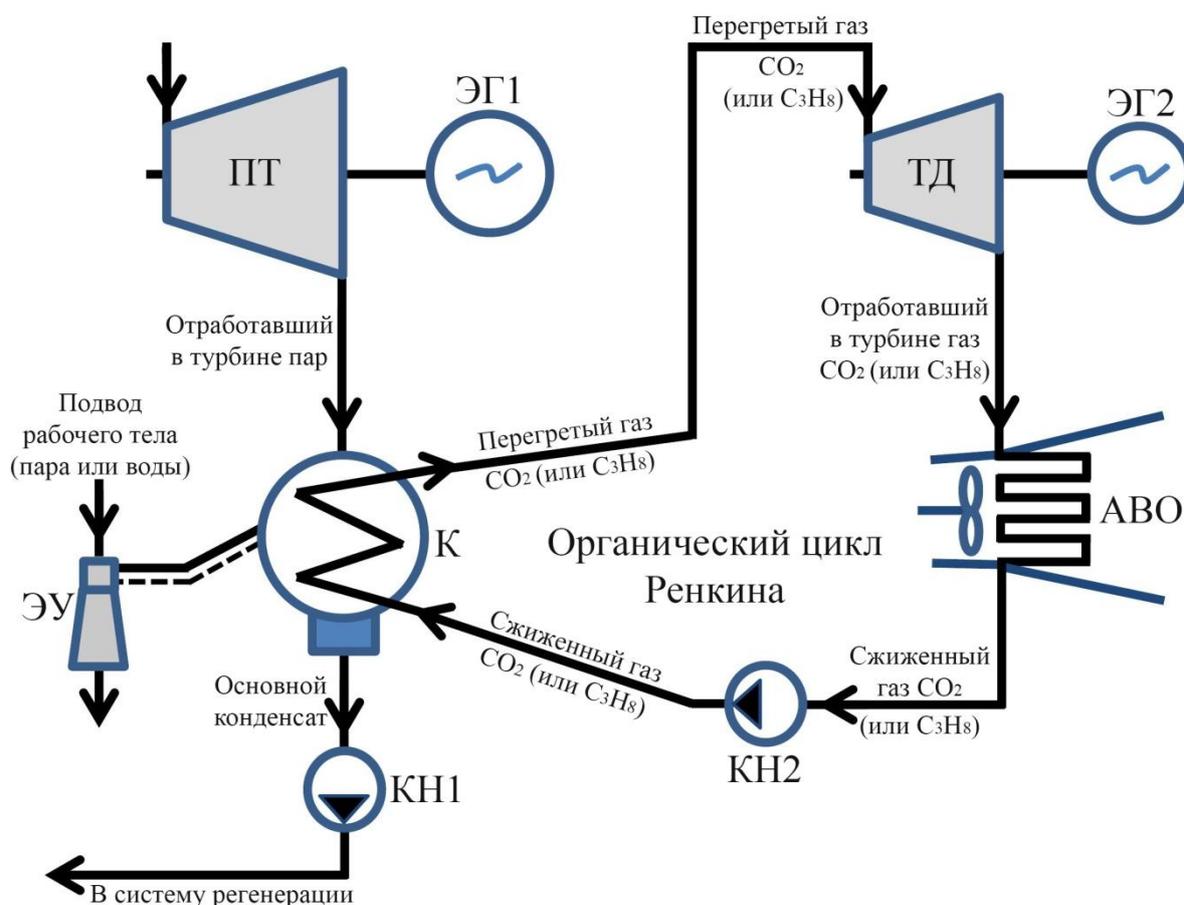


Рис.1. Принципиальная схема конденсационной установки Заинской ГРЭС с использованием низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции: ПТ – паровая турбина К-200-130; ТД – турбодетандер низкотемпературного теплового двигателя; К – конденсатор паровой турбины; АВО – теплообменник-конденсатор аппарата воздушного охлаждения; ЭУ – эжектирующее устройство; КН1 – конденсатный насос паровой турбины; КН2 – конденсатный насос низкотемпературного теплового двигателя; ЭГ1 – электрогенератор паровой турбины, ЭГ2 – электрогенератор низкотемпературного теплового двигателя.

На Рисунке 2, 3 представлены графики: по выработке (потреблению) полезной электрической мощности и КПД брутто по выработке электрической энергии в зависимости от температуры наружного воздуха окружающей среды для низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на  $\text{CO}_2$  (линия —●—) и  $\text{C}_3\text{H}_8$  (линия —■—) при давлении в конденсаторе паровой турбины К-200-130 равной 3,5 кПа с расходом пара в 1 кг/с. Также на рис. 2 по выработке (потреблению) полезной электрической мощности представлены затраты электрической мощности на циркуляционные насосы (линия —▲—) системы технического водоснабжения при традиционном способе охлаждения конденсатора паровой турбины К-200-130 в зимний период времени.

Низкотемпературный тепловой двигатель с замкнутым контуром циркуляции на  $\text{C}_3\text{H}_8$  превосходит по выработки полезной электрической мощности контур циркуляции на  $\text{CO}_2$  в связи с тем, что органический цикл Ренкина осуществляется при более низких параметрах давления насыщенных паров, чем для сжиженного углекислого газа  $\text{CO}_2$ . Причем массовый расход сжиженного пропана  $\text{C}_3\text{H}_8$  примерно вдвое меньше по сравнению сжиженным углекислым газом  $\text{CO}_2$ , на что оказывает влияние удельная теплота парообразования. При этом затраты электрической мощности на привод электродвигателей аппарата воздушного охлаждения низкотемпературного теплового двигателя являются одинаковыми при использовании в замкнутом контуре  $\text{CO}_2$  или  $\text{C}_3\text{H}_8$ .

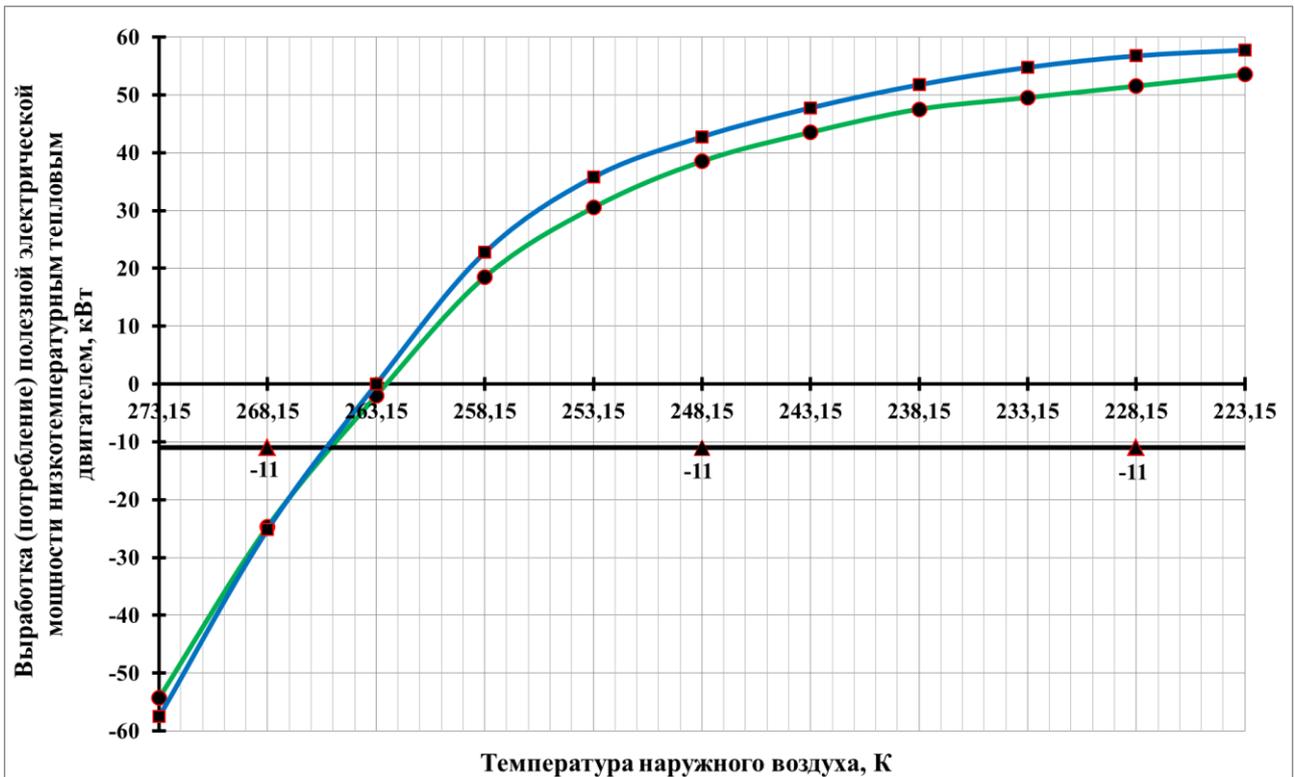


Рис.2. По выработке (потреблению) полезной электрической мощности для расхода пара в 1 кг/с.

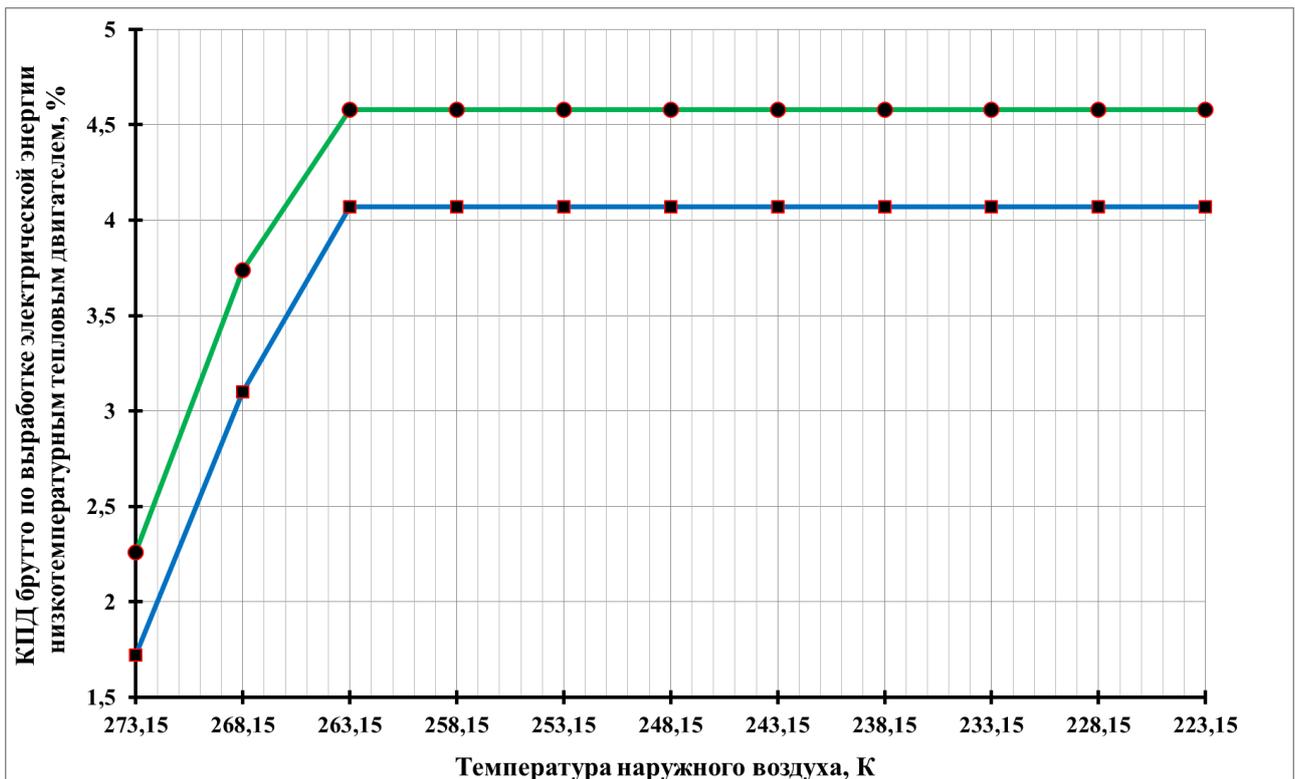


Рис.3. КПД брутто по выработке электрической энергии для расхода пара в 1 кг/с.

Низкие показатели КПД брутто по выработке электрической энергии низкотемпературным тепловым двигателем для замкнутого контура циркуляции на  $C_3H_8$  обусловлены тем, что в конце процесса расширения в турбодетандере газообразный пропан  $C_3H_8$  остается в перегретом состоянии. Это означает, что энтальпийный перепад на турбине очень низкий.

По республике Татарстан средняя минимальная температура окружающей среды в зимний период времени достигает 258,15 К, что позволяет сработать теплоперепад в конденсаторах паровых турбин (К-200-130) с помощью низкотемпературного теплового двигателя с замкнутым контуром циркуляции на CO<sub>2</sub> (или C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>) и значительно уменьшить тепловые выбросы в окружающую среду. При этом дополнительная выработка полезной электрической мощности на электростанции составит 36 (41,2) МВт, экономия расхода условного топлива составит 11,4 (13,08) т/ч, а эффективный КПД электростанции возрастет на 1,636 (1,87) % [4].

#### Список литературы

1. Бродов Ю.М. Теплообменники энергетических установок. Учебное пособие. – Екатеринбург. Издательство «Сократ», 2003. – 965 с.
2. Гафуров А.М. Патент на полезную модель №140435 РФ. Тепловая электрическая станция / 10.05.2014 г.
3. Гафуров А.М. Патент на полезную модель №140382 РФ. Тепловая электрическая станция / 10.05.2014 г.
4. Гафуров А.М. Использование сбросной низкопотенциальной теплоты для повышения экономической эффективности ТЭС в зимний период времени. // Энергетика Татарстана. – 2014. № 3-4 (35). – С. 69-76.

### ВЫБОР МОДЕЛИ УСИЛИТЕЛЯ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЯ

**Косолапов А.В.**

КубГТУ, г.Краснодар

Усилители рулевого управления автомобиля используют для облегчения работы водителя и снижения передаточного отношения рулевого механизма. Применяются гидроусилители ГУР, комбинированные электрогидро-усилители КЭГУР и чисто электроусилители руля ЭУР (редукторные и безредукторные).

ГУР имеют следующие преимущества:

1. Поглощают ударные нагрузки от неровностей дороги за счет практически несжимаемой жидкости;
2. Позволяют получить изменяемый коэффициент усиления за счет регулировки давления жидкости;
3. Увеличивают срок службы рулевых механизмов, которые смазываются под давлением.

Наиболее часто в системах ГУР используют насосы лопаточного типа. При вращении приводного вала насоса лопатки перемещаются по фигурной внутренней поверхности корпуса насоса, прижимаясь к ней под действием центробежной силы. В процессе вращения вала за счет специальной формы внутренней поверхности корпуса происходит изменение объема, ограниченного двумя соседними лопатками. При увеличении объема насос всасывает жидкость, а при уменьшении – нагнетает. Поскольку привод насоса осуществляется от шкива коленчатого вала, его производительность и давление зависят от числа оборотов двигателя. Для поддержания расчетного давления используется нагнетательный клапан.

Усилие, создаваемое гидроусилителем зависит от того, насколько повернут золотник относительно корпуса распределителя. Поворот золотника относительно корпуса распределителя происходит за счет скручивания пружинного торсиона. Угол поворота золотника зависит от усилия, прилагаемого водителем к рулевому колесу. Чем больше усилие, направленное на поворот рулевого колеса, тем больше поворот золотника относительно корпуса, и тем быстрее жидкость проходит через распределитель.

КЭГУР создает дополнительное усилие, используя гидравлический привод. Преимуществами КЭГУР являются: возможность работы при выключенном двигателе и большая экономичность по сравнению с гидроусилителем за счет включения в необходимый момент. Конструкция данного варианта исполнения устройства предусматривает регулировку коэффициента усиления электронным способом. Данная функция позволяет водителю маневрировать при малых скоростях.

В зависимости от типа и скорости движения КЭГУР может работать в следующих режимах:

При прямолинейном движении гидравлический узел обеспечивает циркуляцию жидкости в системе по кругу.

При повороте рулевого колеса:

1. Происходит закрутка торсиона, что воздействует на золотник и поворачивает его относительно распределительной гильзы.
2. Открывшиеся каналы позволяют жидкости поступить в одну из полостей силового цилиндра, а из другой полости жидкость возвращается в бачок.
3. Поршень силового цилиндра благодаря этому осуществляет перемещение рулевой рейки.

4. Усилие, появившееся на рулевой рейке, передается на рулевую тягу и приводит к повороту колеса.

На скорости до 40 км/ч при повороте рулевого колеса:

1. Датчики передают сигналы на электронный блок управления, и увеличивается частота вращения электродвигателя насоса, что приводит к открытию электромагнитного клапана.

2. Происходит увеличение производительности насоса, и в силовой цилиндр интенсивнее поступает жидкость. Это приводит к снижению усилий, прилагаемых к рулевому колесу.

На скорости более 40 км/ч при повороте рулевого колеса происходят срабатывание электромагнитного клапана и уменьшение поперечного сечения гидравлической системы за счет уменьшения частоты вращения электродвигателя насоса.

На автомобилях малого и среднего класса распространен вариант компоновки, когда электродвигатель и редуктор размещены в общем корпусе на рулевом валу. В этом случае ЭУР располагается в салоне, под приборной панелью [1].

На практике применяется схема электроусилителя с приводом, параллельным оси рулевой рейки. Он включает в себя рулевой механизм с ременным приводом шариковой гайки, который создает дополнительное усилие при повороте рулевого колеса. Это дополнительное усилие, величина которого зависит от степени потребности в нём, создаётся управляемым электродвигателем. Эта система облегчает водителю управление автомобилем в зависимости от дорожных условий.

Система работает следующим образом:

1. Усилитель рулевого управления включается в работу сразу, как только водитель повернёт рулевое колесо.

2. В результате усилия, приложенного к рулевому колесу, закручивается торсионный стержень, соединённый с валом с шестернёй рулевой колонки. Датчик момента поворота рулевого колеса измеряет это закручивание, определяет по нему величину момента и передаёт эту информацию блоку управления.

3. Датчик угла поворота даёт текущее значение угла поворота рулевого колеса.

4. Блок управления в зависимости от момента усилия, приложенного к рулевому колесу, скорости автомобиля, числа оборотов двигателя и параметрической характеристики, заложенной в блоке управления, определяет величину необходимого поддерживающего усилия и включает электродвигатель. Данные об угле поворота рулевого колеса и скорости используются, например, для корректирования прямолинейного движения.

5. Поддержка усилия для привода рулевого управления осуществляется посредством гайки на шариках. Привод данной гайки осуществляется от электродвигателя посредством зубчатого ремня.

6. Сумма усилия, прилагаемого к рулевому колесу, и силы поддержки от электродвигателя даёт результирующее усилие, которое прилагается к зубчатой рейке.

Описанное в работе [2] представление ЭМУР в виде классической двухмассовой системы (рулевое колесо – торсион – рулевой механизм) позволило выделить в относительно самостоятельные подсистемы его механическую часть и исполнительный механизм. Подобное представление существенно упрощает процесс получения математической модели ЭМУР, сводя ее к совокупности двух независимых составляющих.

В результате анализа рассмотренных схем усилителей руля для автомобиля нами выбран усилитель руля ЭУР с электромашинным приводом ЭМУР, применяемый крупными автопроизводителями в современных автомобилях. Он обладает повышенной надежностью и исключает потери мощности ДВС на работу ГУР.

#### Список литературы

1. Дентон Т. Автомобильная электроника. Самое полное описание электрических и электронных систем автомобилей /Том Дентон; пер. с англ., - М. : НТ Пресс, 2008.-576 с.: ил.
2. Никулин Г.Л., Французова Г.А. Упрощенная математическая модель электроусилителя руля автомобиля.- Сборник научных трудов НГТУ.-2005.-№1, с.1-4.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ ДЛЯ РЕЗЕРВНОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СОВМЕСТНО С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМ ИСТОЧНИКОМ ЭНЕРГИИ

Моренко К.С.

ФГБНУ СКНИИМЭСХ, г.Зерноград

В статье рассмотрены основные положения для выбора необходимого количества аккумуляторных батарей для резервирования электроснабжения при использовании совместно с установкой на основе возобновляемого источника энергии. Определена формула для расчёта количества аккумуляторов с учётом ограничения глубины разряда и разрядных характеристик аккумулятора.

Ключевые слова: аккумулятор, свинцово-кислотный, возобновляемый источник энергии, коэффициент Пейкерта

В настоящее время широкий интерес к возобновляемым источникам энергии, и их распространённость по территории земного шара побуждают многих ученых и исследователей к созданию систем на основе возобновляемых видов энергии.

К одному из недостатков популярных в настоящее время видов возобновляемой энергии, таких как солнце и ветер, следует отнести их непостоянство поступления на земную поверхность. В качестве одного из способов обеспечения непрерывности электроснабжения во многих трудах предлагается использование резервных аккумуляторов, обычно стартерных свинцово-кислотных. Кроме особенностей применения инвертора, практически никогда в этих трудах не обращается внимание на тот факт, что ёмкость аккумулятора зависит от величины разрядного тока.

В большинстве научных трудов, где в качестве резерва применяются аккумуляторные батареи, для определения их количества используется формула

$$n = \frac{I \cdot T}{C_a}, \quad (1)$$

которая учитывает паспортную ёмкость батареи при типичном 20-часовом разрядном цикле. В этих работах оценивается требуемое время работы нагрузки на период отсутствия поступления возобновляемой энергии, но это время практически никогда не совпадает со временем типичного разрядного цикла аккумулятора и поэтому использование в качестве базы для расчёта паспортной ёмкости недопустимо. Следует обратить внимание, что расчёт, основанный на неизменности ёмкости аккумулятора, вносит значительную погрешность в результаты технико-экономического обоснования.

В 1897 году В. Пейкерт опубликовал статью о зависимости ёмкости от тока разряда в свинцово-кислотных аккумуляторах [1]. Согласно закону, который получил его имя, ёмкость Пейкерта аккумулятора  $C_n$  в ампер-часах при разряде его током в 1 А эмпирически выражается следующим уравнением

$$C_n = I^k \cdot t, \quad (2)$$

где  $I$  — действительный разрядный ток, А;  
 $k$  — константа Пейкерта;  
 $t$  — действительное время разряда батареи, ч.

Уравнение (2) малоприспособно для практических расчётов, поэтому выразим время работы аккумулятора при разряде фиксированным значением тока с учётом того, что ёмкость аккумулятора приводится для разрядки при фиксированном времени

$$t = \frac{C_n}{I^k}. \quad (3)$$

Уравнение (2) требует использования ёмкости Пейкерта при разрядке аккумулятора током в 1 А, а не ёмкости аккумулятора при 10 или 20-часовом разрядном цикле. Современные производители не приводят подобных данных, и не определяют ни ёмкость Пейкерта, ни константу. Вместо этого иногда производители указывают несколько величин разрядного тока и значения ёмкости для этих токов.

Значение константы постоянно для одной и той же батареи [2] и зависит не только от типа аккумулятора, но и от его конструкции и изменяется при старении, что так же требует её определения для каждой марки аккумуляторной батареи.

С помощью преобразований уравнения Пейкерта можно получить формулу для определения константы с помощью двух контрольных точек, для каждого из которых определены ёмкость  $C_1$  и  $C_2$  и время разряда  $h_1$  и  $h_2$ .

Ёмкость Пейкерта, как уже было отмечено, является постоянной для аккумулятора в любых режимах работы, поэтому для двух режимов разрядки

$$C_{n1} = C_{n2}. \quad (4)$$

В обоих случаях ток определяется по формулам

$$I_1 = \frac{C_1}{h_1}; \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{C_2}{h_2}, \quad (6)$$

которые после подстановки и упрощения приводят к следующему уравнению

$$\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k \cdot h_1 = \left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k \cdot h_2; \quad (7)$$

$$\log\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k \cdot h_1 = \log\left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k \cdot h_2; \quad (8)$$

$$\log h_1 + \log\left(\frac{C_1}{h_1}\right)^k = \log h_2 + \log\left(\frac{C_2}{h_2}\right)^k; \quad (9)$$

$$\log h_1 + k \cdot \log \frac{C_1}{h_1} = \log h_2 + k \cdot \log \frac{C_2}{h_2}; \quad (10)$$

$$k \cdot \left(\ln \frac{C_1}{h_1} - \ln \frac{C_2}{h_2}\right) = \ln h_2 - \ln h_1; \quad (11)$$

$$k = \frac{\ln \frac{h_2}{h_1}}{\ln \frac{C_1}{h_1} \cdot \frac{h_2}{C_2}} = \log_{\frac{C_1 \cdot h_2}{h_1 \cdot C_2}} \frac{h_2}{h_1}. \quad (12)$$

Далее ёмкость Пейкерта можно определить по формуле (2). Время работы при действительном разрядном токе будет определяться как время Пейкерта

$$t = h_n, \quad (13)$$

которое, в свою очередь, может быть определено через изменение ёмкости аккумулятора и время работы в паспортном режиме

$$t = \frac{C_a}{C_n} \cdot h. \quad (14)$$

где  $h$  — время разряда, указанное в паспорте, обычно 10 или 20 часов.

После подстановки уравнения (1) в уравнение (14) и упрощения получим

$$t = h \cdot \frac{I_h^k \cdot t}{I^k \cdot t} = h \cdot \frac{I_h^k}{I^k} = h \cdot \frac{C^k}{I^k h^k} = h \cdot \left(\frac{C}{I \cdot h}\right)^k. \quad (15)$$

где  $I_h$  — разрядный ток аккумулятора в паспортном режиме, А.

Используя формулу (15) можно при заданном разрядном токе  $I$ , ёмкости аккумуляторной батареи  $C$  при времени разрядки  $h$  и требуемом времени обеспечения работы  $T$  определить количество аккумуляторных батарей  $n$

$$h \cdot \left( \frac{C}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (16)$$

$$h \cdot \left( \frac{C_a \cdot n}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (17)$$

$$\frac{h}{t} \cdot \left( \frac{C_a}{I \cdot h} \right)^k \geq n^{-k}; \quad (18)$$

$$n^k \geq \frac{t}{h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)^k; \quad (19)$$

$$n \geq \sqrt[k]{\frac{t}{h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)}. \quad (20)$$

При этом важно отметить, что не рекомендуется разряжать аккумуляторы на 100 %. Батареи общего назначения не рекомендуется разряжать глубже 45 %, глубокоразрядные батареи ниже 75 % [3].

Если ограничить глубину разряда  $D$ , то время работы батареи может быть рассчитано по формуле (22), если внести следующие изменения в формулу (16)

$$D \cdot h \cdot \left( \frac{C}{I \cdot h} \right)^k \geq t; \quad (21)$$

$$n \geq \sqrt[k]{\frac{t}{D \cdot h} \cdot \left( \frac{I \cdot h}{C_a} \right)}. \quad (22)$$

Глубокоразрядные батареи отдадут больше энергии, но имеют и более высокую стоимость. Стартерные батареи не могут применяться для обеспечения резервирования, они предназначены для работы с глубиной разряда только 4–6 %.

Рассмотрим расчёт необходимого количества аккумуляторных батарей при условиях: разрядная ёмкость 60 А·ч при времени разряда 20 ч, коэффициент Пейкерта 1,15. Рассмотрим метод расчёта по формуле (1), и расчёты по формуле (22) для полного разряда, 75 % для глубокоразрядной батареи и 45 % для батареи общего назначения. Результаты расчётов приведены в Табл.1.

Согласно приведённым в таблице результатам, использование расчёта по примитивной формуле (1) приводит к недооценке стоимости аккумуляторных батарей до 1,5 раз, а отсутствие учёта допустимой для батареи глубины разряда — до 2–3 раз.

Таблица 1

Результаты расчёта количества аккумуляторов

Нагрузка		Количество по формуле (1), шт	Количество по уравнению (22), шт		
Время работы, ч	Ток, А		100 % (полный разряд)	75 % (глубокий разряд)	45 % (общее назначение)
20	60	20	20,00	25,68	40,05
10	60	10	10,95	14,06	21,92
5	60	5	5,99	7,69	12,00
2	60	2	2,70	3,47	5,41
1	60	1	1,48	1,90	2,96

Расчёт с глубиной разряда 100 % является недопустимым и приведён только для сравнения, поскольку свинцово–кислотные аккумуляторы должны быть немедленно заряжены после разряда. Оставление их в разряженном состоянии более чем на 12 часов приводит к необратимой потере ёмкости. По этим причинам использование стартерных аккумуляторов является недопустимым. В качестве резервных аккумуляторов могут использоваться аккумуляторы общего назначения, тяговые и аккумуляторы глубокого разряда с учётом ограничений глубины разряда.

Приведённая методика и расчёт показывают, что в ряде отечественных и зарубежных научных трудов не уделяется внимание эксплуатационным характеристикам аккумуляторов, что приводит к ложной оценке технических и экономических параметров установки.

Рассмотренная в статье методика расчёта позволяет определить количество батарей с учётом их разрядных характеристик и ограничения глубины разряда батареи и позволяет более точно подходить к оценке технико–экономической эффективности применения аккумуляторов в установках на основе возобновляемых видов энергии.

### Список литературы

1. Peukert's law [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Peukert's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Peukert's_law).
2. An in depth analysis of the maths behind Peukert's Equation (Peukert's Law) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.smartgauge.co.uk/peukert\\_depth.html](http://www.smartgauge.co.uk/peukert_depth.html).
3. Deep cycle battery [Электронный ресурс]. — Режим доступа [http://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_cycle\\_battery](http://en.wikipedia.org/wiki/Deep_cycle_battery).

## ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ: ВИДЫ, ТЕРМИНЫ, ПРИМЕНЕНИЕ

**Фролов В.А.**

г.Екатеринбург

Электроэнергетика не мыслима без собственных электроэнергетических схем. Рассмотрим содержание общепринятых терминов «схемы», не затрагивая сначала учет влияния выполнения отдельных элементов схем.

На самом верхнем уровне (энергосистемы):

Схема электрических соединений энергосистемы – схематическое представление связей ( т.е. линий электропередач) между электрическими станциями энергетической системы и пунктами преобразования, распределения и потребления электрической энергии [7].

Конфигурация энергосистемы – схематически представленное топографическое расположение входящих в энергосистему электрических станций, основных электрических сетей и важнейших потребителей [7].

На следующем технологическом уровне (объекты в целом):

Основные понятия схем объектов электроэнергетики приведены в ГОСТ 24291-90 [2] . Их можно характеризовать по следующим параметрам:

по содержанию (выписки):

«9. принципиальная электрическая схема электростанции [подстанции] – отражает принцип работы;

10. главная электрическая схема электростанции [подстанции] – показывает состав и типы установленного оборудования;

11. схема заполнения распределительного устройства; размещение оборудования и аппаратуры в ячейках и помещениях РУ.

по исполнению:

12. мнемоническая схема электростанции [подстанции, электрической сети]:

мнемоническая схема- совокупность элементов и устройств отображения информации, представляющая в наглядном виде электрическую схему электростанции [подстанции, электрической сети] и состояние коммутационных аппаратов, которой могут быть приданы функции управления».

и по форме:

13. однолинейная схема электростанции [подстанции];

14. трехлинейная схема электростанции [подстанции].

В терминах 9 и 10 содержится наименование видов схем в самых общих выражениях. В термине 11 под словом «заполнение» можно понять, как

сведения о видах и количественном содержании «схемы». В термине 12, в «мнемонической схеме» имеется очень важное дополнение – в ней показано «состояние коммутационных аппаратов, которой могут быть приданы функции управления».

Таким образом, упомянутые пять терминов содержат самую разнообразную характеристику – информацию: наименование объекта, качественную или количественное содержание, вид носителя, срок действия схемы и дату ее последнего пересмотра. Но фактически количества видов схем электроэнергетики на много больше, чем упомянутых главных и принципиальных видов.

Основным недостатком терминов 9-12 является отсутствие какое-либо упоминание о границах схем, т.е. обеспечение электробезопасности. Для этого в нормативных документах должно быть сказано: «Принципиальные, главные и оперативные электрические схемы с целью обеспечения необходимой электробезопасности должны быть приведены с коммутационными аппаратами имеющим минимально близкое расположение к границам их балансовой принадлежности».

«Оперативные схемы» приводятся в п.6.6.2. ПТЭ [8] В нем указаны режимы работы электроустановок в отдельных режимах- нормальных, ремонтных и аварийных. В этом проявляется отличие оперативных схем от вышеприведенных- именно в их оперативности – изменение схемы в любой момент времени и уточнении требований к этим режимам. Изменение режима работы гидроагрегатов может быть проведено в течении нескольких минут. Изменение режима тепловых генераторов и может занимать несколько часов- по условиям работы котельных установок. При этом может резко измениться состояние средств релейной защиты и автоматики - уставок РЗА и т.д. Т.е «оперативная схема» захватывает часть вторичных цепей, точки выхода на них.

Следующий уровень схем: схемы отдельных элементов составляющих исходные схемы:

Например: Балаков Ю.Н и др. [1] для распределительных устройств приводят следующее: конфигурация схем для тепловых электростанций- блочные, ответвления от проходящих линий, мостики и т.д.; тип коммутационных аппаратов в каждом присоединении- выключатели, разъединители, отделители с короткозамыкателем

Т.е. элементы принципиальных и главных схемы применены для более низкого уровня электроустановок В схемах электрических сетей.

Общеизвестно, что линии представляются:

по количеству цепей- одноцепная, двухцепная, многоцепная;

по технологическому назначению : радиальные, кольцевые, с последовательным или параллельным включением, изолированной или заземленной ( в т.ч. глухозаземленной) нейтралью, компенсированная сеть др.

Все приведенные варианты имеют свои схемы.

Следующий уровень схем: схемы объектов с отдельными видами оборудования.

В работе [3] приведены десятки схем подстанций практически со всеми видами существующих электротехнических устройств т.е силовых и измерительных трансформаторов, выключателей, разъединителей и т.д. Они все, составляют «свою собственную часть» вышеприведенных схем: монтажные, расчетные, эквивалентные, испытательные и др.

Приведем еще одну сторону анализа термина «схема»- это полисемия-многозначность. Полисемия-(от греч-poly-много, sema- знак) многозначность слова, наличия у одного слова нескольких лексических значений. с 452 [4]. Таким образом, «схема» может быть и документом – изображение на листе бумаги и конкретной реализацией этого документа- выполнение электроустановки в натуре.

Особенности оперативной работы в энергетике, практически ежедневная работа оперативного персонала энергетиков приводит к необходимости рассмотрения, оценке и анализу их мыслительной деятельности в использовании основной символической информации- схемах. В работе по анализу ошибок человека оператора [5] утверждается, что]: элементом деятельности оператора является образное мышление, - визуальное «чтение» схемы преобразовывается в жесткие команды для выполнения необходимой работы.

Схемы существуют на всех этапах жизненных циклов изделий,. Поэтому чрезвычайно важно обеспечить единство терминологии, понимания документа «схема». Органы федерального промышленного надзора [6], уже создали единый перечень терминов по своему направлению работ.

Выводы.

1. «Схема»- это инструмент, крайне необходимый (жизненно необходимый) для выполнения целей и задач энергетики.

2. В настоящее время понятие «схема» понимается в различных интерпретациях. Базовыми вариантами схем электроустановок являются принципиальные, главные и оперативные схемы.

3. В нормативные материалы по энергетике необходимо включить пункт:

«Принципиальные, главные и оперативные электрические схемы с целью обеспечения необходимой электробезопасности должны быть приведены с коммутационными аппаратами имеющим минимально близкое расположение к границам их балансовой принадлежности».

4. В соответствии с п.6.1.8 ПТЭ о применении единой общепринятой терминологии необходимо доработать терминологию энергетики и в первую очередь по термину «схема» на всех уровнях энергетики.

5. Исследование мышления оперативного персонала при анализе схем весьма актуальная задача и требует дополнительных исследований.

#### Список литературы

1. Балаков Ю.Н., Мирсаханов Ш.М., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: Методологические аспекты формирования. – М.: Изд.дом МЭИ, 2009. – с 288.
2. ГОСТ 24291-90. Электрическая часть электростанций и электрической сети. Термины и определения.
3. Казак М.А. и др. Электроснабжение промышленных предприятий – М.-Л.:ЭНЕРГИЯ, 1966. – 535
4. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник– М.: Наука,1076. – 717 с.
5. Котик М.А., Емельянов А.М. Природа ошибок человека-оператора, на примерах управления транспортными средствами. – М.: «Транспорт», 1983. – 252 с.
6. Об обеспечении терминологического единства нормативной и правовой базы в области промышленной безопасности. Указание от 27 февраля 2004 г. N У-6 Федерального горного и промышленного надзора России
7. Энергетические системы. Сборники рекомендуемых терминов. Выпуск 81. –М.: «НАУКА», 1970. – 72 с.
8. Электрические станции и сети. Сборник нормативных документов. –М.: Изд.-во НЦ ЭНАС, 2006. –720 с..

## ЭФФЕКТИВНАЯ ИНТЕНСИФИКАЦИЯ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КАНАЛАХ

Васильев В.Я., Жаткин А.М.

АГТУ, г.Астрахань

Введение.

В различных областях техники широкое применение получили пластинчато-ребристые теплообменные аппараты (см. Рисунок 1): в авиационной и космической технике для создания разнообразных теплообменников систем энергообеспечения, термостатирования, кондиционирования воздуха кабин и приборных отсеков; автотракторной промышленности для создания водо- воздушных радиаторов и кондиционирования воздуха

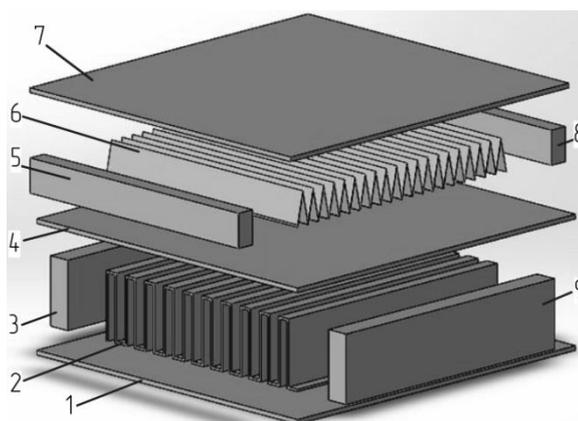


Рис.1. Структурная схема единичного пакета поверхностей теплообмена двухпоточного пластинчато-ребристого теплообменника: 1, 4, 7 – пластины проставочные; 2, 6 – поверхности теплообмена (насадки) пластинчато-ребристые; 3, 5, 8, 9 – уплотнения пакета боковые (бруски)

кабин; в химической промышленности в конденсаторах и испарителях чистых газов и жидкостей; в конструкциях рекуперативных и регенеративных высокоэффективных теплообменников криогенных систем; в холодильной технике в конденсаторах воздушного охлаждения, регенеративных теплообменниках, в воздухоохладителях

систем кондиционирования воздуха, холодильных камер и скороморозильных аппаратов, в устройствах термоэлектрического охлаждения.

Такое широкое распространение пластинчато-ребристые теплообменные аппараты получили благодаря большой компактности, превышающей по этому показателю все остальные виды теплообменников.

### 1. Интенсификация конвективного теплообмена

Высокая металлоёмкость и низкая компактность остаётся, по-прежнему, нерешённой проблемой многих теплообменных аппаратов (ТА) самого различного назначения. Особенно острой эта проблема является для ребристой аппаратуры, работающей в режимах сильно отличающихся величин коэффициентов теплоотдачи, например,  $\alpha_1 \ll \alpha_2$  (конденсаторы воздушного охлаждения, воздухоохладители, охладители технологических потоков жидких продуктов, радиаторы силовых установок, градирни закрытого типа и т.п.).

Чаще всего способы искусственной турбулизации потока для интенсификации теплообмена, как в круглых, так и в некруглых каналах (Рисунок 2) выбирались интуитивно и, хотя опытные результаты обеспечивали

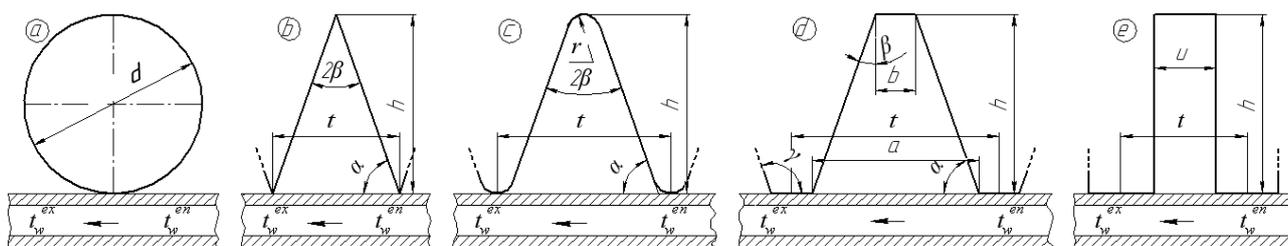


Рис.2. Профили сечений каналов поверхностей теплообмена

надёжный расчёт теплообменников, в большинстве случаев оценка интенсификации  $(\mathcal{R}')_{Re'_i} = (Nu / Nu_{гл})'_{Re'_i=idem}$  отвечала неравенству  $(Nu/Nu_{гл}) < (\xi/\xi_{гл})$ .

#### 1.1. Круглый канал: интенсификация при условии $(Nu/Nu_{гл}) < (\xi/\xi_{гл})$

Рассмотрим несколько показательных примеров интенсификации.

В работе [6] Г.А. Дрейцером были детально рассмотрены данные В.К. Щукина [13] по интенсификации конвективного теплообмена (ИКТ) в трубах непрерывной закруткой потока теплоносителя скрученными лентами или шнековыми вставками, расположенными по всей длине трубы. В отличие от местной закрутки (дискретная турбулизация потока) непрерывность турбулизирующих поток вставок технологически проще и обеспечивает большее увеличение средней теплоотдачи, так как степень закрутки потока по длине канала не уменьшается. При этом растёт и гидравлическое сопротивление вследствие дополнительных потерь давления на трение на поверхностях лент или шнеков. При величине критерия Рейнольдса  $Re = 1 \cdot 10^4$  закрученная лента обеспечивает значения относительных коэффициентов теплоотдачи и сопротивления  $\alpha/\alpha_{гл} = 2.34 \dots 1.8$  и  $\zeta/\zeta_{гл} = 4.05 \dots 2.5$ , что позволяет, соответственно, уменьшить объём сердцевины ТА до значений  $V/V_{гл} = 0.53 \dots 0.64$ . С ростом величины критерия  $Re$  эффективность ленточных вставок падает: для  $Re = 1 \cdot 10^5$  получены значения  $\alpha/\alpha_{гл} = 1.88 \dots 1.49$  и  $\zeta/\zeta_{гл} = 5.55 \dots 1.65$ , что обеспечивает значения  $V/V_{гл} = 0.822 \dots 0.70$ . Г.А. Дрейцер [6] констатирует, что ни при каких числах  $Re$  и шагах закрутки ленты не удалось установить опережающее увеличение относительного коэффициента теплоотдачи по сравнению с ростом относительного коэффициента сопротивления, т.е. соблюдение неравенства  $\alpha/\alpha_{гл} > \zeta/\zeta_{гл}$ .

Г.А. Дрейцер в публикации [6] также указывает, что эффективность шнековых вставок значительно ниже ленточных. Даже при минимальных значениях отношений  $d_0/D = 0.33$  и  $\delta/D = 0.05$  для шагов закрутки ленточной вставки-турбулизатора  $s/D \cong 4 \dots 12$  получены значения  $\alpha/\alpha_{гл} = 1.75 \dots 1.16$  и  $\zeta/\zeta_{гл} = 4.74 \dots 2.64$  при  $Re \cong 1 \cdot 10^4$  и  $\alpha/\alpha_{гл} = 0.88 \dots 0.58$  и  $\zeta/\zeta_{гл} = 3.4 \dots 1.38$  при  $Re \cong 1 \cdot 10^5$ . При этом для  $Re = 1 \cdot 10^4$  показатель относительного изменения объёма сердцевины теплообменника составляет  $V/V_{гл} = 0.84 \dots 1.19$ , а для  $Re = 1 \cdot 10^5$  принимает значения, лишаящие смысла использование искусственной турбулизации потока теплоносителя указанным способом –  $V/V_{гл} = 1.9 \dots 2.67$ . Таким образом, незначительное повышение эффективности ( $V/V_{гл} < 1$ ) можно получить только при  $s/D = 4$  и  $Re = 10^4$ . С ростом значений  $Re$  и  $s/D$  величина  $V/V_{гл} > 1$ , то есть применение шнековых вставок даёт отрицательный результат, поскольку ухудшает параметры ТА. Ещё менее эффективными оказываются шнековые вставки с большими относительными диаметром шнека  $d_0/D$  и толщиной ребра шнека  $\delta/D$ . При этом следует отметить, что все приведённые выше данные для винтовых вставок получены при плотном прилегании

их к внутренним стенкам труб [13]. Если же между вставками и трубой появляется кольцевой зазор, эффективность ИКТ существенно уменьшается.

В опытах W. Nunner [15], для турбулизации пограничного слоя применялись кольца, последовательно расположенные по ходу потока теплоносителя. Формы и размеры колец и схемы их расположения в круглых трубах приведены в табл. 1 и на рис. 3.

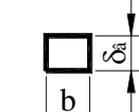
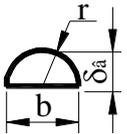
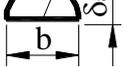
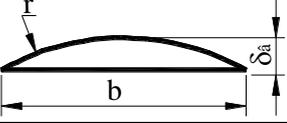
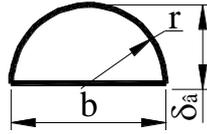
Примечателен тот факт, что для трубы № 9, в которой кольца расположены вплотную друг к другу и составляли непрерывную волнистую поверхность теплообмена закономерности  $Nu = f(Re)$  оказались типичными для шероховатых труб. В остальных опытах тангенс угла наклона кривых сохранялся, как для гладких труб.

Результаты опытов W. Nunner [15] показали, что эффект внешнего обтекания турбулизирующих колец имеет свои особенности: при тесной посадке колец в трубе № 9, когда имеет место наибольшая её загромождённость по длине, потеря энергии на сопротивление минимальна. По мере увеличения расстояний между кольцами потери энергии резко возрастают, достигая максимума для трубы № 7, после чего усматривается падение сопротивления.

В.М. Антуфьев [1] анализируя результаты исследования W. Nunner [15] отмечает, что все теплообменные поверхности (ТП) с турбулизаторами при  $N_0 = idem$  имеют значения коэффициентов теплоотдачи выше, чем для гладкой трубы. Эффективность теплообмена зависит от расположения колец в трубе. При  $l/\delta = 80$  получается наименьший эффект (трубы № 3, 5 см. Табл.1). По мере сокращения расстояний между кольцами, эффективность теплообмена возрастает и при  $l/\delta = 10$  достигает максимума (труба № 7). При дальнейшем

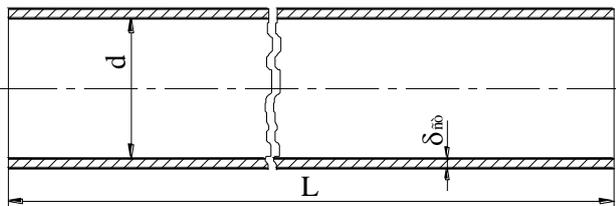
Таблица 1

Основные геометрические характеристики круглых труб с дискретно расположенными турбулизаторами в виде кольцевых выступов различной формы поперечного сечения, исследованных W. Nunner [15]

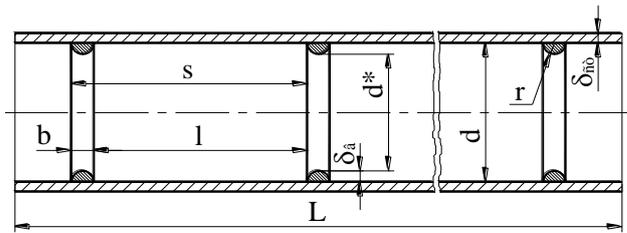
Тип поверхности теплообмена, номер трубы, форма поперечного сечения кольцевого выступа		Число, толщина и ширина кольцевых выступов			Размерные и безразмерные параметры труб с кольцевыми выступами			
		п, шт	$\delta_b \cdot 10^3$ , м	$b \cdot 10^3$ , м	$L \cdot 10^3$ , м	$s \cdot 10^3$ , м	$s/\delta_b$ и $l/\delta_b$	$d^*/d$
Тгл ТП № 1	—	—	—	—	976	—	—	—
Тв ТП № 2		24	2	2.5	976	40.67	20.33 19.08	0.92
Тв ТП № 3		6	2	4	976	162.7	81.33 79.35	0.92
Тв ТП № 4		24	2	4	976	40.67	0.33 18.34	0.92
Тв ТП № 5		6	2	15	976	162.7	81.33 73.85	0.92
Тв ТП № 6		2	4	8	976	81.33	20.33 18.33	0.84
Тв ТП № 7		24	4	8	976	40.67	10.17 8.17	0.84
Тв ТП № 8		48	4	8	976	20.33	5.08 3.08	0.84
Тв ТП № 9		122	4	8	976	8.00	2.00	0.84

Примечание. Всем объектам исследования (Тгл ТП № 1 и Тв ТП № 2...9) отвечают значения:  $L/d = 19.52$ ;  $d = 50 \cdot 10^{-3}$  м;  $\delta_{ст} = 3.5 \cdot 10^{-3}$  м.

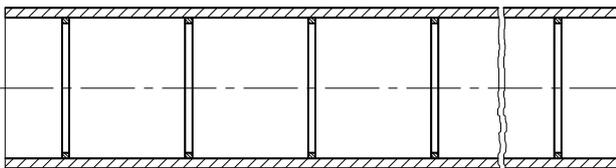
Тгл ТП № 1



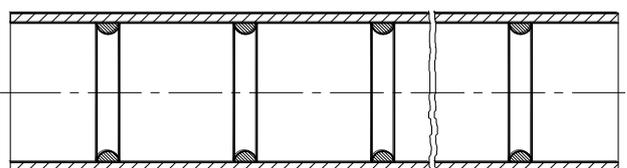
Тв ТП № 6



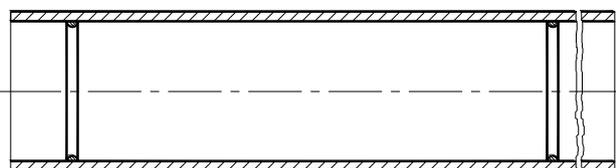
Тв ТП № 2



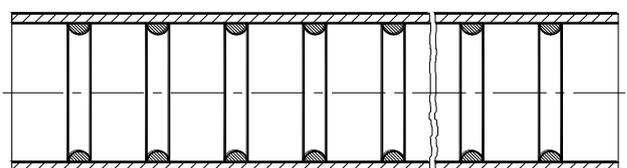
Тв ТП № 7



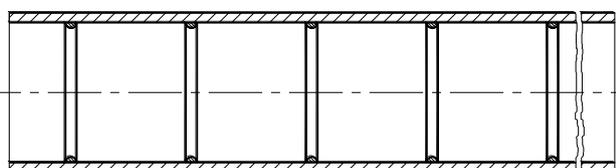
Тв ТП № 3



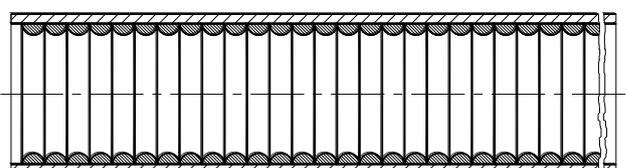
Тв ТП № 8



Тв ТП № 4



Тв ТП № 9



Тв ТП № 5

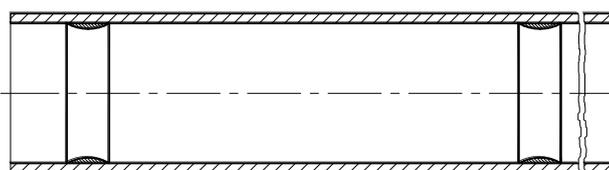


Рис.3. Продольный разрез круглых труб гладкой (Тгл ТП № 1) и с поперечно расположенными дискретными турбулизаторами (Тв ТП № 2...9) в виде колец с различными формами поперечных сечений (собственно, кольцевых выступов), исследованных W. Nunner (см. Табл.1) [15]

уменьшении параметра  $l/\delta$  эффективность теплообмена ухудшается и становится минимальной для случая расположения колец вплотную друг к другу (труба № 9).

Наиболее глубокие обобщающие анализы научных публикаций по интенсификации теплоотдачи в каналах сделаны авторами работ: [12] А.И. Михайловым, В.В. Борисовым, Э.К. Калининым; [8] Э.К. Калининым, Г.А. Дейцером, С.А. Ярхо; [5] Г.И. Ворониным, Е.В. Дубровским; [9] Э.К. Калининым, Г.А. Дейцером, И.З. Коппом, А.С. Мякочиним.

Рассмотрение результатов этих работ приводит к следующим выводам.

Во всех случаях, когда избранный метод искусственной турбулизации потока теплоносителя приводит к турбулизации всего потока или значительной его части (трубы с крупной нарезкой – шероховатостью, волнистые

каналы, постановка проволок в канале, большие диафрагмы, шайбы, спирали, сегментные и пропеллерообразные завихрители, ленточные спиральные турбулизаторы, сильно отогнутые в канал рёбра и т.д.) рост значений относительной гидравлической характеристики канала существенно опережает рост его относительной тепловой характеристики [7 – 9]. При этом оценка интенсификации теплоотдачи в каналах с искусственной турбулизацией потока по отношению к гладким каналам выражается неравенством  $[(Nu / Nu_{г\text{л}}) < (\xi / \xi_{г\text{л}})]_{Re_i = idem}$ . Когда места отрывов потока расположены сравнительно нечасто по потоку, а образующиеся при этом вихри расположены в узком пристеночном слое (Т.Е. Стэнтон; О.С. Федынский – [12]) для некоторых поверхностей и чисел Re, (D.C. Briggs, A.L. London; Н. Drechsel – [12], Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо [7, 8]), имеет место неравенство  $[(Nu / Nu_{г\text{л}}) \geq (\xi / \xi_{г\text{л}})]_{Re_i = idem}$ . Это же неравенство было получено и в работах: S.G. Knudsen, D.S Katz; P. Fortescue, W.B. Holl – [12]. Однако в этих работах увеличение теплоотдачи было достигнуто не только вследствие её интенсификации, а и в результате увеличения поверхности теплоотдачи.

1.2. Круглый канал: интенсификация при условии  $(Nu/Nu_{г\text{л}}) \geq (\xi/\xi_{г\text{л}})$

Возможность осуществления наиболее эффективной интенсификации конвективного теплообмена в каналах с получением опережающего роста теплоотдачи относительно повышения гидравлического сопротивления по сравнению с аналогичным гладким каналом представляет большой научный и практический интерес [7 – 9, 12].

Как показывают многочисленные данные, из известных методов интенсификации теплообмена в трубах наибольшее внимание, как эффективной и технологически реализуемой, уделяется искусственной турбулизации потока теплоносителя кольцевыми диафрагмами.

В качестве примера эффективной турбулизации потока можно обратиться к методу, разработанному в Московском авиационном институте (национальном исследовательском университете) применительно к трубчатым теплообменным аппаратам. Сущность предложенного метода заключается в следующем. На наружной поверхности трубы накаткой наносятся периодически расположенные кольцевые канавки (см. Рисунок 4). Кольцевые диафрагмы и канавки турбулизуют поток в пристеночном слое и обеспечивают интенсификацию теплообмена снаружи и внутри труб. При этом не увеличивается наружный диаметр труб, что позволяет использовать данные трубы в тесных пучках и не менять существующей технологии сборки теплообменных аппаратов.

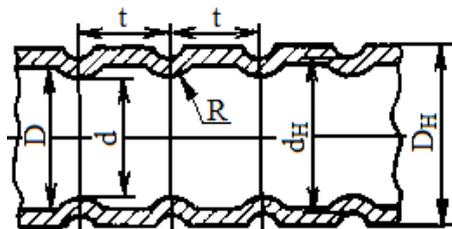


Рис.4. Продольный разрез трубы с периодически расположенными поперечными канавками на наружной стороне и плавно очерченными выступами внутри [8].

Учёными Московского авиационного института были проведены обширные экспериментальные исследования интенсификации теплообмена в круглых каналах труб с диафрагменными пережатиями сечения. Результаты исследований легли в основу открытия № 242 [7], из которого следует, что в каналах различного профиля поперечного сечения обнаружено неизвестное ранее явление распространения вдоль их стенок вихрей, образующихся в пристеночной области потока на дискретных источниках, приводящее по сравнению с таким же гладким каналом, к равному или большему относительному росту теплоотдачи  $Nu/Nu_{г\text{л}}$  по сравнению с ростом гидравлического сопротивления  $\xi/\xi_{г\text{л}}$ , то есть к оценкам интенсификации  $(\mathfrak{R}')_{Re'_x}^{\text{MAX}} = [(Nu / Nu_{г\text{л}})']_{Re'_x = idem}^{\text{MAX}}$  при  $(K')_{Re'_x} = [(Nu / Nu_{г\text{л}}) / (\xi / \xi_{г\text{л}})]'_{Re'_x = idem} = 1$  или  $(\mathfrak{R}'')_{Re'_i} = [(Nu / Nu_{г\text{л}})'']_{Re'_i = idem}$  при  $\{(K'')_{Re'_i} = [(Nu / Nu_{г\text{л}}) / (\xi / \xi_{г\text{л}})]''_{Re'_i = idem}\} > 1$ . Интенсификацию с такими оценками авторы открытия назвали рациональной интенсификацией конвективного теплообмена (РИКТ).

Результаты исследований процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена в круглых каналах с диафрагменными перегородками  $\{(d^*/d)'_x = 0.875, s/d = 0.496, L/d = 114\}$  [8] представлены достигнутой при  $(K')_{Re'_x} = 1$  максимальной оценкой  $(\mathcal{R}'_\zeta)_{Re'_x=2000}^{MAX} = 2.88$ .

В дополнение следует отметить, что эффективность интенсификации с помощью ленточных вставок существенно ниже, чем эффективность интенсификации теплообмена кольцевыми турбулизаторами. Другие методы закрутки потока (спиральные каналы, закрутка при входе в канал, витые трубы, спиральные проволочные вставки, спиральные или продольные рёбра внутри труб) менее эффективны, чем рассмотренные выше. Также менее эффективны такие методы, как организация пульсаций потока, использование шероховатых поверхностей. Поэтому применение кольцевых диафрагм предпочтительно в трубах как наиболее эффективный метод [9].

## 2. Рациональная интенсификация теплообмена

Метод интенсификации теплоотдачи, при котором имеет место неравенство  $Nu/Nu_{гр} \geq \xi/\xi_{гр}$  является самым предпочтительным. Как отмечено в п. 1.2, это имеет место в круглых трубах с диафрагменными перегородками их сечений при определённых размерах, форме и частоте расположения диафрагменных выступов внутри трубы, а также режимах течения теплоносителя. В этом случае длина трубок уменьшается, а поперечное сечение пучка остаётся прежним или даже несколько уменьшается. Как отмечалось выше авторы открытия [6] назвали такую интенсификацию рациональной.

Высокие эффективность и компактность пластинчато-ребристых теплообменных аппаратов заключаются в возможности использования в их конструкциях двухстороннего оребрения. Причём расстояние между пластинами, а также типы оребрения со стороны каждого потока теплоносителя могут быть различными (см. рис. 1, 2) и выбираться исходя из допустимых потерь давления на их прокачку. Масса и теплоёмкость теплообменников пластинчато-ребристого (ПР) типа намного меньше, чем остальных типов такой же поверхности, так как основная часть теплообменной поверхности изготавливается из тонких металлических листов. Стоимость единицы поверхности теплопередачи пластинчато-ребристых теплообменников при их серийном изготовлении значительно ниже, чем теплообменников других типов.

Режимы работы основных теплообменных аппаратов машин холодильной и криогенной техники отличаются от режимов работы соответствующих элементов теплоэнергетических установок существенно меньшими величинами перепадов температур и удельных тепловых потоков, что вызвано стремлением к уменьшению внешней необратимости циклов низкотемпературных машин. При этих условиях и когда возможности более плотной компоновки (например, см. Рисунок 5, а, с) ребристых насадок и за счёт уменьшения величин эквивалентных диаметров каналов исчерпаны (опасность засорения, возможности технологии и т.п.), выполнение требований по сокращению удельных металлозатрат, повышению компактности возможно только за счёт интенсификации теплообмена. Следует отметить, что в некруглых каналах пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей сравнительно несложно и целесообразно реализовывать вихревую интенсификацию конвективного теплообмена искусственной турбулизацией потоков теплоносителей [2, 10].

### 2.1. Круглый канал

Весьма вероятной является реализация рациональной интенсификации конвективного теплообмена способом рассечения (см. Рисунок 5) длинных гладких некруглых каналов на большое число коротких, расположенных на плоских проставочных пластинах или плоских трубках теплообменников со смещением на половину шага по ходу теплоносителя [2, 10].

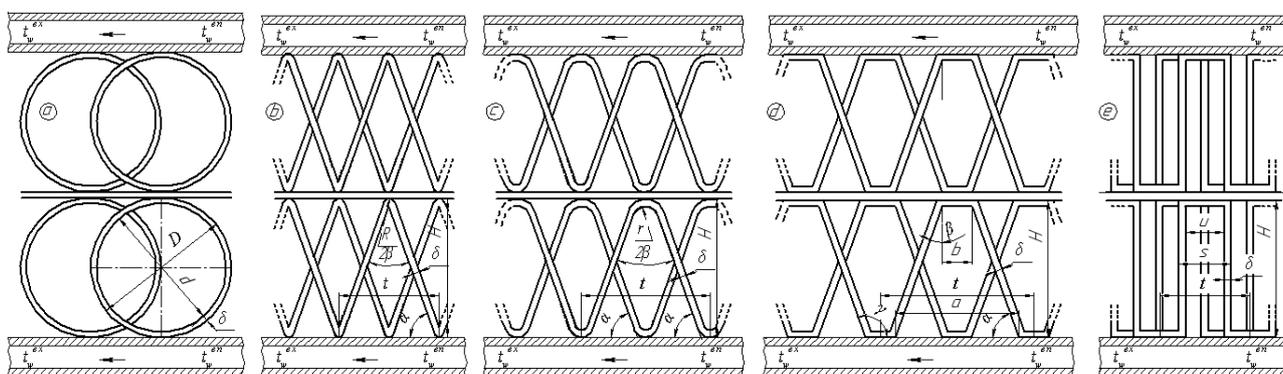


Рис.5. Пластинчато-ребристые поверхности (насадки) с рассечёнными каналами различных форм поперечных сечений

Современные пластинчато-ребристые теплообменники разнообразны по форме и виду пластинчатых ребристых насадок, образующих для прохода теплоносителя каналы различного профиля (см. Рисунки 2, 5), чаще всего представленные треугольником (b – с острыми и c – со скруглёнными углами), с – трапецией или d – прямоугольником. Возможны также варианты конструирования пластинчато-ребристых теплообменников с рассечёнными круглыми каналами (см. Рисунки 2, а, 5, а, 6).

Однако литературные сведения по этому вопросу отсутствуют. Если абстрагироваться от проблем технологии изготовления пластинчато-ребристых поверхностей теплообмена (насадок) с круглыми каналами, то весьма вероятным представляется предположение о реализации процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена с высоким значением оценки и способом рассечения круглых каналов, наряду со способом периодического диафрагменного дросселирования в них теплоносителя (п. 1.2). При этом сопоставление расчётных показателей степени оребрения  $\phi$  и коэффициента компактности  $\Omega$  свидетельствует о близости их значений к аналогам для трапецидальных и треугольных каналов. Если значения  $\phi$  и  $\Omega$

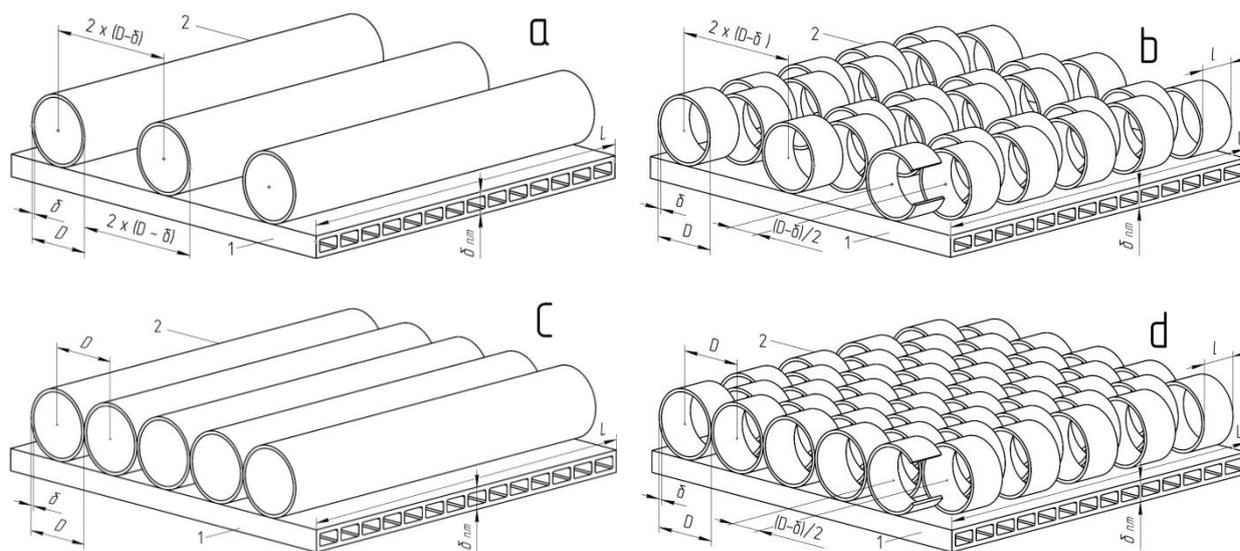


Рис.6. Пластинчато-ребристые поверхности теплообмена (насадки) с круглыми каналами: а, с – гладкоканальные традиционной и плотной компоновок; b и d – с рассечёнными каналами, соответственно, традиционной и плотной компоновок; 1 – плоская трубка; 2 – поверхность теплообмена

принять за 100 % для прямоугольного ( $h/u = 6$ ) канала (см. рис. 2), то при  $h = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м} = \text{idem}$  они составят для каналов: трапецидального ( $b/a = 0.6$ ;  $2\beta = 11.42^\circ$  [11]) – 48.4 %; треугольного ( $2\beta = 35^\circ$  [11]) – 54.6 %; круглого (традиционная компоновка, см. рис. 5, а) – 29.6 %; круглого (плотная компоновка, см. рис. 5, с) – 52.0 %.

## 2.2. Треугольный канал

Применительно к пластинчато-ребристым теплообменным поверхностям, генерация вихрей в пристеночном слое может осуществляться за счёт плохой обтекаемости форм входных сечений каналов, что наблюдается в поверхностях теплообмена с разрезными и рассечёнными каналами. Систематическим исследованиям таких поверхностей посвящено сравнительно мало работ.

В работе Г.И. Воронина, Е.В. Дубровского [5] впервые приведены результаты систематических исследований интенсификации (в том числе и рациональной) конвективного теплообмена в некруглых (треугольных, см. Рисунок 7) каналах пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей с реализацией эффекта вихреобразования вследствие организации управляемых отрывных течений в каналах. Поэтому анализ подходов авторов к планированию исследований, обоснованности выбора основных параметров влияния на

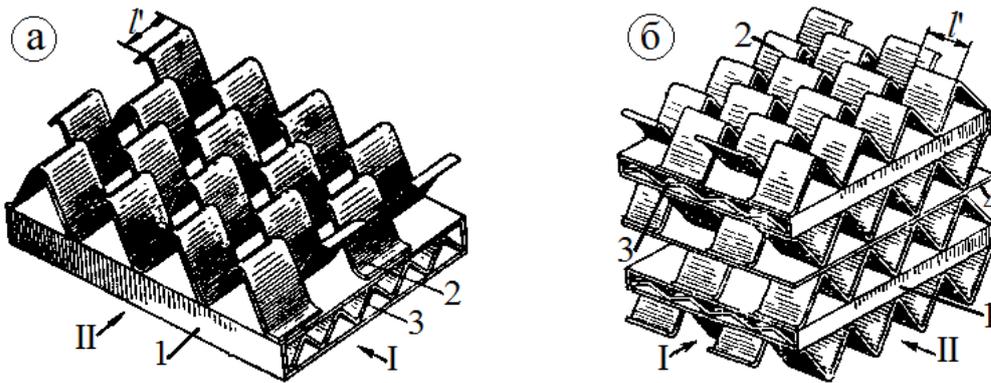


Рис.7. Общие виды теплообменников, выполненных по чётной – а и нечётной – б схемам конструкций, с рассечённой воздушной теплообменной поверхностью [5]: 1 – плоская трубка для подачи воды; 2 – гофрированные ленты треугольного профиля ПРрс ТП со стороны воздуха; 3 – гофрированные пластины гладкоканального треугольного профиля для воды; 4 – разделительная пластина; I и II – направления подачи, соответственно, потоков воды и воздуха

интенсификацию теплообмена, диапазонов изменения их значений, полученных результатов носит познавательный характер с целью поиска опоры в принятии обоснованных решений при подготовке к новым исследованиям.

Результаты проведённого Г.И. Ворониным, Е.В. Дубровским [5] систематического экспериментального исследования 13-ти рассечённых (ПРрс ТП № 1...4, 6...14) и одной гладкоканальной (ПРгл ТП № 5) пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей с треугольными каналами показали существенное влияние на их теплоаэродинамическую эффективность безразмерных геометрических параметров рассечения  $l/d$  и относительной толщины ребра  $\delta/d$ . По результатам проведённого экспериментального исследования в работе получены следующие обобщающие аналитические тепловые (1.1) характеристики для ПРрс ТП 1...4; 6...14 и ПРгл ТП 5 и аэродинамические (1.2) характеристики для ПРрс ТП 1...4; 6...14 и (1.3) для ПРгл ТП 5:

$$Nu = 0.01565 \cdot (d/\delta)^{0.19} \cdot (d/l)^{0.17} \cdot Re^{0.77} \quad (1.1)$$

$$\xi_{\text{общ}} = 10.5 \cdot (d/l)^{1.26} \cdot Re^{-0.52 \cdot (d/l)^{0.29}} \quad (1.2)$$

$$\xi_{\text{общ}} = 23.5 \cdot (d/l)^{1.26} \cdot Re^{-0.52 \cdot (d/l)^{0.29}} \quad (1.3)$$

Однако из зависимостей (1.2) и (1.3) следует, что выполненное систематическое экспериментальное исследование не выявило аналитической зависимости влияния параметра относительной толщины  $\delta/d$  ребра на величину коэффициента  $\xi_{\text{общ}}$  аэродинамического сопротивления.

Результаты исследований процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена в треугольных рассечённых каналах представлены величиной [5]:  $(\mathcal{R}'_{\xi})_{Re'_x=1250}^{\text{MAX}} = 1.46$  – параметры  $\{(l/d)'_x = 0.4\}$ ,  $\delta/d = 0.0287$ ,  $h/s = 1.06$ ,  $L/d = 20.1$ , не экспериментальной «оценкой», принятой экстраполяцией опытных данных для значения  $(l/d)'_x = 0.5$ , существенно меньшего значения левого конца интервала  $1.68_9^{\text{min}} \leq (l/d)_{i,9} \leq 4.03_9^{\text{max}}$  опытного изменения параметра  $(l/d)_{i,9}$  [4].

Авторы работы [5] отмечают необходимость установить ту наименьшую непрерывную длину канала  $l$ , при которой ещё справедливо соотношение  $Nu/Nu_{\text{гл}} \geq \xi/\xi_{\text{гл}}$ . К сожалению, величину  $l$ , или в безразмерном виде параметр  $(l/d)'_x$ , по факту выполнения исследования экспериментально установить не удалось. Однако в работе всё-таки был предложен вариант решения проблемы: экстраполяция значений функций  $Nu/Nu_{\text{гл}} = f(l/d)$  и  $\xi/\xi_{\text{гл}} = f(l/d)$  при  $Re = \text{idem}$  в сторону меньших значений аргумента по убеждению авторов, позволила для серии 1.1 – ТП № 1...4 и 5 установить значение  $(\mathcal{R}'_{\xi})_{Re'_x=1250}^{\text{MAX}} = 1.46$  оценки процесса РИКТ, достигаемое при значениях  $(K'_{\xi})_{Re'_x=1250} = 1$  и  $(l/d)'_x = 0.5$ . Следует отметить, что показываемое значение  $(l/d)'_x = 0.5$  намного меньше  $(l/d)_9^{\text{min}} = 1.68$  и выходит за значение левого конца интервала более чем на 50 % его экспериментальной ширины  $[(l/d)_9^{\text{min}} = 1.68] \leq (l/d)_9 \leq [(l/d)_9^{\text{max}} = 4.03]$ , что уже делает такое

экстраполирование неправомерным. К тому же известно, что при настолько малых величинах параметра  $l/d$  значение  $\xi/\xi_{\text{гл}}$  существенно превышает значение  $Nu/Nu_{\text{гл}}$ , что отвечает условию  $(K_c)_{\text{Re}_i} < 1$ .

Неправомерно экстраполировать эмпирические зависимости на области, для которых их применимость не проверена – это приводит к просчётам. Так, дополнительная расчётная проверка показала, что если экспериментальные зависимости  $Nu/Nu_{\text{гл}} = f(l/d)$  и  $\xi/\xi_{\text{гл}} = f(l/d)$  продолжать изображать в широкой области экстраполяции с сохранением характера их протекания в области экспериментальных значений параметра  $(l/d)$ , координаты  $[(l/d = 0.5), (Nu/Nu_{\text{гл}} = \xi/\xi_{\text{гл}} = 1.46)]$  гипотетической точки пересечения этих зависимостей при  $Re = 1250$  не просматриваются [4].

Определение в работе [5] значений оценки  $(\mathcal{R}'_{\xi})_{\text{Re}'_x=1250}^{\text{MAX}} = 1.46$  и  $(l/d)'_{\text{min}} = 0.5$  без реализации процесса РИКТ нарушает принцип верификации, подменяя экспериментальные значения результатами некорректной экстраполяции данных немногочисленных опытов.

### 2.3. Прямоугольный канал

Выполненный на кафедре «Холодильные машины» АГТУ этап широких экспериментальных исследований рациональной интенсификации конвективного теплообмена в прямоугольных (см. Рисунки 2, 5, 8) рассечённых каналах (частично заполнивший нишу не исследованных каналов в [11]) позволил установить неизвестный ранее факт реализации процесса РИКТ с высоким значением оценки  $(\mathcal{R}'_{\xi})_{\text{Re}'_x=4400}^{\text{MAX}} = 2.78$  при  $(K')_{\text{Re}'_x} = 1$  [14]. Это доказывает возможность уменьшения объёма и массы сердцевин ТА с рассечёнными прямоугольными каналами, предельно до 2.78 раза по сравнению с их гладкоканальными аналогами при всех прочих равных условиях. Были предложены и графические зависимости, позволяющие не только определять, но и наблюдать интересующее конструкторов ТА непрерывное изменение оценки  $(\mathcal{R}')_{\text{Re}'_i} = (Nu / Nu_{\text{гл}})'_{\text{Re}'_i=\text{idem}}$  «i» текущих процессов РИКТ во всей области её реализации по числам  $Re'_i$ , упрощающие поиск рациональных решений и проектирование теплообменников [3].

Графический метод позволил установить для исследованных в работе [5] треугольных рассечённых каналов (см. п. 2) неправомерность определения значения оценки  $(\mathcal{R}'_{\xi})_{\text{Re}'_x=1250}^{\text{MAX}} = 1.46$  без реализации процесса РИКТ, что нарушает принцип верификации [4].

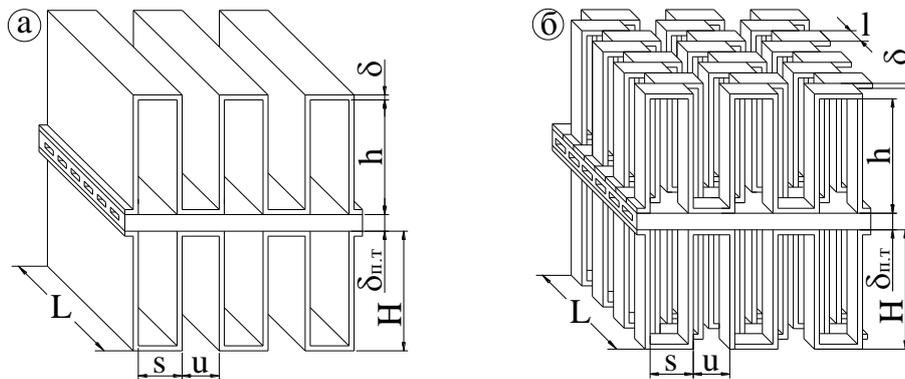


Рис.8. Геометрические характеристики пластинчато-ребристых гладкоканальной – а и рассечённой – б теплообменных поверхностей [3]

По результатам выполненного экспериментального исследования [3] получены обобщающие аналитические тепловые характеристики для ПРрс ТП 1...6; 8...11:

$$Nu = 0,033 \cdot (l/d)^{-0,19} \cdot (\delta/d)^{-0,99} \cdot \text{Re}^{[0,25 \cdot (l/d)^{0,043} + 0,72 \cdot (\delta/d)^{0,40}]},$$

$$Nu = 0,033 \cdot (l/d)^{-0,19} \cdot (d/\delta)^{0,99} \cdot \text{Re}^{[0,25 \cdot (l/d)^{0,043} + 0,72 \cdot (d/\delta)^{-0,40}]}$$

Множество зон аппроксимации степенными функциями результатов аэродинамических испытаний не позволило получить удобные для использования в инженерной практике обобщающие аппроксимирующие

зависимости, поэтому для расчёта коэффициента сопротивления рекомендуется использовать приведённые в [3, 14] выражения вида  $\zeta = B \cdot Re^n$ .

Результаты исследований процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена в прямоугольных рассечённых каналах представлены достигнутыми при  $(K')_{Re'_x} = 1$  оценками:  $(\mathcal{R}'_{\zeta})_{Re'_x=4400}^{MAX} = 2.78$  – параметры  $\{(\delta/d)'_x = 0.061, (l/d)_{cp} = 1.30, (h/u)_{cp} = 6.95, L/d = 19.43\}$  [14] и  $(\mathcal{R}'_{\zeta})_{Re'_x=2400}^{MAX} = 2.60$  – параметры  $\{(l/d)'_x = 1.31, \delta/d = 0.0777, h/u = 6.93, L/d = 19.43\}$  [3].

#### Заключение

Проведённый анализ в объёме, не претендующем на исчерпывающую полноту, позволяет отметить следующее.

Сложность аналитических решений задач конвективного теплообмена в некруглых интенсифицированных каналах пока, по-прежнему, приводит к необходимости опираться исключительно на экспериментальные данные при конструировании и расчётах теплообменников.

Генерация вихрей во входных сечениях некруглых каналов за счёт обтекания плохообтекаемых прямоугольных лобовых профилей рёбер (стенок каналов) с острыми кромками позволяет в рассечённых насадках значительно интенсифицировать конвективный теплообмен при умеренном росте аэродинамического сопротивления. Однако большинство содержащихся в немногочисленных литературных источниках результатов исследований единичных образцов ТП с выбранными интуитивно, или продиктованными технологическими возможностями изготовления значениями геометрических параметров каналов малых размеров весьма затрудняет, или делает невозможным, проведение анализа влияния параметров, обуславливающих процесс вихреобразования –  $\delta/d$  и длину диссипации вихрей –  $l/d$  на теплоаэродинамическую эффективность ПРрс ТП.

Результаты выполненного анализа позволили при планировании систематических экспериментальных исследований теплоаэродинамической эффективности ПРрс и ТПвк ТП с прямоугольными каналами принять обоснованные диапазоны изменения значений определяющих процесс РИКТ безразмерных геометрических параметров их каналов.

Специальный штамповый инструмент обеспечил в процессе изготовления всех групп опытных ПРрс и ТПвк ТП чёткое соблюдение постоянства прямоугольной формы поперечных сечений и заданных значений геометрических параметров каналов.

В результате систематического экспериментального исследования серии ПРрс ТП с параметрами  $\delta/d = 0.078, h/u = 6.93, L/d = 19.43$  и  $l/d = \text{variable}$  ( $l/d = 0.65, 0.97, 1.30, 1.94, 2.77, 3.24$ ) экспериментально установлены значение оценки процесса РИКТ  $\{[(Nu/Nu_{г\text{л}})_{Re=2400}]'_{\text{рикт}}\}_{\text{max}} = 2.60$  при  $(Nu/Nu_{г\text{л}})_{Re=2400}/(\xi/\xi_{г\text{л}})_{Re=2400} = 1$  и определяющие условия реализации процесса РИКТ:  $Re_{\text{рикт}} = 600 \dots 6000$ ;  $(l/d)_{\text{рикт}} = 1.23 \dots 3.23$ . Диапазоны значений оценок реализуемых процессов РИКТ:  $(Nu/Nu_{г\text{л}})'_{\text{рикт}} = 1.89 \dots 2.60$  в области значений критерия  $Re_{\text{рикт}} = 600 \dots 2400$ ;  $(Nu/Nu_{г\text{л}})'_{\text{рикт}} = 2.60 \dots 1.97$  – при  $Re_{\text{рикт}} = 2400 \dots 6000$ .

В результате систематического экспериментального исследования группы из весьма ограниченного числа опытных ПРрс ТП с параметрами  $(l/d)_m = 1.30, (h/u)_m = 6.95$  и  $\delta/d = \text{variable}$  ( $\delta/d = 0.0580, 0.0658, 0.0777, 0.0912, 0.1138$ ) экспериментально установлено значение оценки процесса РИКТ  $[(Nu/Nu_{г\text{л}})'_{Re=4400}]_{\text{max}} = 2.78$  и определяющие условия реализации процесса РИКТ:  $Re' = 600 \dots 4400$ ;  $(\delta/d)' = 0.0610 \dots 0.0808$ . Диапазоны значений оценок реализуемых процессов РИКТ:  $(Nu/Nu_{г\text{л}})' = 2.13 \dots 2.32$  в области значений параметра  $(\delta/d)' = 0.0696 \dots 0.0808$  и критерия  $Re' = 600 \dots 1400$ ;  $(Nu/Nu_{г\text{л}})' = 2.32 \dots 2.78$  в области значений параметра  $(\delta/d)' = 0.0808 \dots 0.0610$  и критерия  $Re' = 1400 \dots 4400$ .

Полученные результаты могут быть использованы при проектировании ТА с использованием установленных диапазонов изменения значений режимного и основных безразмерных геометрических параметров каналов исследованного типа, определяющих реализацию процесса РИКТ.

#### Список обозначений:

- ИКТ – интенсификация конвективного теплообмена;
- ПРг\л и ПРрс – пластинчато-ребристые ТП теплообменника: гладкоканальная и рассечённая;
- РИКТ – рациональная интенсификация конвективного теплообмена;
- ТА и ТП – теплообменный аппарат и поверхность;
- Тв и Тг\л – ТП круглотрубчатая с периодическими кольцевыми вставками (выступами) внутри и гладкоканальная;
- d – диаметр (круглых труб, колец, диафрагм), м;

- d и d\* – эквивалентные диаметры каналов ТП, соответственно, на гладких участках (ПРгл, Тгл и ПРрс) и в самых узких (Тв) их сечениях, м;
- d\*/d – степень сужения сечений каналов;
- D – наружный диаметр трубы, м;
- H – высота гладкоканальной или рассечённой пластинчато-ребристых ТП (см. рис. 5), м;
- h – высота некруглых каналов ПРгл, и ПРрс, м;
- h/u и h/s – параметр щелевидности прямоугольного и треугольного каналов;
- $(K'_{\zeta}) Re'_x = 1$  – определяющий РИКТ комплекс  $[(Nu / Nu_{гл}) / (\zeta / \zeta_{гл})]'_{Re'_x=idem} = 1$  или
- $(K'_{\xi}) Re'_x = 1$   $[(Nu / Nu_{гл}) / (\xi / \xi_{гл})]'_{Re'_x=idem} = 1$ ;
- $(K''_{\zeta}) Re''_i > 1$  – определяющий РИКТ комплекс  $[(Nu / Nu_{гл}) / (\zeta / \zeta_{гл})]''_{Re''_i=idem} > 1$  или
- $(K''_{\xi}) Re''_i > 1$   $[(Nu / Nu_{гл}) / (\xi / \xi_{гл})]''_{Re''_i=idem} > 1$ ;
- L – общая длина каналов ТП по ходу воздуха, м;
- l – длина гладких коротких каналов (рёбер) ПРрс ТП, м;
- L/d – относительная глубина хода воздуха в каналах ТП;
- l/d – параметр рассечения ПРрс ТП;
- N<sub>0</sub> – затраты мощности на единицу поверхности в час, выраженные в тепловых единицах [1]
- Nu<sub>гл</sub> и Nu – критерии Нуссельта ТП гладкоканальных и с искусственной турбулизацией потока теплоносителя в каналах;
- Re – критерий Рейнольдса;
- [Re'<sub>min</sub>, Re'<sub>max</sub>] или Re'<sub>min</sub> ≤ Re'<sub>i,э</sub> ≤ Re'<sub>max</sub> – интервал числовой замкнутый;
- $(\mathcal{R}')_{Re'_i}$  – оценки  $(Nu / Nu_{гл})'_{Re'_i=idem}$  «i» текущих процессов РИКТ в интервале [Re'<sub>min</sub>, Re'<sub>max</sub>] при Re'<sub>i</sub>;
- $(\mathcal{R}')_{Re'_x}^{MAX}$  – максимальная величина оценки  $[(Nu / Nu_{гл})'_{Re'_i=x=idem}]^{MAX}$  процесса РИКТ в интервале [Re'<sub>min</sub>, Re'<sub>max</sub>] при Re'<sub>x</sub>;
- s – шаг рёбер, выступов, диафрагменных пережатий канала, м;
- V – объём, м<sup>3</sup>;
- α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К);
- δ – толщина кольца, ребра (пластины) ТП или стенки канала плоскоовальной трубки, м;
- δ/d – относительная толщина ребра;
- ζ<sub>гл</sub> и ζ – коэффициенты потерь давления на трение в ТП гладкоканальных и с искусственной турбулизацией потока в каналах;
- ξ<sub>гл</sub> и ξ – коэффициенты общих потерь давления (вход, выход, трение) в теплообменниках, соответственно, с ТП гладкоканальными и с искусственной турбулизацией потока в каналах;
- ξ<sub>вх+вых</sub> – коэффициент суммарных потерь давления при входе в ТА и выходе из него;
- φ – степень оребрения;
- Ω – коэффициент компактности ТП или сердцевины ТА, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>
- Индексы**
- ' и '' – отвечают процессам РИКТ соответственно при  $(K'_{\zeta}) Re'_i = 1$  или  $(K'_{\xi}) Re'_i = 1$  и  $(K''_{\zeta}) Re''_i > 1$  или  $(K''_{\xi}) Re''_i > 1$ ;
- в – выступ;
- вх, еп – ВХОД;
- вых, ех – ВЫХОД;
- гл – гладкоканальная теплообменная поверхность;
- о – основание (например, ребра);

	общ	–	общий (суммарный);
	рикт	–	рациональная интенсификация конвективного теплообмена;
	ср, m	–	среднее значение;
	ст	–	стенка;
	э	–	экспериментальное значение;
	i	–	индексная переменная;
	idem	–	одинаковый;
MAX, min	И	–	максимальные и минимальные значения;
	variable	–	переменная;
	x	–	указывает на искомый параметр;

Значения других условных обозначений и индексов ясны из контекста

### Список литературы

1. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева / В.М. Антуфьев. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 184 с.
2. Васильев В.Я. Расчётно-теоретическое исследование условий реализации процесса рациональной интенсификации конвективного теплообмена в некруглых каналах пластинчато-ребристых теплообменных поверхностей / В.Я. Васильев, С.А. Котова // Материалы II международной научно-практической Конференции «Фундаментальная наука и технологии – перспективные разработки» в 3-х томах; 28-29 ноября 2013 г. – Москва. – Том 2. – С. 91–102.
3. Васильев В.Я. Рациональная интенсификация конвективного теплообмена рассечением длинных гладких каналов [Текст] / В.Я. Васильев // Вестник Московского авиационного института. – 2010. – Т. 17. – № 3. – С. 143–152.
4. Винокурова С.Г. Верификация вывода о рациональной интенсификации конвективного теплообмена и её оценке в рассечённых треугольных каналах / С.Г. Винокурова, В.Я. Васильев // Труды XIX Школы-семинара «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках» молодых учёных и специалистов под руководством акад. РАН А.И. Леонтьева (20–24 мая 2013 г., Орехово-Зуево). – М.: Издательский дом МЭИ. – 2013. – С. 315–316.
5. Воронин Г.И. Эффективные теплообменники [Текст] / Г.И. Воронин, Е.В. Дубровский. – М.: Машиностроение. – 1973. – 96 с.
6. Дрейцер Г.А. Эффективность использования закрутки потока для интенсификации теплообмена в трубчатых теплообменных аппаратах [Текст] / Г.А. Дрейцер // Теплоэнергетика. – 1997. – № 11. – С. 61–65.
7. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. и др. Закономерности изменения теплоотдачи на стенках каналов с дискретной турбулизацией потока при вынужденной конвекции: Открытие № 242 СССР // Бюллетень изобретений. 1981. № 35.
8. Калинин Э.К. Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 208 с.
9. Калинин Э.К. Эффективные поверхности теплообмена [Текст] / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, И.З. Копп, А.С. Мякочин. – М.: Энергоатомиздат. – 1998. – 408 с.
10. Котова С.А. Оценки интенсификации конвективного теплообмена в некруглых рассечённых каналах / С.А. Котова, В.Я. Васильев // Всероссийская научно-практическая конференция: доклады молодых учёных в рамках программы «Участник молодёжного научно-инновационного конкурса» (г. Астрахань, 14–16 мая 2014 г.) / сост.: М.В. Лозовская, А.Г. Баделин. – Астрахань: Издательство Нижневолжского экоцентра, 2014. – 265 с.
11. Кэйс В.М. Компактные теплообменники [Текст] / В.М. Кэйс, А.Л. Лондон. – М.: Энергия. – 1967. – 224 с.
12. Михайлов А.И. Газотрубные установки замкнутого цикла [Текст] / А.И. Михайлов, В.В. Борисов, Э.К. Калинин. – М.: Изд. АН СССР. – 1962. – 146 с.
13. Щукин В.К. Теплообмен и гидродинамика внутренних потоков в полях массовых сил [Текст] / В.К. Щукин. – М.: Машиностроение. – 1980. – 240 с.
14. Vasilyev V. Control in scale of generated vortexes at an input in not round interrupted ducts with the purpose of realization of a rational enhancement of convective heat exchanger / V. Vasilyev, S. Vinokurova, S. Kotova // Proceedings of the International Symposium on Convective Heat and Mass Transfer, Kuşadasi, Turkey, 2014. 14 p. – Begell House, Inc. Redding, CT 06896, USA.
15. Nunner W. Wärmeübergang und Druckkabfall in rauchen Rohner [Text] / W. Nunner // «VDI-Forschungsheft». – 455. Ausgabe B. – Band. 22 – 1956. – 39.

**СЕКЦИЯ №6.  
ГОРНАЯ И СТРОИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.05.00)**

**ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛИНЕЙНЫХ  
ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО КAVKAZA**

**Ческидов В.В.**

Горный институт НИТУ МИСиС, г.Москва

В последнее десятилетие территория Северного Кавказа испытала новый виток мощного развития, в первую очередь, это связано с проведением Зимних Олимпийских игр в 2014 г. В частности для обеспечения надежного, бесперебойного сообщения объектов горного кластера с основными транспортными узлами г.Сочи была запущена совмещенная (автомобильная и железная) дорога «Адлер – горноклиматический курорт Альпика-Сервис». Она введена в эксплуатацию в ноябре 2013 года, имеет общую протяженность около 50 км, соединена развязками с федеральной трассой М-27, по количеству тоннелей и мостов является уникальной для РФ.

Вся территория строительства данного линейного объекта отличается крайне сложными инженерно-геологическими условиями, работы проводились в условиях молодой альпийской складчатости, что обуславливает развитие опасных геологических процессов как эндогенного, так и экзогенного характера. Северная часть дороги относится к области высокой, до 8-9 баллов, сейсмичности, здесь же наблюдаются наибольшие уклоны поверхности, это приводит к активному развитию склоновых процессов (обвалы, оползни, сели, лавины), а также водной эрозии.

Наибольшую оползнеопасность вдоль совмещенной дороги представляют склоны, расположенные на левом берегу реки Мзымта, на участке от вокзала «Альпика-Сервис» до портала ближайшего железнодорожного тоннеля. Ведущую роль в формировании и развитии опасных склоновых процессов горных районов играют особенности геологического строения территории, в том числе состав и условия залегания горных пород, структурно-тектонические особенности горных массивов, гидродинамический режим подземных вод, неотектонические движения и другие факторы. Верхний слой пород в данном районе представлен элювиальными, делювиальными и оползневыми отложениями, которые представляют собой продукты выветривания аргиллитов, песчаников, порфиритов и других коренных горных пород. В связи с этим поверхностные отложения представлены щебнистыми, дресвяными грунтами с различными заполнителями (суглинки, супеси), а также суглинками и глинами [3].

Для обеспечения безопасной эксплуатации дороги и применения своевременных мероприятий по минимизации последствий опасных склоновых процессов в течение 2011-2013 годов кафедрой геологии НИТУ МИСиС совместно с ООО «Алькомп-Европа» была развернута система комплексного мониторинга потенциально оползневых склонов. Она включает набор аппаратных средств по интерактивному сбору геодезической и гидрогеологической информации (инклинометрические измерения, автоматизированная тахеометрическая съемка и сбор пьезометрических данных по сети скважин). Основным объемом исследований потенциально оползневых массивов был осуществлен в 2012-2013 годах.

На начальных этапах в окрестности строительства вокзала «Альпика-Сервис» было выполнено рекогносцировочное обследование территории. По материалам маршрутных исследований и имеющимся данным о геологическом строении местности были выявлены ключевые участки для проведения дальнейших полевых работ.

Для отбор проб-монолитов глинистых сланцев (рассланцованных аргиллитов) на основе рекогносцировочных наблюдений и имеющейся геологической информации были выделены площадки, на которых они непосредственно выходят на поверхность и где мощность рыхлых отложений не превышает 2,5 метров. Затем внутри каждого выделенного участка точки позиционировались в соответствии с современными принципами проектирования сетей опробования, с применением математического моделирования и соблюдением основных принципов инженерно-геологических изысканий: равной достоверности, полноты исследований, последовательных приближений накопления информации и минимальных временных и финансовых затрат. Внутри каждого выделенного участка были определены обобщенные функции изменчивости по совокупности исследуемых характеристик отложений, что позволило спроектировать инженерно-геологическую сеть

опробования. Использованная методика позволила минимизировать количество пунктов сбора информации без потери ее достоверности [3,4].

Выбуривание кернов производилось непосредственно из массива после зачистки верхнего выветрелого слоя и штурфов, отобранных из шурфов и обнажений в руслах постоянных и временных водотоков (Рисунок 1).



а)



б)

Рис.1. Выбуривание кернов: а) непосредственно из массива горных пород; б) из штурфов

Для отбора необходимого количества образцов было пройдено 10 шурфов (глубиной до 2 м), из которых отобрано в общей сложности 65 образцов, в том числе: 42 керна диаметром 42 мм и минимальной длиной 85 мм, 17 штурфов, для последующего выбуривания из них проб необходимых геометрических форм и размеров, а также 6 проб ненарушенной структуры связных пород. Последние представлены глинами, которые образовались в результате размокания обводненных сланцев.

Из обнажений в русловых потоках (в общей сложности 18 точек на двух участках) было отобрано: 134 керна (диаметром 42 мм и длиной от 88 до 181 мм), 23 штурфа для последующего выбуривания в лабораторных условиях. На террасированном участке близ выхода из железнодорожного участка было проведено опробование всего обнажения глинистых сланцев и черных глин с средним шагом опробования 1-1,5 м.

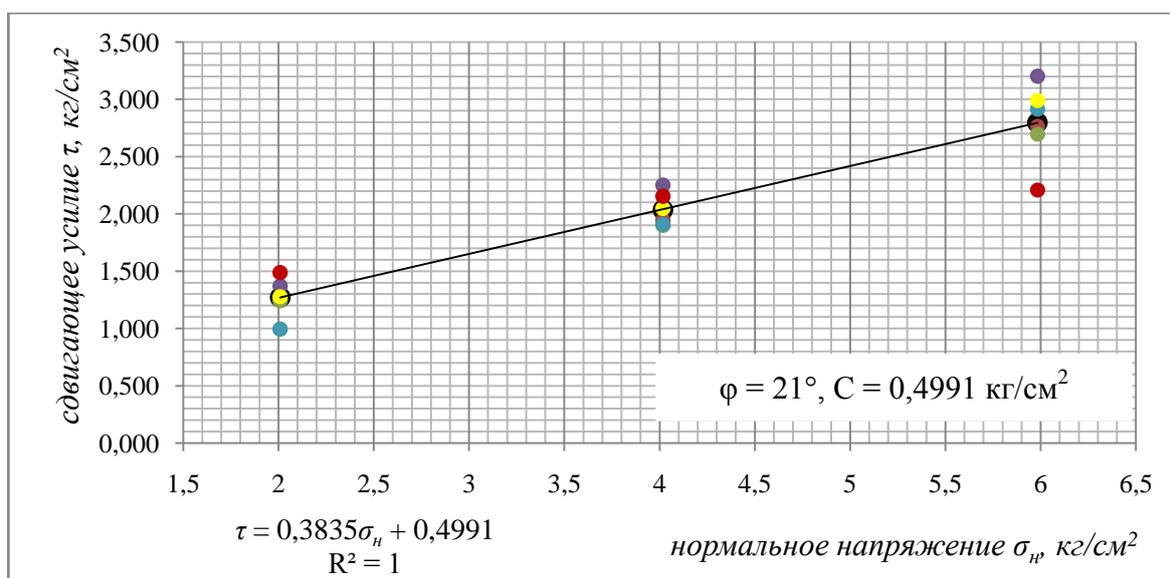
В процессе лабораторных испытаний были определены плотность ( $\rho$ ), прочность породы при одноосном сжатии ( $\sigma_{сж}$ ), прочность породы при одноосном растяжении ( $\sigma_p$ ), модуль упругости ( $E_y$ ), модуль деформации ( $E_d$ ), коэффициент Пуассона ( $\nu$ ), угол внутреннего трения ( $\phi$ ), удельное сцепление (рис.2).

Для глинистых сланцев при их сдвиговых испытаниях по напластованию и суглинков дровяных с включением щебня получены практически одинаковые значения угла внутреннего трения и сцепления, что свидетельствует о наличии глинистого материала между слоями сланца. Данный факт приводит к значительным ослаблениям внутри массива и повышению оползнеопасности.

Полученные данные в результате полевых и лабораторных исследований позволили оконтурить, а затем смоделировать склоны с учетом физико-механических свойств слагающих их пород, а также в привязке к гидрогеологическим условиям местности.

Для оценки опасности потенциально оползневых склонов были произведены вычисления коэффициента запаса устойчивости ( $\eta$ ) на участках мониторинга 8 и 9 по десяти контрольным профилям при различной степени обводненности массива с помощью программного комплекса, разработанного на кафедре геологии Московского государственного горного университета.

а



б

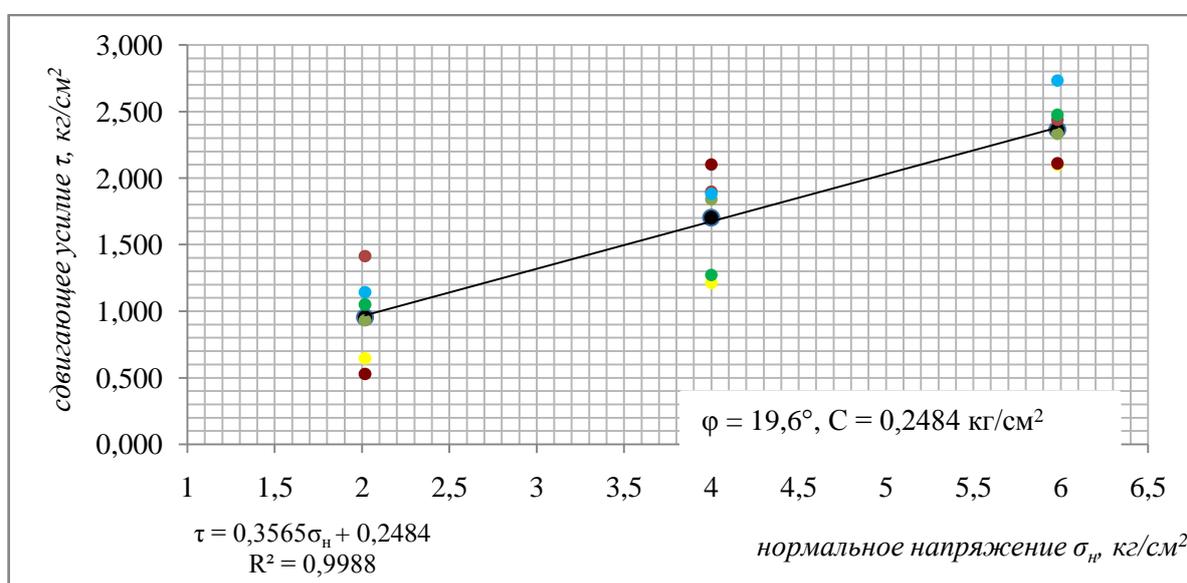
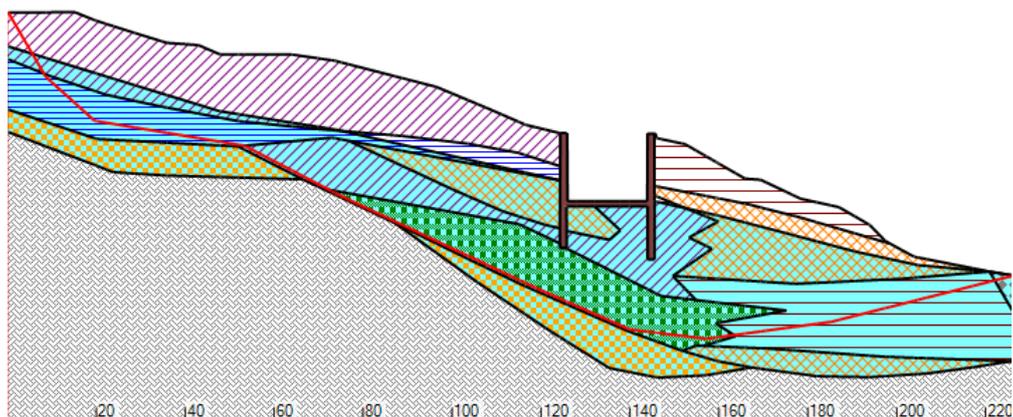
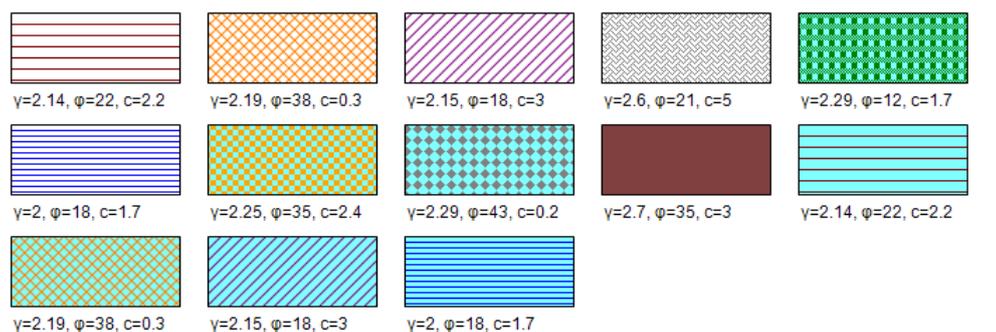


Рис.2. Зависимости  $\tau(\sigma_n)$  для: а) глинистых сланцев, б) суглинков дресвяных

В расчетах используются методы, утвержденные Гостехнадзором РФ и базирующиеся на теории предельного равновесия «сыпучей среды», включающей также и предельное равновесие связной среды с трением, к которой относится рассматриваемый массив горных пород (Рисунок 3) [1].

В течение 2013 года был осуществлен комплекс работ по оценке устойчивости склонов при различных изменениях сейсмической, гидрогеологической и климатической обстановки, что в конечном итоге позволило сформулировать критерии в численном эквиваленте для оценки оползневой опасности. Выявленные зависимости коэффициента запаса



Устойчивость по методу алгебраического суммирования:

$$\eta = 0,95136$$

Устойчивость по методу многоугольника сил:

$$\eta = 0,95299$$

Рис.3. Расчет коэффициента запаса в программе Geodamp при заданном уровне воды в гидрогеологических скважинах

устойчивости от уровней воды в сети гидрогеологических скважин и с учетом количества осадков были использованы в автоматизированной системе сбора и обработки информации о состоянии массивов горных пород вдоль совмещенной дороги (Рисунок 4).

Осуществленный комплекс работ в 2012-2013 гг. показывает, что склоны вблизи железнодорожного вокзала «Альпика-Сервис» обладают низкими коэффициентами запаса устойчивости, а некоторые потенциально оползневые тела находятся в состоянии предельного равновесия, что может привести к аварийным ситуациям при изменении сейсмической и гидрогеологической ситуации. В связи с этим были разработаны рекомендации по развертыванию сети гидрогеомеханического мониторинга свысокой плотностью для быстрого оповещения о достижении критического уровня воды и принятия управленческих решений по укреплению откоса.

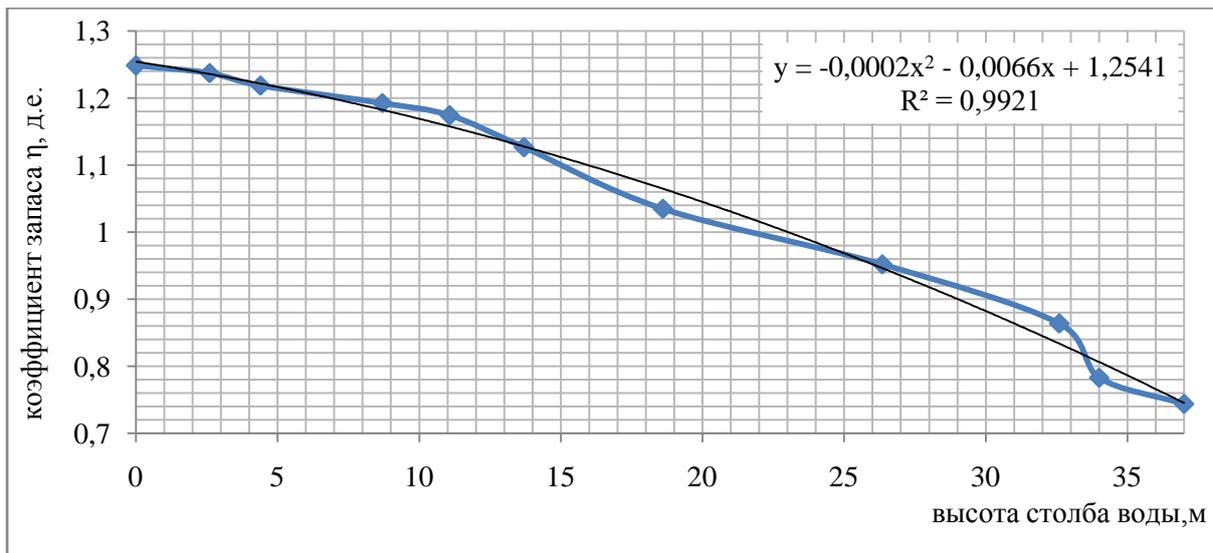


Рис.4. Зависимость коэффициента устойчивости от высоты столба воды в гидрогеологической скважине

Разработанная и внедренная система комплексного инженерно-геологического удаленного автоматизированного мониторинга является уникальной, опыт, полученный в результате ее развертывания, может быть использован на горных предприятиях, а также при строительстве на оползнеопасных территориях. Важной отличительной чертой системы является возможность учета реологических свойств горных пород, что позволяет повысить надежность оценки устойчивости откосов.

#### Список литературы

1. Гальперин А.М. Геомеханика открытых горных работ. М.: Изд. МГГУ, 2003.
2. Осипов В. И., Мамаев Ю. А., Ястребов А. А.. Условия развития опасных геологических процессов на территории строительства горно-спортивных сооружений в Краснополяском районе г.Сочи. // М.: Геоэкология №4, 2013.
3. Ческидов В.В. Перспективы использования САПР при инженерно-геологических изысканиях на открытых горных разработках // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – №11
4. Ческидов В.В. Проектирование сетей инженерно-геологических изысканий на объектах горнодобывающей промышленности // Горный журнал. - 2011. – №12.

### К ВОПРОСУ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБОГАЩЕНИЯ КВАРЦА

**Шемякин В.С.<sup>1</sup>, Скопов С.В.<sup>1</sup>, Соколов И.В.<sup>2</sup>, Корнилков С.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ЗАО «НПК «Техноген», г.Екатеринбург

<sup>2</sup>ИГД УрО РАН, г.Екатеринбург

Основой для получения особо чистого кварца в России в настоящее время служит существующая минеральная сырьевая база жильного кварца. Общий ресурсный потенциал жильного кварца России оценивается в 16,5 млн. тонн. Извлекаемая ценность при оценке только на особо чистый кварц составляет 12,0 млрд. долларов. По экспертной оценке запасы кварцевого сырья перспективных типов, пригодного для получения особо чистого кварца, составляют не более 25% от суммарных запасов кварцевого сырья России.

Учитывая тот факт, что запасы кварцевого сырья перспективных типов и выход особо чистого кварца не столь значительны [4], на повестку дня встает вопрос увеличения выхода особо чистого кварца и комплексного использования сырья.

Самым известным в настоящее время производителем особо чистого кварца является американская компания Юнимин и ее продукт «Йота». С конца прошлого столетия этот производитель считается почти полным монополистом на рынке особо чистого кварца (около 70 % потребителей выбирают эту марку).

Содержание элементов-примесей является важным критерием при качественно-технологической оценке кварцевого сырья. Исходный кварц содержит довольно большое количество элементов примесей: алюминий,

кальций, хром, железо, медь, марганец, магний, титан, натрий и др., среди которых во всех типах кварца доминирует железо. Обращает на себя внимание также большое содержание алюминия [5].

Государственным балансом России учтено 20 месторождений чистого кварца, из которых 12 разрабатываются. Основные провинции и месторождения высококачественного кварцевого сырья России представлены в Табл.1.

Таблица 1

Основные провинции и месторождения высококачественного кварцевого сырья России

Провинции, месторождения	Запасы кварцевого сырья, %				
	Прозрачный	Гранулированный	Молочно-белый	Горный хрусталь	Пьезооптический
Южноуральская					
Астафьевское				42,7	64,8
Теренсайское				9,8	11,5
Кыштымское		28,5			
Ларинское		34,9			
Кузнечихинское		4,8			
Новотроицкое	2,8				
Гора Хрустальная			59,7		
Светлореченское			30,3		
Караяновское			1,0		
Приполярноуральская					
Желанное	80,8			14,5	5,1
Додо	11,8			9,5	
Пуйва	4,6				
Южнокутская					
Перекатное				17,1	10,6
ИТОГО	100	68,2	91,0	93,6	92,0

Наиболее богаты этим сырьем Республика Коми, Челябинская область, Ханты-Мансийский автономный округ и Республика Бурятия. Эти субъекты Федерации обладают 96% запасов чистого кварца. Остальные 4% разведанных запасов находятся в Мурманской области и Республике Башкортостан.

Значительный интерес в отношении особо чистого кварца представляет Уральская кварцево-жильно-хрусталеносная провинция, в пределах которой сосредоточены многочисленные месторождения молочно-белого и прозрачного гигантозернистого кварца, гранулированного кварца, горного хрусталя, пьезооптического кварца [3].

С точки зрения возможностей их извлечения они подразделяются:

- по видам – на минеральные зерна, пленочные образования, газово-жидкие включения, рассеянные и структурные элементы-примеси;
- по размерности – на крупные (>10 мкм), средние (5-10 мкм), мелкие (<5 мкм);
- по характеру локализации – располагающиеся на границах зерен, по микротрещинам, по местам выхода дислокаций, внутри целых зерен.

По возможности удаления методами обогащения минеральные зерна подразделяются:

- легко удаляемые – крупные, средние и мелкие зерна минералов, находящиеся на границах индивидов кварца, по микротрещинам;
- трудноудаляемые – средние и мелкие зерна, расположенные по микротрещинам, вблизи границ зерен, по зонам дислокаций;
- практически не удаляемые – мелкие включения, находящиеся внутри кварцевых зерен, не приуроченные к зонам дислокаций и микротрещинам.

Достаточно типичная схема рудоподготовки кварца включает технологические операции предварительного дробления промывку в скруббер-бутаре с выделением мелкой фракции, последующую стадийную классификацию на грохотах с выделением различных классов крупности и додраблыванием надрешетного продукта. Выделенные методом грохочения крупные классы подвергаются нагреву с последующим охлаждением в проточной воде, рудно-галечному измельчению, гидравлической классификации и грохочению с выделением

класса крупностью  $-0.4+0,1$  мм. Подготовленный, как правило, по такой схеме материал далее направляется на предварительное обогащение.

По степени обогащения кварца и качеству конечного продукта в соответствии с ТУ 5726-002-11496665-97 для плавки прозрачного кварцевого сырья различают:

- концентраты промежуточной чистоты (предварительное обогащение);
- концентраты высокой чистоты (глубокое обогащение);
- концентраты ультравысокой чистоты (суперглубокое обогащение).

Существуют традиционные методы обогащения кварцевого сырья [1], применяемые на разных стадиях обработки и позволяющие удалять определенные виды примесей (Табл.2).

Таблица 2

Примеси в кварце и методы их удаления.

Этапы технологической обработки	Примесные фазы	Методы очистки
1	Минеральные включения $>10-5$ мкм, приуроченные к границам зерен, микротрещинам	Магнитная, электрическая сепарация, флотация, термообработка, выщелачивание и др.
	Газово-жидкие включения ( $>10$ мкм), приуроченные к границам зерен, микротрещинам залечивания	
	Пленочные образования	Выщелачивание
2	Минеральные включения $2-5$ мкм, приуроченные к границам зерен, микротрещинам	Методы глубокого обогащения – высокотемпературное хлорирование, двойное выщелачивание и др.
	Газово-жидкие включения ( $>10$ мкм), приуроченные к границам зерен, микротрещинам залечивания	
3	Микроминеральные включения ( $1-2$ мкм), приуроченные к границам зерен, микротрещинам, зонам дислокаций	Методы направленного энергетического воздействия в сочетании с традиционными методами.
	Газово-жидкие включения ( $<10$ мкм), приуроченные к границам зерен, микротрещинам, зонам дислокаций	
	Некоторые виды рассеянных примесей	
4	Микроминеральные включения ( $1-2$ мкм), внутри зерен кварца	Практически не разработаны
	Газово-жидкие включения ( $<10$ мкм) внутри зерен кварца	
	Структурные примеси	

Предварительное обогащение, как правило, применяется на стадии рудоподготовки и включает операции гравитационного и электромагнитного обогащения, ручной или автоматической сортировки, что обеспечивает вывод в отвал вредных (породных) минералов повышенной крупности [2].

Задача снижения потерь высокочистого кварца должна решаться, начиная с первых шагов его переработки – на стадии рудоподготовки и предварительного обогащения. При добыче кварцевого сырья крупностью менее  $400-500$  мм производится его ручная сортировка. Уже на данном этапе наблюдаются значительные потери кварца с хвостами ручной сортировки. При последующем дроблении и классификации на грохотах, выделяется мелкий класс, который также направляется в хвосты обогащения. Промежуточные расклассифицированные классы, находящиеся в диапазоне крупности от  $100$  до  $5$  мм, подвергаются ручной сортировке на движущихся конвейерах с выделением хвостов. На всех выше перечисленных этапах рудоподготовки и предварительного обогащения наблюдается значительное выделение хвостов, с которыми терется большое количество особо чистого кварца.

Поэтому, необходимо рассмотреть вопрос снижения потерь высокоценного кварца на данной стадии и разработать технологию его переработки на базе оптимизации процессов дробления и грохочения, а также на базе

применения наиболее эффективного (чем ручная) метода сортировки кускового материала кварца с применением рентгенорадиометрической сепарации.

Рентгенорадиометрический метод начал осваиваться в 50-60 годах прошлого столетия. За эти годы было изготовлено около 200 сепараторов, прошедших хорошую промышленную апробацию на различных горнодобывающих и металлургических предприятиях. В настоящее время выпускается несколько типов 2-х и 3-х продуктовых рентгенорадиометрических сепараторов, охватывающих диапазон крупности руд от 10 до 300 мм.

Возможность применения рентгенорадиометрической сепарации была рассмотрена на примере кварцевого сырья месторождения «Гора Хрустальная».

На данном месторождении выделяется два типа жильного кварца, отличающихся структурными особенностями и степенью метаморфизма. По химическому и минеральному составу кварц второго типа чище первичного кварца. По количеству содержащихся твердых минеральных примесей кварц условно разделен на две природные разновидности: мономинеральный или слабоминерализованный (до 8%) – кварц типа К<sub>1</sub>, сильно минерализованный (более 8%) – кварц типа К<sub>2</sub>. Между двумя природными разновидностями кварца существует различие только в количестве минеральных примесей (Табл.3), не оказывающих существенного влияния на технологию процесса обогащения.

Таблица 3

Химический состав кварца

Тип кварца	Содержание, %									
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	S
К <sub>1</sub>	97,8	0,01	0,25	0,72	0,06	0,17	0,005	0,92	0,23	0,007
К <sub>2</sub>	86,9	0,25	3,65	4,37	1,37	0,40	0,520	1,93	0,75	0,040

На испытания были представлены две технологические пробы, имеющих очевидное (визуальное) различие в качестве, как исходного сырья, так и классах крупности, поступающих на сепарацию. Отобранный материал по вещественному составу представляет собой кварц с включениями вмещающей породы (диорит, полевого шпата).

При разработке технологии обогащения крупнокусковой фракции кварцевой руды ставилось две задачи:

- 1-я (основная) – удаление пустой породы (на пробе № 1);
- 2-я (дополнительная) – очистка кварца от примесей железа (на пробе №2).

Для выделения пустой породы и разделения кварца на сорта были проведены предварительные исследования по выбору режима сепарации на характерных образцах (кусках) как пустой породы, так и кварца. Было определено, что оптимальным параметром для выделения пустой породы и разделения кварца на сорта является характеристическое излучение железа. Отдельные куски пустой породы (полевого шпата) имеют повышенное содержание кальция. Поэтому, при сепарации был использован алгоритм выделения пустой породы, учитывающий интенсивность вторичных характеристических рентгеновских спектров железа и кальция.

Итоговые результаты испытаний по рентгенорадиометрической сепарации кварцевой руды ЗАО Карьер «Гора Хрустальная» приведены в Табл.4.

Таблица 4

Результаты испытаний по рентгенорадиометрической сепарации кварцевой руды месторождения «Гора Хрустальная»

Продукты обогащения	Выход, %	Содержание компонентов, %							
		Fe	Al	Ca	Mg	K	Na	Ti	Si
Проба № 1									
Концентрат	74,9	0,07	0,10	0,009	0,011	0,224	0,067	0,003	осн.
Хвосты сепарации	25,1	0,71	0,22	0,300	0,280	0,940	0,918	0,041	осн.
Итого: исходная	100,0	0,23	0,13	0,082	0,079	0,404	0,280	0,012	осн.
Проба № 2									
Концентрат	75,0	0,008	0,012	0,007	0,012	0,030	0,004	0,001	осн.
Хвосты сепарации	25,0	0,056	0,104	0,023	0,012	0,110	0,028	0,001	осн.
Итого: исходная	100,0	0,020	0,035	0,011	0,012	0,050	0,007	0,001	осн.

На основании результатов исследований и опытно-промышленных испытаний по рентгенорадиометрической сепарации жильного кварца месторождения «Гора Хрустальная» были сделаны следующие выводы:

▪ Проба №1 содержит большое количество вредных примесей (Fe, Al, K, Na, Ca и Mg), а проба № 2 – обладает достаточно высоким качеством. В связи с этим условия и задачи обогащения для этих проб различные. Для пробы №1 – основной задачей является удаление разубоживающей пустой породы, а для пробы №2 – наиболее глубокая очистка кварцевой руды от примесей железа.

▪ При исследовании на обогатимость пробы №1 было установлено, что чем меньше крупность кварцевой руды, тем выше ее качество. Если содержание железа в классе крупностью -300+100 мм составляет 0,39%, то в классе -100+40 мм его содержание 0,23%, а в мелком классе -40+20 мм содержится всего 0,11% Fe.

▪ В результате рентгенорадиометрической сепарации машинных классов (-300+100, -100+40 и -40+20 мм) пробы №1 была достигнута достаточно высокая степень очистки обогащенных концентратов от основных вредных примесей. Так содержание железа снизилось в 2,2 раза для класса -40+20 мм и в 5,6 раза для класса -300+100 мм. Также произошло уменьшение содержания в обогащенной руде и других примесей: Al (в 1,3-7,5 раза), Ca (в 1,8-35,5 раза), Mg (в 3,9-7,2 раза), K (в 1,5-6,2 раза) и Na (в 1,7-17,1 раза).

▪ При рентгенорадиометрической сепарации пробы №2 был получен концентрат, содержащий 0,008% Fe; 0,02% Al; 0,007% Ca; 0,012% Mg; 0,027% K и 0,004% Na. При этом произошло снижение содержания железа в 3,3 раза и алюминия в 2,8 раза, при одновременном увеличении этих же примесей в хвостах сепарации в 21 и 8 раз соответственно.

▪ Анализ продуктов рентгенорадиометрической сепарации (химический и визуальный) позволяет говорить о том, что полевой шпат, присутствующий в исходной кварцевой руде, удаляется в хвосты сепарации не полностью. Это связано с тем, что отдельные разновидности полевого шпата, не содержащие примесей железа и кальция, не могут быть выделены в хвосты обогащения методом РРС.

В связи с этим, для решения задачи повышения качества кварца, нами рекомендуется проведение теоретических и экспериментальных исследований, направленных на разработку оптимальной технологии (схемы, методов и режимов) рудоподготовки и предварительного обогащения на базе оптимизации процессов дробления, грохочения и автоматической (рентгенорадиометрической) сортировки кварцевого сырья. Также необходимо провести моделирование объектов исследований на стадии рудоподготовки и предварительного обогащения кварцевого сырья, разработку конструкторской документации и изготовление экспериментального образца рентгенорадиометрического сепаратора под задачи предварительного обогащения кварцевого сырья.

Научные исследования проведены при финансовой поддержке государства в лице Минобрнауки России (уникальный идентификатор проекта RFMEF160714X0026).

#### Список литературы

1. Данилевская, Л.А. Кварцевое сырье Карелии / Л.А. Данилевская, Л.С. Скамницкая, В.В. Щипцов; Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2004. 226 с.
2. Исаев, В.А. Структурные примеси в кварце / В. А. Исаев // Часть I. Обзор и анализ традиционных способов очистки кварца от структурных примесей: М.: МГГУ. Горный инф-аналитич. бюл. № 9. 2006. С. 11-23.
3. Кузнецов, С.К. Жильный кварц Приполярного Урала / С. К. Кузнецов. СПб.: Наука, 1998. 203 с.
4. Мельников, Е.П. Геология, генезис и промышленные типы месторождений кварца / М.: Недра, 1988. 216 с.
5. Скамницкая, Л.С. Выбор методов обогащения жильного кварца на основе закономерностей распределения и форм нахождения в нем примесей (на примере участков Меломайс и Фенькина Лампи) / Новые методы технологической минералогии при оценке руд металлов и промышленных минералов / Л.С. Скамницкая, Л.А. Данилевская // Сб. статей по материалам III Всероссийского Семинара по технологической минералогии / Петрозаводск. 2008. С.

# ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ГРУНТОВЫХ НАСОСОВ И ИЗНОС РАБОЧИХ ДЕТАЛЕЙ НАСОСА

Поветкин В.В., Татыбаев М.К., Альпеисов А.Т., Бектибай Б.Ж., Ткаченко Д.Е.

Казахский национальный технический университет К.И. Сатпаева, Республика Казахстан, г. Алматы

Основные показатели, характеризующие работу насосов и установок: технологические, эргономические и надежностные.

Обычно различают номинальные показатели, при которых насос должен эксплуатироваться, и оптимальные, соответствующие максимальному экономическому эффекту от использования насоса. Под оптимальным режимом чаще всего понимают работу в режиме максимального КПД. Во многих случаях номинальный и оптимальный режимы работы насосов и установок не совпадают. Это объясняется необходимостью в производственных условиях обеспечить какой-либо показатель работы установки, который не совпадает на рабочих характеристиках насоса с режимом максимального КПД.

К технологическим показателям насосов (установок) можно отнести: подачу, напор, мощность; вид и параметры энергетического питания привода; характеристики перекачиваемых и потребляемых сред; кавитационные свойства; характеристики самовсасывания; коэффициент полезного действия; массу, габаритные размеры насоса или установки.

Подачей или производительностью насоса называется количество жидкости, подаваемой насосом в единицу времени.

В зависимости от характера установки, обслуживаемой насосом, подача выражается в объемных или весовых единицах. Объемная подача  $Q$  измеряется в  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{сек}$ , л/мин и т.п. Весовая подача  $G$  измеряется в т/ч, кг/сек и т.п. Весовая и объемная подачи связаны соотношением [1]:

$$G = \gamma Q, \quad (1.1)$$

где  $\gamma$  – объемный вес жидкости.

Объемный вес  $\gamma$  представляет собой вес единицы объема жидкости, изменяется при изменении температуры. Величину его при новой температуре  $t_3 = t_0 + \Delta t$  можно определить по формуле

$$\gamma' = \frac{\gamma}{1 + \alpha_{об} \Delta t}, \quad (1.2)$$

где  $\gamma$  – объемный вес жидкости при температуре  $t_0$ ;  $\Delta t$  – изменение температуры;  $\alpha_{об}$  – коэффициент объемного расширения.

Теоретическую производительность центробежного насоса определяют по формуле

$$Q = \pi D_2 b_2 v_{2r}, \text{ м}^3/\text{сек} \quad (1.3)$$

Напором насоса  $H$  называется приращение механической энергии, получаемое каждым килограммом жидкости, проходящей через насос, т.е. разность удельных энергий жидкости при выходе из насоса и при входе в него. Это приращение энергии происходит за счет энергии, получаемой насосом от двигателя. Напор измеряется в  $\text{кГ} \cdot \text{м}/\text{кГ}$ , или сокращенно, в м.

Если удельная энергия жидкости при выходе из насоса (Рисунок 1.1.)

$$E_n = \frac{p_n}{\gamma} + z_n + \frac{v_n^2}{2g}, \quad (1.4)$$

а удельная энергия жидкости при входе в насос

$$E_g = \frac{p_g}{\gamma} + z_g + \frac{v_g^2}{2g}, \quad (1.5)$$

то напор насоса будет

$$H = E_n - E_g = \frac{p_n - p_g}{\gamma} + (z_n - z_g) + \frac{v_n^2 - v_g^2}{2g}, \quad (1.6)$$

где  $p_n$ ,  $z_n$  и  $v_n$  – давление, отметка и скорость потока при выходе из насоса;  $p_g$ ,  $z_g$  и  $v_g$  – то же при входе в насос;  $g$  – ускорение силы тяжести.

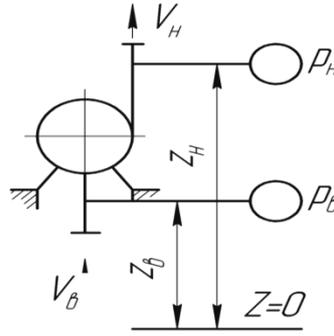


Рис.1.1. Схема измерения напора насоса

Напор  $H$  насоса можно разделить на статический ( $H_{ст}$ ) и динамический ( $H_{д}$ ):

$$H_{ст} = \frac{P_H - P_в}{\gamma} + z_H - z_в \quad (1.7)$$

Динамическим напором насоса называется приращение удельной кинетической энергии жидкости в насосе:

$$H_{д} = \frac{v_H^2 - v_в^2}{2g} \quad (1.8)$$

Энергия, получаемая насосом от двигателя в единицу времени, представляют собой потребляемую насосом мощность, или мощность на валу насоса,  $N$ . Часть этой энергии теряется в насосе. Если вычесть из потребляемой мощности  $N$  мощность всех потерь  $\Delta N$  в насосе, то получим полезную мощность насоса

$$N_n = N - \Delta N \quad (1.9)$$

Полезная мощность  $N_n$  представляет собой приращение энергии жидкости в насосе в единицу времени:

$$H_n = GH = \gamma Q H r U \cdot \text{м/сек} = \frac{\gamma Q H}{75} \text{ л.с.} = \frac{\gamma Q H}{102} \text{ кВт}, \quad (1.10)$$

где  $G$  – в кг/сек;  $Q$  – в м<sup>3</sup>/сек;  $H$  – в м;  $\gamma$  – в кг/м<sup>3</sup>.

Потери энергии в насосе характеризуются КПД насоса  $\eta$ , представляющим собой отношение

$$\eta = \frac{N_n}{N} \quad (1.11)$$

Отсюда потребляемая насосом мощность (в кВт)

$$N = \frac{N_n}{\eta} = \frac{\gamma Q H}{102 \eta} \quad (1.12)$$

За число оборотов  $n$  принимается частота вращения вала насоса в об/мин. Назначение или выбор числа оборотов зависят от ряда условий, из которых наиболее важными являются тип насоса и двигателя, допустимая высота всасывания, степень экономичности, весовые и габаритные показатели. Отдельные образцы современных лопастных насосов имеют  $n = 24\,000$  об/мин и более.

Разность отметок оси насоса  $Z_0$  и свободного уровня жидкости в приемном резервуаре  $Z_1$  называется геометрической высотой всасывания и выражается формулой

$$H_{гс} = Z_0 - Z_1 \quad (1.13)$$

Отрицательная геометрическая высота всасывания называется подпором. В этом случае насос находится ниже уровня жидкости в приемном резервуаре.

Высота всасывания, учитывающая не только высоту расположения оси насоса над свободным уровнем жидкости в приемном резервуаре, но также гидравлические потери во всасывающем трубопроводе  $h_{с1}$  и

скоростную энергию жидкости  $\frac{v_в^2}{2g}$ , называется вакуумметрической высотой всасывания:

$$H_{\text{васк}} = H_{\text{вс}} + p_{c1} + \frac{v_6^2}{2g}. \quad (1.14)$$

Высота всасывания насоса ограничивается минимальным абсолютным давлением  $p_{min}$ , возникающим в потоке в области входа в колесо, которое должно быть больше давления  $p_n$  насыщенного пара перекачиваемой жидкости:  $p_{min} > p_n$ . В противном случае жидкость в местах возникновения минимума давлений вскипит и работа насоса нарушится.

Допустимая высота всасывания возрастает с увеличением давления на свободную поверхность жидкости. При открытом резервуаре это давление равно атмосферному  $p_a$ . Атмосферное давление зависит от состояния атмосферы [1].

К эргономическим показателям насосов и установок относятся следующие:

- внешняя утечка, т. е. расход жидкости, вытекающий из насоса в наружную среду (например, через сальники) при номинальном режиме и определенном (заданном) давлении на входе;
- уровень звукового давления – общий уровень звукового давления в дБ при пороговом значении, измеренном на расстоянии 1 м от наружного контура насоса (установки) в заданных точках при номинальном режиме работы насоса (установки);
- уровень вибрации – общий уровень вибрации в дБ по эффективному (среднеквадратическому) значению колебательной скорости или ускорения, измеренный на опорной поверхности насоса в направлении, перпендикулярном к ней, в точках, где вибрация максимальна. Для некоторых насосов применяют ряд специальных параметрических показателей – таких как допустимая продолжительность работы при нулевой подаче (при закрытой напорной задвижке) и т. п. При выборе показателей надежности (наработка на отказ, ресурс, вероятность безотказной работы и т. п.) необходимо установить эксплуатационные допуски на рабочие параметры, так как чем больше допуск, тем выше надежность насоса.

Многолетние наблюдения за среднестатистическими сроками службы основных деталей грунтовых насосов в условиях хвостовых хозяйств горно-обогатительных комбинатов Качканарского, Алмалыкского и Костомукшского в период с 2000 по 2007 г.г. в Табл.1.1 [2, 3, 4, 5].

Данные Табл.1.1 показывают, что самым напряженным узлом грунтовых насосов является рабочее колесо. Ресурс рабочих колес при различной эксплуатации грунтового насоса изменяется от 780 до 1320 ч непрерывной работы.

Таблица 1.1

Среднестатистические сроки службы деталей грунтовых насосов 20Гр-8Т по комбинатам

Наименование деталей	Сроки службы деталей, часов		
	Качканар	Алмалык	Костомукша
Рабочее колесо	780	1312	800
Корпус (спиральный отвод)	804	480	740
Передняя крышка	700	360	805
Задний бронедиск	610	580	595
Подшипники	600	470	650
Сальниковые уплотнения	400	380	450

Износ рабочих колес вызывает значительные вибрационные напряжения, передаваемые опорным узлам насосной установки – подшипникам, срок службы которых резко снижается.

Перемещая в процессе работы абразивную гидросмесь, детали насоса подвергаются интенсивному изнашиванию движущимися в потоке абразивными частицами. По характеру изнашивания все детали можно разбить на две группы. К первой группе относятся рабочее колесо и отвод, проточные каналы которых изнашиваются в наибольшей степени. При перекачивании гидросмесей с крупными твердыми включениями эти детали подвергаются также и ударным воздействиям [6].

Наиболее интенсивно изнашиваются лопасти рабочих колес на входе и выходе, внутренние поверхности дисков рабочих колес (Рисунок 1.2), поверхности отвода в зоне расчетного сечения, входа в диффузор, а также в зоне языка отвода. Всасывающий патрубок подвержен значительно меньшему изнашиванию.

Катастрофические размеры гидроабразивного разрушения рабочих колес насосов свидетельствуют о большой разрушающей способности потока воды, содержащего абразивные частицы [7]. При наличии в воде

большого их количества, разрушенная поверхность металлической детали становится чешуйчатой (Рисунок 1.3, б), при малом количестве разрушение носит кавитационный характер (Рисунок 1.3, а).

На Рисунке 1.4 представлена топография изношенных участков рабочего колеса насоса типа ГрАТ после 610 ч эксплуатации. На меридиональном сечении колеса заштрихованы области износа рабочей стороны лопатки и тыльной стороны. Цифрами 1-4 выделены сечения лопатки в направлении от входа в рабочее колесо к ведущему диску; I-III – сечения лопатки в направлении от входа гидросмеси в межлопаточный канал к выходу из колеса.

Таким образом наибольший износ при работе на гравийной пульпе наблюдается в начале и конце лопасти и несколько меньший – задней стенки. Средняя же часть лопасти остается почти неизношенной. Это указывает на то, что частицы в момент соударения скользят по касательной и износ носит характер истирания. На задней стенке колеса появляются дугообразные борозды, свидетельствующие о том, что частицы в момент соударения скользят по касательной и износ носит характер истирания.



а)



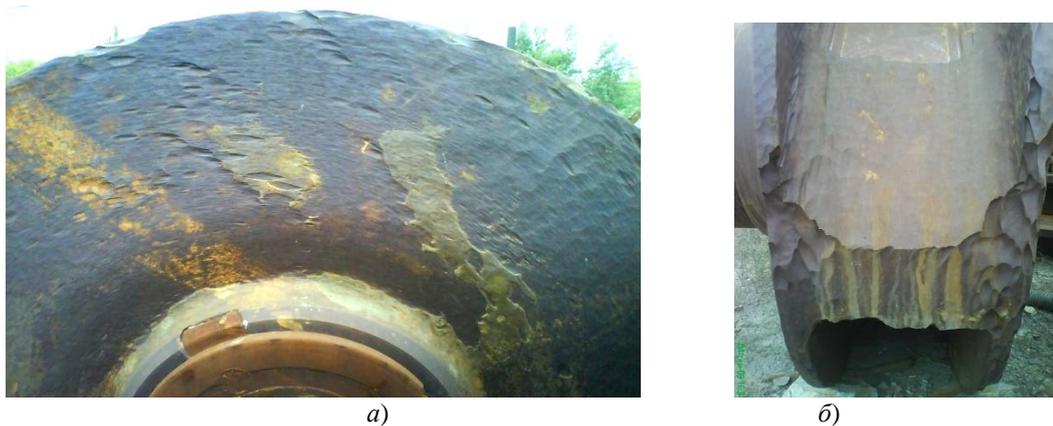
б)



в)

а – новое рабочее колесо; б, в – изношенное рабочее колесо

Рис.1.2. Рабочее колесо грунтового насоса 8Гр-8



*a* – наружная поверхность диска рабочего колеса (кавитационный износ);  
*б* – поверхности выходных кромок рабочего колеса (гидроабразивный износ)

Рис.1.3. Характер разрушения рабочего колеса насоса 2Гр 8000/71

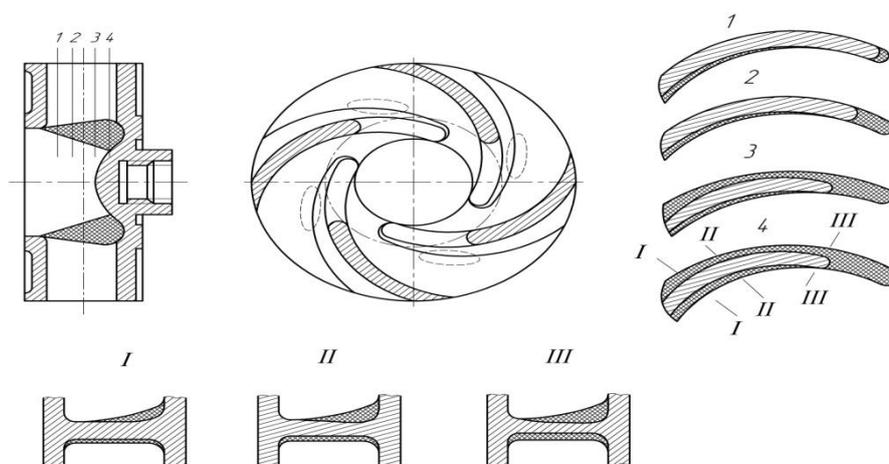


Рис.1.4. Топография изношенных участков рабочего колеса грунтового насоса типа ГрАТ

На Рисунке 1.5 показан характер износа рабочего колеса насоса. Задний диск подвергается наибольшему изнашиванию, чем передний. Штриховыми линиями обозначены контуры проточного канала нового, а сплошными – изношенного колеса. Нижняя половина колеса соответствует перекачке – 180, а верхняя – 990 т гравия. Во втором случае количество перекаченного грунта принимали с учетом реставрации заднего диска колеса.

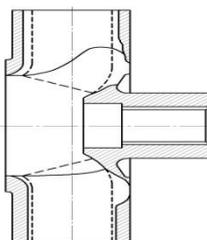


Рис.1.5. Характер износа рабочего колеса насоса 5Гр-8

Интенсивность изнашивания лопастей рабочего колеса зависит от ряда факторов, основными из которых является гранулометрический состав твердых частиц смеси. Лопасти рабочих колес грунтовых насосов имеют большую толщину. Так как их входные кромки скруглены, обтекание лопастей можно рассматривать как обтекание круглого цилиндра; чем крупнее частицы, движущиеся в потоке смеси, обтекающем цилиндр, тем большее их количество попадает на его поверхность.

Существенное влияние на скорость изнашивания входной кромки лопасти оказывает характер поворота потока смеси при входе в рабочее колесо. Под влиянием центробежного ускорения, возникающего при повороте потока, твердые частицы в смеси перераспределяются. В сечениях потока на повороте их концентрация становится неравномерной и увеличивается в направлении наружной стенки канала.

Из-за повышенной концентрации твердых частиц у поверхности ведущего диска наблюдается максимальный износ входной кромки в месте её сопряжения с этим диском (Рисунок 1.6). Следует иметь в виду, что вблизи поверхности стенки ведущего диска образуется пограничный слой с малыми скоростями течения потока. Поэтому зона максимального износа входных кромок лопастей оказывается несколько отодвинутой от стенки заднего диска.

Поверхность лицевой стороны лопасти и её выходная кромка могут изнашиваться только теми твердыми частицами, которые движутся вместе с жидкостью или смещаются от линии тока жидкости в направлении лицевой стороны лопасти. Поэтому интенсивность характера движения твердых частиц в межлопастном канале рабочего колеса [6].

В межлопастном канале рабочего колеса происходит непрерывное перераспределение твердых частиц от входа к выходу, с увеличением их количества в направлении от тыльной к лицевой стороне рядом стоящей лопасти, поэтому концентрация частиц у лицевой поверхности лопасти возрастает непрерывно от входной кромки к выходной. Этим и объясняется увеличение износа лицевой стороны лопасти от входной кромки к выходной.

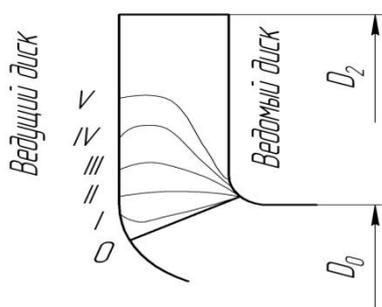


Рис.1.6. Формы входных кромок лопасти до изнашивания (0) и по мере изнашивания (I-V)

Ко второй группе относятся детали, изнашивающиеся в результате перетока гидросмеси из полости с большим давлением в полость с меньшим давлением: бронедиски (Рисунок 1.7), наружные диски колес, детали уплотнений как со стороны всасывания, так и узел сальникового уплотнения. Износ этих деталей по сравнению с деталями первой группы возрастает при транспортировании гидросмесей с мелкими твердыми включениями [8].



а – после эксплуатации, б – новый

Рис.1.7. Бронедиск насоса 8Гр-8Гр:

Рабочие органы насосов изнашиваются за счет контакта твердых частиц, движущихся в жидкости, со стенками каналов проточной части насоса. В рабочем колесе происходит разделение частиц по крупности. Более крупные частицы, траектории которых круче линий токов жидкости, вообще на рабочую поверхность лопастей не попадают. Лопасть обтекается только потоком с взвешенными в нем твердыми частицами малых размеров [9].

### Список литературы

1. Животовский Л.С., Смойловская Л.А. Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. – Москва: Машиностроение, 1986. – 224 с.
2. Заверткин П.С. Повышение ресурса работы грунтовых насосов снижением интенсивности гидроабразивного изнашивания их элементов в системах гидротранспорта хвостов обогащения : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06 – Санкт-Петербург, 2009. – 231 с.
3. Смирнов Н.И., Смирнов Н.Н. Прочность и износостойкость насосов (расчет, испытания, технология.//Материалы VIII Всероссийской технической конференции «Производство и эксплуатация УЭЦН». – Альметьевск, 2000. – С. 1- 13.
4. Золотарь А.И., Самойлович Д.С. Повышение долговечности рабочих колес грунтовых насосов// Трение и износ. – 1984. – Т.5, – №5, С. 92-99.
5. Золотарь А.И., Самойлович Д.С., Величко А.А. Экспериментальное изучение износа рабочего колеса грунтового насоса// Трение и износ. – 1981. – №1. – С. 103-111.
6. Лем В.П. Анализ изнашивания поверхностей рабочих деталей грунтовых насосов //Международная научно-практическая конференция. Архитектура и строительство в новом тысячелетии. – Алматы, 2008. – С. 227-231.
7. Поветкин В.В., Лем В.П. Гидроабразивный износ грунтовых и песковых насосов //Вестник КазНТУ. – Алматы, 2008. - №6(69). – С.51-54.
8. Лем В.П., Кабулов А.А. Износ бронедиска грунтового насоса и способ увеличения срока службы бронедиска //Международная конференция. Форсированное индустриально-инновационное развитие в металлургии. – Алматы: КазНТУ, 2010. – С. 182-184.
9. Донченко А.С., Донченко В.А. Справочник механика рудообогатительной фабрики. – М.: Недра, 1975. – 559 с.

### СЕКЦИЯ №7.

### МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.00)

#### ВАКУУМНАЯ ПЕЧЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ ДЛЯ МЕТАЛЛОТЕРМИЧЕСКОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ ОКСИДА КАЛЬЦИЯ

**Фалин В.В., Кривоносов Д.М.**

НИТУ «МИСиС», ООО Фирма «Вак ЭТО» г.Москва

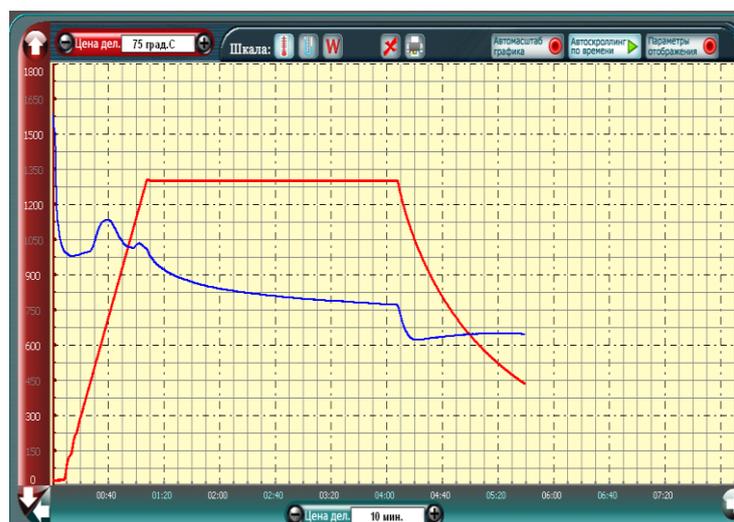
Основная масса производимого в мире кальция приходится на Китай (70%) [3], где эксплуатируются установки малой единичной производительности, позволяющие вести процесс при температурах не выше 1200<sup>0</sup>С. Продолжительность процесса – не менее 24 часов. Нагрев таких ретортных установок осуществляется с помощью газогенераторов или угольной пыли; при их эксплуатации существуют экологические проблемы, и что еще более важно - такого рода установки взрывоопасны.

Технология алюминотермического восстановления оксида кальция, применяемая в США и до недавнего времени во Франции [4-6], при которой нагрев ведется не в ретортных вакуумных печах, а в печах с герметичным охлаждаемым водой корпусом, во-первых, ориентирована на работу с оксидом кальция высочайшего качества, а, во-вторых, не обеспечивает "приближения" к максимально возможному выходу кальция. Соответственно, воспроизведение такой технологии не позволяет получать конкурентоспособный кальций.

Как известно, для алюминотермического восстановления оксида кальция следующей после стоимости сырья статьей расхода является стоимость электроэнергии (около 18%).

Энергетические затраты в печи могут быть разделены на две составляющие: постоянные, связанные с необходимостью нагрева шихты и контейнера от комнатной температуры до температуры восстановления, а также затраты на проведение эндотермической реакции восстановления и последующего испарения кальция, и переменные, зависящие от качества конструкторской проработки печи. Производительность печи определяется временем нагрева, выдержки и охлаждения шихты, а также наработкой печи на отказ.

Испытания вакуумной печи ВД-300-16 конструкции фирмы "Вак ЭТО" [1] на ОАО "Машиностроительный завод" показали, что относительно низкая стойкость нагревателя обусловлена высоким уровнем (до 15 масс.%) загрязнением шихты карбонатом кальция, и, как следствие, взаимодействием выделяющегося при нагреве диоксида углерода с углеродным материалом нагревателя. Например, откачка лабораторной печи с помощью насоса 2НВР-60Д с быстротой откачки 60 м<sup>3</sup>/час (Рисунок 1) с массой шихты всего около 100 г. брикетов (содержание оксида кальция ~72 % масс.) при металлургическом восстановлении не позволила полностью "компенсировать" газовыделения даже при использовании оксида кальция с содержанием карбоната кальция 2% (масс.). Для компенсации газовыделения увеличение производительности вакуумной системы должно быть чрезвычайно значительным.



а)



б)

Рис.1. Изменение остаточного давления в печи в координатах температура (красная линия) – время (а) и остаточное давление (синяя линия) – время (б) при восстановлении оксида кальция; масса садки ~ 100 г; скорость откачки 60 м<sup>3</sup>/час.

Отсюда, вероятно, можно сделать вывод о необходимости разделения низкотемпературного и высокотемпературного нагревов: первый из них целесообразно проводить в вакуумной печи ретортного типа, а второй – в вакуумной печи с охлаждаемыми водой стенками корпуса. При этом в высокотемпературной печи должен быть предусмотрен конструктив, обеспечивающий сьем конденсата кальция без ее разгерметизации.

Конструкции высокопроизводительных вакуумных печей непрерывного действия для получения щелочных и щелочноземельных металлов подробно рассмотрены в монографии А.С. Микулинского [2]. Несмотря на разнообразие приведенных печей, они, тем не менее, не могут быть применены для металлургического восстановления оксида кальция, вследствие возникновения существенных заложенных в них ограничений. Остановимся на основных проблемах, не позволяющих использовать конструкции А.С. Микулинского.

Вне зависимости от типа приведенных конструкций [2], ни в одной из них не реализован предварительный нагрев шихты в загрузочной камере. Между тем, именно такой подход позволил бы исключить недостатки ретортной печи и печи с холодными стенками, сохранив их преимущества.

Применяемый в конструкциях жидкий затвор, вследствие взаимной растворимости расплава и корпуса затвора, требует систематического повышения температуры, так как в результате растворения повышается температура ликвидуса системы; повышение же температуры приводит к интенсификации растворения.

В приведенных конструкциях не рассматривается важнейший компонент работы печи непрерывного действия – удаление твердого конденсата с поверхности охлаждаемого водой конденсатора без остановки печи.

Преодоление этих затруднений потребовало разработки новой конструкции.

Создаваемая вакуумная печь непрерывного действия состоит из следующих элементов:

- камера предварительного нагрева – ретортная печь, в которой происходит предварительный нагрев шихты и дегазация;
- камера восстановления и дистилляции – печь с охлаждаемыми водой стенками корпуса, в которой происходит восстановление оксида кальция, испарение кальция на охлаждаемый водой конденсатор;
- система съема конденсата;
- камера выгрузки конденсата;
- камера выгрузки отработанной шихты;
- обычные системы вакуумных печей (вакуумная, водяная, силовая, пневматическая, управления);
- внутривспечные механизмы перемещения контейнера с шихтой (садки).

На Рисунке 2 показана схема разработанной печи.

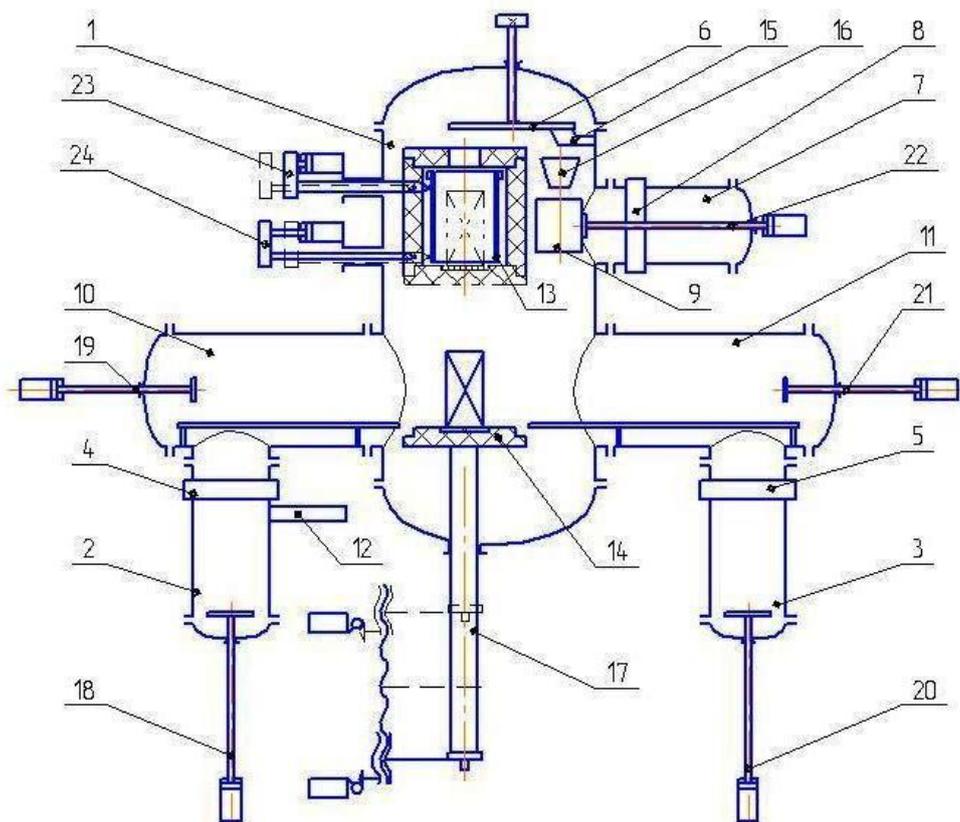


Рис.2. Схема вакуумной печи непрерывного действия для металлургического восстановления оксида кальция.

Обозначения на Рисунке 2.: 1 – камера восстановления оксида и испарения кальция; 2 – камера загрузки шихты в контейнере; 3 – камера разгрузки отработанной шихты; 4 – вакуумный затвор с водяным охлаждением; 5,8 – вакуумные затворы; 6 – охлаждаемый водой конденсатор для осаждения кальция; 7 – камера для загрузки-выгрузки бункера 9 для приема конденсата (кальция); 10,11 – промежуточные камеры перемещения контейнера с шихтой; 12 – подвижная футеровка; 13 - нагревательный блок камеры восстановления оксида и испарения кальция; 14 - рабочий стол с подвижной торцевой теплоизоляцией; 15 – резец для снятия конденсата с поверхности конденсатора; 16 – направляющая воронка; 17 – штук

перемещения рабочего стола с подвижной теплоизоляцией; 18 – шток перемещения контейнера с шихтой из камеры загрузки в промежуточную камеру; 19 – шток перемещения контейнера с шихтой из промежуточной камеры на рабочий стол; 20 – шток перемещения контейнера с отработанной шихтой из промежуточной камеры в камеру разгрузки отработанной шихты; 21 - таскатель для перемещения контейнера из камеры восстановления оксида и испарения кальция в промежуточную камеру; 22 – захват для перемещения бункера; 23,24 – регулирующая и запасная регулирующая термопары.

Вакуумная система позволяет осуществлять независимую откачку всех камер. Вакуумная схема представлена на Рисунке 3.

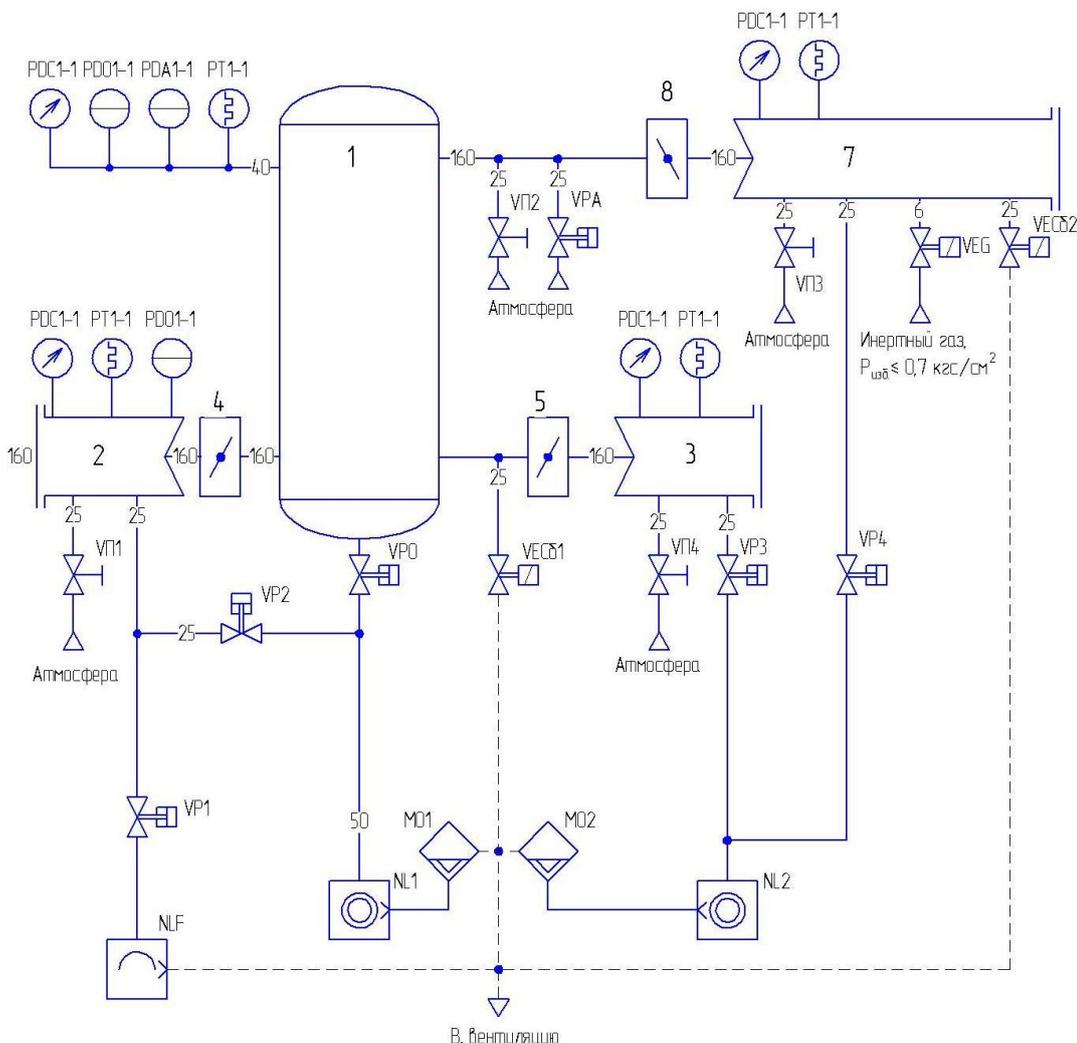


Рис.3. Вакуумная схема печи непрерывного действия для металлургического восстановления оксида кальция. Обозначения: 1,2,3,4,5,7,8 - соответствуют рис.2; NL – вакуумные механические пластинчатороторные насосы; NLF – вакуумный мембранный насос; PDA – датчик вакуумный деформационный абсолютного давления; PDO - датчики вакуумные деформационные; PDC – мановакуумметры; PT – датчики вакуумные термопарные (терморезистивные); VP - клапаны вакуумные пневматические; VPI – клапаны вакуумные ручные (клапаны могут быть заменены на пневматические VP для реализации программного управления работой печи); VEG - клапан вакуумный электромагнитный; VECB – клапаны вакуумные электромагнитные сбросовые (при превышении давления); M0 – маслоотделители.

Печь работает следующим образом (исходное положение – во всех камерах – вакуум; все клапаны – закрыты; откачные средства отключены). Включают вакуумные насосы NL1 и NLF (рис.2. и 3.) и открывают клапаны VP0 и VP1, соответственно. В полости водяного охлаждения подают воду. Включают нагрев камеры 1 (корпус камеры – сталь 12X18H10T, охлаждение корпуса водяное, нагревательный блок – углерод – углеродный композиционный материал различной плотности, термопары 23 – 24 – ТВР тип А по ГОСТ Р 8.585 – 2001 в алундовом чехле) и нагрев камеры 2 (материал реторты – сталь 12X18H10T, нагреватель – сплав сопротивления,

теплоизоляция – боковая и нижняя – фетр мулито-кремнеземистый МКРФ-100, верхняя – подвижная – сэндвич, состоящий из листов стали 12Х18Н10Т, между которыми размещен фетр МКРФ-100; термopа ТХА тип К или ТНН тип N по ГОСТ 8.585 – 2001). Когда температура в камере 2 достигнет 600 – 700 °С, закрывают клапан VP1, открывают клапан VП1 и напускают воздух в реторту. Открывают загрузочную крышку и устанавливают графитовый контейнер с шихтой в виде прессованных брикетов, состоящих из оксида кальция и восстановителя. Закрывают загрузочную крышку и клапан VП1, открывают клапан VP1 и проводят нагрев контейнера с шихтой до температуры 600 - 700 °С до того момента, когда произойдет снижение остаточного давления в камере 2 до уровня 0,3 кПа (но не менее 60 мин.). Закрывают клапан VP1, открывают клапан VP2 и проводят откачку до давления 1 – 10 Па. Когда в камере 1 температура достигает заданного значения, открывают затвор 4, отводят подвижную теплоизоляцию 12 и штоком 18 перемещают контейнер с шихтой на рельсы (графит) камеры 10. В исходное положение возвращаются шток 18, теплоизоляция 12 и затвор 4. Закрывают клапан VP1, открывают клапан VП1. Штоком 17 опускают рабочий стол с подвижной теплоизоляцией 14 в нижнее положение. Штоком 19 перемещают по рельсам контейнер с шихтой на рабочий стол 14. Поднимают штоком 17 стол в верхнее, рабочее, положение. Шток 19 возвращается в исходное положение – камера 2 готова к следующей загрузке.

Включают регулируемый привод конденсатора 6 (материал конденсатора – сталь 12Х18Н10Т). Поворот конденсатора осуществляется по мере заполнения его поверхности, обращенной к паропроводу (к тиглю). Съем конденсата осуществляется резцом 15, изготовленным из стали 30...40Х13. Для исключения разупрочнения резца его помещают в холодную (не выше 240-300 °С – температура отпуска закаленной стали) зону печи.

После заполнения бункера 9 и откачки камеры 7 открывают затвор 8 для перемещения бункера в камеру загрузки – выгрузки бункера 7. Закрывают затвор 8, напускают в камеру 7 инертный газ, извлекают бункер и устанавливают новый через боксовую камеру. Проводят откачку камеры 7, открывают затвор 8 и располагают бункер в рабочем положении (перемещения бункера проводят при отключенном приводе поворота конденсатора).

После завершения восстановления – дистилляции контейнер с отработанной шихтой, стоящей на рабочем столе 14, штоком 17 опускают в нижнее положение и с помощью толкателя 21 устанавливают у камеры разгрузки отработанной шихты 3. Откачивают эту камеру, открывают затвор 5 и с помощью штока 20 перемещают контейнер в эту камеру. Закрывают затвор 5, напускают в камеру 3 воздух, открывают загрузочную крышку и извлекают контейнер с отработанной шихтой.

Все процессы повторяются. Поскольку алгоритм легко формализовать, работой печи может управлять компьютер.

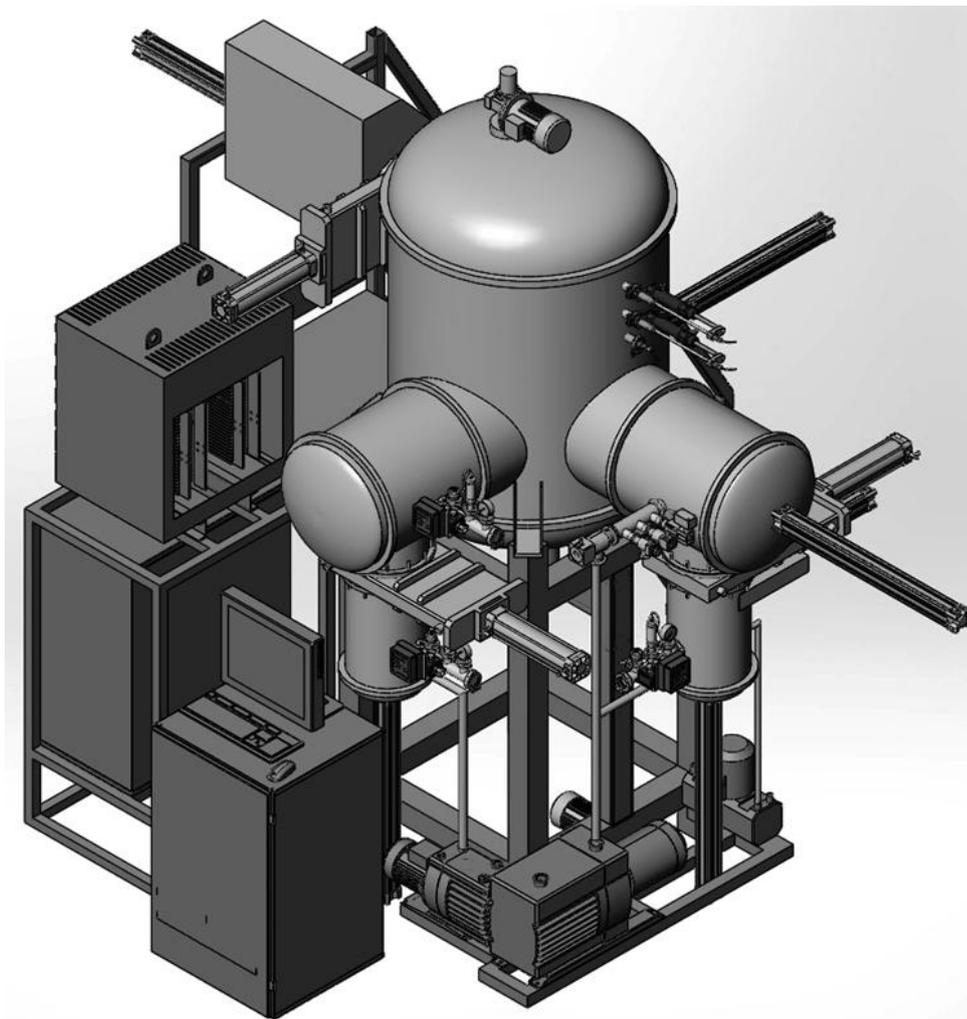


Рис.4. Общий вид опытной печи непрерывного действия для восстановления оксида кальция.

В печи непрерывного действия отсутствуют затраты электроэнергии на прогрев футеровки в камере восстановления и испарения кальция.

Таким образом, применение печи непрерывного действия позволяет повысить надежность нагревательного блока и существенно сократить расход электроэнергии.

В результате выполнения работы предложена принципиальная схема вакуумной установки непрерывного действия для металлургического восстановления оксида кальция. Установка позволяет осуществлять низкотемпературный нагрев в печи ретортного типа, герметично отделенной от высокотемпературной печи восстановления. Такой подход позволяет минимизировать требования к качеству исходного оксида кальция (по содержанию гидроксида и карбоната кальция).

#### Список литературы

1. Буданов Р.Е., Минков О.Б., Молев Г.В., Русанюк В.Н., Сухарев А.В. Опытно-промышленные испытания алюминотермического получения кальция на новых высокотемпературных установках// Цветные металлы, 2009, №1, с.54-58.
2. Микулинским А.С. Вакуумные электрические печи для получения щелочных и щелочноземельных металлов, М.-Л. Госэнергоиздат, 1962, 96 с.
3. Обзор рынка кальция металлического в России и мире. <http://www.infomine.ru>. август 2011 г. – 102 с.
4. Pat. 2,464,767 USA C1.75-67 Production of calcium. Заявлено 15.10.1945, опубл. 15.03.49.
5. Pat. 2775484 France, IC C22 B5/04; C22B5/16; C22B26/20; C22B26/00. Calcium is produced rapidly with excellent yield at reduced energy costs. Опубл. 03.09.99.
6. Pat. 9802649 France, IC C 22 B26/20. Procédé de fabrication de calcium, en four cylindrique a axe horizontal, mobile verticalement, avec creuset en graphite chauffé par induction. Заявлено 27.02.98, опубл. 03.09.99.

# ИЗУЧЕНИЕ МАТРИЦ ДЛЯ ВЫСОКОГРАДИЕНТНЫХ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Львов В.В., Бута К.О.

Горный университет, г.Санкт-Петербург

Россия занимает первое место (в пересчете на содержание железа) в мире по количеству запасов железной руды. В нашей стране преимущественно добываются и перерабатываются сравнительно легкообогащаемые неокисленные железистые кварциты. Но как показывает мировая практика запасы легкообогащаемых руд не безграничны и поэтому необходимо изучать возможности вовлечения в переработку окисленные железистые руды, которые сотнями миллионов тонн накоплены в рудных отвалах на железнорудных предприятиях России.

При изучении мировой практики переработки окисленных железистых руд можно видеть сложные технологические схемы обогащения, которые включают в себя операции магнитного, гравитационного и флотационного обогащения. Магнитное обогащение в данных технологических схемах в основном представлено высокоградиентными магнитными сепараторами, которые используют электромагнитную систему для создания магнитного поля в зоне разделения. Выбор матрицы для данных магнитных сепараторов является важной задачей, т.к. от этого зависит общий расход энергозатрат на данный передел и качество полученного конечного концентрата, что прямым образом влияет на дальнейший металлургический передел.

На большинстве обогатительных фабрик в мире получили широкое распространение следующие типы высокоградиентных магнитных сепараторов:

- Jones (мокрый высокоградиентный магнитный сепаратор)(WHIMS)[1];
- Slon (Вертикальный пульсирующий магнитный сепаратор (VPHGMS)[2].

Важным элементом высокоградиентных магнитных сепараторов (WHIMS,VPHGMS)является матрица сепарации. Роль матрицы и требования к ней должны включать:

- концентрацию магнитного поля в зоне сепарации;
- образование градиента магнитного поля;
- прохождение немагнитных частиц через элементы матрицы;
- аккумуляцию парамагнитных частиц на элементах матрицы;
- очищение элементов матрицы от парамагнитных частиц вне зоны магнитного поля.

Широкое применение нашли матрицы зубчатого и стержневого типа.

Изучение зубчатых плиточных матриц.

Матрицы этого типа впервые были предложены корпорацией HumboldtWedag [3] (в настоящее время MBE coal and minerals technology GMBH) для их высокоградиентных сепараторов типа Jones (Рисунок 1б). Заявлено, что более 300 сепараторов подобной конструкции были произведены и внедрены на сегодняшний день. Существуют текущие стандартные типоразмеры однороторных сепараторов от лабораторной модели JonesP-40 производительностью не более 0,5 т/ч, до промышленных двухроторных сепараторов JonesDP-317 с производительностью 120 т/ч и выше. Плиточные зубчатые матрицы типа 4R и 8R (4 и 8 зубцов на дюйм ширины соответственно) используются для данных сепараторов. Типичная матрица с волнистыми плитами показана на Рисунке 1а.

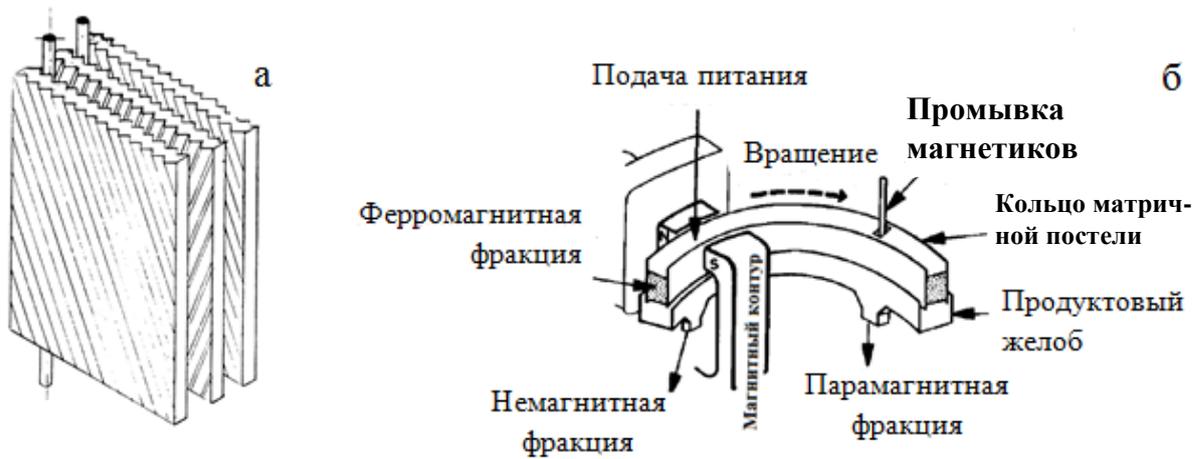


Рис.1. Принцип работы непрерывного мокрого высокоградиентного сепаратора типа Jones с зубчатой плиточной матрицей.

Стержневые матрицы.

Стержневые матрицы (Рисунок 2а) эффективно применяются в пульсирующих высокоградиентных магнитных сепараторах (VPHGMS) для обогащения окисленных железных руд.

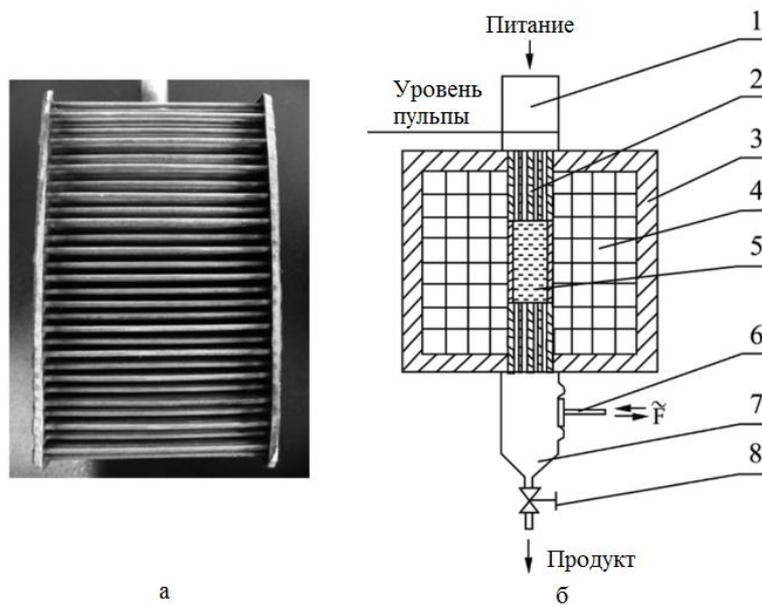


Рис.2. Принцип работы лабораторного мокрого высокоградиентного сепаратора типа Slon - 100со стержневой матрицей.

а - пример стержневой матрицы; б - схема пульсационного магнитного сепаратора Slon-100, где 1- загрузочный короб, 2- магнитный стержень, 3- ярмо магнита, 4- катушки электромагнитной системы, 5- магнитная матрица, 6- механизм пульсации, 7- разгрузочный короб, 8- перепускной клапан,  $F$  - сила пульсации.

Стержни в матрице располагаются в шахматном порядке и могут иметь диаметр от 1 до 6 мм. На сегодняшний день основным производителем высокоградиентных магнитных сепараторов с данным видом матриц является китайская компания SLON при взаимодействии с компанией Outotec (Финляндия) [4]. Производительность данных сепараторов может достигать 450 т/ч.

Для сравнения матриц высокоградиентных магнитных сепараторов было проведено исследование на окисленной железной руде представленной основным минералом в виде гидрогетита плотностью  $2,9 \text{ г/см}^3$ , с исходным содержанием  $\text{Fe}_{\text{общ}} = 35,5\%$ . Руда перед высокоградиентной магнитной сепарацией была измельчена до крупности  $R_{80} = 11,5 \text{ мкм}$  в мельнице для тонкого измельчения ISAMILL типоразмер M4 компании

XstrataTechnology (Австралия) [5]. Опыты обогащения проводились по схемам, включающим операции измельчения и одностадийную высокоградиентную магнитную сепарацию. Магнитное обогащение было проведено в высокоградиентных магнитных сепараторах двух типов установленных на кафедре обогащения полезных ископаемых Горного университета:

1. Лабораторная установка для мокрой магнитной сепарации высокой интенсивности Jones P40 компании MBE CoalandMineralTechnologies GmbH (Германия);

2. Лабораторный пульсирующий высокоградиентный магнитный сепаратор SLon - 100 компании «Outotec»(Финляндия).

Таблица 1

Результаты магнитного обогащения

Наименование продукта	Выход продукта, %	Содержание в продукте, %	
		Fe <sub>общ.</sub>	Извлечение в продукт, %
Тонкое измельчение на мельнице ISAMILL M4 P <sub>80</sub> = 11,5 мкм			
Магнитное обогащение на высокоградиентном магнитном сепараторе Jones P40			
Индукция магнитного поля 2,0 Тл, зазор между пластинами 0,8 мм			
Черновой концентрат	63,6	38,2	67,9
Промпродукт	9,3	31,8	8,3
Немагнитный	27,1	31,4	23,8
Исходный	100,0	35,76	100,0
Магнитное обогащение на высокоградиентном магнитном сепараторе Slon 100			
Индукция магнитного поля 1,2 Тл, пульсация 200 об/мин, матрица 1 мм			
Черновой концентрат	60,7	41,3	70,6
Немагнитный	39,3	26,5	29,4
Исходный	100,0	35,48	100,0
Индукция магнитного поля 1,2 Тл, пульсация 250 об/мин, матрица 1 мм			
Черновой концентрат	57,5	46,3	74,4
Немагнитный	42,5	21,5	25,6
Исходный	100,0	35,76	100,0

Выводы.

Из Табл.1 можно сделать заключение, что выбор матрицы для высокоградиентного магнитного сепаратора может улучшить технологические показатели магнитного обогащения окисленных железистых руд, что даст положительный эффект при дальнейшей металлургической переработке. При магнитном обогащении в высокоградиентных магнитных сепараторах выбор матрицы сепарации является важной технической задачей которая позволяет снизить энергозатраты для создания магнитного поля.

Список литературы

1. Wet High-Intensity Magnetic Separator. URL:<http://www.mbe-cmt.com/en/products/jones%C2%AE-whims/specifications> (Дата обращения 30.12.2014)
2. The SLon® vertically pulsating high-gradient magnetic separator. Copyright © 2013 OutotecOyj. All rights reserved.
3. В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 2Т. - М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2005. - Т 1: Магнитные и электрические методы обогащения полезных ископаемых. - 669 с.
4. Dobbins M. and Hearn S. SLon® magnetic separator: A new approach for recovering and concentrating iron ore fines, Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum Conference and Exhibition, April 29–May 2, Montreal, Canada 2007.

5. Anderson, G S and Burford, B D. IsaMill-The Crossover from Ultrafine to Coarse Grinding, Metallurgical Plant Design and Operating Strategies (Metplant 2006), 18 to 19 September 2006, Perth, Western Australia.

## **СЕКЦИЯ №8. ТРАНСПОРТ И СВЯЗЬ, КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.22.00, 05.08.00)**

### **К ВОПРОСУ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ШИН ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Гридчина И.Н.**

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им И.А. Бунина, г.Елец

Известно [1-4], что диагностические работы служат для определения технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов без их разборки и являются элементом управления технологическими процессами обслуживания и ремонта подвижного состава. Объем диагностических работ для современных автомобилей составляет по отношению к объему исполнительской части около 30%.

При диагностировании выявляют автомобили, техническое состояние которых не отвечает требованиям безопасности движения, а перед техническим обслуживанием определяют потребность в устранении неисправностей или проведении ремонта; контролируют качество технического обслуживания (ТО) и текущего ремонта (ТР); определяют возможность исправной работы агрегатов и механизмов автомобиля в предстоящем межконтрольном пробеге.

По назначению, периодичности, трудоемкости, перечню выполняемых работ и месту в технологическом процессе ТО и ТР периодическое диагностирование делится на Д-1 и Д-2.

Д-1 предназначается главным образом для диагностирования механизмов, обеспечивающих безопасность движения автомобиля (тормоза, механизмы управления, углы установки передних колес, приборы освещения), уровень токсичности отработавших газов и его топливную экономичность. Оно может либо ограничиваться только определением годности объекта к дальнейшей эксплуатации (экспресс-диагностирование), либо включать в себя определение основных неисправностей и сопровождаться регулировочными работами с последующим контролем качества их выполнения. Экспрессное Д-1 производится на контрольном пункте при возвращении автомобиля в парк, а Д-1 при ТО-1 или перед ним. Кроме того, для проведения ТО-1 используют информацию, полученную при помощи средств встроенного диагностирования.

Д-2 предназначается для диагностирования автомобиля в целом по тягово-экономическим показателям и выявления неисправностей его основных агрегатов, систем и механизмов.

Д-2 проводят перед ТО-2, чтобы, подготовить производство к выполнению ремонтных работ и уменьшить простои автомобиля в плановом ТО-2. Одновременно с Д-2 выполняют некоторые технологически оправданные регулировочные работы и последующий контроль качества их проведения. Д-2 проводят также по заявкам перед ТР в случаях необходимости выявления, неисправностей и определения потребного объема ремонта.

Информацию, необходимую для проведения ТО-2 и ремонта, получают при помощи диагностических стендов и переносных приборов. Для обнаружения неисправностей и отказов в процессе выполнения ТО и ТР (на специализированных постах, линиях и в цехах) проводят оперативное технологическое диагностирование (Д<sub>р</sub>), используя при этом переносные приборы и настольные установки. Оперативное диагностирование выполняют также по потребности (по заявкам) на специализированных постах, оборудованных стендами.

Регулировочные работы заключаются в восстановлении без замены деталей и механизмов параметров технического состояния объекта до установленных технической документацией норм, величин зазоров, люфтов, свободных ходов, приводных усилий. Проводят их по результатам диагностирования и контроля качества выполненного ТО или ремонта

Известно также, что одним из важнейших видов выполнения диагностических работ являются работы связанные с диагностикой технического состояния ходовых частей автомобилей и в частности шин их рулевых и ведущих колёс. В настоящее время для обнаружения дефектов в шинах применяют довольно простой, но достаточно трудоёмкий технологический процесс, который заключается в том, что диагностируемое колесо или запасное заряжают давлением сжатого воздуха до эксплуатационного и затем погружают его в водяную ванну и по истечению воздушных пузырьков судят о месте её дефекта. Как видно такой метод недостаточно эффективен, так как другие дефекты в шине им определить невозможно.

Учитывая указанные недостатки в ЕГУ имени И.А. Бунина на кафедре механики и технологических процессов, проводится бюджетная НИР на тему: «Динамика, прочность и надёжность транспортных, сельскохозяйственных и строительно-дорожных машин, а также стандартного и нестандартного промышленного оборудования используемых в Чернозёмном регионе РФ», один из разделов которой направлен на совершенствование конструкции и диагностики технического состояния легковых автомобилей. Анализ многочисленных литературных и патентных источников позволил разработать перспективное техническое решение, позволяющее эффективно осуществлять диагностику технического состояния шин не только для легковых, но и другого автомобильного подвижного состава. Такая конструкция, признана изобретением (SU1678649).

Так на Рисунке 1 показан общий вид стэнда для диагностики технического состояния шин и на Рисунке 2 укрупнённый вид части шины в момент начала её диагностирования.

Такой стэнд состоит из рамы 1, с пустотелой стойкой 2 жёстко присоединённой к приводимым во вращение фланцами 3 и 4 снабжённых упругой оболочкой 5 (сам привод на рисунках не показан). В пустотелой стойке выполнены отверстия 6, а упругая оболочка 5 снабжена обратными

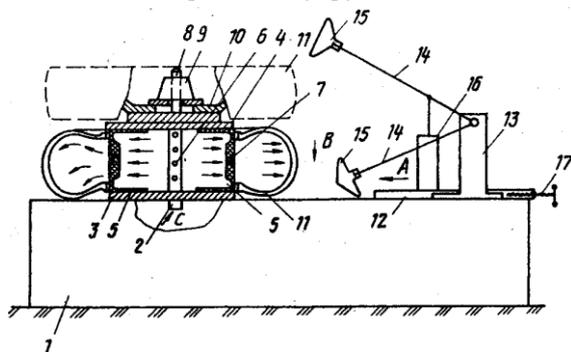


Рис.1.

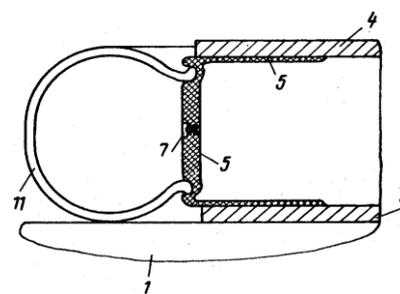


Рис.2.

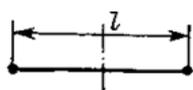
клапанами 7. На фланце 4 закреплён винт 8 с гайкой 9 и размещён диск 10 диагностируемого колеса с шиной 11. На раме 1 подвижно в направляющих 12 расположен кронштейн 13 с демонтажными рычагами 14, управляемыми пневмоцилиндром 16 и с роликами 15, при этом кронштейн 13 снабжён ходовым винтом 17 его перемещения в горизонтальной плоскости рамы 1.

Работа стэнда происходит следующим образом. Предварительно на фланец 4 укладывают диск 10 колеса с шиной 11 (шина на Рисунке 1 показана пунктиром). Затем переместив по стрелке А кронштейн 13 и демонтажными рычагами 14 и роликами 15 демонтируют шину 11 с диска 10 колеса. После этого кронштейн 13 демонтажных рычагов 14 перемещают винтом 17 в сторону противоположную стрелке А, что приводит к само перемещению крышки 11 по стрелке В итоге она занимает такое положение как это показано на Рисунке 2 при этом к её внутренней полости примыкает пространство образованное фланцами 3 и 4, а также упругая оболочка 5. После этого в пустотелую стойку по стрелке С подают сжатый воздух, который истекая из отверстий 6 упруго деформирует упругую оболочку 5. При определённом давлении сжатого воздуха во-первых, происходит уплотнение зазоров находящихся в между упругой оболочкой 5 и шиной 11 и, во-вторых срабатывание обратных клапанов 7, которые пропускают сжатый воздух во внутреннюю полость шины 11 (см. Рисунок 1, где движение потока сжатого воздуха показано стрелками). По мере поступления сжатого воздуха во внутреннюю полость шины можно проверит наличие в ней дефектов таких как отверстий, прорывов, трещин, изломов корда и других дефектов. После проведения осмотра подачу сжатого воздуха в упругую оболочку 5 прекращают и соединяют пустотелую стойку 2 с атмосферой в результате чего упругая оболочка 5 занимает исходное положение такое, как это показано на Рисунке 1. При наличии каких либо дефектов в шине 11 её удаляют совместно с диском колеса 10 или в случае отсутствия дефектов с помощью роликов 15 производят монтаж её на диск 10 колеса.

Анализируя представленную конструкцию стэнда видно, что достаточно ответственным её конструктивным элементом является упругая оболочка 5 (Рисунок 2), так как от неё существенно зависит качество обнаружения дефектов имеющихся в ней при её диагностировании. Следует также отметить, что подобные конструкции, обеспечивающие герметизацию различных машин и их агрегатов, широко применяются в практике и носят название пневматические уплотнители. Обычно пневматические уплотнители состоят из двух частей упругой тонкостенной камеры и более жёсткой упругой диафрагмы. В нашем же случае роль диафрагмы и камеры выполняет один элемент, имеющий значительную толщину вертикальной стенки названный упругой

оболочкой, которая уплотняет внутреннюю круговую поверхность шины при подаче сжатого воздуха в последнюю через клапаны 7 (Рисунок 2).

Известно [5], что способность пневматических уплотнителей к герметизации определяется значением контактного давления  $Q$ , зависящего от удельного контактного давления  $q$  и ширины зоны контакта  $s$ , т.е. по зависимости  $Q = q \cdot s$ . Численное значение удельного контактного давления определяют по формуле  $q = p_2 - p_1$ , где  $p_2$  рабочее давление, а  $p_1$  давление затрачиваемое на деформацию диафрагмы до касания её с уплотняемой поверхностью, которая в данном случае является диагностируемой шиной. На рис.3 показана расчётная схема диафрагмы до монтажа и после её нагружения давлением сжатого воздуха подаваемого в пустотелую стойку 2 (Рисунок 2). В этом случае прогиб  $h_1$  диафрагмы можно определить по известной зависимости [5,6],  $h_1 = p_1 l \cdot (2R)^2 / 8N_1$ , тогда из этого уравнения можно определить численное значение давление, затраченное на деформацию диафрагмы по формуле:



$$p_1 = \frac{2E\varepsilon_1 b h_1}{R^2}, \quad (1)$$

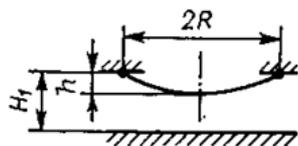
где,  $N_1$  – горизонтальное натяжение диафрагмы и равно  $\sigma F H$ ;

$\varepsilon$  – относительное удлинение средней линии диафрагмы;

$b$  – толщина диафрагмы, мм;

$F$  – площадь продольного сечения диафрагмы, мм<sup>2</sup>.

Численное значение  $\varepsilon_1$  можно определить из условия:



$$\varepsilon_1 = \frac{l_1 - l}{l} \leq l_{\text{ДОП}} \quad (2)$$

Рис.3.

где,  $l_1$  – длина средней линии диафрагмы при нагружении её до касания с уплотняемой поверхностью и в нашем случае с шиной колеса автомобиля.

Учитывая что:

$$l = 2R \left( 1 + \frac{2}{3} \frac{h^2}{R^2} \right) \quad \text{и} \quad l_1 = 2R \left( 1 + \frac{2}{3} \frac{h_1^2}{R^2} \right) \quad (3)$$

можно записать следующее соотношение [5]:

$$\varepsilon_1 = \frac{2}{3} \frac{h_1^2 - h^2}{R^2 + \frac{2}{3} h^2} \leq \varepsilon_{\text{ДОП}} \quad (4)$$

Следует отметить, что величины  $h$  (монтажная деформация) диафрагмы и  $R$ , а также  $l$ , обеспечивающие выполнение условия уравнения (2) могут быть выбраны конструктивно и тогда численное значение контактного давления  $Q$  обеспечивающего герметизацию диафрагмы и диагностируемой шины можно вычислить по формуле [5]:

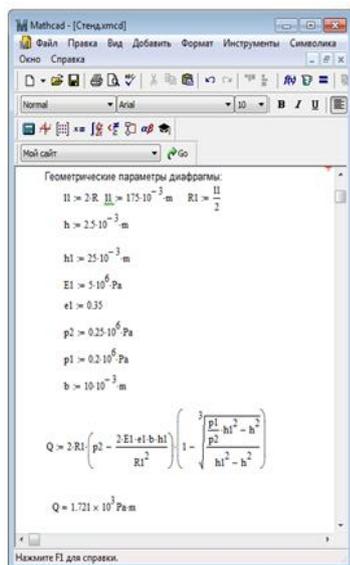


Рис.4.

$$Q = 2R \left( p_2 - \frac{2E\varepsilon_1 b h_1}{R^2} \right) \left[ 1 - \sqrt[3]{\frac{p_1 h_1^2 - h^2}{p_2 h_1^2 - h^2}} \right] \quad (5)$$

В качестве исходных данных, выбрав, например, шину колеса легкового автомобиля «Волга М24» размером 170×380×620 для диагностирования её на предложенном стенде, примем следующие геометрические параметры диафрагмы (Рисунок 4):  $l = 2R = 175 \cdot 10^{-3}$  м,  $h = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м,  $H_1 = h_1 = 25 \cdot 10^{-3}$  м (полная деформация диафрагмы),  $E = 5 \cdot 10^6$  Па,  $\varepsilon_1 = 0,35$ ,  $p_2 = 0,25 \cdot 10^6$  Па,  $p_1 = 0,2 \cdot 10^6$  Па,  $b = 10,0 \cdot 10^{-3}$  м. Подставив численные значения таких параметров в формулу (5) и используя пакет прикладных программ MathCad (на Рисунке 4 показано окно такой программы) установлено, что контактное давление  $Q$  обеспечивающее герметизацию диафрагмы в зоне контакта её с

диагностируемой шиной равно 1721Н/м. Подобным образом на предложенном стенде можно диагностировать и другие шины, у которых их внутренний диаметр лежит в пределах 380 - 450 мм.

Результаты исследования рекомендуются к использованию отраслевым НИИ автомобильной промышленности, сельскохозяйственного машиностроения и конструкторским подразделениям предприятий серийно изготавливающим, ремонтирующим и эксплуатирующим автотранспортную технику, как в нашей стране, так и за рубежом с целью возможной доработки и в дальнейшем внедрения предложенного технического решения в практику.

#### **Список литературы**

1. Напольский Г.М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: Учебник для вузов. М.: Транспорт, 1993.
2. Рябчинский А.И. и др. Динамика автомобиля и безопасность дорожного движения. Учебное пособие. М.: МАДИ, 2002.
3. Техническая эксплуатация автомобилей. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / Под ред. Е.С. Кузнецова. М.: Наука 2001.
4. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Минавтотранс РФ. М.: Транспорт, 1986.
5. Лепетов В.А., Юрцев Л.Н. Расчёты и конструирование резиновых изделий: Учеб. пособие для вузов.-3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 408 с.
6. Федосьев В.И. Соппротивление материалов. М.: Наука, 1970, 544 с.

## **МЕЖДУНАРОДНЫЕ ГРУЗОВЫЕ АВТОПЕРЕВОЗКИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАБОТЫ ПО МНОГОСТОРОНИМ РАЗРЕШЕНИЯМ ЕКМТ**

**Муравьёв М.А.**

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), г.Москва

Введение.

Важнейшими факторами, показывающими развитие экономики России, это расширение и подъём эффективности внешней торговли. Транспорт в данном вопросе является одним из главных элементов системы внешнеэкономических связей. Отечественный рынок международных автомобильных перевозок (МАП) грузов в настоящее время очень насыщен конкурентами, так, помимо российских автотранспортных компаний, на нем работают по разным оценкам сотни и даже тысячи автотранспортных компаний и индивидуальных предпринимателей из стран Европы и Азии. Увеличение темпов конкуренции на рынке МАП спровоцировало повышение безопасности, эффективности и качества оказываемых услуг, а также содействовало повышению привлекательности автомобильного транспорта как инструмента обеспечения внешней торговли по сравнению с иными видами транспорта. МАП грузов на сегодняшний день это один из наиболее активно развивающихся сегментов российской экономики. В нём работает порядка 7,3 тыс. автотранспортных предприятий и компаний, с суммарным парком подвижного состава свыше 60 тыс. автомобилей и создающим более 180 тыс. рабочих мест в самых разных регионах страны. По данным Минтранса России, общий объем перевезенного автотранспортом груза всех отраслей экономики в 2013 г., составил 5,6 млрд. тонн (Рисунок 1).

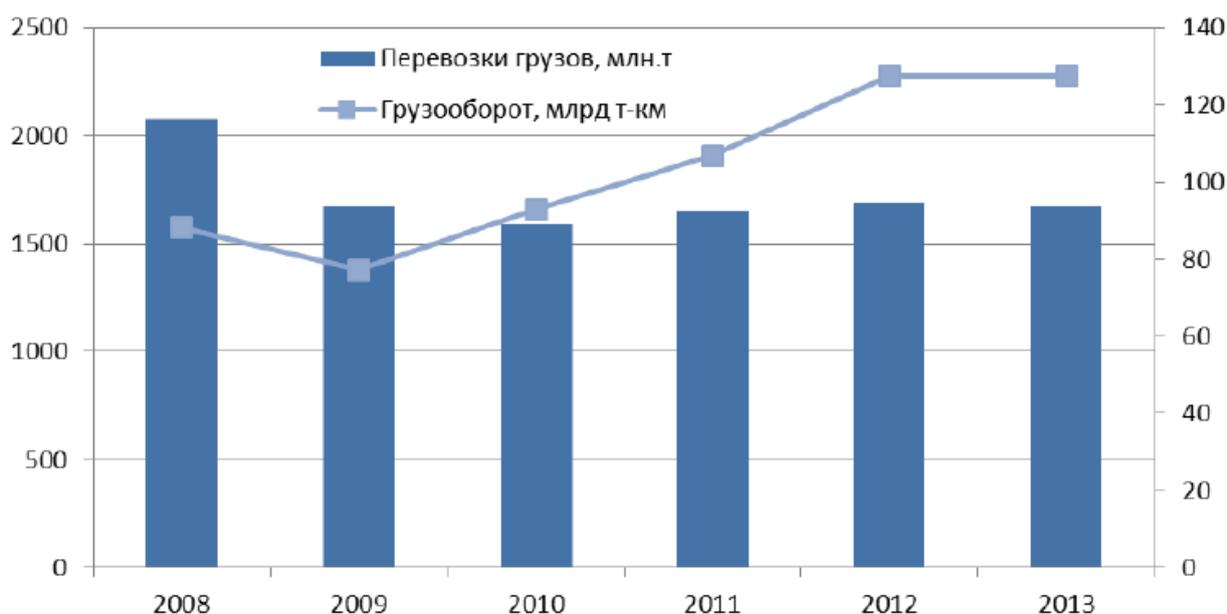


Рис.1. Динамика коммерческих перевозок и грузооборота автомобильным транспортом в 2008-2013 гг., млн. т, млрд. т-км.

Разрешительная система. ЕКМТ и квоты.

Конкуренция среди участников транспортного рынка из различных стран возникает за импортные и экспортные направления доставки грузов для российской внешней торговли по причине возможности доступа на наш рынок зарубежных транспортных компаний в соответствии с международными договорами. В первую очередь это оговорено в существующих межправительственных соглашениях о международном автомобильном сообщении, подписанными в двухстороннем порядке странами, заключающими такой договор.

На сегодняшний день Российской Федерацией заключены и действуют 46 двусторонних соглашения о международном сообщении. Данные соглашения заключены Россией со всеми европейскими континентальными странами (за исключением Португалии), со всеми странами СНГ, а также Ираном, Китаем, Монголией и Турцией.

Помимо участия в двусторонней разрешительной системе, Россия также является членом системы многосторонних разрешений Европейской конференции министров транспорта (ЕКМТ). С 1 июля 1997 г., на 81-й сессии Совета Министров, РФ стала полноправным членом ЕКМТ. Участие РФ в работе ЕКМТ является обязательным в связи с необходимостью согласования вектора российской транспортной политики, регламентов с транспортной политикой и стандартами стран Европы. Это особенно стало важно в связи с присоединением России ко множеству международных транспортных коридоров. ЕКМТ является площадкой сотрудничества Министров транспорта по вопросам политики, относящимся к сектору транспорта. На нем Министры ведется открытое обсуждение насущных проблем и разрабатываются совместные подходы для обеспечения рационального развития и наилучшего применения европейских транспортных систем.

Задачами ЕКМТ являются:

- принятие мер для результативного и рационального использования и развития внутреннего европейского транспорта, имеющего международное значение;
- согласование деятельности международных организаций, занимающихся внутренним европейским транспортом с учетом деятельности и интересов национальных органов стран, входящих в международные организации.
- контроль за осуществлением перевозок, выполняемых между странами-членами ЕКМТ и транзитом через территорию одной или нескольких стран-членов ЕКМТ транспортными средствами, зарегистрированными в стране-члене ЕКМТ.

Квотой называется количество разрешений, предоставляемое ежегодно странам-членам ЕКМТ. Принципы расчета данных квот определяются Советом Министров.

Выделяют основные четыре принципа работы ЕКМТ:

- 1) квота должна быть символом наивысшего качества в международных автомобильных перевозках;
- 2) квота должна содействовать повышению производительности и открытию рынков;
- 3) квота должна усиливать и гармонизировать контроль и санкции;
- 4) квота разрешений должна распределяться на основе реальных потребностей и её эффективного использования

[3].

По разрешениям ЕКМТ автомобильные перевозки выполняются между странами-участницами ЕКМТ или транзитом через территорию одной или нескольких стран-участниц ЕКМТ транспортными средствами, зарегистрированными в какой-либо стране-участнице ЕКМТ. В связи с тем, что вышеописанная система ориентирована, в том числе, на экологический аспект транспортной деятельности, с 1 января 2014 года разрешения выдаются только для транспортных средств, которые имеют установленный класс экологичности «Евро-3», «Евро-4», «Евро-5» и «Евро-6».

#### Проблемы и перспективы работы по ЕКМТ

По результатам аналитической с данными по работе российских и иностранных перевозчиков по ЕКМТ за последние 5-6 лет, удалось определить, что количество перевозок осуществлённых зарубежными перевозчиками практически в три раза больше, по сравнению с отечественными. Данная ситуация показывает величину диспропорции перевозок, а также указывает на снижение конкурентоспособности отечественных перевозчиков. Основной причиной данной проблемы является не паритетность распределением базовых квот многосторонних разрешений среди стран-участниц.[3]

Давление иностранных автоперевозчиков через разрешения ЕКМТ к российским внешнеторговым грузам в условиях резкого уменьшения спроса и стоимости фрахта сильно отразилось на отечественных автоперевозчиках, что и послужило своего рода «стартовой точкой» при принятии Минтрансом России решения о снижении базовой квоты ЕКМТ для России начиная с 2011 года.

В течение нескольких лет Министерство транспорта России (уполномоченный орган по вопросам ЕКМТ в России) проводило работу с Генеральным секретарем Европейской конференции министров транспорта и в его рабочих органах в части необходимости реформирования системы многосторонних разрешений. Это дало бы для России возможность получить справедливую для нее квоту разрешений, как одного из крупнейших импортеров Европы, а главное – добиться снижения избыточного давления иностранных автоперевозчиков других стран на российский рынок.

В 2014 г., после неоднократно предпринятых усилий решить этот вопрос, российская сторона приняла решение ограничить базовую квоту разрешений ЕКМТ для России, уменьшив и возможности иностранных перевозчиков работать по этим разрешениям на нашем рынке. Таким образом, в 2015 году Россия практически перекрывает свой транспортный рынок для осуществления перевозок грузов из третьих стран иностранным автотранспортным компаниям, снизив количество базовых квот до 16 штук. Данное заявление было сделано на прошедшей в Париже 26 сентября 2014 г. очередной встрече группы по автомобильному транспорту Международного Транспортного Форума, на котором определялся план работы по ЕКМТ на предстоящий год. Таким образом, перевозчики Европы будут иметь в 2015 году серьезные ограничения при перевозке грузов в Россию из третьих стран.

При этом, согласно исследованию, проведенному ВЦИОМ, большинство отечественных перевозчиков видят ситуацию с изменением количества базовых квот ЕКМТ (Рисунки 2,3).[1]



Рис.2. Ответ респондентов на вопрос «Вы лично поддерживаете или нет решение об увеличении базовых квот на разрешения ЕКМТ на международные перевозки?»



Рис.3. Ответ респондентов на вопрос «Как Вам кажется, в целом для отрасли увеличение базовых квот ЕКМТ будет иметь скорее положительный характер или отрицательные последствия?»

Как видно из данных, видение данного вопроса о изменении количества разрешений ЕКМТ у органов государственной власти и представителей отрасли несколько расходятся. При этом поменять решение о сокращении квот на 2015г. уже не представляется возможным.

Выводы.

Таким образом, одним из последствий снижения базовых квот может стать уменьшения показателя обновления подвижного состава, так как существующий автопарк уже физически и морально устаревает, а одно из основных условий работы по ЕКМТ – это наличие подвижного состава отвечающего современным экономичным и экологическим нормам. Ввиду меньшего количества разрешений, мотивационная составляющая к скорейшему обновлению парка будет ниже.

Другим весьма негативным фактором, влияющим на конкурентоспособность российских автоперевозчиков, будет снижение вероятности грузовой «обратной ездки» из третьих стран. При осуществлении импорта или экспорта по ЕКМТ, отечественному перевозчику гораздо проще найти обратную загрузку в соседних странах Европы, тем самым увеличив свою эффективность, снизив порожний пробег. В системе ЕКМТ загрузка даже не значительной партии груза по минимальным (или демпинговым) ставкам позволяет характеризовать такую перевозку как грузовой рейс, в том числе возвратный в страну регистрации.

Действия, которые необходимо предпринять на национальном уровне для повышения конкурентоспособности отечественных перевозчиков, состоят в обновлении технических, технологических и правовых механизмов для модернизации отрасли. Одними из основных элементов данной программы должны стать:

- поддержка компетентных органов государства обновлению парка подвижного состава, используемого для МАП;

- создание крупных логистических и транспортно-распределительных комплексов ближе к границе Российской Федерации;

- совершенствование механизма распределения базовых квот среди стран-участниц ЕКМТ, а также самих разрешений ЕКМТ среди российских перевозчиков

Отдельно заслуживает внимание, необходимость жесткого контроля использования двух- и многосторонних разрешений зарубежными перевозчиками из Европы и Азии. [4]

#### Список литературы

1. ВЦИОМ. Пресс-выпуск №2303 [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://wciom.ru/index.php?id=459&uid=114125>, свободный
2. Многосторонняя квота ЕКМТ. Руководство пользователя [Текст]. – Париж, 2014. – 157 с
3. Тянь, В. Понаехали в Россию // Российская Бизнес-газета. – 2013. - № 896. – С. 3.
4. Холопов, К.В. Развитие конкуренции на рынке автомобильных перевозок грузов в Российской Федерации / К.В. Холопов, А.И. Забоев // Российский внешнеэкономический вестник. – 2014. – № 9. – С. 78-84.

## МОДЕРНИЗАЦИЯ ДЕМПФЕРОВ ДЛЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ

Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Шепелев М.И.

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им И.А. Бунина, г.Елец

Известно, что экипажная часть локомотивов и пассажирских вагонов состоит из колёсных пар, которые связаны с рамой тележек и кузовом через систему упругих элементов, балансиров, надрессорных балок и элементов, поглощающих энергию колебаний. Когда колёсные пары проходят неровности пути (стыки рельс, детали стрелочных переводов, пучины и т.д.) в рессорном подвешивании возникают динамические нагрузки, в том числе и ударные. При этом, необрессоренные части экипажей испытывают значительные по величине ускорения нередко достигающие 25g. Появлению динамических нагрузок способствуют так же дефекты колёсных пар, местные пороки поверхности катания, эксцентричная посадка колеса на ось, неуравновешенность колёсной пары и т.д. Поэтому рессорное подвешивание, уменьшая ускорения обрессоренного строения и вертикальные нагрузки на него и путь, обеспечивает плавность хода подвижному составу. К основным характеристикам рессорного подвешивания обычно относят суммарную жёсткость ступеней рессорных комплектов, степень демпфирования и распределение демпфирования по его ступеням. Потребную величину демпфирования фрикционными гасителями оценивают зоной трения подвешивания  $\delta_{тр}$ , гидравлическими гасителями коэффициентом демпфирования  $\alpha$  и гасителями конструкционного демпфирования декрементом колебаний  $\delta$ . Наиболее распространёнными и эффективными в настоящее время являются гидравлические гасители колебаний.

При проектировании таких гасителей силу сопротивления определяют исходя из скорости относительной деформации подвижных элементов и коэффициента пропорциональности, который является параметром гасителя. Конструкция современного гидравлического гасителя представляет собой рабочий цилиндр, в котором подвижно расположен шток с поршнем, причём последний снабжён клапанами с дроссельными отверстиями. Несмотря на свою эффективность использования такие гасители обладают рядом недостатков и наиболее существенными из них являются – сложность конструкции, за счёт наличия клапанных устройств, а следовательно и низкая надёжность, невозможность в автоматическом режиме изменять свою демпфирующую характеристику, и самое главное то, что в рассеивании энергии не все его детали участвуют в этом процессе.

Учитывая вышеизложенное в ЕГУ им. И.А. Бунина, на кафедре прикладной механики и инженерной графики проводится НИР совместно с Елецким центром организации работы железнодорожных станций Белгородского региона ЮВЖД и МИИТ, и одним из её разделов, является разработка перспективных адаптивных гидромеханических амортизаторов для магистральных, маневровых и промышленных локомотивов, а так же пассажирских вагонов, вагонов электропоездов и ВСНТ. Анализ научно-исследовательских отчётов в этой области техники, литературных источников, отечественных, и зарубежных патентов позволил разработать более простую и эффективную конструкцию гасителя колебаний, которые могут быть использованы не только на рельсовых но и безрельсовых транспортных средствах. Такая конструкция признана изобретением (RU2464462).

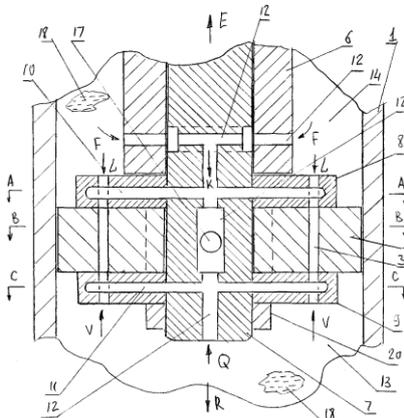


Рис.1.

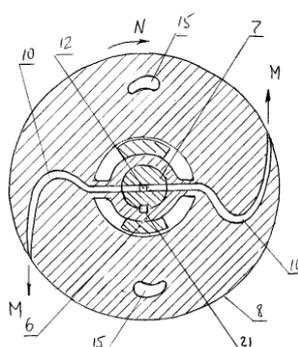


Рис.2.

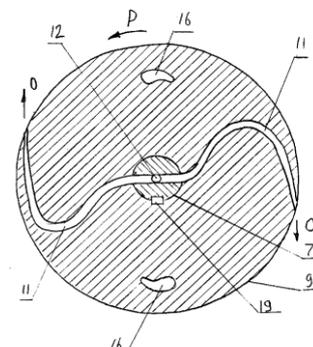


Рис.3.

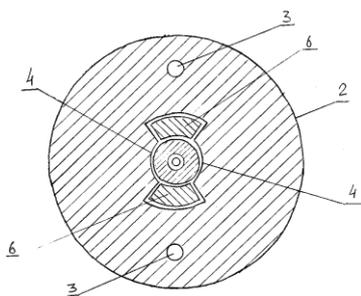


Рис.4.

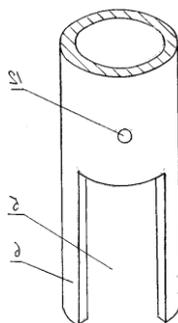


Рис.5.

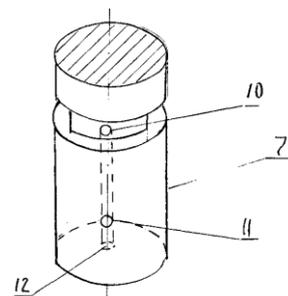


Рис.6.

Адаптивный гидромеханический демпфер состоит из рабочего цилиндра 1 с подвижно расположенным в нем поршнем 2, снабженного дроссельными каналами 3, установленным своими выступами 4 в пазах 5 полого штока 6. В полой штоке 6 подвижно установлен шток сплошного сечения 7, на котором жестко закреплен верхний диск 8 и нижний диск 9 с выполненными в них криволинейной формы каналами 10 и 11, соединенными с каналом 12, расположенном в штоке сплошного сечения 7 и соединяющим подпоршневую полость 13 с надпоршневой полостью 14 демпфера. Каналы 3 поршня 2 примыкают к спиралеобразным сквозным пазам 15 и 16, выполненным в верхнем и нижнем дисках 8 и 9. В канале 12 подвижно размещено шаровой формы тело 17, а внутренний объем рабочего цилиндра 1 заполнен рабочей жидкостью 18. Шток сплошного сечения 7 соединен с нижним диском 9 шпонкой 19 и снабжен гайкой 20. Верхний диск 8 также с помощью шпонки 21 соединен со штоком сплошного сечения 7.

Работает адаптивный гидромеханический демпфер следующим образом. Например, при рабочем ходе, когда поршень 2 совместно с верхним диском 8 и нижним диском 9, а также с полым штоком 6 и штоком сплошного сечения 7 перемещаются по стрелке Е, рабочая жидкость 18, находящаяся в надпоршневой полости 14, по стрелкам F поступает в каналы 12 и двигаясь в направлении стрелки К, перемещает в этом же направлении шаровой формы тело 17 так, что оно перекрывает канал 12, находящийся в нижнем диске 9, и его каналы криволинейной формы 11. Вследствие этого, рабочая жидкость 18 проходит в каналы криволинейной формы 10 верхнего диска 8. Одновременно рабочая жидкость 18 проходит в спиралеобразные сквозные пазы 15 по стрелкам L и, проходя через дроссельные каналы 3 поршня 2 и спиралеобразные пазы 16 нижнего диска 8, попадает в подпоршневую полость 13 рабочего цилиндра 1. Такое движение рабочей жидкости 18 создает некоторое сопротивление движению поршня 2 в направлении обратном стрелке Е. В тоже время, рабочая жидкость 18, истекая из каналов криволинейной формы 10 по стрелкам M верхнего диска 8, создает крутящий момент на последнем, действующий по стрелке N (см. Рисунок 2), что приводит к перекрытию спиралеобразными сквозными пазы 15 дроссельных каналов 3 поршня 2, препятствуя тем самым поступательному движению поршня 2 в направлении обратном стрелке Е. Но так как верхний диск 8 получил угловой поворот под действием крутящего момента, то он закручивает и шток сплошного сечения 7, который выполнен из упругих сортов стали, а также, работая как торсион гасит амплитуду перемещения поршня 2. После того как движение поршня 2 в направлении стрелки Е прекратится, под действием упругих сил, шток сплошного сечения 7 возвращается в исходное положение и детали демпфера занимают исходное положение такое, как это показано на рис.1. После режима сжатия наступает режим отбоя, при котором поршень 2, совместно со штоками 6 и 7, а также дисками 8 и 9, совершает поступательное движение в направлении обратном стрелке Е, т.е. перемещается по стрелке R (см. Рисунок 1). В этом случае рабочая жидкость 18, находящаяся в подпоршневой полости 13, поступает по стрелкам V в дроссельные каналы 3 через спиралеобразные пазы 16 нижнего диска 9 в спиралеобразные пазы 15 верхнего диска 8, истекая в надпоршневую полость 14, а также по стрелке Q в канал 12 перемещая тело шаровой формы 17 в этом же направлении пока оно не перекроет этот канал в верхнем диске 8. После этого рабочая жидкость 18 проходит через криволинейной формы каналы 11 (см. Рисунок 2), истекая из них по стрелкам O, создавая тем самым крутящий момент приложенный к нижнему диску 9, действующей по стрелке P, что приводит к перекрытию спиралеобразных пазов 16 с дроссельными каналами 3 поршня 2. Такой угловой поворот нижнего диска 9 приводит к сопротивлению движения потока рабочей жидкости 18 из подпоршневой полости 13 в надпоршневую полость 14 и упругой угловой деформации штока сплошного сечения 7, что позволяет тем самым изменять в автоматическом режиме коэффициент демпфирования гасителя, обеспечивая плавность хода рельсовых и безрельсовых транспортных средств. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Для оценки работоспособности предложенного технического решения и определения его основных характеристик, например, применительно к тепловозу 2ТЭ10Лпримем следующие исходные данные. Рабочим

телом является жидкость АМГ с плотностью  $\gamma = 86,6 \text{ кгс}\cdot\text{с}^2/\text{м}^4$ , кинематической вязкостью  $\nu = 14 \text{ ССТ} = 14\cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$  и динамической вязкостью  $\mu = 866\cdot 10^{-6} \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ . Диаметр поршня, как и у серийного гасителя выберем равным  $D_n = 80 \text{ мм}$ , высота поршня  $L_0 = 94 \text{ мм}$ ; длина штока  $l = 150 \text{ мм}$ , число каналов в поршне  $n = 4$ , диаметр канала  $d_k = 1,5 \text{ мм}$ . Усилие сопротивления, создаваемое амортизатором, в практике проектирования рельсовых и безрельсовых транспортных средств обычно привязывают к поступательной скорости поршня  $V_{II} = 0,52 \text{ м/с}$  (100 кол/мин при ходе штока 100 мм), которая по данным ряда отечественных и зарубежных источников [2,3] является одним из основных режимов при их контрольном испытании в стендовых и эксплуатационных условиях. Поэтому усилие сопротивления предлагаемого амортизатора для вышеуказанных его геометрических параметров при давлении 5,0 МПа при сжатии может достигать значений  $P_{сж} = 250 \text{ кгс}$  и более. Будем также считать, что концевые участки криволинейных каналов 11 (см. Рисунок 2 и Рисунок 3) являются в принципе коническими конфузорами, у которых потеря давления зависит от квадрата скорости потока в канале с меньшим диаметром и от коэффициента местных потерь определяемого по зависимости [3]:

$$\delta_i = \zeta \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

где,  $\zeta$  – безразмерный коэффициент гидравлических потерь, зависящий от отношения диаметров участков криволинейного канала. Значение этого коэффициента лежит в пределах 1,2-3,0;

$V$  – скорость рабочей жидкости в концевой части криволинейного канала, принята равной 708 м/с [2];

$\rho$  – плотность рабочей жидкости, 86,6 кгс·с<sup>2</sup>/м<sup>4</sup>.

Расход рабочей жидкости, проходящий через конфузор можно определить по формуле:

$$Q = \mu AV = 0,62 \cdot 4,9 \cdot 10^{-6} \cdot 708 = 0,0028 \text{ м}^3/\text{с}, \quad (2)$$

где,  $A$  – площадь сечения концевой части канала,  $4,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

$\mu$  – коэффициент расхода, может быть принят 0,62.

Используя формулы (1) и (2) определим составляющую реакции гидродинамической силы  $F$ , способствующей угловому повороту штока сплошного сечения 7 (см. Рисунок 2) по зависимости:

$$F = \rho QV = 86,6 \cdot 0,0028 \cdot 708 = 132 \text{ кгс},$$

но так как в дисках выполнено по два канала, то суммарная реакция или в принципе окружного усилия способствующего угловому повороту штока сплошного сечения составит 264 кгс.

Вычислим крутящий момент на поршне  $T$ , который жестко присоединена к сплошному штоку  $d_c$  по зависимости:

$$T = 2F \cdot \frac{d_{II}}{2} = 2 \cdot 264 \cdot 0,03 = 15,84 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 158,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

где  $d_{II}$  – диаметр диска равный 60,0 мм.

Определим силу сопротивления движению поршня по формуле:

$$R = -\alpha V_{II} = -3748 \cdot 0,52 = -1949 \text{ кгс}.$$

где,  $\alpha$  – коэффициент демпфирования принят равным 3748 кгс·с/м [2].

В итоге можно определить суммарную силу сопротивления движению поршня:

$$P_{\Sigma} = 2F + R = 264 + 1949 = 2213 \text{ кгс}.$$

Такое значение силы сопротивления перспективного амортизатора работающего на сжатие близко к серийному амортизатору, устанавливаемому в рессорном подвешивании отечественных локомотивов и пассажирских вагонов.

Теперь выберем материал штока Ст65Г  $\sigma_B = 981 \text{ МПа}$  считая, что он работает в области циклического нагружения по симметричному циклу. Тогда определим усталостные напряжения по зависимости  $\sigma_{-1} = 0,4\sigma_B = 0,4 \cdot 981 = 392 \text{ МПа}$ . Величина же касательных напряжений в этом случае составит  $t_{-1} = 0,58\sigma_{-1} = 0,58 \cdot 392 = 227 \text{ МПа}$ . Определим допускаемые касательные напряжения для штока, считая,

что в запас прочности равен  $n = 7,5$ , тогда последние составят  $[t_{-1}] = \frac{t_{-1}}{n} = \frac{227}{7,5} = 30,2 \text{ МПа}$ .

Вычислим значение диаметра сплошного штока  $d_{ш}$  по известной зависимости:

$$d_{ш} = \sqrt[3]{\frac{16G}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 158,4 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 30,2}} = 29,89 \text{ мм}$$

Окончательно примем  $d_{ш} = 30 \text{ мм}$ .

Результаты исследования рекомендуются как отечественным, так и зарубежным НИИ, конструкторским и производственным структурам тяжёлого машиностроения для дальнейшего изучения и доработки предложенного амортизатора с целью возможного внедрения его в практику.

#### Список литературы

1. Гидравлические амортизаторы автомобилей. Дербаремдикер А.Д. М.: Машиностроение, 1985-200с.
2. Радин С.Ю. Влияние изменения сопротивления дросселей на демпфирующие свойства гидромеханических амортизаторов транспортных средств. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. ОрёлГТУ, 2009.-145с.
3. Основы гидро - и пневмоприводов. Чупраков Ю.И. М.: Машиностроение, 1966-159с.

### МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕССОРНОГО ПОДВЕШИВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЭКИПАЖЕЙ

Сливинский Е.В., Гридчин Д.В., Суздальская Е.А.

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им И.А. Бунина, г.Елец

Известно [1-3], что парк вагонов железных дорог РФ по своему назначению разделяют на три основные группы – пассажирские вагоны, грузовые вагоны и вагоны промышленного транспорта. Наиболее широкое распространение в структуре ОАО «РЖД» получили грузовые вагоны предназначенные для широкого круга проведения работ по транспортировке различных грузов.

Все известные конструкции вагонов независимо от их назначения состоят из пяти основных узлов, а именно: ходовой части, рамы, ударно-тяговых приборов, кузова и пневматического не прямодействующего тормоза. Ходовые части обеспечивают безопасное движение вагонов по рельсовому пути с необходимой плавностью хода и наименьшим сопротивлением движению. Ходовые части монтируют обычно на тележках и наиболее распространёнными из них являются двухосные тележки конструкции ЦНИИ-ХЗ. На рамах размещается автосцепное и тормозное оборудование и они, воспринимают все основные нагрузки, действующие на вагон. Конструктивно рама выполнена из продольных (хребтовая и боковые) и поперечных (передние, шкворневые и промежуточные) балок. На передних балках рам установлены автосцепки с поглощающими аппаратами. Все вагоны оборудованы тормозным оборудованием, представляющим собой комплекс устройств, создающих сопротивление движению поезда с целью регулирования скорости его движения. [1-3].

Существенным недостатком всех известных конструкций рессорного подвешивания грузовых вагонов является то, что все они, кроме пневматического, не имеют возможности саморегулирования в автоматическом режиме своих жесткостных характеристик в зависимости от внешних динамических воздействий от неровности пути на последние.

По результатам проведенного анализа библиографических и патентных источников разработано перспективное торсионное подвешивание для грузовых вагонов признанное изобретением (Решение ФИПС на выдачу патента на изобретение по заявке №2013116118/11 от 12.09.14г).

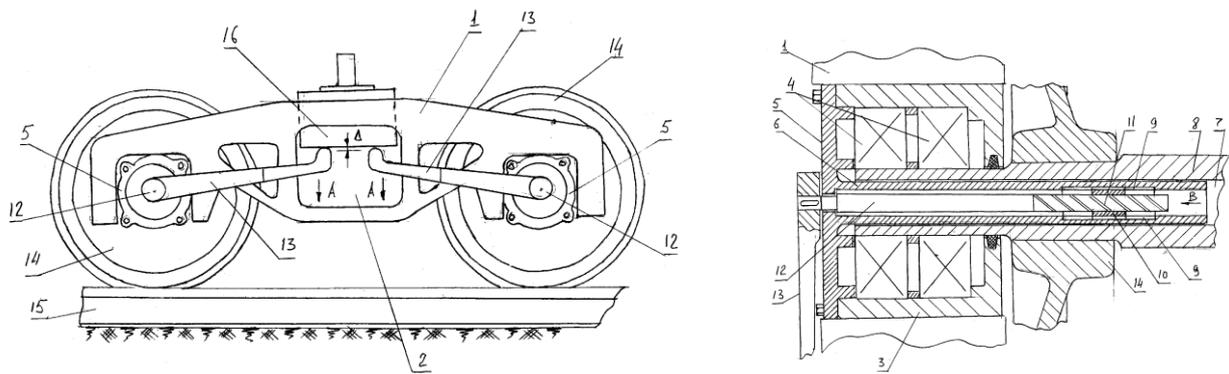


Рис.1.

Так на Рисунке 1 показан общий вид тележки грузового вагона сбоку и укрупнённая часть одного из буксовых узлов колёсной пары вид сверху.

Работает тележка грузового вагона следующим образом. Если вагон находится в состоянии покоя и не загружен его кузов грузом, его тележка находится в таком состоянии, как это показано на Рисунке 1. Предположим, что кузов грузового вагона (на рисунке кузов не показан) оказался загруженным, то под действием такой нагрузки наддресорная балка 16 переместится по вертикали на какую-то величину  $\Delta$ , при этом рычаги 13 получат также перемещения по стрелкам А. Но так как рычаги 13 жёстко закреплены на упругих стержнях 12, то они произведут закрутку их на некоторый угол. Такой угловой поворот упругих стержней 12 за счёт наличия на них длиноходовой резьбы 11 позволит втулке 10 получить в шлицах 9 некоторое небольшое поступательное перемещение по стрелке В. Допустим теперь, что грузовой вагон находится в движении и на колёсные пары тележки действуют динамические составляющие усилий, возникающие от неровности пути. В этом случае в какой-то момент времени наддресорная балка 16 переместится на величину большую, чем перемещение  $\Delta$  (см. Рисунок 1). При этом рычаги 13 получат ещё большее перемещение по стрелкам А, а упругие стержни 12, получив дополнительный угловой поворот, так же за счёт наличия резьбы 11 переместят по стрелке В свои втулки 10. В этом случае рабочая длина упругих стержней 12 уменьшится, и их крутильная жёсткость возрастет. Поэтому рост крутильной жёсткости упругих стержней будет способствовать демпфированию динамических нагрузок, что позволит повысить плавность хода грузового вагона. После исчезновения указанной нагрузки за счёт упругих свойств упругих стержней 12, последние возвратятся в исходное положение, а рычаги 13 вновь займут исходное положение, такое, как это показано на Рисунке 1. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Понятно, что предложенная конструкция рессорного подвешивания требует тщательного изучения и расчёта его основных конструктивных параметров, и поэтому рассмотрим возможность использования её применительно к универсальному крытому вагону Алтайского вагоностроительного завода модели 11-217 объёмом  $120 \text{ м}^3$ , который имеет следующие характеристики – грузоподъёмность  $P = 68 \text{ т}$ , тара  $T = 24 \text{ т}$ , длина по осям сцепления автосцепок  $2L_a = 14,73 \text{ м}$ , длина рам по концевым балкам  $2L_p = 13,87 \text{ м}$ , технический коэффициент тары  $K_T = 0,35$ , нагрузка колёсной пары на рельс  $P_0 = 228 \text{ кН}$ , конструкционная скорость  $V = 120 \text{ км/ч}$ .

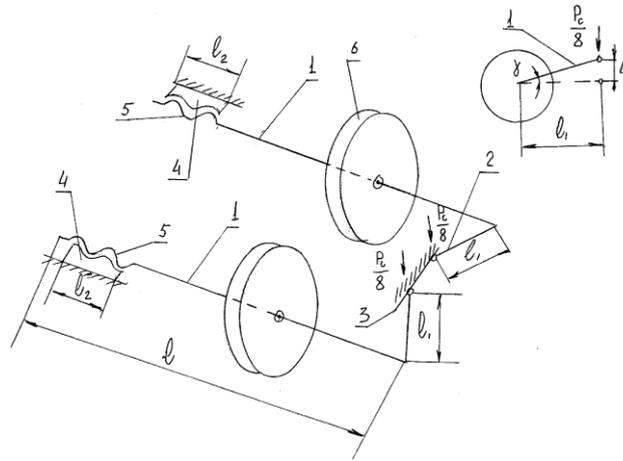


Рис.2.

На Рисунке 2 показана расчётная схема применительно к одному комплекту торсионного подвешивания, расположенного, например, с правой стороны тележки грузового вагона, торсионы 1 которого длиной  $l$  контактируют своими рычагами 2 с наддрессорной балкой 3, имеющими длины  $l_1$ .

Стержни торсионов 1 расположены в пустотелых осях колёсных пар 6. К рычагам 2 приложены нагрузки, возникающие от действия собственной массы вагона  $P_c = (P+T)$  и при этом на каждую наддрессорную балку приходится нагрузка  $P_c/2$ . Следовательно, на каждый рычаг 2 действует внешняя нагрузка  $P_c/8$ . На каждой из тележек вагона установлено по четыре торсиона 1 с правой и с левой их сторон под наддрессорной балкой. Каждый из торсионов 1 имеет диаметр  $d_T$ , который получает при действии указанных нагрузок угловой поворот  $\gamma$  при линейном перемещении  $\Delta$  рычагов 2 также при воздействии на них нагрузок  $P_c/8$ . Торсионы имеют крутильную жёсткость  $J$ , определяемую по зависимости:

$$J = \frac{GI_\rho}{ld_T^2},$$

где:  $P$  – грузоподъёмность вагона 68,0 т;

$T$  – тара вагона 24,0 т;

$G$  – модуль упругости второго рода и для материала торсиона  $8 \cdot 10^4$  МПа;

$I_\rho$  – полярный момент инерции торсиона,  $I_\rho = 0,1d^4$  см<sup>4</sup>.

Для перемещения шлицевых втулок 4, по стержням торсионов 1 служит длинноходовая резьба 5 выполненная на последних. Приведём численный пример расчёта ряда параметров, характеризующих данную торсионную рессору. Используя вышеизложенные данные, видно, что на каждую из опор рессорного комплекта

действует сила  $\frac{P_c}{8} = \frac{P+T}{8} = \frac{68+24}{8} = 11,5$  т. Согласно данным работы [1] коэффициент динамики грузового

4-хосного вагона грузоподъёмностью 68 т составляет  $K_D = 0,46$ , следовательно, динамическая нагрузка на каждый из торсионов расчетной схемы составит  $P_D = (11,5 \cdot 0,46) + 11,5 = 16,75$  т. Тогда крутящий момент,

создаваемый такой нагрузкой на каждый из двух торсионов составляет  $M_{кр} = P_D \cdot l_1 = 16,79 \cdot 0,3 = 5,0$  т·м, где  $l_1 = 300$  мм и характеризует длину рычага 2 торсиона, принятую конструктивно исходя из габаритных размеров окна стальной боковины тележки вагона, равного по длине 686 мм. Теперь вычислим диаметр  $d_T$  стержня торсиона по

зависимости:  $d_T = \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 50 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 931}} = 65$  мм.

где:  $[\tau] = 0,5\sigma_E = 0,5 \cdot 1862 = 931$  МПа;

$\sigma_E = 1862$  МПа – предел прочности для стали марки 65С2ВА по ГОСТ14959-79, из которой рекомендуется изготавливать стержни торсионов [1,2].

Исходя из геометрических характеристик тележки ЦНИИ-ХЗ грузового вагона, установим конструктивно длину стержня торсиона  $l = 400$  мм и тогда определим угол закручивания стержня торсиона  $\gamma_c$  от действия статической нагрузки по зависимости [1,2]

$$\lambda_c = \frac{2l[\tau]}{Gd_T} = \frac{2 \cdot 40 \cdot 9310}{8 \cdot 10^5 \cdot 6,5} = 0,143 \text{ рад} = 8,16^\circ.$$

Следовательно, статический прогиб в этом случае составит:

$$\Delta_c = \gamma_c l_1 = 0,143 \cdot 300 = 42,9 \text{ мм} = 43 \text{ мм}.$$

Вычислим теперь жёсткость торсиона при статическом нагружении по зависимости:

$$Ж = \frac{GI_9}{ld_T^2} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 6,5^4}{40,0 \cdot 6,5^2} = 84,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}.$$

Допустим, что угол  $\alpha$  равен  $20^\circ$  и понятно, что прогиб торсиона  $\Delta_d$  под действием динамического воздействия на торсион с  $\Delta_c = 43$  мм, например, увеличится на 5 мм. Тогда линейное перемещение траверсы 5 по стрелке В окажется равным:

$$\Delta_1 = \frac{5,0}{\text{tg } \alpha} = \frac{5,0}{\text{tg } 20^\circ} = \frac{5,0}{0,3640} = 13,7 \text{ мм}.$$

Следовательно, длина рабочей части торсиона уменьшится с  $l = 400$  мм до  $l_1 = 400 - 13,7 = 386,3$  мм.

В этом случае жёсткость торсиона изменится и окажется равной:

$$Ж_1 = \frac{GI_9}{l_1 d_T^2} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 6,5^4}{38,6 \cdot 6,5^2} = 87,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}.$$

Теперь также предположим, что величина  $\Delta_c$  получила ещё большее приращение, например, на величину равную 50 мм и тогда:

$$\delta_2 = \frac{50}{\text{tg } \alpha} = \frac{50}{\text{tg } 20^\circ} = \frac{50}{0,3640} = 137,3 \text{ мм}.$$

Следовательно, длина рабочей части торсиона ещё более уменьшится и составит  $l_2 = 400 - 137,3 = 262,7$  мм. Тогда также понятно, что жёсткость торсиона возрастет и составит:

$$Ж_2 = \frac{GI_9}{l_2 d_T^2} = \frac{8 \cdot 10^5 \cdot 0,1 \cdot 6,5^4}{26,3 \cdot 6,5^2} = 128,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}.$$

Видно, что с предыдущей жёсткостью  $Ж_1$  жёсткость  $Ж_2$  возросла в 1,46 раз, а, следовательно, демпфирующая способность торсиона также увеличилась. Определим теперь для последнего случая угол закручивания  $\gamma_2$  торсиона:

$$\gamma_2 = \frac{2l_2[\tau]}{Gd_T} = \frac{2 \cdot 26,3 \cdot 9310}{8 \cdot 10^5 \cdot 6,5} = 0,05 \text{ рад} = 5,36^\circ.$$

Для такого режима работы, когда  $l$  уменьшается с 400 мм до 263 мм суммарный угол закручивания торсиона составит:

$$\gamma_\Sigma = \gamma_c + \gamma_2 = 8,16^\circ + 5,36^\circ = 13,52^\circ,$$

а суммарный прогиб будет:

$$\Delta_\Sigma = \Delta_c + \gamma_2 l_2 = 43 + 0,09 \cdot 263 = 66,67 \text{ мм}.$$

Известно [2], что у грузовых вагонов статический прогиб рессор не превышает 0,05 м, что ограничено условием сцепления гружёных вагонов с порожними. В рассмотренном же нами примере статический прогиб торсиона составил  $\Delta_c = 43$  мм, что близко по величине к нормируемому значению. Для некоторого увеличения  $\Delta_c$  торсионной рессоры можно, например, снизить диаметр её рабочего стержня до значения 60 мм. Теперь произведём расчёт касательных напряжений, возникающих в стержне торсиона при суммарном  $\gamma_\Sigma$  по зависимости:

$$\tau = \frac{\gamma_\Sigma Gd_T}{2l} = \frac{0,233 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 6,5}{2 \cdot 40} = 1514 \text{ МПа}.$$

Видно, что оно больше величины ранее установленного допускаемого значения  $[\tau] = 931 \text{ МПа}$ . Понятно, что в этом случае на значение  $\tau$  существенное влияние оказывает длина торсиона  $l$  и поэтому выберем её равной 700 мм и проверим её на прочность по вышеуказанной зависимости:

$$\tau = \frac{\gamma_{\Sigma} G d_T}{2l} = \frac{0,233 \cdot 8 \cdot 10^5 \cdot 6,5}{2 \cdot 70} = 865 \text{ МПа} < [\tau] = 931 \text{ МПа}.$$

Следовательно, в этом случае условие прочности выполнено. Для данного примера можно окончательно установить геометрические характеристики торсиона для каждого элемента, входящего в рессорное подвешивание тележек, а именно: диаметр стержня торсиона  $d_T = 65 \text{ мм}$ , длина рычага торсиона  $l_1 = 300 \text{ мм}$ , длина рабочей части стержня торсиона  $l = 700 \text{ мм}$ .

При таких геометрических размерах, определим статический угол закручивания стержня торсиона  $\gamma_c'$  и статический прогиб его  $\Delta_c'$  по зависимостям:

$$\gamma_c' = \frac{2l[\tau]}{G d_T} = \frac{2 \cdot 70 \cdot 8650}{8 \cdot 10^5 \cdot 6,5} = 0,23 \text{ рад} = 13,3^\circ.$$

$$\Delta_c' = \gamma_c' l_1 = 0,23 \cdot 300 = 69 \text{ мм}.$$

Видно, что статический прогиб при  $l = 700 \text{ мм}$  выше, чем его нормируемая величина для грузовых вагонов и равная 50 мм, а это говорит о том, что плавность хода грузового вагона будет выше в сравнении с плавностью хода его при длине рабочей части торсиона равной 400 мм, несмотря на то, что нормативная величина прогиба стала выше на 19 мм.

Результаты исследования рекомендуются отечественным и зарубежным научным и производственным структурам проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению грузовые вагоны для возможного внедрения разработки в практику.

#### Список литературы

1. Вершинский С.В и др. Динамика вагона. М.: Транспорт, 1972.-304с.
2. Шадур Л.А, Челноков И.И. Вагоны. М.: Транспорт, 1965.-365с.

## НЕОБХОДИМОСТЬ ВНЕДРЕНИЯ ПРОТОКОЛА IPV6 СЕРВИС-ПРОВАЙДЕРАМИ

Михлевич Д.С., Подсумкова Л.А.

СГТУ имени Гагарина Ю.А., г.Саратов

В основе работы современного Интернета лежит протокол сетевого уровня IPv4. Данный протокол был разработан более 30 лет назад и его спецификация описана в RFC791, в далеком 1981 году. Стек протоколов TCP/IP пришел на смену еще более старому протоколу NCP (NetworkControlProgram), описанным в RFC33. Все соединения и способы связи маршрутизаторов, тогда еще, сети ARPANET – IMP (InterfaceMessageProcessor) описывались индивидуально. О том, что из себя представляла сеть ARPANET в 1975 году можно подробно почитать в BNNReport 1822 [1]. Переход сети ARPANET с протокола NCP на стек протоколов TCP/IP произошел 1 января 1983 года. Именно тогда термин «Интернет» закрепился за сетью ARPANET [2].

Реализация IPv4 оказалась довольно успешной. Сеть ARPANET стала расти еще быстрее. В 1984 году, наряду с сетью ARPANET, появилась университетская сеть NFSNet, которая по темпам роста обогнала ARPANET и полностью вытеснила последнюю в 1990 г. Версия 4 на самом деле была первой рабочей версией протокола IP (InternetProtocol) [3]. Во время разработки протокола IPv4 среди прочих, стоял вопрос о выборе размерности адресации. В IP адресе заложена информация как о номере сети, так и о номере конечного хоста. Сеть ARPANET была научно-исследовательской. Для целей научного эксперимента размер IPv4 адреса был выбран 32-битам. При полной утилизации всего адресного пространства IPv4 количество уникальных адресов составляет:  $2^{32}$  или 4 294 967 296. Для нужд эксперимента этого было вполне достаточно, чтобы адресовать каждый хост, подключенный к сети с большим, но обозримым резервом. Номера IP сетей новым участникам выделялись крупными блоками с маской /8 (класс А). Не сложно посчитать, что таких сетей может быть не более 256, а с учетом зарезервированного адресного пространства и мультикастовых адресов получается 216. Более мелким организациям выдавались сети с маской /16 (класс В). Затем в связи с нехваткой адресов в 1993 г., институтом

InternetEngineeringTaskForce (IETF) была придумана бесклассовая адресация CIDR (ClasslessInter-DomainRouting), описанная в RFC1518. Размер выдаваемой сети соответствующим координационным центром с течением времени только уменьшался, а требования к запросу на получение нового блока IP-адресов ужесточались.

Интернет продолжал бурно расти и развиваться в геометрической прогрессии. И через какое-то время стал коммерческим. Бурному развитию сети способствовало появление протокола HTTP в 1989 году [2]. В это время начинают образовываться различные организации с административными, координационными и управляющими функциями во главе с агентством InternetAssignedNumbersAuthority (IANA) <https://www.iana.org/>. К Интернету стали подключаться не только Университеты, крупные компании, но и обычные юридические лица, а впоследствии и физические лица. Процедура, а также стоимость подключения к сети уменьшалась. Через какое-то время стало понятно, что IPv4 адресов не хватит на каждое подключенное устройство. Чтобы Интернет продолжал расти, помимо бесклассовой адресации CIDR, в мае 1994 г., придумали технологию NAT (NetworkAddressTranslation), описанную в RFC1631. Данная технология позволяет конечным пользователям в своих локальных сетях не использовать публичные IP-адреса, а использовать так называемые «частные» IP из специально выделенных блоков согласно RFC1918. Данные блоки отсутствуют в Интернете. Устройства в локальных сетях с «частными» IP-адресами, в случае выхода в Интернет, преобразовываются в один или несколько публичных на специальном NAT-шлюзе. Каждый поток в Интернете идентифицируется 4 параметрами: IP адресом и портом источника, и IP адресом и портом получателя. Для обеспечения обратной трансляции NAT-шлюз должен транслировать и запоминать не только информацию сетевого уровня, но и транспортного. С учетом того, что размерность адресации транспортного уровня также величина конечная и для самых распространенных протоколов TCP, UDP составляет 16-бит, количество одновременных NAT трансляций на один публичный IP-адресе может превышать  $2^{16}$  или 65535, что также следует учитывать при проектировании NAT решений. Использование технологии NAT не позволяет полноценно работать в Интернете, теряется принцип прозрачности. Несмотря на то, что технология NAT существенно продлила жизнь IPv4, с ней не все так гладко. Отдельные протоколы вышестоящих уровней либо совсем не умеют работать, либо для их работы требуется серьезная доработка. Пример: IPsec (RFC2401 — RFC2412), SIP (RFC3261). Также невозможно напрямую, без вспомогательного сервера с публичным IP, общаться конечным хостам друг с другом, располагаясь за разными NAT-шлюзами. Однако большинство клиентских приложений продолжали работать нормально без дополнительных доработок, что замедлило внедрение нового протокола IP.

3 февраля 2011 года агентство IANA распределило последние 5 блоков /8 региональным интернет-регистраторам. На территории, в том числе России, координацией адресного пространства управляет организация RIPENCC со штаб квартирой в Амстердаме (Нидерланды). 14 сентября 2012 года организация RIPENCC распространила информационное сообщение своим клиентам – LIR'ам, в т.ч. Интернет-провайдерам (LIR - LocalInternetRegistry - организация, заключившая договор с RIPE NCC и имеющая право на получение блока IP адресов), о начале распределения последнего блока /8. С этого момента каждому LIR'у можно запросить последний блок /22 (1024 адреса), при этом нужно ещё представить доказательства, что данный блок действительно необходим. В апреле 2012 вышел рекомендательный стандарт RFC6598, в котором IANA выделяет блок IP-адресов 100.64.0.0/10 для использования в качестве «частной» адресации за NAT-шлюзами Интернет-провайдеров. Отдельная «частная» сеть потребовалась для предотвращения возможного пересечения с клиентским адресным пространством из RFC1918. Знайте, если Интернет-провайдер выделил вам IP из сети 100.64.0.0/10, то вы находитесь за NAT-шлюзом. Некоторые провайдеры, в основном сотовые операторы, выделяют «частные» IP из RFC1918. Технология NAT на уровне Интернет-провайдера в последние годы применяется всё чаще и чаще. Если раньше технологию NAT применяли только сотовые операторы, то в настоящее время происходит активное внедрение этой технологии у провайдеров, предоставляющих доступ в Интернет по кабелю. Интернет-провайдеры стали инвестировать в свою инфраструктуру NAT решения. В Интернете стали появляться т.н. IP-брокеры- организации, которые за деньги могут продать или предоставить в аренду IPv4 блоки. Но размер таких блоков невелик, а цена крайне высока. Например, из-за нехватки IPv4 адресов, практически невозможно появление новых Интернет-провайдеров. Также затруднен запуск новых контент-провайдеров, новых дата-центров.

Выход из сложившейся ситуации может быть только один. Это всеобщий переход Интернета на новый протокол сетевого уровня - IPv6 (RFC2460, RFC4291). Помимо IPv6, после IPv4 были придуманы и другие протоколы сетевого уровня, в т.ч. IPv5 [4]. Остальные протоколы проиграли конкуренцию IPv6 практически сразу. Сейчас понятно, что будущим фундаментальным протоколом Интернета будет IPv6. Поэтому его повсеместное внедрение необходимо для дальнейшего развития Интернета. А внедрение Интернет-провайдерами

для конкурентного преимущества, возможности дальнейшего роста и экономии инвестиций на решениях NAT(или аналогичных переходных технологий сосуществования).

Компания Яндекс по состоянию на октябрь 2014 испытывает нехватку не только публичных IPv4 адресов, которых у них 222 208шт., но и «частных». IPv4 адреса из RFC1918 в Яндексе израсходованы наполовину. На текущий момент в Яндексе спроектирован IPv6-only дата-центр. Что говорить о более крупных компаниях, таких как Google. Компания Google уже несколько лет предоставляет доступ до своих сервисов как по IPv4, так и по IPv6, обеспечивая плавный переход со старого протокола на новый. Google является одной из главных компаний, если не самой главной, по популяризации протокола IPv6 в Интернете.

Итак, протокол IPv6 был разработан относительно давно, RFC2460 был выпущен в декабре 1998 года. Но сообщество не стало его использовать далее, чем в тестовых испытаниях. Этому можно найти объяснение, во-первых, выручали технологии CIDR и NAT. Региональные Интернет Регистратуры в основе своей работы выдавали IP адресов ровно столько, сколько это было необходимо. Во-вторых, у агентстваIANA еще было в запасе какое-то количество блоков по /8, которые впоследствии были розданы RIR'ам. Помимо описания самого протокола IPv6 необходимо было придумать вспомогательные протоколы для его работы (ICMPv6, DHCPv6, auto-configuration, др.). Работа над этими протоколами велась и в феврале 2006 года, был выпущен RFC4291 под названием «IPv6 Addressing Architecture». В нем описывается адресная модель, типы адресов, общие рекомендации по конфигурированию.

Что же из себя представляет протокол IPv6? Главным преимуществом перед IPv4 является размер поля адреса, которое увеличилось в 4 раза! 128 бит вместо 32. Это означает, что общее теоретическое количество IP адресов составляет  $2^{128}$  или  $340 \cdot 10^{36}$  адресов. Поистине гигантское количество, которое трудно себе вообразить. Из IPv6 убраны функции, усложняющие работу маршрутизаторов, они не должны фрагментировать пакет, вместо них за это отвечает передающая сторона. Фрагментация поддерживается как опция (информация о фрагментации пакетов вынесена из основного заголовка в расширенные) и возможна только по инициативе передающей стороны. Разработана система автоконфигурации без сохранения состояния, что позволяет получить необходимые установки для доступа в Интернет без дополнительных средств (например, без DHCP). В целом протокол IPv6 призван улучшить производительность, качество и защиту передачи данных.

Новая версия внедряется очень медленно, и это действительно одна из важнейших проблем дальнейшего развития архитектуры Интернета. Нет ярко выраженного драйвера роста, кроме ограниченности IPv4. К тому же сегодня в сети появляются решения, которые нарушают прозрачную архитектуру Интернета – так называемые сетевые трансляторы. Они есть почти у каждой домашней сети: пользователь получает адрес от провайдера, и с помощью этого транслятора он может расширить адресное пространство, подключив на один адрес много устройств. В итоге за таким транслятором скрывается целая сеть. И чем медленнее будет внедряться IPv6, тем больше будет создаваться подобных трансляторов, – скорее всего, они с уровня домашней сети будут выходить и на уровень сетевого провайдера. А поскольку это нарушает основной принцип архитектуры – прозрачность end-to-end между конечными устройствами, то это существенно уменьшает инновационный потенциал и создает проблемы безопасности. Поэтому внедрение адресации IPv6 является сейчас первоочередной задачей в Интернете. Систему уже поддерживают ОС Android, iOS, но поддерживают пока лишь в сетях Wi-Fi, а не в 3G. Кроме того, поддерживает систему почти все опорное сетевое оборудование так же, как и все ведущие операционные системы. Поэтому сегодня главным образом основные провайдеры контента хотят проанализировать, как различные компоненты будут работать по протоколу IPv6. Нужно понять следующее – объединить свои усилия должны все игроки рынка – это не та конфигурация, которая произойдет сама собой. Пользователь даже не будет знать, IPv6 или IPv4 он использует, обычно пользователи не знают даже IP-адрес собственного компьютера. Через несколько лет, если система не будет внедрена, пользователи будут удивляться, почему Интернет стал работать хуже и доступно меньше страниц, а доступные работают медленнее. Этот процесс как раз будет связан с эрозией существующей архитектуры. Очевидно, что внедрение IPv6 является первоочередной задачей для Интернета в данный момент.

Заметный рост префиксов IPv6 в глобальной таблице маршрутизации Интернета начался в 2008 году, Рисунок 1. [5]. Почему это произошло именно в 2008 году сказать сложно. Можно предположить, что этому способствовало появление поддержки корневыми DNS протокола IPv6 в начале 2008 года [8]. Если по состоянию на январь 2008 года в России было 4 AS, которые анонсировали префиксы IPv6, то в январе 2009 г., их уже было 26, а в январе 2011 г., — 105 и к 01.11.2014 их число достигло 530, что составляет 12% от общего количества российских AS, присутствующих в глобальной таблице маршрутизации Интернета. Но это отнюдь не означает, что 12% Интернет-провайдеров готовы предоставлять своим конечным клиентам подключение по IPv6. Это означает, что у 12% сервис-провайдеров в России часть их инфраструктуры поддерживает IPv6.

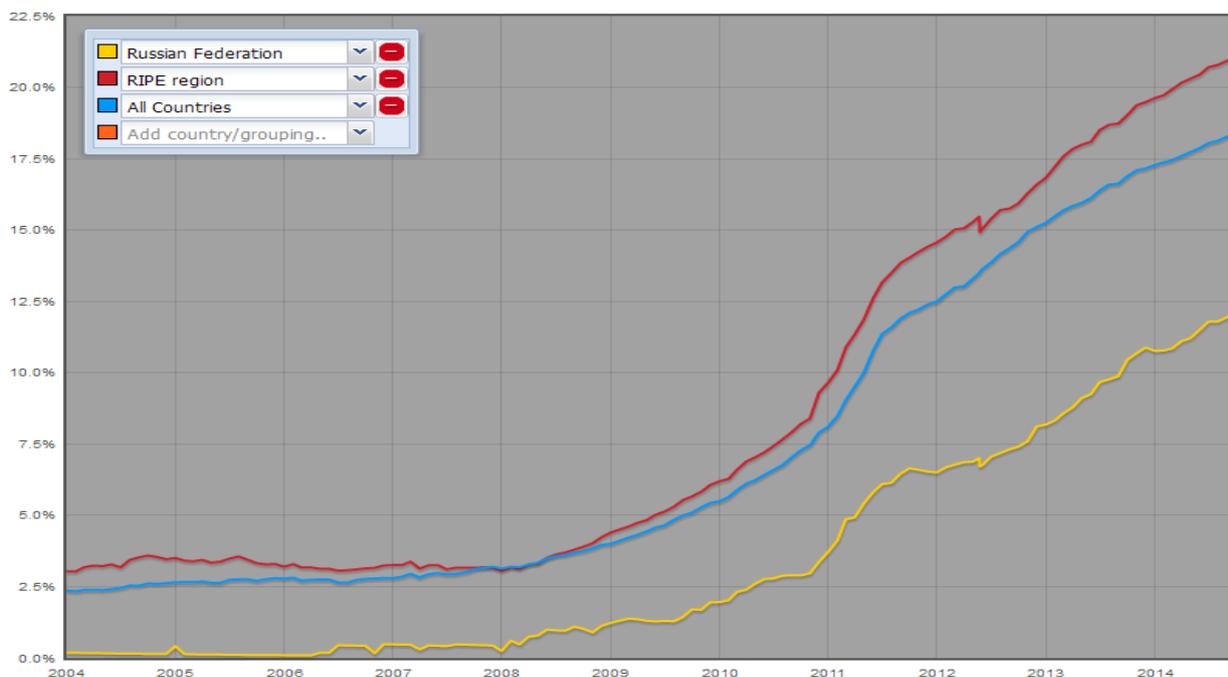


Рис.1. Процент Автономных систем в различных регионах, анонсирующих префиксы IPv6.

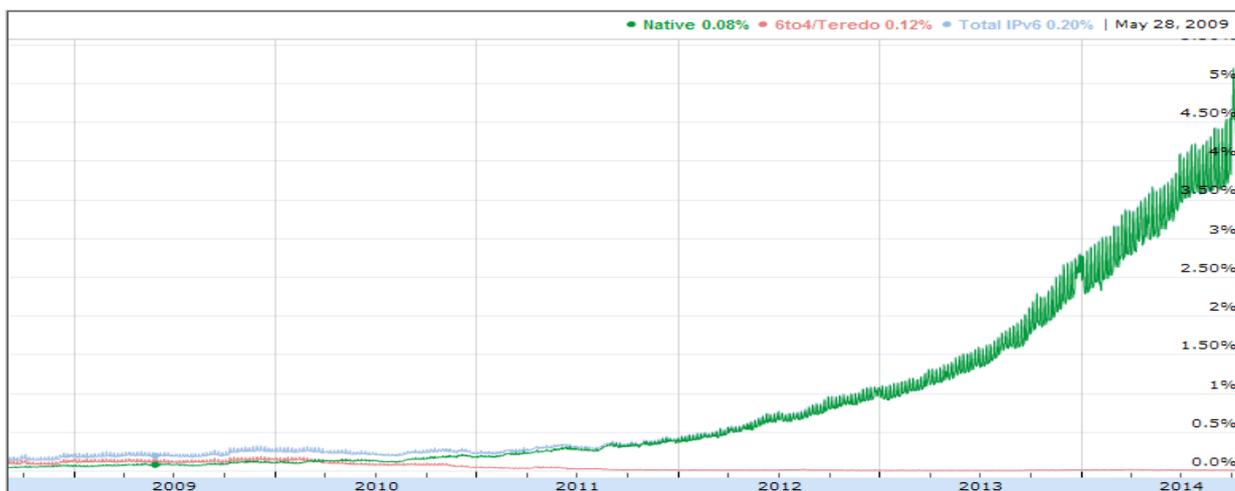


Рис.2. Процент пользователей сервисов Google,использующих IPv6.

Самый высокий уровень внедрения в Японии — 41,5% по состоянию на 01 ноября 2014г.

Для оценки практического применения протокола IPv6 в масштабах Интернета. Можно воспользоваться графиком количества пользователей служб Google, которые имеют соединение по IPv6 [5]. Видно, что график растет в геометрической прогрессии. Все это говорит о том, что настала пора всем сервис-провайдерам активно внедрять новый протокол сетевого уровня —IPv6 в своей инфраструктуре.

#### Список литературы

1. [http://bitsavers.trailing-edge.com/pdf/bbn/imp/BBN1822\\_Jan1976.pdf](http://bitsavers.trailing-edge.com/pdf/bbn/imp/BBN1822_Jan1976.pdf)
2. <http://iana.org/assignments/>
3. <http://spbbit.ru/interview/i86938/>
4. Курбалия Й. Управление Интернетом. Координационный центр национального домена сети Интернет. /Й. Курбалия. – М., 2010. – 208 с.
5. Робачевский А. Интернет изнутри: Экосистема глобальной Сети. /А. Робачевский. - М.: Альпина Паблицер, 2015. - 223 с.

# ПОВЫШЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ КЛАПАНОВ ГРМ ДИЗЕЛЕЙ ТЕПЛОВЗОВ

Сливинский Е.В., Митина Т.Е., Родионова М.А.

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им. И.А. Бунина, г.Елец

Одной из важнейших характеристик ГРМ является пропускная способность клапанной щели образованной тарелкой клапана совместно со стержнем и её влияние на структуру потока в выпускных каналах ДВС. Анализ полученных экспериментальных данных представленных в работе [3] показывает, что границы вихревой зоны, образованной в результате отрыва потока от выпуклой стенки канала доходит до клапана причём, с вогнутой стороны канала вихревая зона незначительна, что свидетельствует о неравномерности структуры потока в клапанной щели, так как наибольшую ширину поток имеет с вогнутой стороны канала. Одним из предложений авторов такой работы является то, что ими рекомендуется уменьшать размер радиуса перехода от стержня к тарелке и угол фаски седла. Однако в целом такое предложение хоть и снижает турбулентность потока, но не позволяет снизить теплонапряжённость, например, тарелок клапана, которая сопровождается высокой температурой их нагрева порядка  $750 - 800^{\circ}\text{C}$ .

Исходя из этого можно сделать вывод о том, что на сегодняшний день так и нет эффективных технических решений и технологических предложений, позволяющих существенно снизить как сопротивление прохождения потока газов в зоне выпускных клапанов, так и температуру нагрева его элементной базы.

Учитывая выше изложенное на кафедре прикладной механики и инженерной графики ЕГУ им. И.А. Бунина в течении 2010 -2014 г. согласно договору с Елецким участком Белгородского отделения ЮВЖД приводится НИР на тему «Разработка рекомендаций по повышению качества эксплуатационной работы, а также надёжности и экономичности использования подвижного состава в грузовом и пассажирском движении на Юго-Восточной дороге», которая включена в план работ СКБ университета и по одному из ее разделов НИРС проводятся работы, связанные с модернизацией силовых установок, используемых в современных тепловозах. По результатам проведенного анализа библиографических и патентных источников университетом получен патент на изобретение RU2397336, связанный с модернизацией газораспределительного механизма четырехтактных и двухтактных ДВС в определённой степени исключающих указанные недостатки.

На Рисунке 1 показан клапан механизма газораспределения дизеля в закрытом состоянии, на Рисунке 2 он же, но в открытом состоянии и на Рисунке 3 его часть в перспективе.

Механизм газораспределения дизеля включает в себя клапан, состоящий из стержня 1 и головки 2, которая располагается в седле 3, запрессованном в днище 4 крышки 5 цилиндра 6. В головке 2 клапана выполнены пазы 7.

Видно, что при открытом клапане (Рисунок 2), объема тока отработанных газов при выхлопе увеличивается и одновременно естественно снижается температурная напряженность как головки клапана 2, так и седла 3. Как только поршень пройдет некоторое расстояние о нижней мертвой точки, клапан, с помощью известного механизма его привода, закрывается и в цилиндре 6 происходит процесс сжатия горючей смеси.

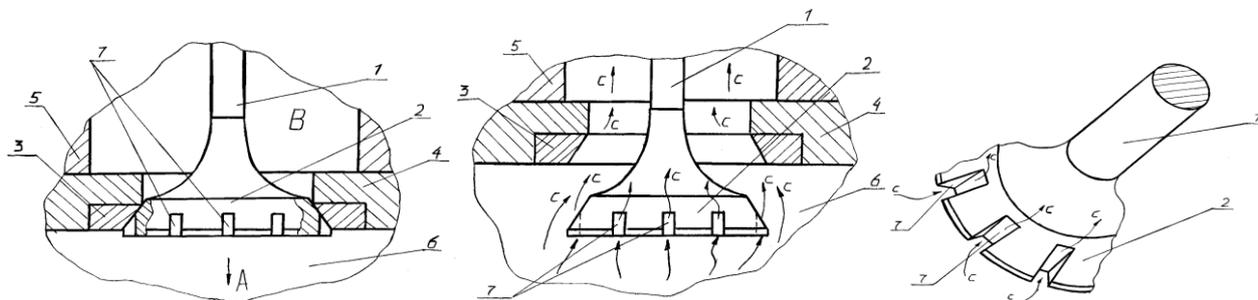


Рис.1.

Рис.2.

Рис.3.

При этом пазы 7 окажутся перекрытыми контактными поверхностями седла 3 и головки клапана 2 и поэтому газовая смесь из цилиндра 6 не сможет быть вытеснена в полость В крышки 5. В дальнейшем описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Произведем расчеты позволяющие оценить эффективность использования предложенного технического решения RU2397336 в конструкции выпускных клапанов, например, дизеля 14Д40 тепловоза М62. Рассмотрим

серийный выпускной клапан и модернизированный представив их головки в виде усеченного конуса, к малой образующей окружности которого присоединен жестко стержень. Согласно паспортных данных на двигатель 14Д40 [4] диаметр головки клапана  $d_r = 88$  мм., угол образующей конуса головки клапана  $\alpha = 45^\circ$ , внутренний диаметр седла клапана  $d_0 = 75$  мм., наружный диаметр седла клапана  $D = 88$  мм., ход клапана  $h$  являющийся функцией от угла поворота кривошипа  $\beta$ ,  $h = f(\beta)$ , а также конструктивно принять, что в головке модернизированного клапана выполнено,  $n = 5$  пазов, у которых,  $a = 25$  мм и  $b = 30$  мм. Для сравнительной оценки пропускной способности серийной и предложенной конструкции клапанов используем известную методику определения проходного сечения клапана, представленную в работе [1], которая основана на геометрическом методе расчёта клапанной щели и заключается в следующем:

На первом участке хода клапана, когда проходное сечение имеет форму правильного канала, поперечным сечением которого является боковая поверхность усеченного конуса с образующей равной длине перпендикуляра  $AC$  к конусу клапана, считая эту длину между клапанами и седлом (см. Рисунок 2). Такое сечение для серийного клапана и соответственно для предложенного определится по формулам:

$$f_{сер.к} = \pi h_1 \left( d_0 + \frac{1}{2} h_1 \sin 2\alpha \right) \cos \alpha \text{ см}^2 \quad \text{и} \quad f_{мод.к} = \pi h_1 \left( d_0 + \frac{1}{2} h_1 \sin 2\alpha \right) \cos \alpha + S_{мод.к} \text{ см}^2$$

где  $h$  – ход клапана на первом участке,  $h_1 = 1.0$  см.

На втором участке хода клапана, когда  $h_2 = 30$  мм., перпендикуляр из точки  $A$  к конусу клапана проходит мимо конуса седла и сечение клапана теряет характер правильного канала и тогда проходное сечение можно определить по зависимости также соответственно для серийной и предложенной конструкций клапана:

$$f_{сер.к} = \pi \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \sqrt{\left( \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \right)^2 + \left( h - \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \operatorname{tg} \delta \right)^2}$$

$$f_{мод.к} = \pi \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \sqrt{\left( \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \right)^2 + \left( h - \frac{d_0 - d_{ш}}{2} \operatorname{tg} \delta \right)^2} + S_{мод.к}$$

На третьем участке хода клапана где, например,  $h_3 = 45$  мм, проходное сечение на пути газа является минимальным. С учетом места, занимаемого штоком клапана для определения проходного сечения в этом случае можно определить по зависимости также соответственно для серийного и перспективного клапана:

$$f_{сер.к} = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_{ш}^2) \text{ см}^2 \quad \text{и} \quad f_{мод.к} = \frac{\pi}{4} (d_0^2 - d_{ш}^2) + S_{мод.к}$$

где  $d_{ш}$  – диаметр штока клапана,  $d_{ш} = 23$  мм.

Подставив в указанные уравнения соответствующие численные значения геометрических характеристик серийного и перспективного клапанов были определены площади проходных сечений клапанной щели, для двух исследуемых конструкций, площади которых при перемещении клапана на 10 мм оказались соответственно равными 17,0 и 53,8 см<sup>2</sup>, при перемещении на 30,0 мм 28,4 и 65,9 см<sup>2</sup> и при максимальном перемещении в 45,0 мм соответственно составили 39,4 см<sup>2</sup> и 77,5 см<sup>2</sup> [1,5]. Видно, что в среднем такой показатель для перспективной конструкции в 2,48 раза выше, чем для серийной.

Для подтверждения такого результата, полученного геометрическим путём, была проведена сравнительная проверка его при помощи известного аналитического метода.

Такой метод заключается в подсчете количества (объема) выхлопных газов, которые выходят в атмосферу из цилиндра через клапанную щель определенного размера в выхлопной коллектор значительно большего диаметра, чем клапанная щель, но меньшего чем диаметр цилиндра также за какой-либо промежуток времени. В принципе такая взаимосвязь указанных объёмов может быть представлена в виде сопла.

В этом случае массовый расход выхлопного газа проходящего через сопло с указанными его сопряжениями можно рассчитать по следующей формуле:

$$m = CAP \sqrt{\left( \frac{kM}{ZRT} \right) \left( \frac{2}{k+1} \right)^{(k+1)/(k-1)}}, \quad (1)$$

где,  $m$  – массовый расход выхлопного газа, кг/с;

$C$  – поправочный коэффициент по пропускной способности сопла (цилиндр - клапанная щель - выхлопной коллектор) равный 1,0 [1,5];

$A$  – площадь поперечного сечения сопла (рабочей щели) как серийного, так и перспективного клапана соответственно равна I случай –  $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $5,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , II случай –  $2,84 \cdot 10^{-3}$  и  $6,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и III случай –  $3,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $7,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ;

$P$  – абсолютное давление выхлопных газов в цилиндре ДВС,  $0,58$ — $1,76 \text{ МПа}$  ( $6$ — $18 \text{ кгс/см}^2$ ), а в конце расширения и начале удаления продуктов сгорания, проходящего через клапанную щель, составляет  $0,5$  –  $1,0 \text{ МПа}$ ;

$k$  – коэффициент (показатель адиабаты), определяемый соотношением  $c_p/c_v$ , где  $c_p$  удельная теплоёмкость при постоянном давлении выхлопных газов определяется по зависимости  $c_p = iR/2M$  и равная  $47,88 \text{ Дж·моль}^{-1}·\text{К}^{-1}$ , а  $c_v$  удельная теплоёмкость при постоянной температуре выхлопных газов определяется по зависимости  $c_v = (i+2)R/2M$  и равна  $34,2 \text{ Дж·моль}^{-1}·\text{К}^{-1}$ . В этом случае  $k = 1,4$ ;

$M$  – молекулярная масса для выхлопных газов ДВС равна  $32,0 \text{ кг/моль}$ ;

$Z$  – коэффициент сжимаемости при определенном давлении и температуре, и для выхлопных газов ДВС может быть принят  $1,0$  [5];

$R$  – константа идеального газа равная  $8314,5 \text{ Н·м/кмоль·К}$ ;

$T$  – температура выхлопного газа в цилиндре,  $\text{К}$  ( $873$ – $973 \text{ Т}^0\text{К}$ ).

После того, как по формуле выше рассчитан массовый расход воздуха, его можно перевести в объемный, разделив полученное значение на плотность выхлопного газа, то есть примерно на  $1,25 \text{ кг/м}^3$ .

Учитывая вышеизложенное были проведены расчёты массового  $m$  и объёмного  $Q$  расхода отработанных газов для серийного и перспективного клапана по указанным трём случаям ранее рассчитанных площадей клапанных щелей соответственно равных  $A_1 = 1,7 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $5,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ,  $A_2 = 2,84 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $6,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $A_3 = 3,94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$  и  $7,75 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ , численные значения которых получены с использованием геометрического метода при полном ходе клапанов  $h = 45,0 \text{ мм}$  с шагом в  $20,0 \text{ мм}$  и перепада температур от  $873 \text{ Т}^0\text{К}$  до  $973 \text{ Т}^0\text{К}$  с шагом их изменения в  $20 \text{ Т}^0\text{К}$ . По результатам проведённых расчётов построены графики  $m = f(h)$  и  $Q = f(h)$  показанные на Рисунке 5

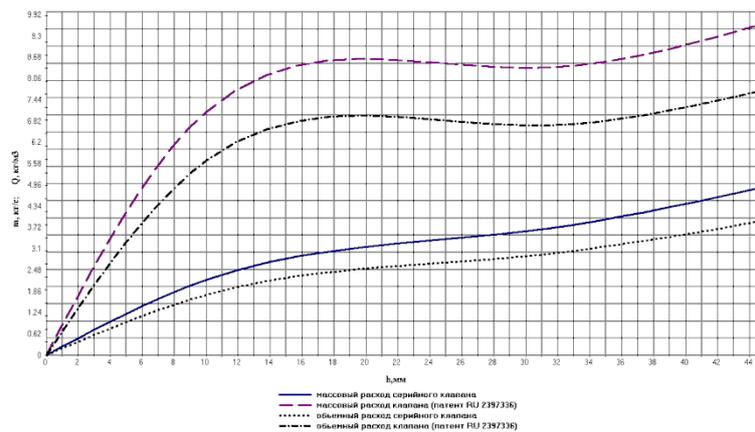


Рис.5.

Анализ последних показывает, что когда серийный клапан открылся, например, только на  $10,0 \text{ мм}$ , массовый расход отработанных газов составляет  $m = 2,197 \text{ кг/с}$ , то у предложенного технического решения он возрос до  $m = 7,085 \text{ кг/с}$  т.е в  $3,23$  раза. При открытии клапанов на  $30,0 \text{ мм}$  массовый расход отработанных газов проходящих через серийный клапан составляет  $m = 3,604 \text{ кг/с}$ , то у предложенного технического решения он возрос до  $m = 8,366 \text{ кг/с}$  т.е в  $2,32$  раза. При открытии же клапанов на  $45,0 \text{ мм}$ , что является их максимальным ходом, массовый расход отработанных газов проходящих через серийный клапан составляет  $m = 3,928 \text{ кг/с}$ , то через предложенный он равен  $m = 9,667 \text{ кг/с}$  т.е его пропускная способность в сравнении с серийным клапаном увеличилась в  $2,46$  раза. Подобная картина наблюдается и по объёмному расходу и в среднем пропускная способность клапана выполненного по патенту RU2397336 она выше, чем у серийного в  $2,35$  раза. Сравнивая такой показатель с результатом геометрического расчёта, при котором пропускная способность перспективного клапана увеличилась в среднем  $2,48$  раза и, показатель, вычисленный по формуле (1) указанной выше, то видно, что расхождение между ними составляет порядка  $5,25\%$ . В целом же видно, что предложенное техническое решение позволяет более эффективно осуществлять очистку цилиндра от выхлопных газов и способствовать тем самым снижению теплонапряжённости выпускных клапанов ГРМ ДВС за счёт повышения их теплоотдачи.

Результаты исследования переданы руководству Елецкому участку Белгородского отделения ЮВЖД в виде промежуточного отчёта, а так же рекомендуются отечественным и зарубежным научным и

производственным структурам проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению двухтактные и четырёхтактные ДВС для возможного внедрения перспективного газораспределительного механизма в практику.

#### Список литературы

1. Глаголев Н.М. и др. Тепловозные двигатели и газовые турбины. Трансжелдориздат. Москва. 1957.-460с.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей/Под ред. А.С. Орлина и М.Т. Круглова.- М.: Машиностроение. 1990.- 288с.
3. Драганов Б.Х. и др. Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания. Киев. Изд-во Высшая школа, 1987-174с.
4. Тепловоз М62. М.: Транпорт. 1977.- 280с.
5. Кумсков В.Т., Маханько М.Т. Основы теплотехники. Всесоюзное издательско-полиграфическое объединение. Министерство путей сообщения.- М.: 1962. -231с.

### РЕШЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ НАВИГАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА NTPRO 5000

**Мушастый В.О.**

ГМУ им. адмирала Ушакова, г.Новороссийск

Современная концепция обучения морских специалистов предполагает широкое использование в учебном процессе различных тренажеров, однако, несмотря на известные достижения в создании системы проектирования и использования тренажерных комплексов в учебном процессе, задача выбора оптимального состава тренажерных средств для подготовки специалистов остается актуальной.

Практическая часть работы заключается в рассмотрении навигационного тренажера NTPRO 5000, имеющий широкий спектр задач и возможностей в решении и тренинга различного плана навигационных упражнений и ситуаций: определение местоположения судна по различным навигационным приборам (GPS, РЛС и т.д.); маневрирование в различных районах плавания и точное определение ОМС с помощью ориентира (маяка, буя и т. д.); задание внешних условий плавания (приливы, течения, атмосферные фронты.); задание свойств судна (установка авторулевого, радионавигационного оборудования, установка UAIS, навигационных сигналов.); планирование маршрута (прокладка по карте, задание свойств маршрута, редактирование.); задание синхронизации с внешним источником GPS.

Специальные упражнения: швартовые операции; якорные операции; буксирные операции; операции с автоматическими операциями; навигация в ледовых условиях; рыбопромысловые операции; поисково-спасательные операции; операции с подводными лодками; операции с вертолетами и самолетами; операции с подводными лодками; совместное маневрирование кораблей в ордерах; упражнения с системой динамического позиционирования; работа с электронными картами (ECDISTraining).

Целью работы была задача рассмотреть с помощью ECDIS полученные результаты с РЛС и GPS для определения местоположения судна при плавании в узкостях, с различного ракурса, то есть, заданы были различные варианты, такие как:

- различные маневры (изменение курса на 45, 90, 180.);
- изменение ориентира (различные маяки, буи.);
- различные районы плавания.

Поэтому мной более детально была проработана задача на предмет определение места судна с помощью интегрирования двух сигналов от навигационных приборов GPS, РЛС. Исследованы были данные с этих навигационных приборов. При решении данных задач использовался один тип судна OILTANKER 82.078тонн; одна скорость  $V=5,2$ ; одни погодные условия: ветер 5,0 узл, течение-0, а также использовались два района плавания: МАЛАККАСТРАИТ и ПРОЛИВ БОСФОР, то есть плавание в узкостях и плавание по системам разделения движения.

Исследование данных определения местоположения судна с навигационных приборов: ECDIS, RADAR/FRPA (РЛС/САПИ), GPS/AIS, NAVY-CONNING. Различные виды задач и упражнений будут более детально разработаны, проанализированы и в дальнейшем будут использоваться как методическое пособие по лабораторным работам по предмету ТСС.

Вывод.

Увеличение невязки вызвано следующими факторами:

1. Отдаленность ориентира (буя): при полученной информации от четырех разных ориентиров (буев), при одинаковом маневре, прослеживается увеличение невязки в зависимости от отдаленности ориентира (буя). На данных диаграммах изображена динамика роста невязки с четырех задач.

Значения невязки представлены на Рисунке 1.

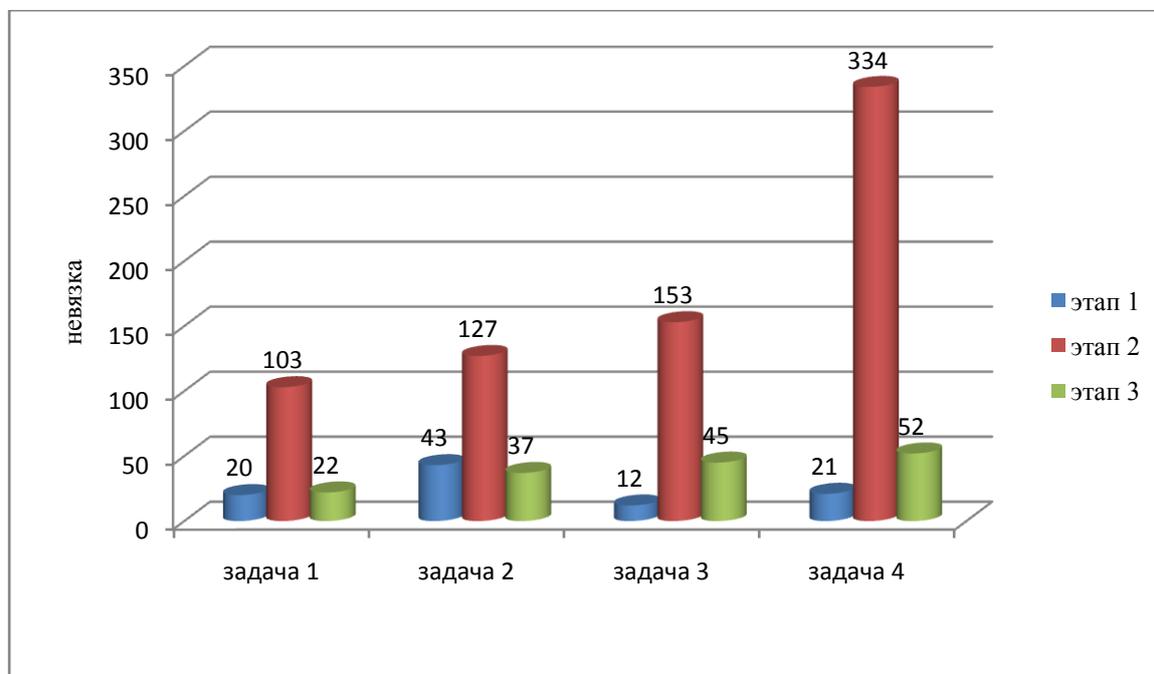


Рис.1. Значения невязки в четырех задачах:

Этап 1 - судно следует постоянным курсом;

Этап 2- судно совершает маневр 90°;

Этап 3 - судно следует новым курсом

Таким образом можно сделать вывод, что причиной роста невязки является, дальность расположения буя (ориентира), которое влияет на передачу точности определения местоположения судна. Необходимо использование наиболее выгодных РЛС – маяков ответчиков для опорного эхо- сигнала при маневрировании в узкости. В данном случае рекомендацией является подбор ориентира максимально приближенного к судну.

2. Погрешности в зависимости от высоты спутника GPS

Были проанализированы данные, полученные с трех задач:

-задача 1 - различные маневры на один ориентир;

-задача 2 - совершение одного маневра на различные ориентиры;

-задача 3 - дополнительная проверка данных при плавании в другом районе.

В ходе анализа данных, полученных в результате проделанных задач, были учтены технические характеристики навигационных приборов GPS, ECDIS, РЛС, их варианты погрешностей, а именно определение места судна по спутнику, возможно, когда судно находится в зоне его радиовидимости, при этом особенно качественные (надежные) наблюдения получаются, если угловая высота на горизонте находится в пределах от 10° до 75°. При малых высотах бывает высокий уровень помех и большое затухание радиоволн в атмосфере. При больших высотах изолинии пересекаются под очень острым углом, что приводит к большим погрешностям по долготе.

3. Разность координат ОМС по GPS и с навигационных карт: при использовании спутниковой обсервации следует также иметь в виду методическую погрешность, возникающую от применения в спутниковой РНС и при составлении морских навигационных карт различных референц-эллипсоидов и различных опорных геодезических систем. Поэтому координаты места судна, определенного по спутниковой GPS, могут не совпадать с координатами места, снятого с карты. Расхождения могут быть от нескольких десятков до нескольких сотен метров.

4. Задержка информации РЛС является основным ограничением, т. е. наличие значительного интервала времени (1-3 мин.) между изменением ситуации вследствие маневра. Кроме того, вследствие радиолокационных помех, волнения моря, метеорологических аномалий, малой отражающей поверхности некоторых судов и объектов отдельные цели могут быть вообще не обнаружены или не обнаружены своевременно.

5. Погрешность тренажера: на фоне погрешностей и не точностей в работе навигационного оборудования нельзя не учитывать и фактор погрешностей, возникших из-за математических моделей движения самого судна (погрешности тренажера), а также математических моделей самих погрешностей (Фильтрация Калмана).

При анализе проделанных задач, где в первом варианте происходит рост значений невязки при изменении маневра на 45°, 90°, и на 180°; также во второй задаче, где наблюдается увеличение данных невязки при изменении расстояния и пеленга с различными ориентирами, при равном маневре, так и в третьей задаче с изменением района плавания, тенденция роста динамики значения невязки с двух данных систем координат, GPS и РЛС, не уменьшилась.

Из сказанного нужно отметить, что целью работы являлось рассмотрение навигационной задачи на предмет определения местоположения судна, в зависимости от изменения значения курса, выявили увеличение погрешности определения ОМС при использовании GPS. Вследствие чего, необходимо контролировать положение вторичной системы позиционирования с помощью РЛС – ECHOREFERENCE, функционал ECDIS, которые отражают место судна при изменении пеленга (дистанции) на опорный эхо-сигнал выбираемого ориентира в непрерывном режиме. (В навигации непрерывность составляет 1 секунду.) Но определение места судна с помощью данных систем для безопасного плавания недостаточно, так как они отображают местоположение приемных антенн, а значения контура судна, отображаемого на электронной карте, имеют погрешность.

Исходя из всего сказанного визуальный контроль, в реальных условиях плавания, в целях безопасности обязателен. (В условиях тренажерного комплекса NTPRO 5000 отсутствует имитация визуального контроля в виду ограниченной лицензии.)

#### Список литературы

1. Андреенков, В.Г. Теория устройства судна/ А.В. Самохвалов: Учеб. пос. для вузов водного транспорта. – 3-е изд., перераб. и доп.- Новороссийск: НГМА, 2003.-176 с.
2. Смирнов, Е.Л. Технические средства судовождения/ А.В. Яловенко, А.А. Якуменков. Теория: Учебник для вузов/Под ред. Е.А. Смирнова. – М.: Транспорт, 1988. – 376 с.

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ САМОСВАЛЬНЫХ ПРИЦЕПОВ

**Сливинский Е.В., Митина Т.Е., Фетисов К.С.**

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им И.А. Бунина, г.Елец

Известно, что существенным недостатком всех известных механизмов опрокидывания платформ самосвальных прицепов является то, что кронштейн на котором расположен гидроподъемник жестко присоединен к поперечинам рамы прицепа, что препятствует их свободной деформации при стесненном кручении рамы. Поэтому в практике надежность данного узла, да и всей рамы в целом невысока.

Анализ многочисленного числа библиографических источников, а также отечественных и зарубежных патентов, позволил разработать на уровне изобретения (RU2402436) техническое решение, направленное на повышение надежности рам автотракторных самосвальных прицепов в эксплуатационных условиях.

Так на Рисунке 1 показан общий вид самосвального прицепа, и на Рисунке 2 укрупненный узел крепления гидроподъемника к поперечинам рамы прицепа.

Прицеп самосвал состоит из кузова 1 связанного с рамой 2 при помощи опорных кронштейнов 3. На поперечинах 4 рамы 2 закреплено кольцо 5, в котором подвижно расположено тело качения шаровой формы 6. В сквозном канале 7 тела качения шаровой формы 6 размещен большой цилиндр 8 гидроподъемника снабженный упорной шайбой 9.

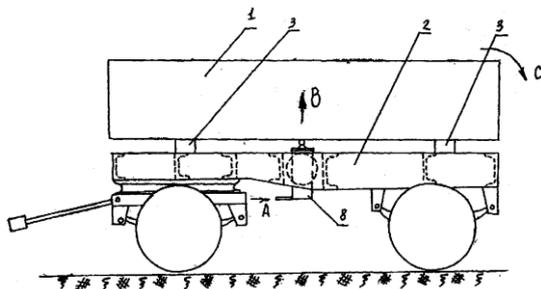


Рис.1.

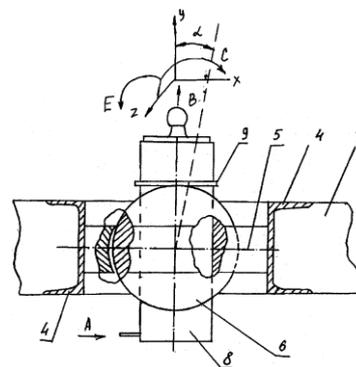


Рис.2.

Работает прицеп самосвал следующим образом. Для самосвальной выгрузки кузова 1, например, назад предварительно распускают запорные костыли (на рисунках запорные костыли не показаны) опорных кронштейнов 3 расположенных в передней части рамы 2 прицепа. После этого широко известным способом в большой цилиндр 8 гидроподъемника под давлением по стрелке А (Рисунок 1 и Рисунок 2) подают рабочую жидкость и тогда составные элементы гидроподъемника (такие конструктивные составляющие также не показаны на чертежах так как широко известны в практике) начинают перемещаться по стрелке В приподнимая кузов 1 над рамой 2, который на своих задних опорных кронштейнах 3 поворачивается по стрелке С. Но так как кузов 1 соединен с гидроподъемником, то и его большой цилиндр 8 совместно с телом качения шаровой формы 6 получит угловой поворот в кольце 5 по оси X (Рисунок 2) на угол  $\alpha$  по стрелке С. После выгрузки груза из кузова 1 при наклоне его назад рабочую жидкость удаляют из гидроподъемника в направлении обратном стрелке А и тогда под собственным весом кузова 1 гидроподъемник в итоге займет положение такое, как это показанное на Рисунке 2 и Рисунке 3. После этого запорные костыли передних опорных кронштейнов 3 фиксируются и прицеп готов к транспортировке. Для выгрузки кузова 1 в боковую сторону, например, для наклона его по стрелке Е по оси Z, удаляют запорные костыли кронштейнов 3 находящихся со стороны противоположной выгрузки и также подают давление рабочей жидкости в большой цилиндр 8 гидроподъемника по стрелке А. По мере выдвигания

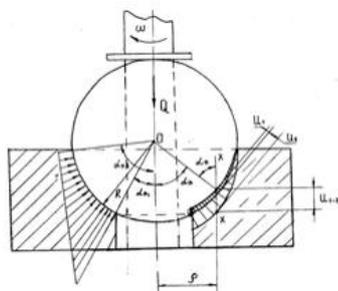


Рис.3.

труб гидроподъемника кузов 1 получает угловой поворот в направлении координаты Z, а вместе с ним совместно с телом качения шаровой формы 6 большой цилиндр 8 гидроподъемника поворачивается в сторону выгрузки в кольцо 5. Известно [2], что срок службы многих деталей самосвальных прицепов определяется их износом и поэтому для повышения долговечности прицепов необходимо обеспечить высокую износостойкость его деталей. В данном случае при работе указанной кинематической пары происходит усталостное изнашивание сопрягаемых поверхностей шара и опоры.

Рассмотрим процесс изнашивания сопряжения показанного на Рисунке 3 являющийся характерным для предложенного нами технического решения, используя основные положения методики описанной в работе [2]. Для определения параметров сопряжения примем полярную систему координат, поместив начало координат в центре  $O$  шара. Положение каждой точки поверхности в данном сечении будет определяться углом  $\alpha_n$ , который является также углом между нормалью к поверхности и направлением  $xx$  возможного сближения при износе. На расчётной схеме также обозначен износ сопряжения индексом  $U_{1-2}$  (мкм), а индексами  $U_1$  (мкм) и  $U_2$  (мкм) линейный износ кольца. Угол  $\alpha_n$  изменяется в пределах от  $\alpha_{n1}$  до  $\alpha_{n2}$  и тогда скорость относительного скольжения для данного сопряжения можно определить по формуле [2]  $v = \omega \rho = \omega R \sin \alpha_n$ . Так как автотракторные самосвальные прицепы предназначены для перевозки сыпучих грузов, а они в основном способствуют абразивному изнашиванию их узлов и деталей, то для такого состояния может быть использована следующая известная зависимость:

$$\gamma_{1-2} = \omega Q_0 (k_1 + k_2) R \operatorname{tg} \alpha_n, \quad (1)$$

где,  $\gamma_{1-2}$  – скорость изнашивания сопряжения, мкм/ч;

$k_1$  и  $k_2$  – постоянные коэффициенты, характеризующие скорость изнашивания;

$Q_0$  – удельная нагрузка, Н/мм<sup>2</sup>.

Связь между удельной нагрузкой  $Q_0$  и внешней  $Q$  записывается выражением:

$$Q = \int_s Q_0 \cos \alpha_n ds . \text{ Этот интеграл берётся по всей площади поверхности трения шара с кольцом и после}$$

его раскрытия получена следующая формула:

$$\gamma_{1-2} = \frac{2Q\omega(k_1 + k_2)}{\pi^2 R} , \quad (2)$$

и тогда форма изношенной шаровой поверхности может быть определена по зависимостям:

$$U_1 = \gamma_{1-2} \cos \alpha_n \frac{k_1}{k_1 + k_2} t \quad \text{и} \quad U_2 = \gamma_{1-2} \cos \alpha_n \frac{k_2}{k_1 + k_2} t \quad (3)$$

Для расчёта формы изношенной шаровой поверхности и поверхности с ним сопрягаемого кольца, применительно к тракторному самосвальному прицепу модели 2ПТС4-793А, приняты следующие исходные данные: внешняя нагрузка передаваемая на шар и действующая от самосвальной выгрузки кузова  $Q = 48000 \text{ Н}$ , угловая частота поворота шара в кольце при самосвальной выгрузке кузова  $\omega = 0,1 \text{ рад/с}$ , радиус шара  $R = 100 \text{ мм}$ , численные значения постоянных коэффициентов  $k_1 = 6,8 [2]$  и  $k_2 = 4,0 [2]$ ,  $\alpha_n = 32^\circ = 0,558 \text{ рад}$ , время работы прицепа в месяц  $t = 192$  часа. Зная такие исходные численные значения, определим скорость изнашивания сопряжения по формуле (2):

$$\gamma_{1-2} = \frac{2Q\omega(k_1 + k_2)}{\pi^2 R} = \frac{2 \cdot 48000 \cdot 0,1(6,8 + 4,0)}{3,14^2 \cdot 100000} = 0,5 \text{ мкм/ч} ,$$

тогда формы изношенной шаровой поверхности вычислим по зависимостям (3):

$$U_2 = \gamma_{1-2} \cos \alpha_n \frac{k_1}{k_1 + k_2} t = 0,5 \cdot 0,558 \frac{6,8}{6,8 + 4,0} 192 = 33,73 \text{ мкм}$$

$$U_1 = \gamma_{1-2} \cos \alpha_n \frac{k_2}{k_1 + k_2} t = 0,5 \cdot 0,558 \frac{4,0}{4,0 + 6,8} 192 = 19,84 \text{ мкм}$$

Анализируя полученные результаты расчёта видно, что при эксплуатации прицепа в течении месяца (192 часа работы его в месяц при 8-ми часовом рабочем дне) при перевозке сыпучих грузов кольцо подвержено износу в 33,73 мкм, а тело качения шаровой формы в 19,84 мкм. Следует также отметить, что угол  $\alpha_n = 32^\circ = 0,558 \text{ рад}$  в процессе самосвальной выгрузки не постоянен, т.е.  $\alpha_n \neq \text{const}$  и поэтому он может изменяться, но как показывает практика [2] подобных расчётов для шаровых головок разброс таких углов незначителен.

Выше было отмечено, что предложенное техническое решение (RU2402436) за счёт крепления кольца 5 (см. Рисунок 1) на вертикальных стенках профилей поперечин рамы прицепа не накладывает жёсткую связь на последние, исключая тем самым возникновение напряжений стеснённого кручения в них. Для подтверждения этого нами произведён расчёт таких напряжений возникающих в местах присоединения поперечин рамы к лонжеронам, которые предназначены для крепления опорного кольца гидropодъёмника механизма опрокидывания кузова. В качестве примера такого расчёта также выбран тракторный самосвальный прицеп 2ПТС-4-793А. Поперечины рамы у такого прицепа выполнены из гнутого корытообразного профиля высотой  $h = 180 \text{ мм}$ , шириной полка  $b = 75 \text{ мм}$  и толщиной стенок и полка  $\delta = 3,5 \text{ мм}$ . Используя серийную конструкцию рамы и предложенное техническое решение, которое не накладывает жёсткой связи на поперечины, позволяет вычислить значения таких напряжений по известной методике [4] следующим образом. Для имеющегося сечения поперечины (Рисунок 4) и для вычисления секториально-статического момента  $S_{\omega z}$  и главного  $I_z$  центрального момента инерции,

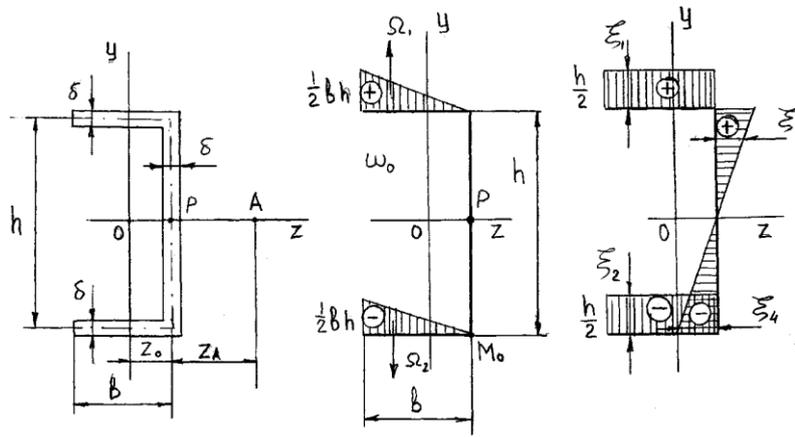


Рис.4.

воспользуемся способом Верещагина. Для этого построим эпюру секториальных координат  $\omega_0$  при полюсе  $P$  и эпюру линейных ординат  $y$ . В этом случае эпюру  $S_{\omega z}$  получим путём перемножения на каждом участке площади  $\Omega_i$  эпюры  $\omega_0$  на ординату  $\xi_i$  эпюры  $y$  под центром тяжести  $\Omega_i$  на толщину участка  $\delta_i$ :

$$S_{\omega z} = \int_F y \omega_0 dF = \sum \Omega_{\omega_0} \xi_y \delta_i = \frac{b^2 h^2 \delta}{2} = \frac{7,5^2 \cdot 18^2 \cdot 0,35}{4} = 1594,7 \text{ см}^4.$$

Определим момент инерции по зависимости:

$$I_z = \int_F y^2 dF = \sum \Omega_y \xi_y \delta_i = \frac{h^2 \delta}{12} (12b + h) = \frac{18^2 \cdot 0,35}{12} (12 \cdot 7,5 + 18) = 1020,6 \text{ см}^4, \text{ тогда расстояние от полюса } P$$

$$\text{до центра изгиба } A \text{ будет равно: } z_A = \frac{S_{\omega z}}{I_z} = \frac{1594,7}{1020,6} = 1,56 \text{ см}.$$

Проведённые тензометрические испытания рамы самосвального прицепа [4] также показали, что усилие растяжения приложенное к кронштейну гидроподъёмника при движении прицепа по просёлочной дороге в среднем составляют  $P = 180 \text{ кгс}$ , следовательно, такое усилие создаёт на каждой из поперечин закручивающий последний моментом  $M_0 = P(b + z_A) = 180(0,075 + 0,0156) = 16,31 \text{ кгс}\cdot\text{м} = 163,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ . Зная также главный секториальный момент инерции  $I_\omega = 34372 \text{ см}^6$  и численное значение «момента инерции» чистого кручения  $I_k = 12,75 \text{ см}^4$  [4], можно определить численное значение изгибно-крутильной жёсткости поперечины по формуле:

$$k = \sqrt{\frac{GI_k}{EI_\omega}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 10^4 \cdot 12,75}{2 \cdot 10^5 \cdot 34372}} = 0,012 \text{ см}^{-2}.$$

Вычислим теперь значение бимоента возникающего в месте соединения поперечины рамы к её лонжерону и напряжения стеснённого кручения соответственно по зависимостям:

$$B_\omega = -EI_\omega \Theta'' = \frac{M_0 shkx}{kchkl} = \frac{163,1 \cdot 2,543}{0,012 \cdot 10^2 \cdot 2,631} = 131,4 \text{ Н}\cdot\text{м}^2.$$

$$\sigma_\omega = \frac{B_\omega}{I_\omega} \omega = \frac{131,4}{34372 \cdot 10^{-12}} \omega = 382 \cdot 10^7 \omega.$$

Из последнего выражения видно, что, распределение  $\sigma_\omega$  в поперечном сечении поперечины рамы прицепа происходит по закону изменения секториальных координат  $\omega$ . Подставив значения  $\omega$  в выражение  $\sigma_\omega$ , с учётом их знака получены численные значения напряжений стеснённого кручения в характерных точках поперечного сечения поперечины, а именно

$$\sigma_{\omega 4} = -87,5 \text{ МПа}, \sigma_{\omega 3} = 52,7 \text{ МПа}, \sigma_{\omega 2} = -52,7 \text{ МПа} \text{ и } \sigma_{\omega 1} = 87,5 \text{ МПа}.$$

Проведённые экспериментальные исследования колебаний и силового нагружения конструктивных элементов и элементной базы такого прицепа, рама которого снабжена опорным кронштейном гидроподъёмника жёстко присоединённым к её поперечинам рамы показали [4], что напряжения стеснённого кручения в указанных выше зонах составляют порядка  $118 \text{ МПа}$  при этом суммарные напряжения превышают  $256 \text{ МПа}$ , что и вызывает отказы указанных элементов. Как показали дальнейшие расчёты в случае же установки на раму прицепа

предложенного технического решения, несущие элементы которого не накладывают жёсткой связи на поперечины и в этом случае численное значение закручивающего момента составляют порядка  $M_0 = 23,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$ , напряжения стеснённого кручения резко снижаются и в целом не превышают значений  $\sigma_\omega = 7,23 \text{ МПа}$ , что ниже ранее установленных при закручивающем моменте  $M_0 = 163,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$  в 12,1 раза. В итоге можно сделать вывод, что эксплуатационная надёжность предложенной компоновки опорного узла гидродождёмника опрокидывания платформы прицепа будет более высокой.

Результаты исследования рекомендуются к использованию отраслевым НИИ автомобильной промышленности, сельскохозяйственного машиностроения и конструкторским подразделениям предприятий серийно изготавливающим, ремонтирующим и эксплуатирующим автомобильные и тракторные самосвальные прицепы, как в нашей стране, так и за рубежом.

#### Список литературы

1. Справочник по эксплуатации транспорта в сельском хозяйстве. М.: Россельхозиздат, 1975. - 400с.
2. Прочность и долговечность автомобиля. Под. ред. Гольда Б.В. М: Машиностроение, 1974. 328с.
3. Пономарев С.Д., Андреева Л.Е. Расчёт упругих элементов машин и приборов. - М.: Машиностроение, 1980. - 326с.
4. Сливинский Е.В. Исследование колебаний и силового нагружения самосвального тракторного прицепа 2ПТС-4-793А. Диссертация на соискание учёной степени к.т.н. Алма-Ата 1978г. 125с.
5. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1970.-544с

## УПРОЩЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ ХОДОВЫХ ЧАСТЕЙ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ

**Сливинский Е.В., Радин С.Ю., Пронин Р.Е.**

ФБГОУ ВПО, ЕГУ им. И.А. Бунина, г.Елец

Известно, что одним из важнейших видов транспорта, как в нашей стране, так и за рубежом, является железнодорожный транспорт. Это объясняется его универсальностью в обслуживании производящих отраслей народного хозяйства и удовлетворении потребностей населения в пассажирских перевозках. Характерной особенностью современного подвижного состава является сравнительно высокая скорость его движения, производительность, энергонасыщенность, надёжность и экономическая эффективность использования. Такие качества основаны на постоянном совершенствовании конструкций локомотивов, грузовых и пассажирских вагонов, рельсового пути, систем обеспечения безопасности движения, его регулирования, а также устройств автоматики, сигнализации и связи. В настоящее время Уралвагонзаводом выпускаются различные типы грузовых вагонов предназначенных для перевозки различных грузов в том числе, полувагоны для перевозки массовых неагрессивных насыпных непылевидных грузов модели 12-132-02. Техническая характеристика вагона следующая: грузоподъёмность, 69,7 т, тара, 23,8 т, объём кузова, 77 м<sup>3</sup>, длина по осям сцепления автосцепок, 13920 мм, база, 8650 мм, максимальная нагрузка от колёсной пары на рельс, 230 кН, конструкционная скорость, 120 км/ч, модель тележки, 18-100.

Перечисленные конструкции вагонов независимо от их назначения состоят из пяти основных узлов, а именно: ходовой части, рамы, ударно-тяговых приборов, кузова и пневматического не прямодействующего тормоза. Ходовые части обеспечивают безопасное движение вагонов по рельсовому пути с необходимой плавностью хода и наименьшим сопротивлением движению. Ходовые части монтируют обычно на тележках и наиболее распространёнными из них являются двухосные тележки конструкции ЦНИИ-ХЗ. Такая тележка состоит из двух боковых рам (боковин), надрессорной балки, двух колёсных пар с буксами на подшипниках качения, тормозное оборудование в виде тормозных колодок, управляемых пневмоцилиндром, и рессорных комплектов. Колёсная пара тележки включает в себя два колеса жёстко закреплённых на одной оси. Каждое колесо, катанное безбандажное диаметром круга катания 950мм и имеет гребень, предотвращающий сход его с рельса. Допускаемая нагрузка на ось составляет 22,0т и собственная масса тележки равна 4595кг. Между вагонными тележками и кузовом вагона располагается его рама. У вагонов, имеющих цельнонесущий кузов таких, как полувагоны, их рамы совмещены с нижней частью кузова. На рамах размещается автосцепное и тормозное оборудование и они, воспринимают все основные нагрузки, действующие на вагон. Конструктивно рама выполнена из продольных (хребтовая и боковые) и поперечных (передние, шкворневые и промежуточные) балок. На передних балках рам установлены автосцепки с поглощающими аппаратами. Все вагоны оборудованы

тормозным оборудованием, представляющим собой комплекс устройств, создающих сопротивление движению поезда с целью регулирования скорости его движения. [1-3].

Известно также, что одним из важнейших, конструктивных элементов такого вагона является рессорное подвешивание, которое состоит из рессор, выполненных из цилиндрических винтовых пружин сжатия, фрикционных гасителей колебаний, устройств для их крепления, устройств для передачи нагрузок от кузова, тяговых и тормозных усилий, и устройств для регулирования наклона кузова. Рессорное подвешивание предназначено для уменьшения динамического воздействия колес на рельсы при движении по неровностям пути, и ударных нагрузок, передаваемых от рельс элементам тележки и кузову экипажа. Оно также решает задачи равномерного распределения нагрузки от веса подвижного состава между колесными парами и обеспечивает частичную передачу горизонтальных составляющих сил со стороны колес на рамы тележек и кузовов [2].

Анализ конструкции рессорного подвешивания полувагона 12-132-02 показывает, что в настоящее время существующая конструкция его рессорного подвешивания еще далека до совершенства, так как достаточно сложно в устройстве, изготовлении, имеет значительную собственную массу, а, следовательно, и высокую стоимость и поэтому одним из перспективных направлений в их модернизации, является использование торсионных рессор, причём таких которые бы в автоматическом режиме изменяли свою крутильную жёсткость в движении последнего.

Учитывая вышеизложенное на кафедре механики и технологических процессов ЕГУ им. И.А. Бунина в течении ряда лет проводится бюджетная НИР на тему «Динамика, прочность и надёжность транспортных, сельскохозяйственных, строительно-дорожных машин и промышленного оборудования, применительно к Чернозёмному региону РФ», и одним из её разделов, является разработка, направленная на упрощение конструкции и повышение эффективности использования рессорного подвешивания грузовых вагонов. По результатам проведенного анализа библиографических и патентных источников разработано перспективное торсионное подвешивание для грузовых вагонов признанное изобретением (Решение ФИПС на выдачу патента на изобретение по заявке №2013116126/11 от 05.11.14г).

Так на Рисунке 1 показана часть кузова грузового вагона с одной из его тележек вид сбоку и одна из колесных пар тележки грузового вагона вид сверху.

Грузовой вагон состоит из кузова 1, установленного с помощью шкворня 2 на надрессорной балки 3, которая расположена в окнах 4 боковин 5, образующих тележку вагона. Надрессорная балка 3 расположена на рычагах 6 жестко присоединенных к стержням торсионов 7. Стержни торсионов 7 расположены в пустотелой полости 8 осей колесных пар 9 на которые установлены буксы 10 и колеса 11. Противоположный конец стержней торсионов 7 относительно рычагов 6 снабжен шлицами 12, взаимосвязанных с ответными выполненными во втулках 13, жестко присоединенных к буксам 10. Грузовой вагон расположен на рельсах 14.

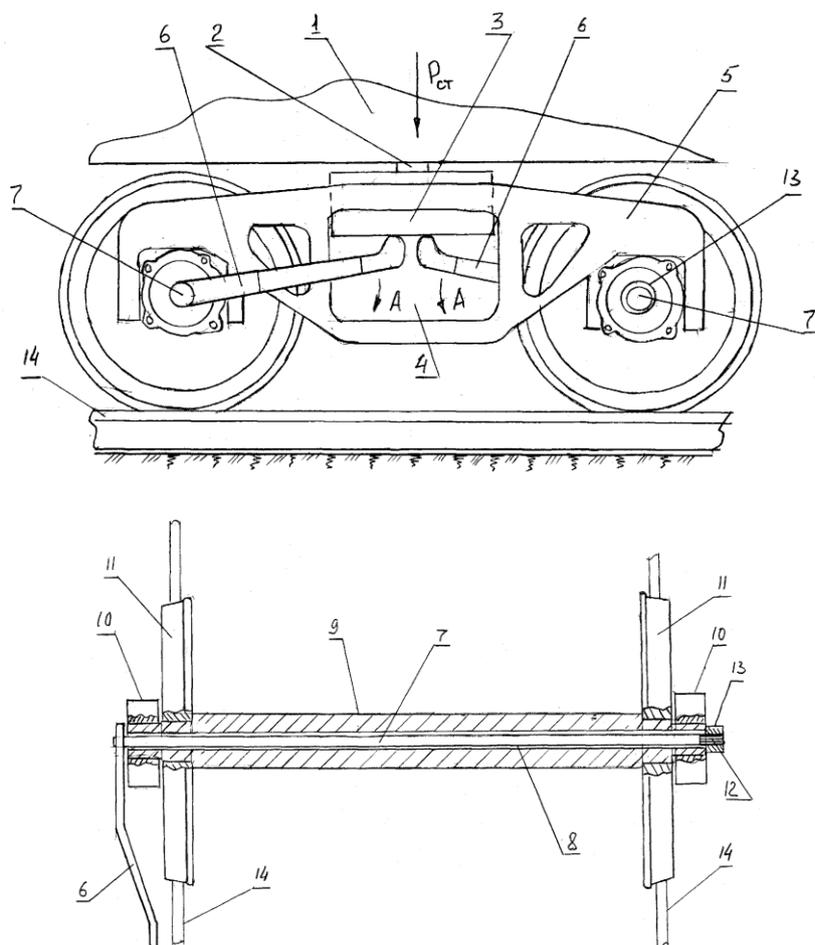


Рис.1.

Работает грузовой вагон следующим образом. В зависимости от действия величины статической нагрузки  $P_{ст}$  (Рисунок 2) приложенной к надрессорной балке 3 грузового вагона, а она может присутствовать как у порожнего, так и у полностью загруженного грузом кузова 1, рычаги 6 стержней торсионов 7 могут занимать любые положения, упруго деформируя стержни торсионов (конструкция и работа торсионов хорошо известна в практике), которые расположены в пустотелой полости 8 оси колесной пары 9. Известно, что при движении грузового вагона в составе поезда или вне его динамические нагрузки  $P_d$ , вызываемые неровности рельсового пути 14 значительны, а поэтому колебания надрессорной балки 3 происходят с высокой амплитудой, однако, в данном технически решены такие амплитуды будут успешно гаситься за счет того, что стержни торсионов 7 будут получать закрутку на некоторый угол  $\varphi$ , при этом их жесткость, вызываемая сопротивлением закручивания позволит демпфировать указанные возмущения. Более того, если рычаг в стержне торсиона 7 выполнить из другого материала и сечения его подобрать таким, что при динамических нагрузках ,превышающих допустимые эксплуатационные показатели, то последний работает на изгиб по стрелке А, и имея определенные жесткости характеристики, так же как и стержень торсиона 7 будет способен участвовать в демпфировании и получать прогиб, который можно определить по известной зависимости  $Y = P l^3 / 3 E J_x$ . После исчезновения указанных нагрузок стержни торсионов 7 и рычаги 6 под действием упругих сил сопротивления их деформация возвращается в исходное положение такое, как это показано на Рисунке 2. Далее описанные процессы могут повторяться неоднократно.

Технико-экономическое преимущество предложенного технического решения в сравнении с известными заключается в том, что оно просто по конструкции и позволяет эффективно и в автоматическом режиме демпфировать колебания кузовов грузовых вагонов.

Для расчёта основных геометрических и кинематических параметров такой рессоры с привязкой её на полувагон предназначенный для перевозки массовых неагрессивных насыпных непылевидных грузов модели 12-132-02 разработана расчётная схема и применена соответствующая методика, которая изложена ниже. Такой полувагон имеет унифицированные тележки, снабженные рессорным подвешиванием с суммарным статическим прогибом 80 мм, При разработке расчетной схемы, учтена существующая конструкция двухосной тележки

модели 18-100 где вместо комплектов винтовых пружин сжатия в полых осях колёсных парторсионы выполненные по заявке №2013116126/11. На каждой из тележек полувагона установлены по две торсионные рессоры одна с правой, а другая с левой стороны относительно продольной его оси.

Приведем пример численного расчета геометрических и кинематических параметров торсионной рессоры выполненного в следующей последовательности. Исходя из того, что на одну колесную пару полувагона действует реальная статическая нагрузка  $230\text{кН}$ , то к рычагу одной торсионной рессоры будет приложена сила  $N_{ст} = 230\text{кН}$ . Известно, что рабочая нагрузка (динамическая) на рессорный комплект полувагона не превышает  $57\text{кН}$ . Суммарная нагрузка на рессору в этом случае составит  $N_{\Sigma} = N_{ст} + N_{\delta} = 230 + 50 = 280\text{кН}$ , тогда момент, приложенный к торсиону, при выбранной длине его рычага  $l_1 = 400\text{ мм}$  определится  $M_{кр} = N_{\Sigma}l_1 = 280 \cdot 0,4 = 112\text{ кН}\cdot\text{м}$  исходя из конструктивных соображений установим длину стержня торсиона равную  $l = 2060\text{ мм}$  при рельсовой колее  $1520\text{ мм}$ . Вычислим диаметр стержня торсиона по зависимости:

$$d_T = \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 112 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 931}} = 84,94\text{ мм}$$

где,  $[\tau] = 0,5\sigma_b = 0,5 \cdot 1862 = 931\text{ МПа}$ .

Окончательно назначим диаметр стержня торсиона равным  $85\text{ мм}$ .

Угол закручивания торсиона при динамическом нагружении составит:

$$\gamma_{\delta} = \frac{\Delta_{\delta}}{d_m} = \frac{\Delta_{cm} \kappa_{\delta}}{d_m} = \frac{80 \cdot 0,25}{85} = 0,25\text{ рад} = 15^{\circ}$$

Проверим торсион по условию прочности на кручение по зависимости:

$$\tau = \frac{16M_{кр}}{\pi d^3} = \frac{16 \cdot 112 \cdot 10^6}{3,14 \cdot 85^3} = 922\text{ МПа}$$

Следовательно, прочность торсиона обеспечена так как  $\tau \leq [\tau]$  т.е  $922 < 931\text{ МПа}$ . Теперь определим крутильную жёсткость стержня торсиона по зависимости:

$$Ж = \frac{GI_p}{ld^2} = \frac{G \cdot 0,1d^4}{ld^2} = \frac{G \cdot 0,1d^2}{l} = \frac{8 \cdot 10^4 \cdot 0,1 \cdot 8,5^2}{206,0} = 2805,8\text{ кгс}\cdot\text{см} / \text{рад}$$

Для автоматизации расчётов с применением ЭВМ, разработана программа с использованием языка Delphi, окно которой, в качестве примера, показано на Рисунке 2.

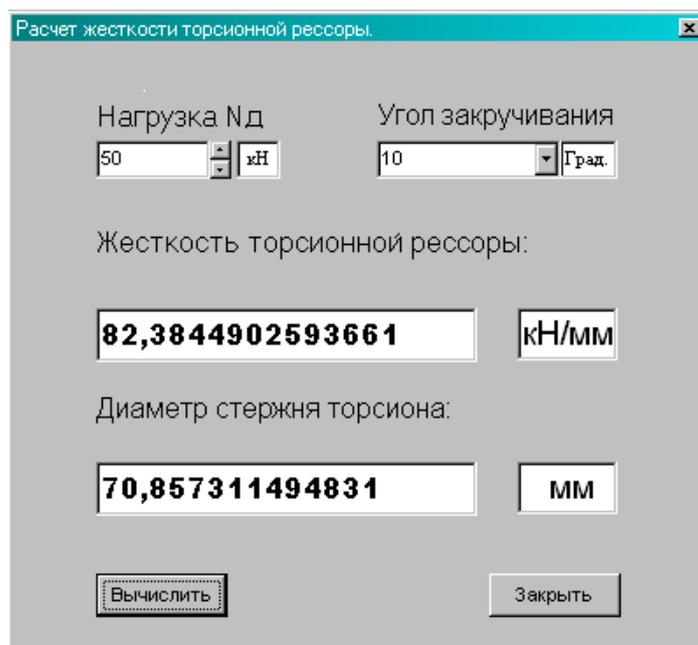


Рис.2.

Результаты исследования рекомендуются отечественным и зарубежным научным и производственным структурам проектирующим, изготавливающим и модернизирующим различные по назначению грузовые вагоны для возможного внедрения разработки в практику.

#### Список литературы

1. Вершинский С.В. и др. Динамика вагона. М.: Транспорт, 1972.-304с.
2. Шадур Л.А, Челноков И.И. Вагоны. М.: Транспорт, 1965.-365с.
3. Логинов А.И., Афанаськин Н.Е. Вагоны самосвалы. М.: Машиностроение, 1975.-192с.

### СЕКЦИЯ №9.

#### АЭРО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.07.10)

### СЕКЦИЯ №10.

#### СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.23.00)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА КАРКАСНО-ПАНЕЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Матвеев А.В., Овчинников А.А.

ТГАСУ, г.Томск

Актуальным направлением в области ресурсоэнергоэффективного домостроения является использование трехслойных стеновых панелей индустриального производства с повышенными теплотехническими характеристиками.

Одним из возможных вариантов является использование трехслойных железобетонных стеновых панелей с применением композитных гибких связей в качестве соединительных элементов наружного и внутреннего слоев.

Научно-исследовательские работы по обоснованию возможности применения композитных гибких связей в качестве соединительных элементов наружного и внутреннего слоев стеновых панелей, применяемых Томской домостроительной компанией, выполнялись в 2012-2014 годах. Основным направлением было выбрано разработка конструктивно-технологического решения трехслойных стеновых панелей для строительства каркасно-панельных зданий с применением композитных гибких связей [2], выполненных с применением стеклопластиков, что позволило исключить из существующих решений конструкций стеновых панелей соединительные жесткие связи, представляемые в виде железобетонных ребер или дискретных связей – шпонок.

В качестве основных рассматриваемых композитных гибких связей были приняты стеклопластиковые Бийского завода стеклопластиков (ООО «БЗС»). Такие связи состоят из стекловолокон, скрепленных затвердевшим термореактивным связующим с образованием на поверхности стержней ребристым покрытием для сцепления с бетоном, имеют круглый профиль и цилиндрически-конусное утолщение на анкерующих участках. Определение физико-механических параметров стеклопластиковых гибких связей проводилось рядом экспериментальных исследований в соответствии с ГОСТ 31938-2012, которые включали: определение прочности при растяжении, определение прочности анкеровки в бетоне. Результаты испытаний приведены в Табл.1. Гибкие связи рассматривались как исходного состояния, так и выдержанные в щелочной среде по ускоренной методике в соответствии с ГОСТ.

Таблица 1

Марка материала	Вид щелочного раствора	Обозначение НД на продукцию	Обозначение НД на метод испытания	Начальный модуль упругости, МПа	Среднее значение предела прочности, МПа	Остаточная прочность, %
СПГС Ø7,5	Исходное состояние	ТУ 2296-001-20994511	ГОСТ 31938-2012, прил. Б	41300	1240	100%
СПГСщ	Раствор			35150	1054	85%

Ø7,5	щелочи по рецепту ГОСТ 31938					
------	------------------------------	--	--	--	--	--

Таким образом, несмотря на слабое сопротивление стеклянных волокон агрессивному воздействию щелочной среды, являющихся основой стеклопластиковых гибких связей, связующая эпоксидная смола в значительной мере обеспечивает сохранность стекловолокон в щелочной среде, аналогичной среде бетона [1].

С учетом полученных физико-механических характеристик композитных гибких связей определено минимальное количество гибких связей для проектируемой трехслойной стеновой панели. Далее проведены численные исследования напряженно-деформированного состояния трехслойных стеновых панелей с применением композитных гибких связей методом конечных элементов. Расстановка композитных гибких связей принята с учетом рекомендаций [3]. Для расчетов принята рядовая навесная стеновая панель. Общий вид исследуемой стеновой панели приведен на Рисунке 1.

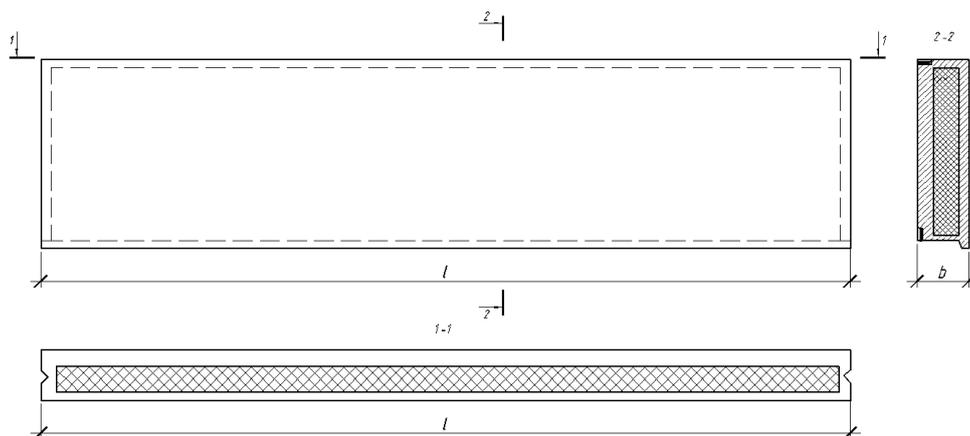


Рис.1. Геометрическая схема рассматриваемой стеновой панели

Статический расчет производится в линейной постановке на статические нагрузки (собственный вес; сдвигающие усилия, действующие на наружный железобетонный слой относительно внутреннего), ветровые нагрузки, и специальные нагрузки, возникающие при температурных деформациях, в соответствии с СП 20.13330.2011. Схема расстановки гибких связей и разбивка на конечные элементы представлена на Рисунке 2.

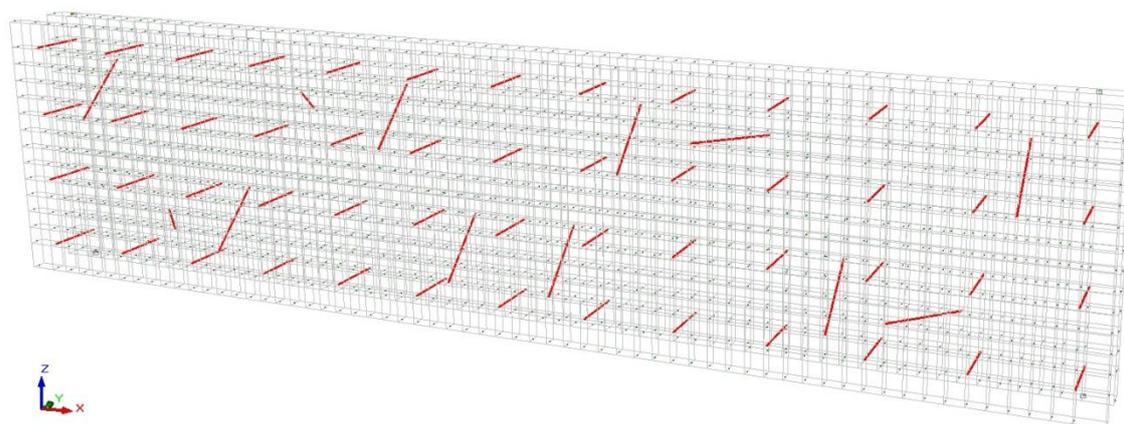


Рис.2. Схема расстановки гибких связей

Результаты численных расчетов представлены в виде изополей главных растягивающих напряжений на внешней поверхности наружного слоя трехслойной стеновой панели от температурных нагрузок при разности летней и начальной зимней температур, так как они, согласно результатам расчетов, имеют наибольшее влияние на напряженно-деформированное состояние конструкции (Рисунок 3).

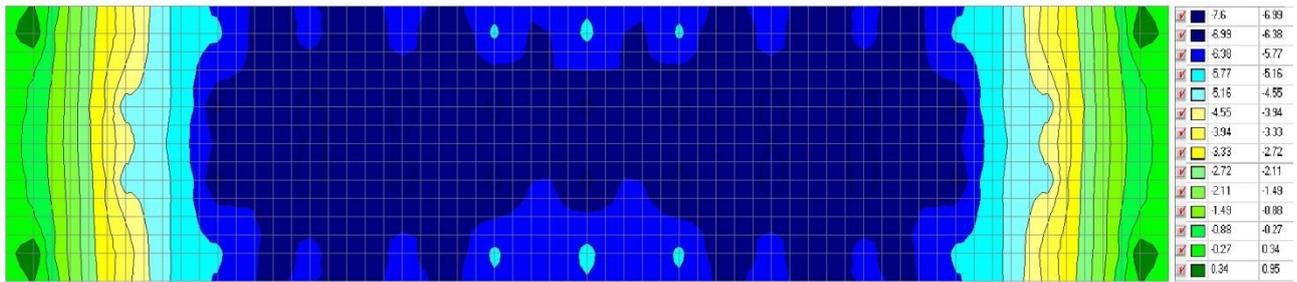


Рис.3. Изополя главных растягивающих напряжений на внешней поверхности наружного слоя, МПа

На Рисунке 3 наглядно продемонстрировано, что главные растягивающие напряжения по полю панели не превышают 0,95 МПа, что значительно ниже, чем в стеновых панелях с жестким соединением слоев [4], при этом максимальное вертикальное смещение наружного слоя относительно внутреннего не превышает 1,48 мм.

Обоснование энергоэффективности разрабатываемых конструкций численным методом для города Томска проводилось в программе Temper3D, основанной на методе конечных элементов, производящей расчеты трехмерных температурных полей, в том числе нелинейных с фазовыми переходами.

Исходные данные для создания граничных условий приняты в соответствии с СП 131.13330.2012 для г.Томска. При этом требуемое сопротивление теплопередачи ограждающих конструкций для жилых зданий г.Томска составляет  $R_0^{тп}=2,37 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

Результаты расчета в Temper3D представлены в виде таблицы с данными о тепловом потоке, проходящем как со стороны холодной поверхности, так и в обратном (по аналогии как с улицы в квартиру и наоборот) (Рисунок 4).

1					
-.388265E+02 .196556E+02					
N/N	Коэфф. тепл.	T среды	Площадь	T средняя	Тепл. поток
1	.2300E+02	-.3900E+02	.9450E+01	-.3879E+02	-.2175E+03
10	.8700E+01	.2100E+02	.9450E+01	.1874E+02	.2175E+03
Итого Q вход.= .21753E+03 Q выход.= -.21751E+03 Погрешность = .00919%					

Рис.4. Результаты расчета теплового потока в Temper3D

Приведенное сопротивление теплопередаче  $R_0$  неоднородной ограждающей конструкции определялось по известной формуле:

$$R_0 = \frac{n \cdot (t_g - t_n)}{Q} \cdot A_p = \frac{1 \cdot (21 - (-39))}{217,5} \cdot 9,45 = 2,607 (\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт})$$

Выполнение условия  $R_0 \geq R_0^{тп}$  с превышением в 10% позволяет сделать вывод о достаточном сопротивлении теплопередаче исследуемой ограждающей конструкции, что соответствует определению энергоэффективности. Температурные поля трехслойной стеновой панели с применением стеклопластиковых гибких связей и с учетом контурных железобетонных ребер приведены на Рисунке 5.

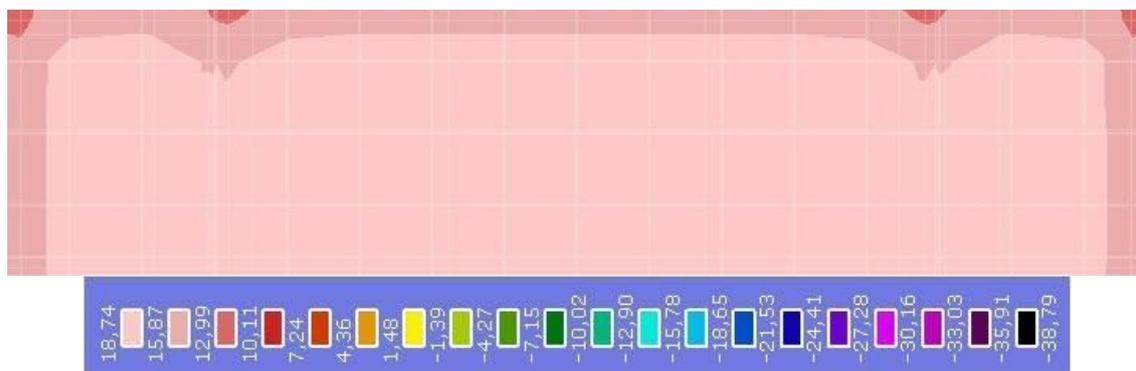


Рис.5. Температурные поля трехслойной стеновой панели с применением стеклопластиковых гибких связей

Анализируя результаты проведенных численных исследований трехслойных стеновых панелей для строительства каркасно-панельных зданий, выполненных с применением композитных стеклопластиковых гибких связей, можно сделать вывод о том, что применение стеклопластиковых гибких связей в трехслойных стеновых панелях является эффективным методом повышения эксплуатационной надежности и энергетической эффективности.

Статья подготовлена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 02.G.25.31.0022)

#### Список литературы

1. Блазнов А.Н., Волков Ю.П., Луговой А.Н., Савин В.Ф. О химической стойкости стеклопластиковой арматуры // Проектирование и строительство в Сибири. 2003. № 3. С. 34-37.
2. Патент РФ на полезную модель № 35119. Слоистая стеновая панель здания / Шапиро Г.И., Ярмаковский В.Н., Рогинский С.Л. и др.; Заявл. 21.05.2003. Оpubл. 27.12.2003. Бюл. № 36.
3. Рекомендации к применению стеклопластиковой арматуры (СПА) в качестве гибких связей трехслойных стеновых панелей / Рук. тем. В.И. Устинов. - Новосибирск: СГУПС, 1999.-41 с.
4. Матвеев А.В., Овчинников А.А. Разработка энергоэффективных крупнопанельных ограждающих конструкций // Научно-технический и производственный журнал «Жилищное строительство». 2014. №10. С. 19-23.

## МАГНЕЗИАЛЬНЫЕ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ КОМПОЗИЦИИ С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОГЕННОГО ОТХОДА

**Мирюк О.А.**

Рудненский индустриальный институт, Казахстан, г.Рудный

Возрастающий интерес к магниезиальным материалам обусловлен малой энергоемкостью производства каустического магнезита; способностью вяжущего к интенсивному твердению; высокой прочностью, износостойкостью и адгезией камня вяжущего к любым видам заполнителя. Сочетание каустического магнезита с природными и техногенными материалами расширяет ассортимент и увеличивает объем выпуска магниезиальных цементов. Преимущества смешанных вяжущих в улучшении физико-механических характеристик при одновременной экономии каустического магнезита и рациональном использовании природных и техногенных материалов [2, 3].

Мелкозернистые бетоны – перспективная разновидность композиционных материалов[1].Широкое применение техногенных заполнителей обеспечивает технологии мелкозернистых материалов ресурсосберегающий характер. Немногочисленны разработки, посвященные магниезиальным мелкозернистым композициям.

Цель работы – оптимизация состава мелкозернистых магниезиальных композиций при комплексном использовании техногенного материала.

Композиции готовили на основе смешанного вяжущего, включающего каустический магнезит (30 – 50%) и

тонкомолотые отходы обогащения скарново-магнетитовых руд (50 – 70%). В качестве заполнителя мелкозернистых композиций использованы различные фракции дробленых отходов обогащения скарново-магнетитовых руд. Композиции затворяли раствором хлорида магния плотностью 1240 кг/м<sup>3</sup>. Образцы размером 40x40x160 мм твердели на воздухе.

При формировании фракционированного техногенного заполнителя в качестве основы принята двухфракционная смесь из частиц непрерывного зернового состава «1,25 – 5,0 мм»: «0,63 – 1,25 мм» с соотношением 1:0,41 (мас. часть), полученным в результате расчета.

Методом пошагового дополнения состава двухфракционной смеси мелкой фракцией «0,14 – 0,63 мм» получены вариации фракционированного заполнителя. Отмечено, что по мере увеличения доли фракции «0,14 – 0,63 мм» возрастает значение насыпной плотности, уменьшается пустотность (Табл.1).

Таблица 1

Характеристика вариаций фракционированного заполнителя

Основные фракции заполнителя, мм	Содержание фракции «0,14 – 0,63 мм», %	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup> , в состоянии		Пустотность, %, в состоянии	
		рыхлое	уплотненное	рыхлое	уплотненное
«0,63 – 1,25» + «1,25 – 5,0»	0	1268	1492	50,0	41,3
	5	1306	1484	48,6	41,6
	10	1308	1486	48,6	41,6
	15	1313	1488	48,4	41,5
	20	1317	1494	48,3	41,3
	25	1326	1498	47,9	41,2
	30	1332	1503	47,7	41,0

Для оптимизации зернового состава фракционированного техногенного заполнителя использован метод математического планирования эксперимента. Исследованы мелкозернистые бетонные смеси с соотношением «смешанное магниальное вяжущее: заполнитель – 1: 2». Количество затворителя обеспечивало получение равноподвижных формовочных масс с расплывом конуса 120 – 130 мм. При достижении образцами необходимого возраста производили испытания на прочность.

При помощи программы «Statistica 6.0» принята матрица, получены допустимые области смесей фракций на треугольных диаграммах. Исследуемая смесь заполнителя составлена из трех фракций, мм: «0,14 – 0,63»; «0,63 – 1,25»; «1,25 – 5,0». Любая смесь трех компонентов представлена точкой в системе координат на треугольнике, определяемой тремя переменными (Табл.2).

Таблица 2

Условия эксперимента

Факторы		Уровни варьирования		
натуральный вид	кодированный вид	-1	0	+1
Доля фракции «1,25 – 5,0 мм»	X <sub>1</sub>	0,44	0,54	0,64
Доля фракции «0,63 – 1,25 мм»	X <sub>2</sub>	0,24	0,34	0,44
Доля фракции «0,14 – 0,63 мм»	X <sub>3</sub>	0,12	0,22	0,32

В результате обработки экспериментальных данных получены зависимости прочности (R) и средней плотности (ρ) от исследуемых факторов – содержания фракций заполнителя, в виде уравнений регрессии:

$$R = 35,8 - 5,9x_1 - 5,4x_2 - 4,8x_3 + 31,86x_1x_2 + 28,32x_1x_3 + 25,92x_2x_3 + 34,81x_1^2 + 29,16x_2^2 + 23,04x_3^2, \quad (1)$$

$$\rho = 2204 - 16,7x_1 - 15,8x_2 - 14,3 x_3 + 263,86 x_1x_2 + 238,81 x_1x_3 + 225,94 x_2x_3 + 278,89 x_1^2 + 249,64 x_2^2 + 204,49 x_3^2 . \quad (2)$$

Геометрическая интерпретация уравнений регрессий на Рисунке 1.

Наибольшие показатели прочности и плотности мелкозернистого бетона достигаются при преобладании в смеси крупной фракции «1,25 – 5,0 мм» – не менее 50%; при соотношении фракций «0,63 – 1,25 мм»: «0,14 – 0,63 мм», равном 1,1 – 2,0: 1,0. Высокие прочностные показатели бетона обусловлены формированием связей на контакте между камнем вяжущего и заполнителем.

Результаты исследования структуры методом электронной микроскопии (Рисунок 2) свидетельствуют о тесном срастании компонентов сложного по составу композиционного материала и коррелируются с результатами физико-механических испытаний.

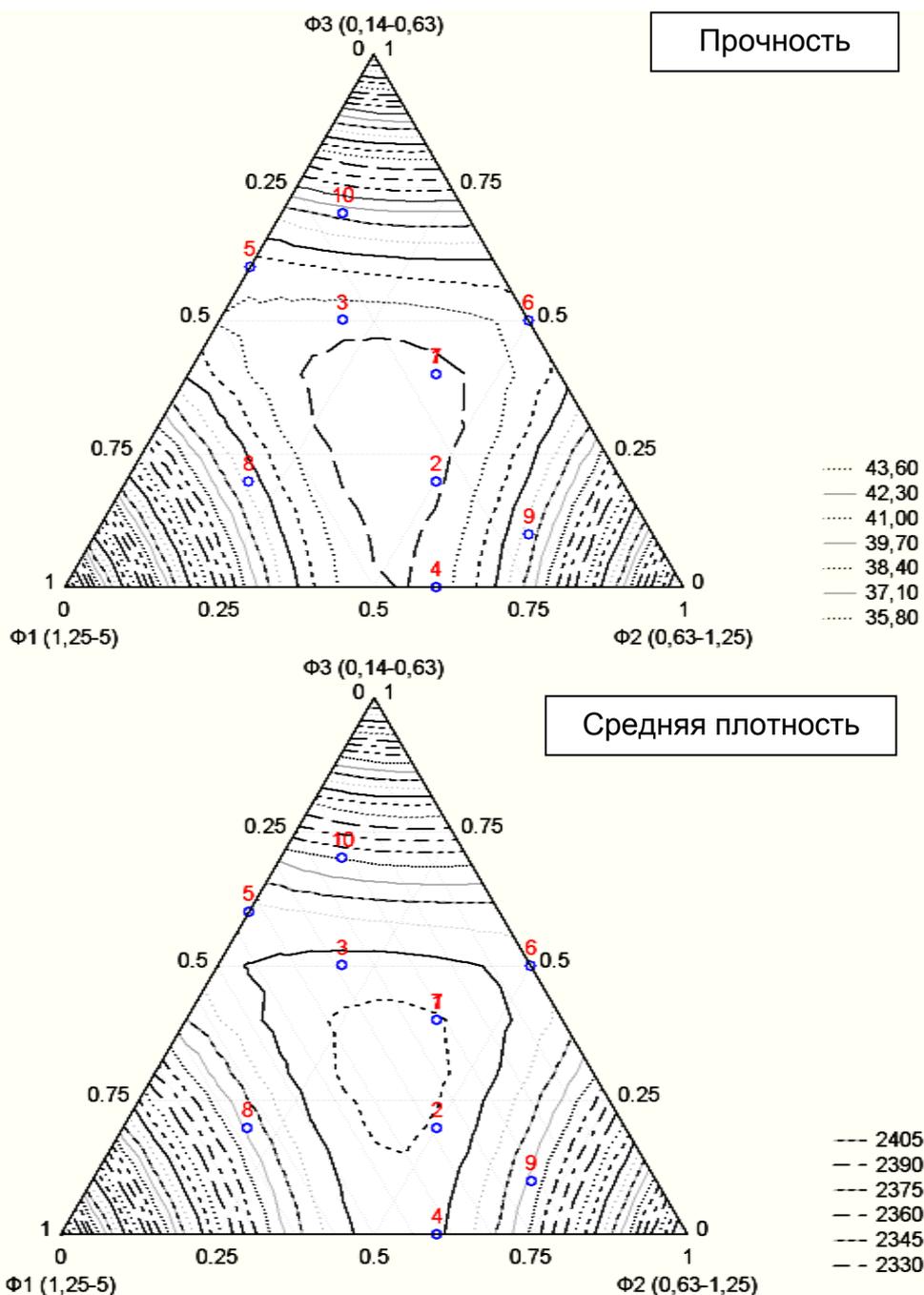


Рис.1. Поверхности отклика зависимости свойств магниальной мелкозернистой композиции от фракционного заполнителя

Сравнительные испытания мелкозернистых композиций на заполнителях природного и техногенного происхождения показали сопоставимые результаты и подтвердили принципиальную возможность получения

мелкого заполнителя с использованием отходов обогащения руд.

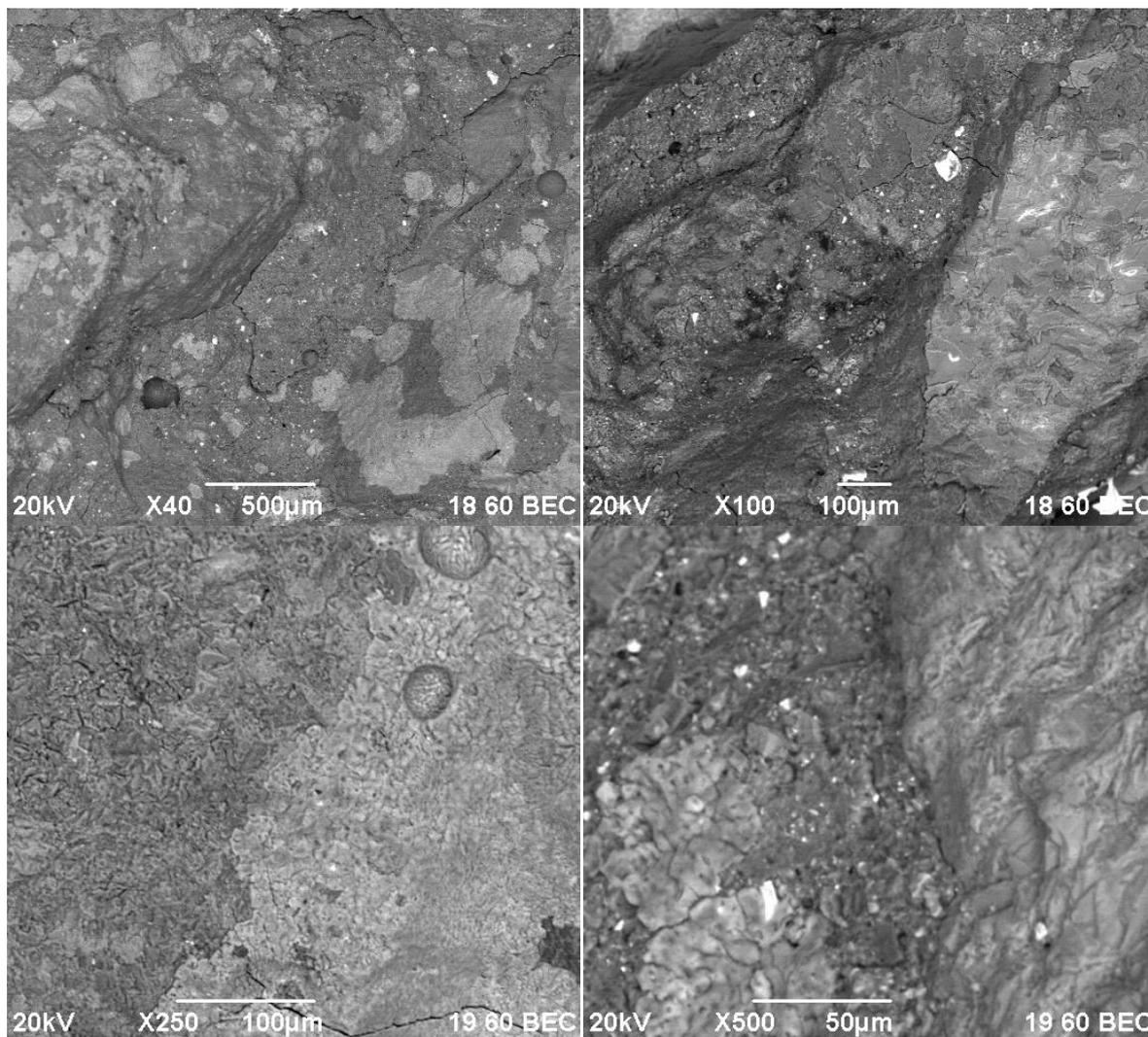


Рис.2. Микроструктура магниальной композиции

Вывод. Показана возможность получения магниальных мелкозернистых композиций при многоцелевом использовании отходов обогащения скарново-магнетитовых руд с учетом дисперсности техногенного компонента.

#### Список литературы

1. Баженов Ю.М. Многокомпонентные мелкозернистые бетоны // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века.–2001.–№ 10.– С.15.
2. Зырянова В.Н., Бердов Г.И. Магниальные вяжущие вещества из высокомагниальных отходов //Известия Вузов. Строительство. – 2005. – №10. – С. 46 – 53.
3. Мирюк О.А. Смешанные магниальные вяжущие. –LAPLAMBERTAcademicPublishing.–2014. – 128 с.

#### ОЦЕНКА ФАКТИЧЕСКОЙ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ

**Григорьев В.А.**

ФГБОУ ВПО МГСУ, г.Москва

Современные полносборные жилые дома серии КОПЭ, П-44Т, П-3М, П-44К, И-155 и др. отличаются не только эффективными материалами и изделиями, прогрессивными объемно-планировочными и конструктивными

решениями, но и их возведение предусматривается передовыми методами организации строительства и производства строительного-монтажных работ (Рисунок 1, 2) [1, 4]



Рис.1. Крупнопанельные здания серии КОПЭ проект КОПЭ-2000



Рис.2. Крупнопанельное здание серии П-44

Продолжительность строительства жилых зданий «четвертого индустриального поколения» значительно ниже, чем у их предшественников и эта тенденция для жилых зданий типовых серий сохраняется [2, 3].

Для оценки степени прогрессивности и разброса продолжительностей строительства жилых зданий произведено сопоставление показателей фактической продолжительности с показателями рекомендательного СНиП 1.04.03-85\* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий зданий и сооружений» (Табл.1, 2).

В качестве исходных данных фактической продолжительности строительства объектов использованы данные Мосгосстройнадзора г.Москвы, Департамента градостроительной политики, развития и реконструкции г.Москвы, ряда строительных организаций.

За основу приняты показатели практически всех применяемых типовых жилых домов с этажностью – 9, 14, 16-17, 22-24, 25.

Таблица 1

Оценка продолжительности строительства крупнопанельных 9-ти этажных жилых домов типовых серий

Шифр типового проекта, общая площадь, м <sup>2</sup>	Продолжительность строительства, мес.		Оценка
	фактическая, T <sub>ф</sub>	нормативная, T <sub>н</sub>	
П-44 10000	11	7,0	+4,0
П-46М 5000	10	6,5	+3,5
П-55М 5000	13	6,5	+6,5
И-155 5000	17	6,5	+10,5

Таблица 2

Оценка продолжительности строительства крупнопанельных 14-ти этажных жилых домов типовых серий

Шифр типового проекта, общая площадь, м <sup>2</sup>	Продолжительность строительства, мес.		Оценка
	фактическая, T <sub>ф</sub>	нормативная, T <sub>н</sub>	
П-46М 5000 7000	15,0	8,0	+7,0
	11,0	9,0	+2,0
П-55М 12000	133,0	9,5	+3,5
КОПЭ 15000	11,0	11,0	0,0
ГМС-2001 12000 15000	8,0	9,5	-1,5
	7,5	9,5	-2,0
111-М 5000	9	8	-1,0

Для 9-этажных жилых домов типовой серии П-44, П-47М, П-55М, И-155 превышение норм продолжительности строительства составляет от 3,5 до 10,5 мес. Среднее превышение норм определено через средневзвешенные показатели общей площади и продолжительности строительства как

$$\Delta \bar{O}_9 = \frac{\sum_{i=1}^n S_i \Delta T_i}{\sum_{i=1}^n S_i}, \quad (1)$$

где  $\Delta \bar{O}_9$  - среднее превышение норм продолжительности строительства 9-этажных жилых домов (мес.);

$S_i$  – общая площадь  $i$ -го жилого дома;

$\Delta \bar{O}_i$  – оценка продолжительности строительства  $i$ -го жилого дома;

$i = \overline{1, n}$  – индекс жилого дома

$$\Delta \bar{O}_9 = \frac{10000 \cdot 4 + 5000 \cdot 3,5 + 5000 \cdot 6,5 + 5000 \cdot 10,5}{10000 + 5000 + 5000 + 5000} = 5,7 \text{ \u0430\u043d}. \quad (2)$$

Для 14-этажных жилых домов серий П-46М, П-55М, КОПЭ, ГМС-2001, 111-М превышение норм строительства имеет разброс от 2 до 7 мес., но при этом целый ряд объектов построено за более короткий срок, чем нормативная продолжительность, т.е.

$$\Delta\bar{O}_{14} = \frac{5000 \cdot 7 + 7000 \cdot 2 + 12000 \cdot 3,5 - 12000 \cdot 1,5 - 15000 \cdot 2 - 5000 \cdot 1}{5000 + 7000 + 12000 + 12000 + 15000 + 5000} = 0,67 \text{ à } \text{àñ.} \quad (3)$$

Применительно к 16 и 17-этажным жилым домам серий ПЗМ, П-44, П-44Т, П-46, ГМС-2001, 111-М, ИП-46С превышение нормы продолжительности колеблется в пределах от 0,5 до 4,5 мес., а ряд объектов возводится в достаточно короткие сроки. Таким образом, средняя оценка составит

$$\Delta\bar{O}_{16-17} = \frac{9000 \cdot 4,5 + 12000 \cdot 8 + 20000 \cdot 4 - 3000 \cdot 1 + 8000 \cdot 1,5 + 12000 \cdot 2 + 24000 \cdot 0,5 - 20000 \cdot 1 + 5000 \cdot 1 + 6000 \cdot 4 + 12000 \cdot 4}{9000 + 12000 + 2000 - 3000 + 12000 + 24000 - 20000 + 5000 + 6000 + 12000} = 4,1 \text{ à } \text{àñ.} \quad (4)$$

Для 22-24 этажных жилых домов превышение норм продолжительности строительства для серий КОПЭ и И-155 составляет от 1,0 до 3,0мес., но при этом многие объекты возводятся в нормативные или более короткие сроки. В целом превышение норм составляет

$$\Delta\bar{O}_{22-24} = \frac{5000 \cdot 3 + 16000 \cdot 1 + 40000 \cdot 1,5 - 50000 \cdot 1,5}{5000 + 16000 + 40000 + 50000 + 90000 + 9000} = 0,07 \text{ à } \text{àñ.} \quad (5)$$

Таким образом, полученные средние значения отклонений показателей фактической продолжительности строительства от нормативных (директивных) равны

$$\Delta\bar{O}_9 = 5,7 \text{ à } \text{àñ.}, \quad \Delta\bar{O}_{14} = 0,67 \text{ à } \text{àñ.}, \quad \Delta\bar{O}_{16-17} = 4,1 \text{ à } \text{àñ.}, \quad \Delta\bar{O}_{22-24} = 0,07 \text{ à } \text{àñ.}$$

позволяют заключить, что возводимые жилые здания типовых серий могут быть разделены на две группы:

I группа – жилые дома 14, 22-24 этажные, которые в подавляющем большинстве возводятся в нормативные сроки;

II группа – жилые дома 9, 16-17 этажные, сроки строительства которых значительно превышают нормативные.

Таким образом, показатели для 16 и 17 этажных жилых домов отличаются от нормативных на 4-5% в сторону увеличения, а для 22 и 25 этажных, наоборот, сокращают нормативную продолжительность до одного месяца. В целом же директивные продолжительности строительства достаточно обоснованы с точки зрения возможной совмещенности и насыщенности фронтов работ.

#### Список литературы

1. Афанасьев А.А., Арутюнов С.Г., Афонин И.А. и др. Технология возведения полносборных зданий. М.: АСВ, 2000.-361 с.
2. Олейник П.П. Анализ и разработка норм продолжительности строительства жилых зданий типовых серий // Механизация строительства. 2008. № 2. С. 18.
3. Олейник П.П., Манукянц Д.Я. Анализ и оценка продолжительности строительства жилых зданий в Москве // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 4. С. 60.
4. Олейник П.П. Организация строительного производства. Москва, 2010. 575 с.

#### ФОРМУЛИРОВКА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ СТАЛЬНЫХ СТЕРЖНЕВЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДАЛЬНЕЙШЕГО НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Ульшин А.Н.

СПбГАСУ, г.Санкт-Петербург

На основании исследований [1], [2], [3], [4] автором были сформированы требования предъявляемые к конструкции и систематизированы по стадиям реализации в Табл.1:

Требования, предъявляемые к стальной стержневой конструкции на стадиях реализации жизненного цикла

Стадия жизненного цикла конструкции	Требования к конструкции
Проект	Высокая конструктивная технологичности
	Высокое прогнозируемое качество на уровне проекта
	Архитектурные требования
Изготовление	Обеспечение высокой технологичности изготовления
	Качество изготовления
	Обеспечение небольших сроков изготовления
Транспортирование	Удобство транспортировки
	Технологичность транспортировки
Монтаж	Обеспечение высокой технологичности монтажа
	Качество монтажа
	Обеспечение низких сроков монтажа
Эксплуатация	Низкая стоимость поддержания функционального качества конструкций

Автором сформулирован следующий комплекс оценки технологичности, позволяющий увеличить технологичность изготовления и монтажа не уменьшая при этом конструктивную технологичность и поддерживать высокий уровень качества.

Комплекс оценки технологичности – комплекс из двух обобщенных показателей: технологичности и качества, основным назначением которых является оценка затрат всех ресурсов в технологических процессах изготовления и монтажа стальных конструкций, а также качества приобретаемого в этих процессах, используемый организацией изготавливающей и монтирующей стальные конструкции для оценки конструктивно-технологических решений и их совершенствования.

Для четкого обозначения резервов оптимизации автор систематизировал основные положения классического вариантного проектирования и совершенствования конструктивно-технологического решения с использованием комплекса оценки технологичности. Прежде всего автор вводит понятие вариативных конструкций. Вариативные конструкции – конструкции, которые могут быть заменены друг на друга, в условиях определенной нагрузки, без потери несущей способности и величины полезного эффекта.

Конструкции считаются вариативными если имеют равные:

$S, V$  – площадь или объем обеспеченные несущей способностью конструкции,  $m^2, m^3$

$L$  – длины конструкций, м

$F$  – нагрузки на  $m^2$  площади покрытия или  $m^3$  объема, кН

Классическое вариантное проектирование:

На стадии проекта определяется конструкция с максимальным значением  $K_k$  и качеством, регламентируемым СП 16.13330.2011

$$K_{техн.п.} = f(\max K_k, K_u, K_m) \quad (1)$$

$K_{техн.п.}$  – показатель комплексной технологичности стальной конструкции;

$K_k$  – показатель технологичности конструирования, определяемый путем расчета по предельным состояниям, согласно СП 16.13330.2011;

$K_u$  – показатель технологичности изготовления, не определяется так как на стадии проектирования не известны условия изготовления;

$K_m$  – показатель технологичности монтажа, не определяется так как на стадии проектирования не известны условия монтажа.

$$K_{кач} = f(K_{над.по.нагр}, K_{функц.}) \quad (2)$$

$K_{кач}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества стальной конструкции;

$K_{над.по.нагр}$  – показатель надежности по нагрузке, значения регламентируются при помощи коэффициентов надежности по нагрузке СП 16.13330.2011;

$K_{функц.}$  – показатель функционального качества, значения регламентируются расчётом по предельным состояниям в соответствии со СП 16.13330.2011;

Совершенствование конструктивно-технологического решения с использованием комплекса оценки технологичности:

На стадии получения проекта организацией изготовления и монтажа определяются вариативные конструкции, с близкими значениями  $Kк$  относительно проектных и максимальными значениями, и качеством, большим или равным регламентируемым СП 16.13330.2011

$$K_{техн.} = f(\approx \max Kк, \max Kи, \max Kм) \quad (3)$$

$\approx \max Kк$  – величина приближенно равная максимальному проектному значению конструктивной технологичности для вариативных конструкций;

$Kк$  – показатель технологичности конструирования, определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа вариативных конструкций и параметров расчетной схемы, без расчета по несущей способности;

$Kи$  – показатель технологичности изготовления, определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа технологии изготовления и параметров конструкции;

$Kм$  – показатель технологичности монтажа определяемый на основании уравнений регрессии в зависимости от типа технологии монтажа и параметров конструкции.

$$K_{кач} = f(K_{над.по.нагр}, K_{функц.}, K_{изг}, K_{монт}) \quad (4)$$

$K_{изг}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества изготовления, зависит от точности технологии производства (оборудование);

$K_{монт}$  – прогнозируемый комплексный показатель качества монтажа, зависит от точности технологии выверки при монтаже.

За счет того, что становится известна технология изготовления и монтажа появляется возможность более точного вычисления показателей качества и технологичности изготовления, и монтажа стальной стержневой конструкции. Для получения точных значений показателей технологичности изготовления и монтажа необходимо разработать уравнения регрессии основных параметров технологичности (трудоемкости изготовления, трудоемкости монтажа) при различных технологиях изготовления и монтажа в зависимости от параметров конструкции.

Учитывая найденные автором исследования возможности и механизмы оптимизации можно сформировать следующую гипотезу: совершенствование конструктивно-технологического решения стальных стержневых конструкций путем подбора оптимального варианта геометрической формы конструкции, совершенствования отдельных частей конструкции, значений отдельных конструктивных параметров при определенной технологии изготовления и монтажа для организаций, занимающихся их изготовлением и монтажом позволяет увеличить комплексную технологичность по сравнению с проектным вариативным проектированием.

Для подтверждения данной гипотезы автор ставит задачу проведения эксперимента применения комплекса оценки технологичности для вариативных конструкций в одних и тех же условиях изготовления и монтируемые одним и тем же методом, который должен доказать возможность повышения технологичности и подтвердить адекватность отражения значений отдельных показателей технологичности изготовления и монтажа по сравнению с фактическими.

Для применения комплекса повышения технологичности автор сформулировал следующие задачи, которые необходимо решить автору:

-проанализировать существующие разработки в области оценки технологичности по отдельным стадиям: конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа стальных конструкций на возможность их применения;

-сформировать и обосновать набор параметров технологичности, который может быть использован в исследовании для определения показателей технологичности изготовления и монтажа;

-предложить способ оценки конструктивной технологичности для вариативных конструкций, вывести уравнение регрессии основного параметра конструктивной технологичности-массы (с возможностью определения без расчета по предельным состояниям);

- предложить способ оценки технологичности изготовления для вариативных конструкций, вывести уравнение регрессии основного параметра технологичности изготовления-трудоемкости изготовления при различных технологиях изготовления, произвести факторный анализ уравнения трудоемкости изготовления;
- предложить способ оценки технологичности транспортировки для вариативных конструкций, вывести уравнение регрессии технологичности транспортировки;
- предложить способ оценки технологичности монтажа для вариативных конструкций, вывести уравнение регрессии основного параметра технологичности монтажа-трудоемкости монтажа при различных технологиях, произвести факторный анализ уравнения трудоёмкости монтажа;
- определить весомости показателей технологичности: конструирования, изготовления, транспортировки, монтажа в составе комплексного показателя технологичности;
- разработать систему принятия решений по набору показателей комплексной технологичности и комплексного качества при различных вариантах конструкций, технологий изготовления и монтажа;
- проанализировать существующие разработки в области комплексной оценки качества стальных конструкций;
- разработать комплексный критерий оценки прогнозируемого качества изготовленной и смонтированной стальной стержневой конструкции, на его основе определить значения изменения уровня качества при различных технологиях изготовления и монтажа;
- выявить алгоритм применения комплекса оценки технологичности;
- подтвердить экспериментально адекватность определения комплексных показателей технологичности, качества, отдельных показателей технологичности конструирования, изготовления, транспортировки и монтажа, а также эффект от применение комплекса оценки технологичности.

#### Список литературы

1. Алексейцев. А.В. Эволюционная оптимизация стальных ферм с учетом узловых соединений стержней // Инженерно-строительный журнал. 2013.№5 .С.28-37.
2. Исаев А.В., Кузнецов И.Л. Вариантность критериев оптимальности при синтезе рационального конструктивного решения на примере стропильных ферм // Известия КазГАСУ.2009. №1(11). С.92-98.
3. Коклюгина Л.А. Оценка и выбор конструктивного решения металлических конструкций для реализации инвестиционного проекта. Дисс... канд. техн. наук. Казань. 2000.125 с.
4. В.Т. Шаленный., Р.Б. Папирный. Повышение технологичности проектных решений монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений // ПГС.2010. №2. С.19-21.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ И ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ НА ИЗГИБ С КРУЧЕНИЕМ

**Родевич В.В., Арзамасцев С.А.**

ТГАСУ, г.Томск  
ООО «Стройтехинновации ТДСК», г.Томск

Для проведения исследований прочности, жесткости и трещиностойкости элементов, работающих на изгиб с кручением, разработана программа экспериментальных исследований, предусматривающая испытание 2-х серий образцов с варьированием отношения крутящего момента к изгибающему 0,4 и 0,8.

Проектирование образцов осуществлялось в соответствии с нормативными требованиями СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения», согласно которому максимальный крутящий момент, воспринимаемый сечением, зависит от величины изгибающего момента, вызванного этой нагрузкой:

$$T \leq T_0 \sqrt{1 - \left( \frac{M}{M_{ult}} \right)^2}$$

Тогда определение расчетной разрушающей нагрузки происходит методом последовательного вычисления обоих параметров и сравнения с действующей нагрузкой (см. Табл.1).

Определение разрушающей расчетной нагрузки

Нагрузка, Р (кН)	Изгибающий момент, М (кН·м)	Крутящий момент, Т (кН·м) при $e=0,25$	Крутящий момент, Т (кН·м) при $e=0,4$	$T_0 \sqrt{1 - \left(\frac{M}{M_{ult}}\right)^2}$ , (кН·м)
...	...	...	...	...
7,0	4,2	1,75	2,8	3,104
7,5	4,5	1,875	3	3,044
8,0	4,8	2	3,2	2,978
8,5	5,1	2,125	3,4	2,906
9,0	5,4	2,25	3,6	2,827
9,5	5,7	2,375	3,8	2,741
10,0	6	2,5	4	2,648
10,5	6,3	2,625	4,2	2,546

Для проведения экспериментальных исследований в испытательном центре Томского ГАСУ смоделирован и собран стенд для проведения испытаний на изгиб с кручением. Модель и общий вид стенда представлены на Рисунке 1. Данный стенд позволяет одновременно нагрузить экспериментальный образец изгибающим моментом при помощи пары сил, приложенных к образцу, а также крутящим моментом за счет наличия эксцентриситета приложения нагрузки. При этом в середине образца формируется участок с контролируемыми величинами изгибающего и крутящего моментов (в дальнейшем расчетная зона).

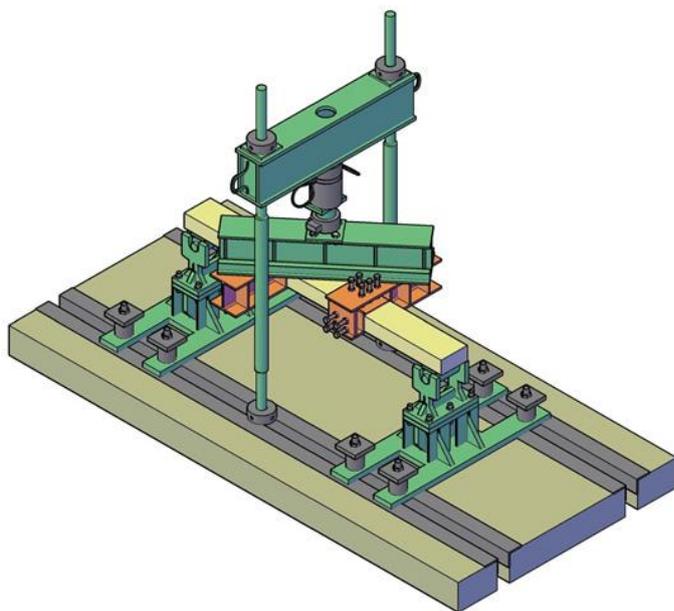


Рис.1. Модель и общий вид экспериментального стенда

В расчетной зоне предусмотрено измерение линейных деформаций при помощи наклеенных на арматуру и бетон образца тензометрических датчиков линейных перемещений. Помимо деформаций в бетоне и арматуре образца, в ходе испытаний фиксировались изменения положения элемента в пространстве. Для этого по длине конструкции установлены прогибомеры WayCon марки SL50-G-SR, позволяющие прямым или косвенным способом определить прогиб конструкции и углы закручивания.

Полученные с помощью прогибомеров перемещения после математических преобразований позволяют рассчитать углы закручивания конструкции по формуле:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{f_{\max} - f_{\min}}{2L}\right),$$

где  $\varphi$  – угол закручивания конструкции;

$f_{\max}, f_{\min}$  - значения прогибов в расчетном сечении максимального и минимального соответственно, мм;

$L$  – расстояние от продольной оси до прогибомера, мм.

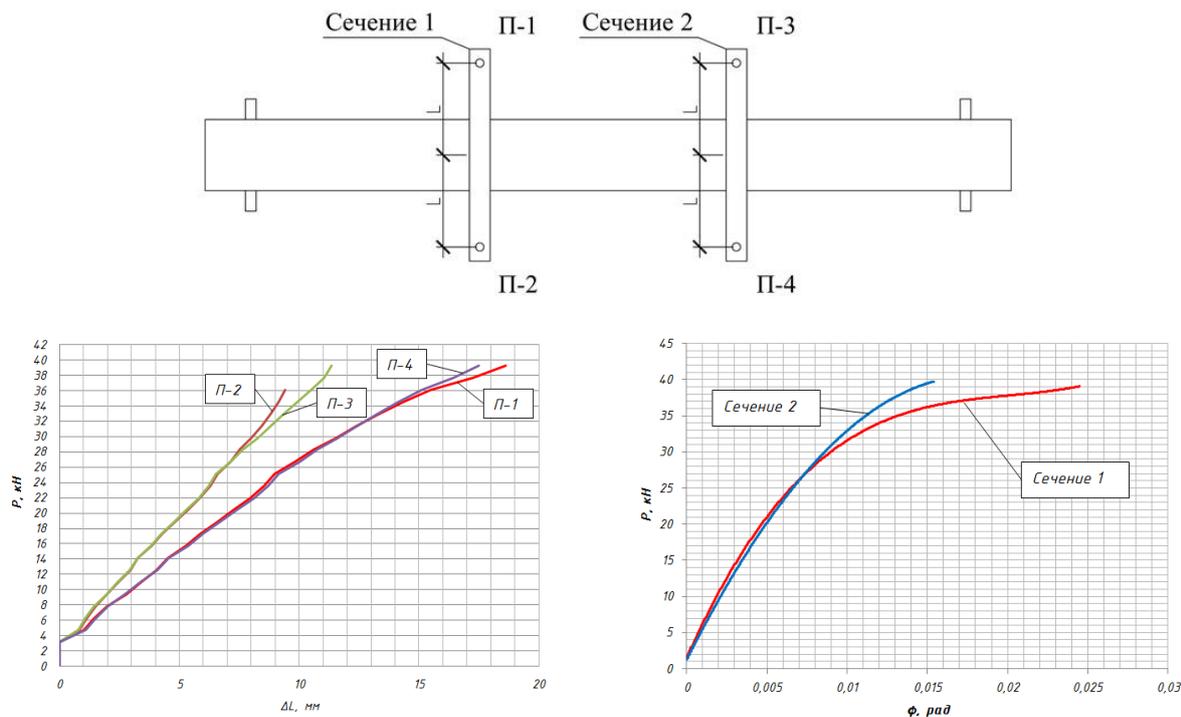


Рис.2. Схема расстановки прогибомеров в расчетных сечениях и характерные графики деформаций: слева – перемещения для расчетных точек; справа – углы закручивания расчетных сечений

Результаты испытаний показали, что разрушение конструкций, работающих на изгиб с кручением, происходит с образованием пространственного сечения, заключенного между спиральной трещиной, образующейся по 3-м растянутым граням образца, и наклонной трещиной в сжатой зоне, соединяющей начало и конец спиральной (Рисунок 3).

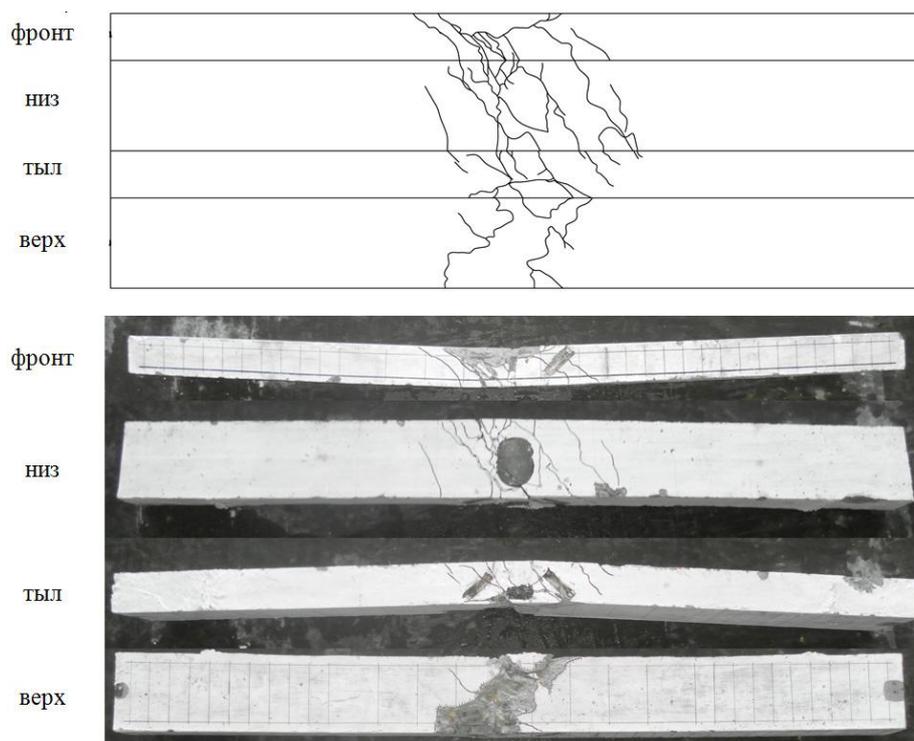


Рис.3. Схема трещинообразования и общий вид конструкции после разрушения

Авторами данной статьи предусмотрено проведение численного анализа экспериментальных исследований и сопоставление результатов эксперимента с результатами расчета. Для этого в программно-вычислительном комплексе Lira собрана модель экспериментальных образцов с использованием объемных элементов с типом конечного элемента №236. Физико-механические характеристики арматуры и бетона заданы с учетом нелинейной работы материалов. Опираение элемента выполнено введением одноузловых конечных элементов односторонней связи, работающих только на сжатие. Данное мероприятие позволило учесть реальную работу конструкции на опоре аналогично работе конструкции при проведении испытания.

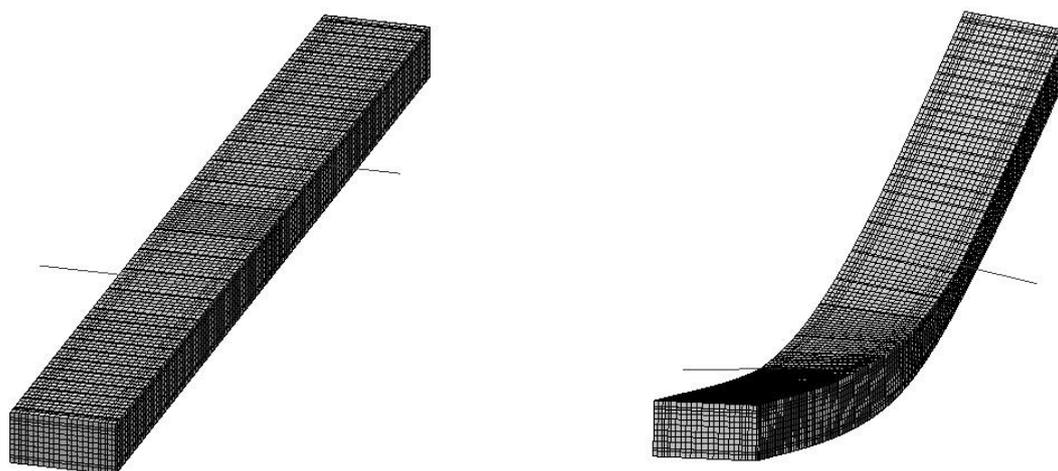


Рис.5. Общие виды расчетной схемы образца и деформированной схемы образца

Результаты численных исследований согласуются с результатами экспериментальных исследований с расхождением не более 10-14 %. При этом до образования трещин в образце расхождения в результатах расчета и эксперимента не превышают 5 %. Так же выявлено, что с уменьшением величины крутящего момента сходимость результатов расчета и эксперимента увеличивается. В будущем авторами будет предпринята попытка определения расчетным путем влияние формы поперечного сечения, соотношения крутящего и изгибающего момента, физико-механических свойств материалов а так же армирования экспериментальных образцов на напряженно-деформированное состояние образцов.

### Список литературы

1. Бахотский, И.В. Теоретическое исследование напряженно-деформированного состояния фиброжелезобетонных элементов, подверженных воздействию кручения с изгибом [Текст] // Материалы V-ой международной конференции «Актуальные проблемы архитектуры и строительства». – В 2 ч. Ч. I – СПб: СПбГАСУ, 2013. – С.163-169
2. Коуэн Г.Д. Кручение в обычном и предварительно напряженном железобетоне. – М., 1972– 104 с.

## СЕКЦИЯ №11.

### ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.17.00)

#### ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ АЛЮМИНИЯ И АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

Минаев Д.В.

ИрГТУ, г.Иркутск

Анодно-оксидные покрытия на изделиях из алюминия и его сплавов предназначены для их защиты от атмосферной коррозии. При окислении большинства алюминиевых сплавов в серной кислоте образуются прозрачные покрытия небольшой толщины. Для увеличения защитной способности и придания красивого внешнего вида изделия после окисления подвергают специальной обработке – наполнению [1]. Наполнение проводят паром или горячей водой. Особенно эффективно наполнение в растворах хроматов или бихроматов при повышенной температуре. После обработки в хроматном растворе анодно-оксидное покрытие приобретает светлую желто-зеленую окраску.

В некоторых случаях детали приборов и другие изделия из алюминия и его сплавов после анодного окисления подвергают наполнению в растворах органических или неорганических красителей. Анодно-оксидные покрытия характеризуются высокой твердостью и износостойкостью, а также для создания диэлектрических свойств. С повышением температуры анодного окисления твердость покрытия уменьшается. Особо твердые покрытия получают при так называемом твердом или глубоком окислении. Отличительной способностью твердого анодирования является проведение процесса при пониженных температурах от  $-10$  до  $10$  °С. Получаемые при этом покрытия отличаются высокой твердостью (7–9 класса по шкале Мооса), износостойкостью и хорошими электроизоляционными свойствами [2].

Оксидированию рекомендуется подвергать такие изделия, которые не подлежат последующей деформации. С повышением температуры эластичность покрытий улучшается [3].

Основные характеристики электроизоляционных свойств диэлектрических анодно-оксидных покрытий это их пробивное напряжение, электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь и величина электросопротивления.

Пробивное напряжение покрытий на алюминии в зависимости от условий проведения окисления колеблется от 700 до 2200 В, электрическая прочность от 11,7 до 23,2 В/мкм. С повышением температуры окисления получают покрытия с более высоким пробивным напряжением. Вследствие высокого омического сопротивления анодно-оксидных покрытий напряжение при анодном окислении значительно выше, чем при многих процессах электроосаждения металлов, оно достигает 12 В и более [3].

При анодировании алюминия одновременно протекает два процесса: электрохимическое образование плёнки и химическое растворение её. Только в растворах серной, щавелевой и хромовой кислот, где скорость растворения плёнки ниже, чем скорость её образования, возможен рост плёнки.

Электролиты для анодного окисления алюминия и его сплавов подразделяют на следующие:

- в которых оксид алюминия практически нерастворим, например растворы слабых кислот (борной, винной, лимонной) или их солей. Образующиеся в этих электролитах плёнки барьерного типа толщиной до 1 мкм почти не имеют пор и являются диэлектриками;
- достаточно хорошо растворяющие оксид алюминия, это растворы таких кислот, как серная, фосфорная и другие.

В настоящее время известно большое количество различных технологий анодного оксидирования алюминия, которые имеют свои преимущества и недостатки. Ниже перечислены наиболее часто применяемые на практике технологии оксидирования.

Это оксидирование в серноокислотном электролите, позволяющее получать твёрдые оксидные плёнки толщиной 5–8 мкм, имеющие химический состав  $Al_2O_3$ , твердость корунда и хорошую износостойкость, вместе с высокими декоративными свойствами. Жаростойкость анодной оксидной плёнки доходит до 2000 °С. Механизм роста плёнки при серноокислом анодировании алюминия делят на два этапа: образование беспористого барьерного слоя, плотно прилегающего к поверхности металла; образование и дальнейший рост пористого слоя.

Серноокислый электролит, благодаря своей экономичности, возможности обработки в нем различных сплавов алюминия и получения оксидных покрытий, обладающих хорошими эксплуатационными свойствами, наиболее широко применяется в промышленности. Бесцветные, прозрачные защитно-декоративные оксидные покрытия в серноокислом электролите могут быть получены на сплавах, в которых содержание легирующих компонентов не превышает (масс. %): железа 0,5; меди 2; магния 7; цинка 7; кремния 3; марганца 0,8; хрома 0, и титана 0,3 [4].

Оксидирование в щавелевокислом электролите. Позволяет получать качественные электроизоляционные покрытия с малой пористостью. Цвет оксидных покрытий, получаемых в щавелевокислом электролите, зависит от их толщины, состава обрабатываемого сплава и режима электролиза. С увеличением толщины плёнки на алюминии от 5 до 100 мкм ее цвет изменяется от серовато-белого до коричневого. Покрытия, сформированные при комнатной температуре, имеют серебристую окраску, с повышением температуры и анодной плотности тока они приобретают желтый, а затем коричневый цвет, напоминающий бронзу. Светлые пленки можно окрашивать органическими красителями в черный цвет. В зависимости от состава обрабатываемого сплава цвет покрытий может быть светло-коричневым и даже черным.

Оксидирование в хромовокислом электролите. Хромовокислые электролиты оксидирования менее агрессивны по отношению к алюминию и оксидной пленке, чем серноокислые. Это, в основном, и определяет область их применения. В таких электролитах обрабатывают детали первого и второго класса точности, а также изделия, имеющие сварные и клёпаные соединения. Особенно пригодны эти электролиты для обработки изделий из литейных алюминийно-кремниевых сплавов. Наличие на поверхности деталей мелких пороков литья, раковин, из которых трудно удалить следы оксидированного электролита, делают невозможным использование для их оксидирования весьма агрессивного серноокислого раствора. В этом случае хромовокислый электролит имеет преимущество. По сравнению с оксидными покрытиями, сформированными в серноокислом или щавелевокислом электролитах, покрытия из хромовокислого раствора характеризуются меньшей твердостью и износостойкостью, что исключает их применение для изделий, работающих в условиях трения или под механической нагрузкой. Толщина пленок, получаемых при хромовокислом оксидировании, не превышает 4–8 мкм. Они сравнительно эластичны и малопористы. Последнее обстоятельство проявляется в том, что такие плёнки плохо поддаются адсорбционному окрашиванию органическими красителями и наполнению хроматами.

Целью работы явилось получение хромовокислого электролита анодного оксидирования, эксплуатируемого в средах с повышенным содержанием хлоридов. Так как под действием хлорид-ионов наблюдается растрескивание оксидной плёнки. Известен электролит на основе серной кислоты, содержащий кобальтовый комплекс макрогетероциклического соединения, содержащий остатки 1,3,4-тиадиазола, и производное флуорантена 5-амино-4-оксифлуорантенсульфонат калия [5].

Кобальтовый комплекс и производное флуорантена, входящие в состав серноокислого электролита, придают получаемым анодным покрытиям устойчивость к воздействию хлорид-ионов. Подобные добавки были введены в хромовокислый электролит. Предлагаемый электролит содержал хромовую кислоту, подобный кобальтовый комплекс и производное флуорантена. Все образцы после анодного оксидирования успешно выдержали испытания по ГОСТ. 9.031-74.

На основании проведенных экспериментальных данных можно сделать вывод о том, что применение на практике предлагаемого хромовокислого электролита позволяет существенно повысить защитную способность анодных

оксидных пленок в средах, содержащих хлорид-ионы.

#### Список литературы

1. Гальванотехника: Справочник / Под ред. А.М. Гинберга, А.Ф. Иванова, Л.Л. Кравченко – М.: Металлургия. – 1987. – 736 с.
2. Оборудование цехов электрохимических покрытий: Справочник / Под ред. П.М. Вячеслава – Л. Машиностроение. – 1987. – 309 с.

3. Патент RU 2416680. Электролит анодирования алюминия и его сплавов. / Кравцов Е.Е. и др. – Оpubл. 20.04.2011.
4. Хенли В.Ф. Анодное оксидирование алюминия и его сплавов. – М.: Металлургия. – 1986.– 153 с.
5. Ямпольский А.М. Гальванотехника. Краткий справочник. / А.М. Ямпольский, В.А. Ильин – Л.: Машиностроение. – 1972. – 224 с.
6. Ямпольский А.М. Гальванические покрытия. – Л.: Машиностроение. – 1978. – 168 с.

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА

**Чернов Г.А.**

ТГТУ, г.Тамбов

Решение задачи создания энергосберегающих индивидуальных систем жизнеобеспечения человека возможно с использованием методов математического моделирования и оптимизации тепло- и массообменных процессов адсорбции азота слоем адсорбента.

При выводе уравнений математической модели нестационарного процесса обогащения воздуха кислородом (при адсорбции азота) принимались следующие допущения: 1) величиной адсорбции кислорода можно пренебречь; 2) давление и температура воздуха в адсорбере, температура адсорбента, концентрация азота в газовой и твердой фазах изменяются только в продольном направлении адсорбера; 3) коэффициент продольной диффузии по газовой фазе зависит только от температуры газового потока; 4) равновесная величина адсорбции азота подчиняется закономерностям теории объемного заполнения микропор и зависит от концентрации азота в газовой фазе.

С использованием данных допущений разработана математическая модель, подробно описанная в [1]. Система уравнений решалась с использованием итерационного алгоритма [2] и метода конечных элементов в системе Matlab.

Задача аппаратно – технологического оформления нестационарного процесса обогащения воздуха кислородом формулируется как задача оптимизации конструктивных и режимных (режимных) переменных установки короткоциклового адсорбции: для заданного типа  $a \in A$  адсорберов и заданных значений производительности  $Q_{зад}$ , концентрации кислорода  $c_{O_2}^{вых}$  на выходе из установки требуется определить конструктивные параметры (тип  $b \in B$  адсорбента, высоту слоя  $H$  адсорбента, диаметр  $D_{вн}$  адсорбера) установки и режимные переменные (значения давлений адсорбции  $P_{ад}$  и десорбции  $P_{дес}$ , длительность цикла  $\tau_{ц}$ , коэффициент обратной промывки  $\theta$ ) процесса обогащения воздуха кислородом, при которых достигается минимум приведенных затрат (ПЗ) на создание адсорбционного концентратора кислорода, т.е.

$$ПЗ(a, b, H, D_{вн}, P_{ад}, P_{дес}, \tau_{ц}, \theta) \rightarrow \min_{a, b, H, D_{вн}, P_{ад}, P_{дес}, \tau_{ц}, \theta} \quad (1)$$

при связях в форме уравнений математической модели и ограничениях:

$$\text{по производительности } Q(a, b, H, D_{вн}, P_{ад}, P_{дес}, \tau_{ц}, \theta) = Q_{зад}; \quad (2)$$

$$\text{по чистоте кислорода } c_{O_2}^{вых}(a, b, H, D_{вн}, P_{ад}, P_{дес}, \tau_{ц}, \theta) \geq [c_{O_2}^{вых}]_{зад}; \quad (3)$$

$$\text{по коэффициенту давления } k_p = P_{ад}/P_{дес} \leq \hat{k}_p; \quad (4)$$

по массе и габаритам адсорберов концентратора

$$M(a, b, H, D_{вн}, P_{ад}, P_{дес}, \tau_{ц}, \theta) \leq \hat{M}, \quad H \leq \hat{H}, \quad D_{вн} \leq \hat{D}, \quad (5)$$

где  $\hat{M}, \hat{k}_p, \hat{H}, \hat{D}_{вн}$  - максимально допустимые значения массы, коэффициента давления и габаритов адсорберов установки.

Задача (1)-(5) относится к классу задач нелинейного программирования, для решения которой был разработан алгоритм с использованием высокоэффективного метода последовательного квадратичного программирования [3]. В качестве примера рассмотрим задачу оптимального проектирования адсорбционного генератора кислорода индивидуальной системы жизнеобеспечения. Техническое задание на проектирование

включает достижение следующих характеристик: производительность системы -  $Q_{\text{зад}}=0,05 \times 10^{-3} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ , чистота кислорода ( $C_{O_2}^{\text{вых}}$ )<sub>зад</sub>  $\geq 90\%$ ; предельно допустимые значения массы адсорберов  $\hat{M}=0,5 \text{ кг}$ , отношение давлений адсорбции  $P_{\text{ад}}$  и десорбции  $P_{\text{дес}}$  -  $\hat{k}_p=2,5$ ; высота слоя адсорбента  $\hat{H}=0,3 \text{ м}$  и диаметр адсорбера  $\hat{D}_{\text{вн}}=0,08 \text{ м}$ .

Результаты решения задачи (1)-(5) представлены в Табл.1.

Таблица 1

Аппаратурно-технологическое оформление адсорбционного концентратора кислорода

Двухадсорберная установка с вакуумной десорбцией
Гранулированный адсорбент на основе цеолита NaX, с диаметром гранул ( $d_p$ )= $4 \times 10^{-4} \text{ м}$ , удельным объемом транспортных пор ( $\epsilon_2$ )= $0,394 \text{ см}^3/\text{г}$ , кажущейся плотностью ( $\rho_a$ )= $660 \text{ кг}/\text{м}^3$ и предельным адсорбционным объемом ( $W_0$ )= $0,220 \text{ см}^3/\text{г}$ .
Конструктивные параметры адсорбера: $\hat{H}^*=0,28 \text{ м}$ ; $\hat{D}_{\text{вн}}^*=0,032 \text{ м}$ .
Режимные переменные процесса обогащения воздуха в адсорбционной установке: $P_{\text{ад}}^*=1,8 \times 10^5 \text{ Па}$ ; $P_{\text{дес}}^*=0,6 \times 10^5 \text{ Па}$ ; $\theta^*=2,5$ ; $\tau_{\text{ц}}^*=1,8 \text{ с}$ ; $Q_{\text{исх}}^*=2,93 \times 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ с}^{-1}$ ;
Технико – экономические показатели адсорбционного концентратора: $\text{ПЗ}^*=41150 \text{ руб}$ ; $M^*=0,4 \text{ кг}$ ; $N^*=78 \text{ Вт}$ .

В результате анализа решения задачи оптимального проектирования установлено, что приведенные затраты на создание индивидуальной системы жизнеобеспечения человека в наибольшей степени зависят от величин:  $\theta$ ,  $k_p = P_{\text{ад}} / P_{\text{дес}}$ . При увеличении величины  $k_p$  в два раза (с 3 до 6) величина ПЗ увеличиваются на 31,5%, при аналогичном увеличении  $\theta$  – ПЗ увеличиваются на 26%. Таким образом, снижение величины приведенных затрат на создание адсорбционного концентратора кислорода в первую очередь связано с уменьшением величин  $\theta$  и  $k_p = P_{\text{ад}} / P_{\text{дес}}$ .

Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук в области знания «Технические и инженерные науки», № МК-3075.2014.8

Работа выполнена под руководством доцента, к.т.н. Акулинина Е.И.

#### Список литературы

1. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Симаненков С.И., Ермаков А.А. Современные тенденции по уменьшению энергозатрат кислорододобывающих установок короткоцикловой безнагревной адсорбции. Вестник Тамбовского государственного технического университета, Тамбов, 2008. Т. 14. №3. С. 597-601.
2. Акулинин Е.И., Дворецкий Д.С., Дворецкий С.И., Ермаков А.А., Симаненков С.И. Математическое моделирование процесса обогащения кислородом воздуха в установке короткоцикловой адсорбции. // Вестник Тамб. ГТУ, Тамбов, 2009. Т. 15. №2. С. 341-355.
3. Boggs, P.T., Jolle, J.W. Sequential Quadratic Programming. / P.T. Boggs, J.W. Jolle // Acta Numerica, 1996. – 52 p.

## ТЕРМОРЕАКТИВНЫЙ ПОЛИИМИД СЕТЧАТОГО СТРОЕНИЯ

**Мухаметов Р.Р.**

ФГУП «ВИАМ», г.Москва

Разработка новых конструкционных полимерных композиционных материалов (ПКМ), обладающих повышенными эксплуатационными характеристиками (сочетание высоких тепло- и термостойкости, трещиностойкости и ударной прочности) представляет собой актуальную задачу современного материаловедения [1, 2]. Связующие для ПКМ на основе бисмалеимидов (БМИ) – семейство термостойких термореактивных матриц для ПКМ, обладающих температурой стеклования в интервале 250-300°C, используемых в промышленности начиная с 1970-х гг. В настоящее время бисмалеимиды находят широкое применение в промышленности благодаря присущему им уникальному сочетанию свойств, включая способность сохранять физические характеристики при высоких температурах и в среде повышенной влажности, практически неизменные

электрические свойства в широком температурном диапазоне, негорючесть и технологичность [3-6]. Бисмалеимиды занимают ведущее место в классе термореактивных сетчатых полиимидов и находят широкое применение как связующие для конструкционных ПКМ [7-11].

В качестве исходных химических компонентов для изготовления связующего для ПКМ авиационного назначения был использован бисмалеимид на основе 4,4'-диаминодифенилметана, триаллилизотиоцианурат, бутадиен-акрилонитрильный каучук СКН-30КТРА и 2,2'-бис (цианатофенил) пропан. Все вышеперечисленные компоненты были использованы в исходном виде без какой-либо дополнительной обработки. Разработанное в рамках настоящего исследования связующее было получено путем механического смешения в химическом реакторе указанных компонентов в определенном соотношении в токе инертного газа при 120 °С в течение 30 мин. Отверждение связующего проводили по ступенчатому режиму в температурном диапазоне 180-230 °С.

Полученное связующее при комнатной температуре представляет собой пластическую массу желтого цвета, переходящую в состояние жидкого расплава при нагреве выше 100°С. Зависимость динамической вязкости связующего от температуры приведена на Рисунке 1.

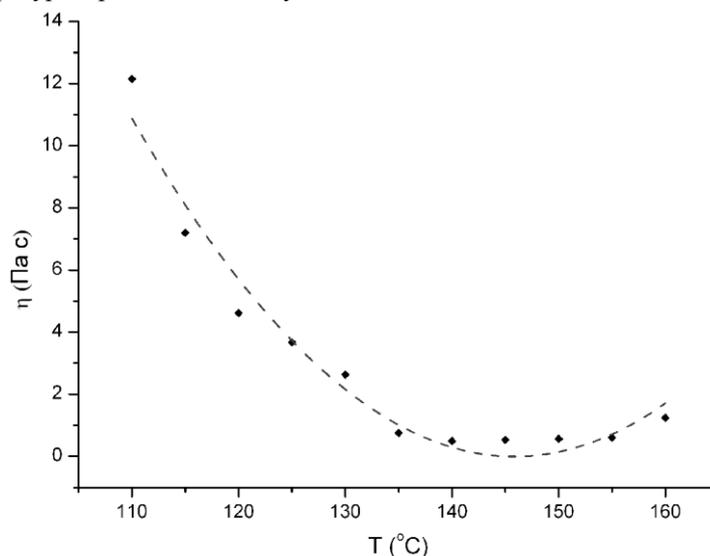


Рис.1. Зависимость вязкости бисмалеимидного связующего от температуры

Наименьшими показателями вязкости (1-2 Па·с) данное связующее обладает при температуре  $\geq 130^{\circ}\text{C}$ . При указанных величинах вязкости возможна переработка данного связующего методами вакуумного формования, являющимися предпочтительными с точки зрения экономической эффективности и производительности.

Процесс термоокислительной деструкции отвержденных образцов связующего был изучен при помощи метода термогравиметрического анализа (ТГА). На Рисунке 2 приводится кривая потери массы полимера в инертной атмосфере, при скорости нагрева  $10^{\circ}/\text{мин}$ .

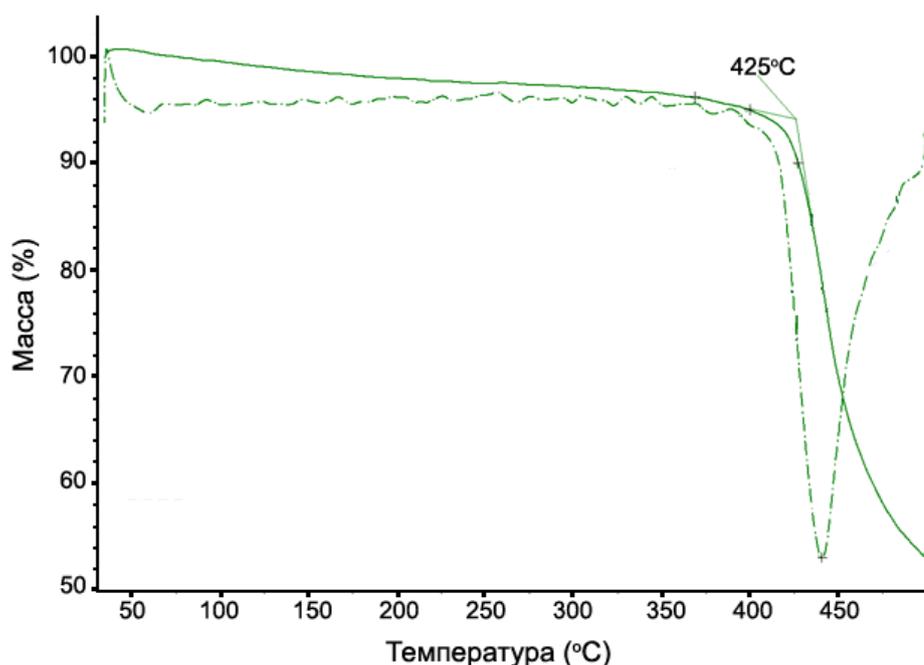


Рис.2. ТГА-кривая отвержденного бисмалеимидного связующего

Пунктирной линией на графике показана первая производная этой кривой (дифференциальная кривая процесса деструкции), отвечающая скорости процесса разложения. Перегиб на кривой потери массы, соответствующий началу разложения полимерного материала, фиксировали при температуре около 425°C, которую условно можно принять за температуру начала процесса разложения. Согласно пику на графике скорости процесса деструкции полимера (Рисунок 2, пунктирная линия), температура, соответствующая максимальной скорости потери массы вещества, составляет 440°C – при этой температуре разложение полимера протекает наиболее интенсивно. Полученные данные свидетельствуют о высокой термостойкости полученного материала и говорят о перспективе использования связующего данного типа для создания ПКМ, предназначенных для работы в условиях повышенных температур.

Температуру стеклования отвержденного связующего определяли совокупностью методов ТМА и ДМА. Проведенные эксперименты позволяют сделать вывод о том, что переход из стеклообразного в вязкотекучее состояние для данного материала не характерен. Наблюдаемое падение жесткости полимера при температуре около 375-380°C обусловлено началом процесса его термической деструкции, нежели релаксационным переходом. Такое поведение обычно характерно для густосетчатых полимерных систем. Данные ДМА хорошо коррелируют с результатами термомеханического анализа. Таким образом, можно сделать вывод о том, что рабочая температура материалов на базе разработанного связующего, по сути, является лимитированной только началом процесса термодеструкции.

На базе разработанного связующего методом прямого прессования были изготовлены образцы углепластика, состоящего из восьми слоев однонаправленной углеткани ЭЛУР-П. Массовое содержание наполнителя в углепластике составило 66%, что в пересчете на объемную долю соответствует около 58%. Механические свойства полученных композитов были изучены в режиме статического изгиба при трех разных температурах (20°C, 250°C и 300°C) – Табл.1.

Таблица 1

Механические свойства углепластиков на базе разработанного термостойкого связующего

Т, °С	Прочность на изгибе $\sigma_{из}$ , МПа	Модуль упругости при изгибе $E_{из}$ , ГПа	Сохранение прочности, %
20	962	116	-
250	833	110	87
300	753	105	78

Полученные при 20°C деформационно-прочностные показатели материалов являются типичными для ПКМ, армированных данным видом наполнителя (прочность на изгиб около 1 ГПа). Результаты испытаний ПКМ

при повышенных температурах демонстрируют высокую деформационную стойкость полимерной матрицы: прочность ПКМ при 300 °С составляет 78% от исходного уровня (753 МПа). Такой уровень сохранения прочности углепластика свидетельствует о перспективе использования разработанного связующего на основе БМИ для создания ПКМ авиационного назначения, предназначенных для работы при повышенных температурах.

Заключение.

В результате проведенного исследования был разработан состав связующего на основе БМИ, имеющий перспективу переработки с использованием широкого спектра методов (препреговая технология, прессование, вакуумное формование и др.). Была показана высокая термоустойчивость полученных на основе данного связующего полимерных материалов (температура начала термической деструкции выше 420°С, высокая деформационная стойкость при нагреве). Для изготовленных на базе полученного связующего углепластиков отмечается высокий уровень сохранения прочности при изгибе при температуре 300°С (78%). Данные результаты свидетельствуют о хорошей перспективе использования данной разработки для создания современных ПКМ авиационного назначения.

В дальнейших планах работы по данному направлению мы рассматриваем оптимизацию технологических свойств связующего на основе БМИ, отработку технологии изготовления ПКМ методами вакуумного формования и продолжение изучения механических свойств ПКМ, а также их модификацию.

#### Список литературы

1. Каблов Е.Н. // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 7–17.
2. Каблов Е.Н. // Российский химический журнал. 2010. Т. LIV. №1. С. 3–4.
3. Бейдер Э.Я., Петрова Г.Н., Изотова Т.Ф., Гуреева Е.В. // Труды ВИАМ, 2013. №11. Ст. 01.
4. Xiong X.H., Chen P., Zhang J.X., Yu Q., Wang B.C. // Thermochim. Acta. 2011. V. 514. P. 44–50.
5. Xiong X.H., Chen P., Yu Q. // Polym. Int. 2010. V. 59. P. 1665–1672.
6. Wu Q.A, Bao J.W, Zhang C., Liang R.C., Wang B. // Therm. Anal Calorim. 2011. V. 103. P. 237–242.
7. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. // Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
8. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Ким М.А., Бабин А.Н. // Авиационные материалы и технологии. 2012. №S. С. 260–265.
9. Мухаметов Р.Р., Ахмадиева К.Р., Чурсова Л.В., Коган Д.И. // Авиационные материалы и технологии. 2011. №2. С. 38–42.
10. Мухаметов Р.Р., Меркулова Ю.И., Долгова Е.В., Душин М.И. // Клеи. Герметики. Технологии. 2014. № 5. С. 10-14.
11. Прохорова Е.В., Мухаметов Р.Р. // Труды ВИАМ. 2013. №9. Ст. 06.

## СЕКЦИЯ №12.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.18.00)

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОЛОДОВОГО ЭКСТРАКТА ДЛЯ ЗАМЕНЫ САХАРОЗЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

**Бурмагина Т.Ю., Гнездилова А.И.**

ВГМХА им. Н.В. Верещагина, г.Вологда-Молочное

В связи с подписанным в августе 2014 года указом о запрете ввоза продуктов питания из стран, которые ввели санкции против России, объем молока и молочной продукции на рынке сократился почти на 40 %. Выпуск сгущенных молочных продуктов в стране на данный момент снижается, и падение производства идет в основном за счет сгущенного молока. В целом производство сгущенки упало на 15,7 %. На фоне низкого качества отечественных консервов потребители все больше отдают предпочтение белорусской сгущенке, импорт которой вырос на 10%. Но в то же время наблюдается рост производства сухих молочных консервов, так например выпуск сухого обезжиренного молока (СОМ) увеличился практически на 57 % [11].

Данная ситуация заставляет производителей искать новые пути увеличения производства, расширения ассортимента и повышения качества молочных продуктов, в частности концентрированных молочных продуктов.

Известны работы авторов [1, 2, 9, 10], в которых решаются вопросы не только снижения затрат сырья, расширения ассортимента, но и повышения пищевой и биологической ценности продуктов, и улучшения качества молочных консервов.

Цель исследования заключается в разработке продукта, не уступающего по качеству сгущенному молоку с сахаром, с одновременным повышением пищевой ценности за счет введения витаминов и минеральных веществ в натуральной легкоусвояемой форме.

Объектом исследования явился концентрированный молочный продукт с сахаром и солодовым экстрактом

Была разработана рецептура продукта, в котором 5, 10 и 15 % сахара заменялись на солодовый экстракт. Рецептура представлена в Табл.1.

Таблица 1

Рецептура разрабатываемого продукта, кг/1000 кг продукта

Компонент	Доля замены сахарозы, %			
	0	5	10	15
Сухое обезжиренное молоко	223,96	223,96	223,96	223,96
Молочный жир	85	85	85	85
Сахар	435	413,25	391,5	369,75
Солодовый экстракт	-	21,75	43,5	65,25
Вода	256,04	250,39	244,73	239,08
Лактоза	0,2	0,2	0,2	0,2

В соответствии с представленной рецептурой (Табл.1) были выработаны образцы продуктов (метод рекомбинирования). В образцах были определены физико-химические показатели качества: массовая доля сухих веществ, вязкость, активная кислотность, активность воды, средний размер кристаллов лактозы, а также органолептические показатели. Массовая доля сухих веществ измерялась рефрактометрическим методом, вязкость – вискозиметром Гепплера, активная кислотность – рН-метром, активность воды с помощью гигрометра Rotronic HygroPalm, гранулометрический состав кристаллов лактозы - с помощью микроскопа BIOLAR. Полученные данные для свежесвыработанных КМП и в процессе хранения (три и шесть месяцев) представлены в Табл.2.

Таблица 2

Физико-химические показатели качества продукта

Наименование показателя	Контрольный образец	Замена сахара на солодовый экстракт, %		
		5	10	15
Свежесвыработанный продукт				
Содержание сухих веществ, %	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10
Вязкость, Па*с	1,11±0,08	1,61±0,08	2,13±0,08	2,44±0,08
Активная кислотность (рН), ед.	6,19±0,05	6,07±0,05	5,92±0,05	5,74±0,05
Активность воды, $a_w$	0,821±0,013	0,813±0,013	0,815±0,013	0,817±0,013
Средний размер кристаллов лактозы, $d_{ср.}$ , мкм	4,25±0,13	4,5±0,13	4,72±0,13	4,86±0,13
3 месяца хранения				
Содержание сухих веществ, %	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10
Вязкость, Па*с	1,29±0,08	1,99±0,08	2,29±0,08	2,51±0,08
Активная кислотность (рН), ед.	6,52±0,05	6,36±0,05	6,17±0,05	6,03±0,05
Активность воды, $a_w$	0,818±0,013	0,815±0,013	0,819±0,013	0,821±0,013
Средний размер кристаллов лактозы, $d_{ср.}$ , мкм	5,10±0,13	6,02±0,13	6,1±0,13	6,17±0,13
6 месяцев хранения				
Содержание сухих веществ, %	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10	72,5±0,10
Вязкость, Па*с	1,62±0,08	3,06±0,08	3,82±0,08	4,50±0,08
Активная кислотность (рН), ед.	6,71±0,05	6,57±0,05	6,41±0,05	6,32±0,05

Активность воды, $a_w$	0,815±0,013	0,816±0,013	0,825±0,013	0,828±0,013
Средний размер кристаллов лактозы, $d_{cp}$ , мкм	6,40±0,13	6,38±0,13	6,53±0,13	6,71±0,13

Как следует из Табл.2, вязкость с увеличением доли замены сахара солодовым экстрактом повышается. Это связано с наличием в экстракте солода так называемых гумми-веществ (0,05 %). Они представляют собой полисахариды в большинстве случаев растворимые и хорошо набухающие в воде, образуя вязкие растворы [6]. При рассмотрении динамики по месяцам хранения наблюдается повышение вязкости (процесс загустевания) всех продуктов практически в 1,5 – 2,5 раза, что соответствует полученным данным авторов [8] для жирных молочных консервов.

Активная кислотность в контрольном образце несколько выше, чем в образцах продукта с солодовым экстрактом. Чем большее количество экстракта введено в продукт, тем меньшую активную кислотность можно наблюдать в продукте. Это связано с изначально низкой кислотностью солодового экстракта равной  $pH = 4,3$  единицы. При хранении в течение шести месяцев эта тенденция соблюдается лишь с незначительным повышением активной кислотности по отношению к свежеработанным образцам продуктов. В целом значение  $pH$  находится в допустимом диапазоне значений для данных продуктов.

Активность воды является комплексным показателем хранимостойчивости молочных консервов. Во всех образцах, как в зависимости от доли замены солодовым экстрактом, так и в зависимости от продолжительности хранения, этот показатель находится в пределах допустимых для сгущенного молока с сахаром и составляет 0,80-0,85, что говорит о достаточно высокой консервирующей способности солодового экстракта.

Средний линейный размер кристаллов лактозы незначительно увеличивается при повышении доли солодового экстракта в продукте. При хранении, в связи с продолжающимся процессом кристаллизации лактозы, размеры кристаллов во все образцах увеличиваются примерно в 1,5 раза. Таким образом, к шести месяцам хранения они достигают размеров 6-6,5 мкм, что соответствует требованиям [4].

По органолептическим показателям продукты оценивались в соответствии с ГОСТ Р 52947 [3]. Вкус и запах продуктов в зависимости от доли замены солодовым экстрактом изменялся от молочного с легким вкусом и ароматом кофе до молочного с сильно выраженным вкусом и ароматом кофе. Консистенция всех продуктов вязкая и однородная по всей массе. Цвет продуктов от коричневого до темно-коричневого, равномерный по всей массе.

Кроме того использование в составе продукта солодового экстракта, помимо улучшения органолептических свойств, приводит к увеличению пищевой ценности продукта. Из десяти водорастворимых витаминов, необходимых человеку, девять содержатся в том или ином виде в зерне, солоде и солодовых экстрактах. Содержание аскорбиновой кислоты увеличивается при проращении (соложении) зерна, а сохранность витамина С гарантирует кислая среда солодового экстракта ( $pH = 4,3$ ). Жирорастворимые витамины А и D не содержатся в солодовом экстракте, но в солоде присутствует достаточно много провитаминов: каротиноидов и фитостеринов, которые в свою очередь в организме превращаются в ретинол и кальциферол (витамины А и D) [6, 7]. Содержание минеральных веществ в солодовом экстракте колеблется в зависимости от сорта и условий проращения злаковых культур от 2 до 5 %. В ячменных солодовых экстрактах высокое содержание калия, фосфора, натрия и магния [5, 6]. В составе белков солодового экстракта содержится большое количество таких незаменимых аминокислот как лейцин, фенилаланин, тирозин, изолейцин, триптофан [5].

Выводы.

1. Солодовый экстракт может быть использован в качестве заменителя сахара в концентрированных сладких молочных продуктах, так как обеспечивает необходимый консервирующий эффект.
2. Солодовый экстракт может быть использован в молочных консервах с сахаром для управления динамической вязкостью, а, следовательно, консистенцией продуктов. Наблюдаемое повышение вязкости позволит исключить энергозатратную операцию гомогенизации в технологическом процессе.
3. Солодовый экстракт способствует улучшению органолептических показателей качества продукта.
4. Солодовый экстракт повышает пищевую ценность разработанных продуктов.

#### Список литературы

1. Гнездилова А.И., Шарова Т.Ю. Консервированный молочный продукт с сахаром и солодом // Молочная промышленность. – 2014. – №9. – С. 54 – 55.
2. Гнездилова А.И., Шарова Т.Ю. Разработка консервированного молочного продукта с сахаром и солодом повышенной пищевой ценности // Научно-техническое творчество молодежи – путь к обществу,

- основанному на знаниях: сборник докладов VI Международной научно-практической конференции (25-27 июня 2014 г., Москва). – М.: М-во образования и науки Росс. Федерации, Моск. гос. строит. ун-т, Москва: МГСУ, 2014. – С. 510 – 514.
3. ГОСТ Р 52947-2010 Консервы молочные составные сгущенные с сахаром. Технические условия.
  4. ГОСТ Р 53436-2009 Консервы молочные. Молоко и сливки сгущенные с сахаром. Технические условия.
  5. Емельянова Н.А., В.Н. Кошечкина, А.В. Данилевская, В.С. Иванов, Л.В. Диченко. Технология полисолодовых экстрактов в СССР и за рубежом // Электронный архив Национального университета пищевых технологий. Киев, 1990. URL: <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/7714>
  6. Казаков Е.Д., Карпиленко Г.П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. 3-е изд., перераб. и доп. СПб: ГИОРД, 2005. - 512 с.
  7. Козьмина Н.П., Гуныкин В.А., Сусянок Г.М. Теоретические основы прогрессивных технологий (Биотехнология). Зерноведение (с основами биохимии растений). – М.: Колос, 2006. – 464 с.
  8. Мартемьянова Л.Е., Гаврилова Н.Б., Щетинин М.П., Лисин П.А. Инженерная реология: Учебное пособие – Омск, Барнаул: Издательство АлтГТУ. – 2003. - 315 с.
  9. Пат. 2407347 Российская Федерация, МПК А23С9/18. Способ производства молокосодержащего концентрированного продукта с сахаром [Текст] / Гнездилова А.И., Куленко В.Г., Глушкова А.В.; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО ВГМХА имени Н.В. Верещагина. - № 2009127165/10; заявл. 14.07.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 36. – 6 с.
  10. Пат. 2525666 Российская Федерация, МПК А23С9/18. Способ производства молокосодержащего концентрированного продукта с сахаром [Текст] / Гнездилова А.И., Шарова Т.Ю., Куленко В.Г.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО ВГМХА имени Н.В. Верещагина. - № 2012143272/10; заявл. 09.10.2012; опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23. – 7 с.
  11. Рыбова Т.И. Молочная индустрия России в 1-м полугодии 2014 г. // Молочная промышленность. – 2014. – №9. – С. 5 – 8.

### **СЕКЦИЯ №13.**

#### **ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.19.00)**

### **СЕКЦИЯ №14.**

#### **ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ, РАДИОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.11.00, 05.12.00)**

#### **ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ МЕТОД ОЦЕНИВАНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ СОБСТВЕННОГО ДВИЖЕНИЯ КВАЗАРОВ ПО ДАННЫМ АСТРО- И ФОТОМЕТРИИ**

**Варгашкин В.Я.**

ГУ-УНПК, г.Орёл

Настоящее исследование посвящено разработке и применению оригинального инструментального метода оценивания значений радиальной составляющей скорости собственного движения в различных направлениях небесной сферы. Метод основан на статистическом анализе астро- и фотометрических данных квазизвездных объектов вдоль этих направлений.

1. Идея использования астро- и фотометрических данных квазизвездных объектов для оценивания радиальной составляющей скорости их собственного движения

Известен (Рисунок 1) ряд результатов экспериментальной оценки радиальной составляющей скорости собственного движения удаленных объектов по небесной сфере [1, 2]. Процедура оценивания основана, в частности, на разделении составляющих движения галактик местной группы на относительное и совместное. Настоящее исследование содержит оценки распределения значений скоростей собственного движения квазизвездных объектов по направлениям небесной сферы, полученные косвенным методом путем анализа распределений квазаров по их светимости в различных направлениях.

Тринадцатое издание [3] каталога квазаров и активных ядер обсерватории Высокого Прованса содержит 168941 объект, среди которых присутствуют 133336 квазаров, 34231 активные галактики (включая 16517 сейфертовых галактик типа 1s), а также 1374 BL-лацертиды. При этом к квазарам отнесены звездоподобные объекты, либо объекты со звездообразным ядром, превосходящие по абсолютной светимости  $M_B = +22,25$  звездной величины. Аналогичные объекты, обладающие меньшей светимостью, отнесены к активным галактическим ядрам.

Следует заметить, что в предыдущих изданиях каталога граничное значение абсолютной светимости было установлено [4] в  $+23,0$  звездной величины. Это связано с произошедшим при переработке предыдущего издания каталога уточнением значения параметра Хаббла, используемого для расчета абсолютной звездной величины  $M_B$  квазизвездных объектов.

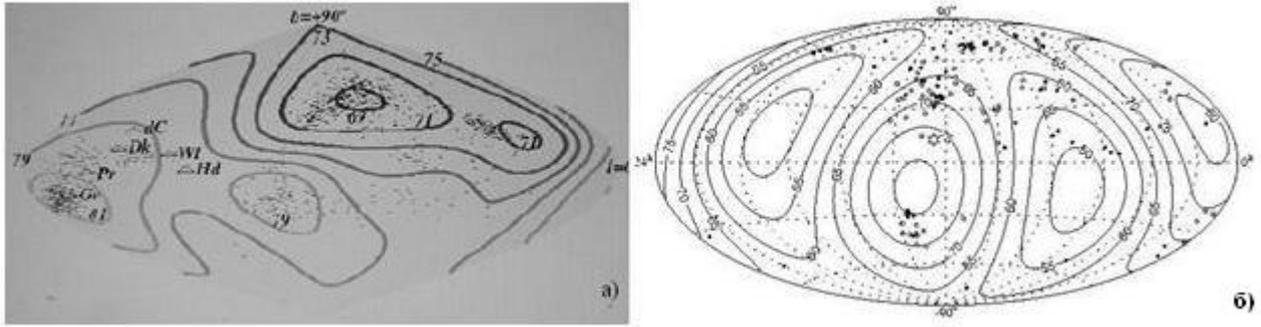


Рис.1. Распределение радиальной составляющей скорости собственного движения удаленных объектов по данным [1] (а) и [2] (б)

Она рассчитывалась составителями каталога по формуле:

$$M_B = B + 5 - 5 \lg D - k + \Delta m(z), \quad (1)$$

где  $B$  – относительная звездная величина по шкале Джонсона;  $D$  – относительное расстояние светимости

$$D = \frac{c}{H_0} (1 + z) \int_0^z \frac{dz}{\sqrt{(1+z)^3 \Omega_M + \Omega_\Lambda}}, \quad (2)$$

определяемое значениями космологических величин:  $H_0 = 71 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$  (в предыдущих изданиях каталога использовалось значение  $H_0 = 50 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Мпк}^{-1}$  [4]);  $\Omega_M = 0,29$ ,  $\Omega_\Lambda = 0,71$ ;  $z$  – красное смещение (для широкого диапазона значений  $z$  относительная звездная величина  $B$  может быть рассчитана на основании приведенной в каталоге фотоэлектрической или фотографической относительной звездной величины  $V$  с учетом соотношения  $\langle B - V \rangle = 0,40$ );  $k$  – поправка вида:

$$k = -2,5 \lg(1 + z)^{1-\alpha}, \quad (3)$$

$\alpha = 0,3$  – оптический спектральный индекс;  $\Delta m(z)$  – поправка к величине  $k$ , обусловленная особенностями спектров квазаров.

С учетом (1) – (3), абсолютная звездная величина квазизвездных объектов может быть описана формулой вида:

$$M_B = B + 5 \lg H_0 + f(z), \quad (4)$$

где  $f(z)$  – функция красного смещения, содержащая в качестве постоянных коэффициентов величины  $c$ ;  $\Omega_M$ ;  $\Omega_\Lambda$ .

Пусть в некотором направлении на небесной сфере имеется площадка, в пределах которой наблюдается  $n_1$  квазаров. Тогда применительно к этой площадке можно просуммировать и усреднить по  $n_1$  квазарам величины  $M_{B_i}$ ,  $B_i$ ,  $f_i(z)$  согласно (4):

$$\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} M_{B_i} = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} B_i + 5 \lg H_0 + \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} f_i(z). \quad (5)$$

Аналогично, пусть в пределах другой площадки, в другом направлении, наблюдаются  $n_2$  квазаров, для которых можно записать:

$$\frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} M_{B_i} = \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} B_i + 5 \lg H_0 + \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} f_i(z). \quad (6)$$

Если допустить, что в этих направлениях значения параметра Хаббла одинаковы, то разность выражений (5) и (6) оказывается свободной от параметра Хаббла:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} M_{B_i} - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} M_{B_i} = \\ & = \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} B_i - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} B_i \right) + \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} f_i(z) - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} f_i(z) \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Если также допустить, что обе выборки квазаров являются достаточно мощными реализациями единой генеральной совокупности, т.е., если допустить, что статистические свойства квазаров не зависят от направления на небесной сфере, а также от относительного расстояния светимости  $D$ , по крайней мере, соответствующего диапазону красных смещений  $0 \leq z \leq 6$  их наиболее массового наблюдения, то левая часть (7) оказывается равной нулю:

$$0 = \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} B_i - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} B_i \right) + \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} f_i(z) - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} f_i(z) \right). \quad (8)$$

Выражение (8) содержит разности средних значений относительной звездной величины  $B$ , а также разности средних значений функций  $f(z)$  красного смещения.

Заметим, что если первая из реализаций выборки находится, например, в среднем на большем удалении от наблюдателя, чем вторая, то ее среднее красное смещение  $z$ , а вместе с ним и ее среднее значение функции  $f(z)$  оказывается большим, чем у другой выборки, что делает положительным выражение во второй скобке. При этом наблюдаемые средние значения относительной звездной величины  $B$  первой выборки оказываются меньшими, чем у второй выборки, что делает отрицательным выражение в первой скобке. Сумма же отрицательной и положительной разностей, заключенных в скобки, в рассматриваемом случае оказывается равной нулю.

Если теперь допустить, что в двух различных направлениях на небесной сфере реализуются различающиеся значениями радиальной составляющей скорости движения  $v_1$  и  $v_2$  квазаров, которые обусловлены тем, что на космологическое движение квазаров наложено их собственное радиальное движение, то в (7) добавляется логарифм их частного:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} M_{B_i} - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} M_{B_i} = \\ & \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} B_i - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} B_i \right) + \left( \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} f_i(z) - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} f_i(z) \right) + 5 \lg \frac{v_1}{v_2}. \end{aligned} \quad (9)$$

Учитывая (8) в (9), получаем:

$$\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} M_{B_i} - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} M_{B_i} = 5 \lg \frac{v_1}{v_2} \quad (10)$$

Выражение (10) содержит две неизвестные величины  $v_1$  и  $v_2$ . Однако, если положить, что в одной из выборок, например, во второй, собственное движение квазаров отсутствует, то в качестве соответствующего значения  $v_2$  можно воспользоваться оценкой значения постоянной Хаббла  $H_0 = 71 \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ , принятой для всей генеральной совокупности в качестве наиболее точно установленного в настоящее время, то выражение (9) преобразуется к виду:

$$v_1 = H_0 \cdot 10^{\frac{\frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} M_{B_i} - \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} M_{B_i}}{5}}. \quad (11)$$

Такой подход справедлив, в частности, если в качестве второй совокупности используется вся генеральная совокупность квазизвездных объектов, применительно к которой можно считать, что среднее значение радиальной составляющей собственного движения равно нулю. При этом в качестве вычитаемого в показателе степени следует взять  $M_{B_0}$  – среднее значение по всей генеральной совокупности квазаров, и последнее выражение оказывается равным:

$$H_1 = H_0 \cdot 10^{\frac{M_{B1} - M_{B0}}{5}} . \quad (12)$$

где  $M_{B1}$  – среднее значение абсолютной звездной величины квазаров в рассматриваемом направлении. Непосредственное усреднение абсолютной звездной величины квазаров по всем  $n_1=168941$  объектам каталога [1] дает значение  $M_{B0} = -23,73$ , достаточно близкое к граничному значению  $M_B = -22,25$ , условно отделяющему собственно квазары от активных галактических ядер, т.е.:

$$v_1 = 71 \cdot 10^{\frac{M_{B1} - 23,73}{5}} \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1} . \quad (13)$$

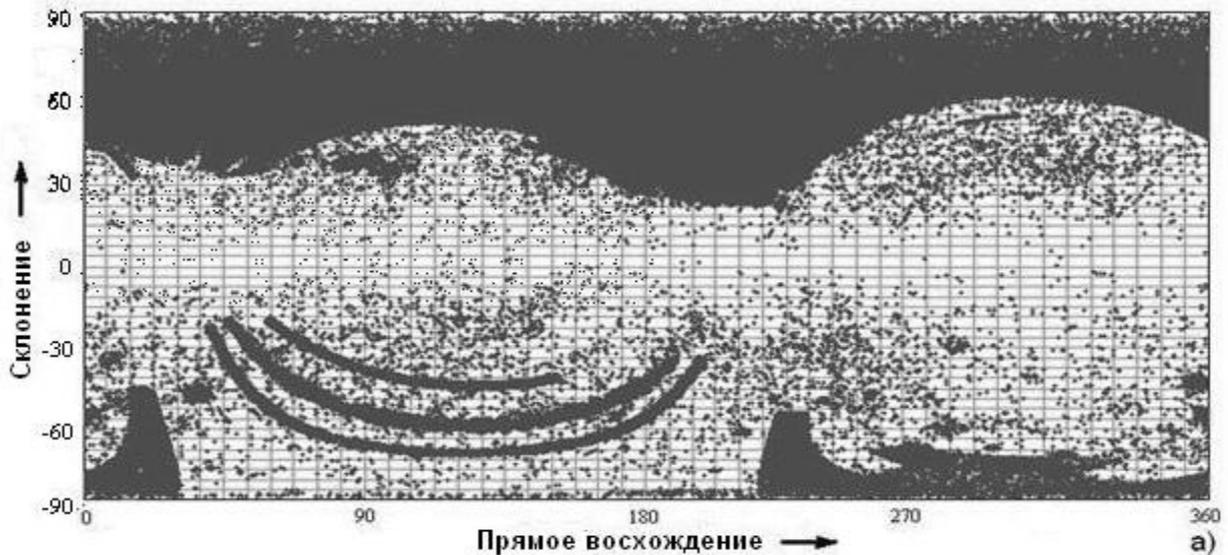
Величина  $v_1$ , как следует из (13) является относительной и усредненной по расстояниям светимости  $D_1$  в пределах окна первой выборки. Для перехода от относительного  $v_1$  к абсолютному значению  $V_1$  следует домножить разность между  $v_1$ (13) и  $H_0$  на среднее значение  $D_{01}$  по окну выборки:

$$v_1 = D_{01} \cdot 71 \cdot 10^{\frac{M_{B1} - 23,73}{5}} \text{ км с}^{-1} . \quad (14)$$

Таким образом, согласно разработанному методу оценки анизотропии скорости расширения Вселенной ее направления на небесной сфере разбивают на окна выборки, для каждого окна оценивают среднюю абсолютную светимость квазаров, после чего по формуле (14) рассчитывают усредненное значение радиальной составляющей скорости собственного движения квазаров по направлениям небесной сферы.

## 2. Подготовка массива данных с учетом минимизации погрешностей метода

Равенство нулю левой части выражения (7) при неизменности значений параметра Хаббла в двух различных направлениях небесной сферы, т.е. для двух сравниваемых выборок квазаров, реализуется при допущении о том, что рассматриваемые выборки являются реализациями, статистические характеристики которых пренебрежимо мало отличаются от характеристик генеральной совокупности квазаров. Это предположение является условием того, что согласно формулам (11) – (14) различные средние значения абсолютной звездной величины квазаров оказываются отнесенными к различающимся средним значениям скорости собственного движения квазаров.



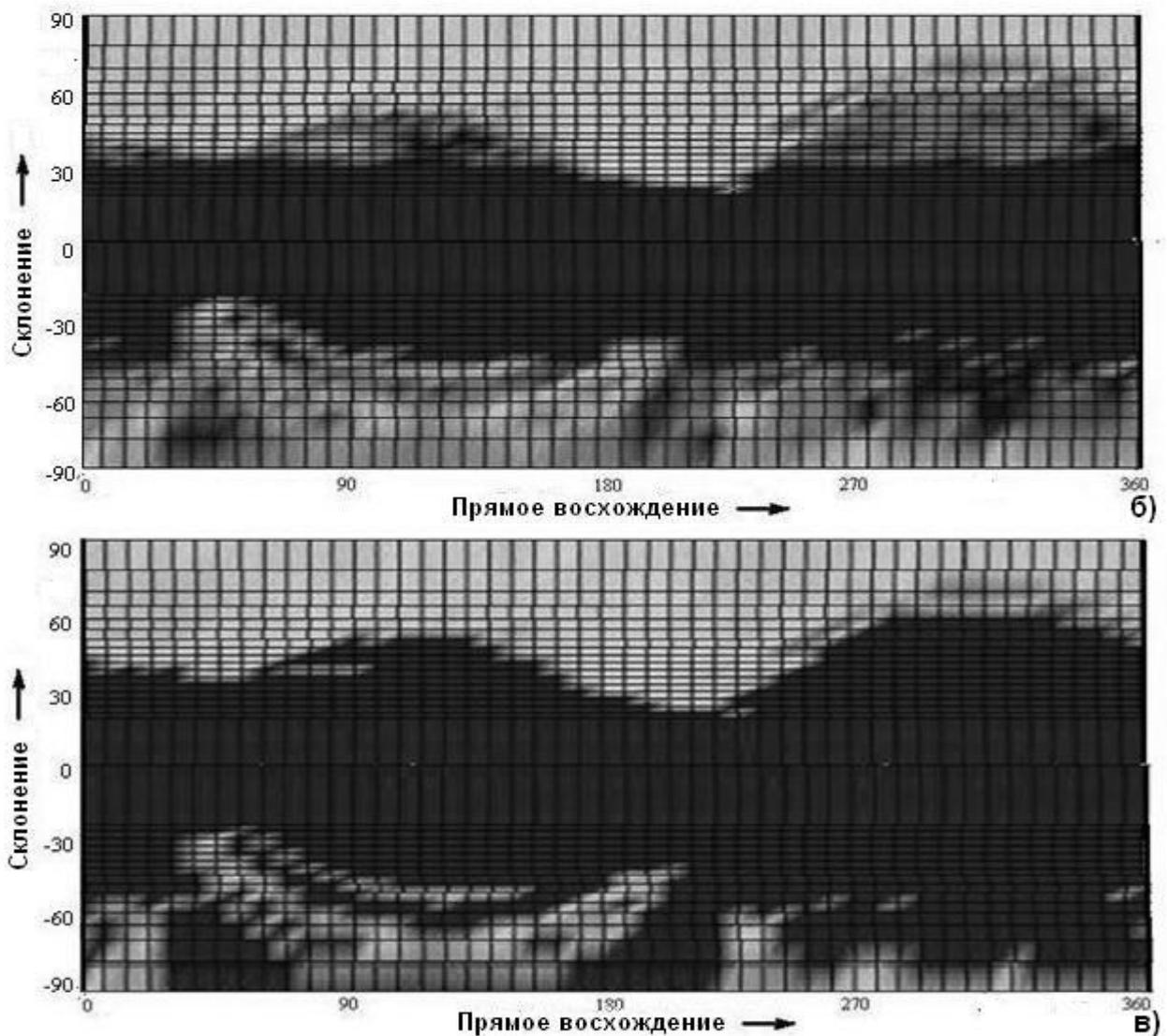


Рис.2. Плотность размещения квазизвездных объектов по секторам небесной сферы (а, б) до усечения выборки и после нее (с)

При этом приближенный характер принятого допущения может приводить к тому, что анализируемые различия между средними значениями абсолютной звездной величины квазаров могут оказаться случайным образом обусловленными флуктуациями функции распределения плотности квазаров по абсолютной светимости в различных направлениях небесной сферы.

Для уменьшения влияния случайных флуктуаций необходимо, чтобы разности абсолютных значений светимости, входящие в показатель степени (11) – (14), были существенно меньшими соответствующих оценок средних квадратических отклонений средних значений абсолютной светимости по направлениям небесной сферы. Это условие может быть удовлетворено путем специальной подборки распределения имеющегося массива данных о квазарах по окнам выборки с различными направлениями на небесной сфере.

На Рисунке 2 (а) представлено распределение квазизвездных объектов по небесной сфере согласно каталогу [3] в галактических координатах. Наибольшая плотность квазаров достигается в окрестностях галактического северного полюса, а также на небольших по площади участках в окрестностях галактического южного полюса. В окрестностях галактического экватора наблюдательные данные практически отсутствуют вследствие влияния засветки ребром Нашей галактики.

Учитывая требования к среднему квадратическому отклонению средней светимости квазаров, а также ряд других особенностей, для формирования окон выборки галактическая небесная сфера была разделена по координате прямого восхождения на 48 равных отрезков с шагом в 7,5 угловых градусов. Координата галактического склонения была также разделена на 48 отрезков. Переменность шага такого деления обеспечивала разбиение поверхности небесной сферы сеткой площадей из  $48 \times 48$  равновеликих по площади секторов.

При этом шаг сетки секторов оказывался существенно перекрывающим характерный шаг неоднородностей

филаментов и войдов, образующих крупномасштабную структуру Вселенной в диапазоне межгалактических расстояний, которая, согласно ряду предположений, может быть распространена также на неоднородность плотности распределения квазизвездных объектов. На Рисунке 2 (б) различными оттенками серого цвета показано распределение по небесной сфере оценок среднего квадратического отклонения средней светимости квазаров. При этом большей насыщенности серого цвета соответствуют большие средние квадратические отклонения. Черным цветом отмечены площади, для которых оценивание не производилось ввиду отсутствия наблюдательных данных.

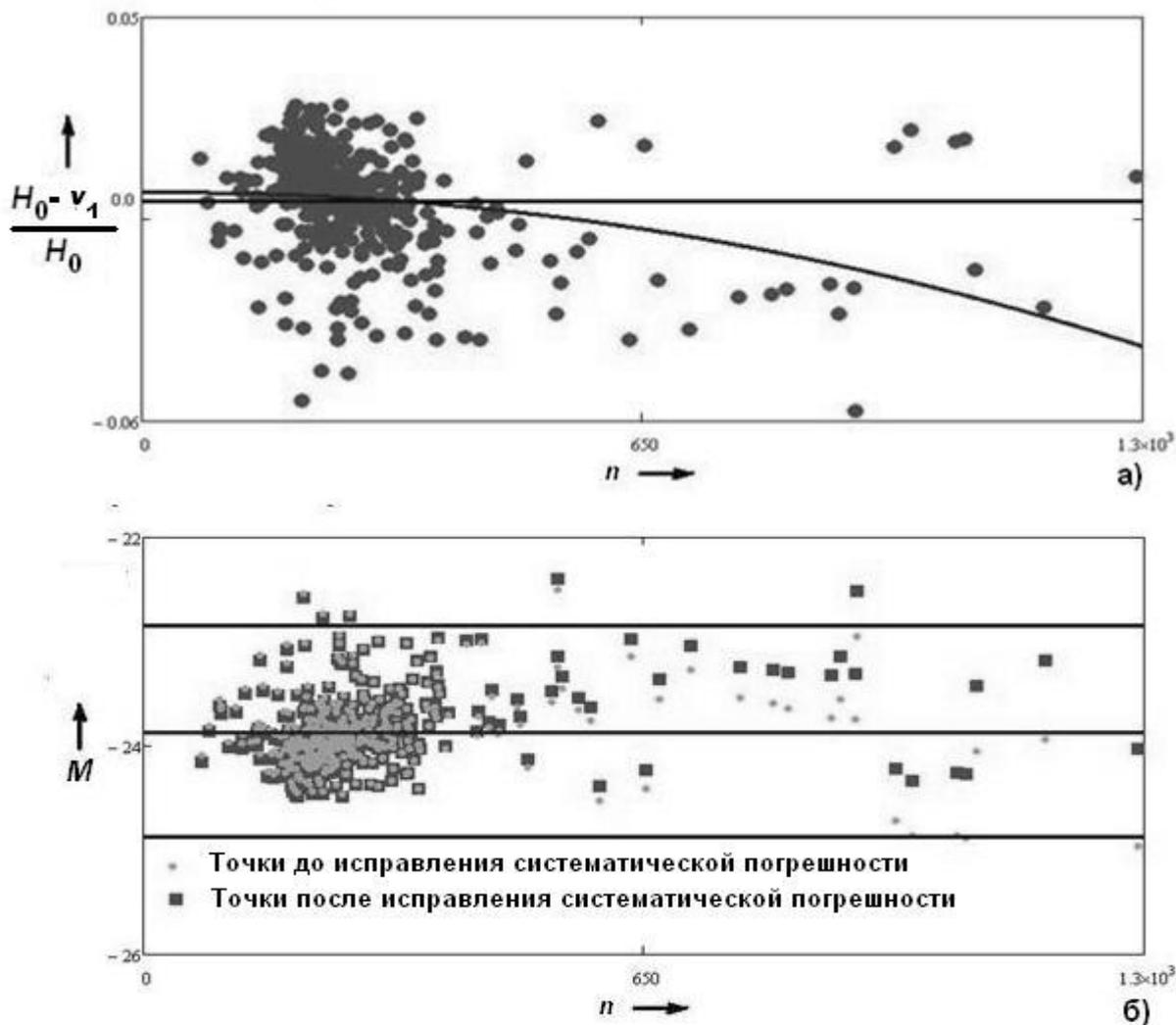


Рис.3. Иллюстрация зависимости средних значений светимости от количества наблюдаемых квазаров (а) и результатов введения поправки (б) к светимости

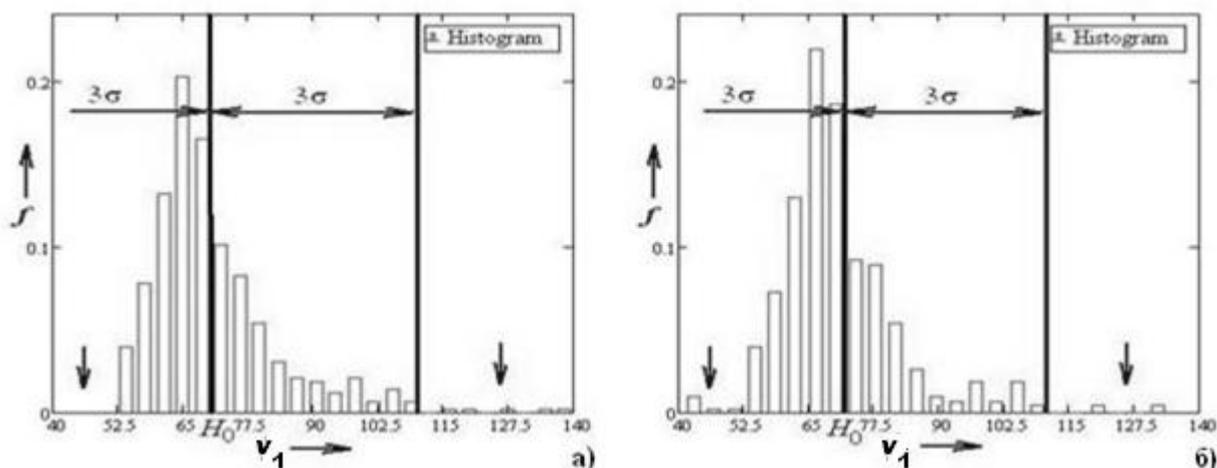


Рис.4. Гистограммы распределения оценок  $v_1$  до (а) и после (б) введения поправок к светимости

Анализ (12) показывает, что при возможных изменениях скорости  $v_1$  в пределах  $\pm 10 \text{ км с}^{-1} \text{ Mnk}^{-1}$ , как это следует из источников [1, 2], соответствующие приращения средней абсолютной светимости квазаров могут достигать  $\pm 0,4$  звездной величины. При этом область принятия решений следует ограничить секторами, внутри которых оценки среднего квадратического отклонения средней светимости не превосходят  $0,10 \dots 0,15$  звездной величины. На Рисунке 2(в) сохранены сектора, в пределах которых выполняется это требование.

Следует также заметить, что существенные различия между статистическими характеристиками выборок квазаров по секторам небесной сферы, а также аналогичных характеристик генеральной совокупности квазаров могут быть также обусловлены имеющими систематический характер особенностями наблюдений квазаров, результаты которых были положены в основу каталожных данных.

Рассматриваемые особенности таковы, что увеличение числа квазаров, приходящихся на какое-либо окно выборки, в сравнении с их числом в других окнах, является, как правило, обусловленным применением чувствительной аппаратуры. Это позволяет фиксировать квазары, находящиеся на значительном удалении от наблюдателя и характеризующиеся большими красными смещениями  $z$ , достигающими значений  $3 \dots 6$  единиц. При этом на больших удалениях удавалось фиксировать лишь наиболее яркие квазары, вследствие чего оценки среднего значения абсолютной светимости в окнах выборки оказывались коррелирующими с числом квазаров в этих окнах. Для уменьшения влияния этой корреляции на разность оценок средней светимости необходимо ввести соответствующие поправки в оценки средней светимости.

На Рисунке 3 (а) проиллюстрирована зависимость оценок средней светимости квазаров от их числа в окнах выборки, изображенных на Рисунке 2(в). Рисунок содержит также соответствующую подобной зависимости квадратичную кривую регрессии, которая была использована для расчета поправки. Уравнение регрессии подобрано таким образом, чтобы светимость квазаров, соответствующая средней ее оценке по всей генеральной совокупности в  $-23,73$  абсолютной звездной величины не подлежала исправлению введением поправки.

На Рисунке 3 (б) в виде кружков изображены точки неисправленной, а в виде прямоугольников – точки исправленной зависимости. Кроме того, на рисунке изображены доверительные интервалы средней светимости в  $-23,73$  абсолютной звездной величины, удаленные от нее на расстояние в одно среднее квадратическое отклонение.

Введение поправки по средней светимости соответствует также исправлению оценок  $v_1$ . На Рисунке 4 (а) изображена гистограмма распределения оценок параметра Хаббла до исправления, на рисунке 4 (б) – после него. Исправление привело к уменьшению числа выбросов оценок за пределы доверительного интервала в три средних квадратических отклонения за счет перераспределения оценок внутри доверительного интервала.

При этом также оказалось, что выбросы характерны, в основном, для секторов небесной сферы, расположенным в южном галактическом полушарии. Поэтому для дальнейшего анализа были сохранены лишь сектора северного полушария, на которые не распространялись ограничения по оценке среднего квадратического отклонения средней светимости, оценки средней светимости которых были исправлены согласно Рисунку 3 (б), а также оценки  $v_1$  внутри которых не превысили трех средних квадратических отклонения от  $H_0$ .

В результате описанной здесь подготовки выборки для дальнейшего анализа были сохранены сектора небесной сферы, покрывавшие в совокупности около 23% площади всей небесной сферы.

### 3. Анализ анизотропии распределения скорости $v_1$ по небесной сфере

Процедура получения распределения оценок скорости  $v_1$  по небесной сфере проиллюстрирована Рисунком 5.

Из сохраненных для дальнейшего анализа секторов северного галактического полушария небесной сферы, изображенных на Рисунке 2 (в), были сформированы кольцевые пояса. вдоль которых были оценены средние значения светимости для каждого из секторов. Типовое распределение оценок по одному из кольцевому поясков изображено на Рисунке 5 (а). Рисунок содержит оценку математического ожидания (линия 1), границы доверительного интервала в одно среднее квадратическое отклонение (линии 2, 3), а также прямую (линия 4) светимости квазаров, соответствующую средней ее оценке по всей генеральной совокупности в  $-23,73$  звездной величины.

Далее на основании полученных оценок светимости по формуле (12) были рассчитаны оценки скорости  $v_1$ , которые в пределах каждого из поясков были также разложены в ряд Фурье с сохранением постоянной и двух гармонических составляющих.

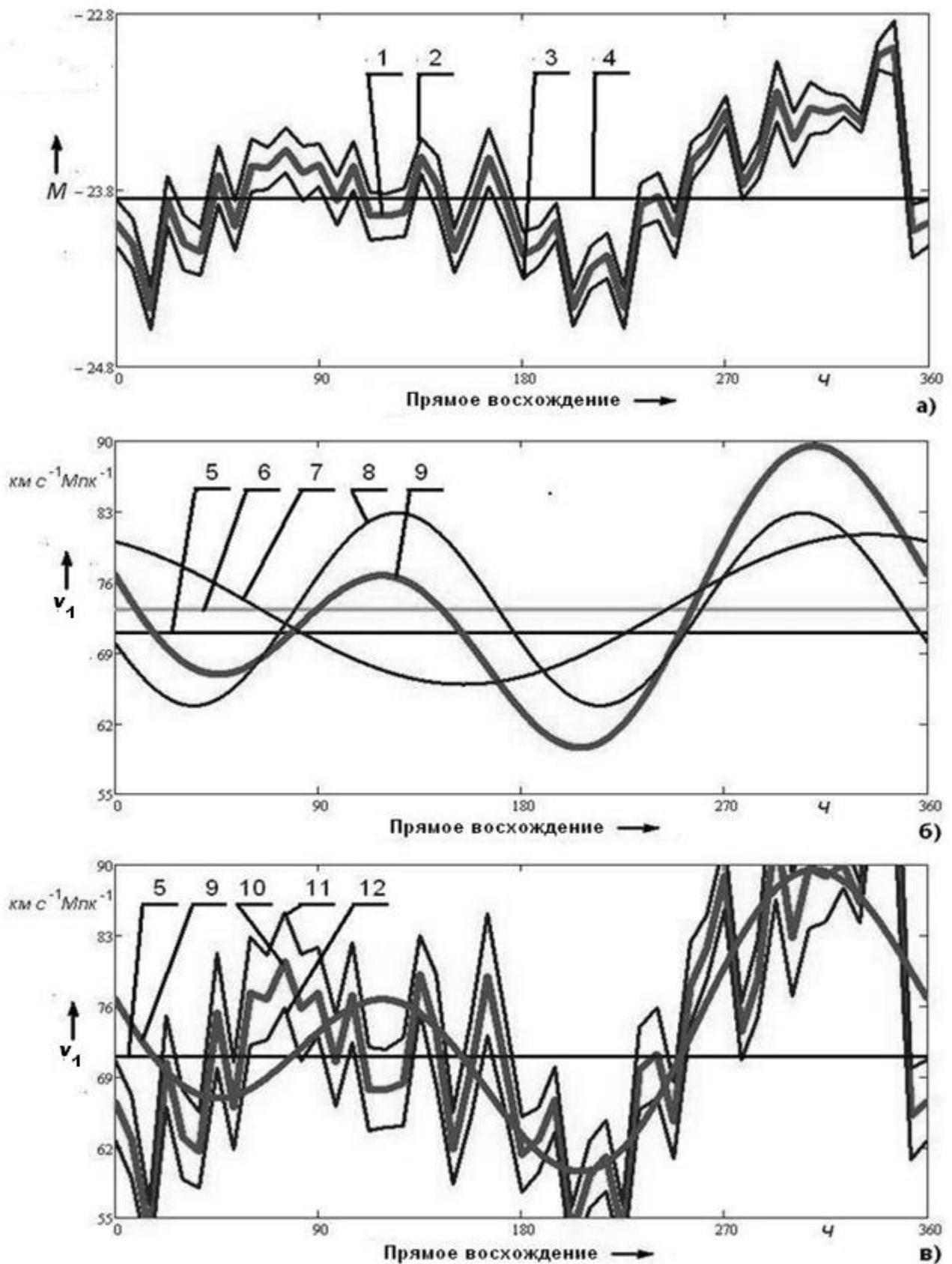


Рис.5. Последовательность получения распределения оценок  $v_1$  вдоль галактического прямого восхождения для диапазона склонений  $66,4 \dots 61,0^\circ$ .

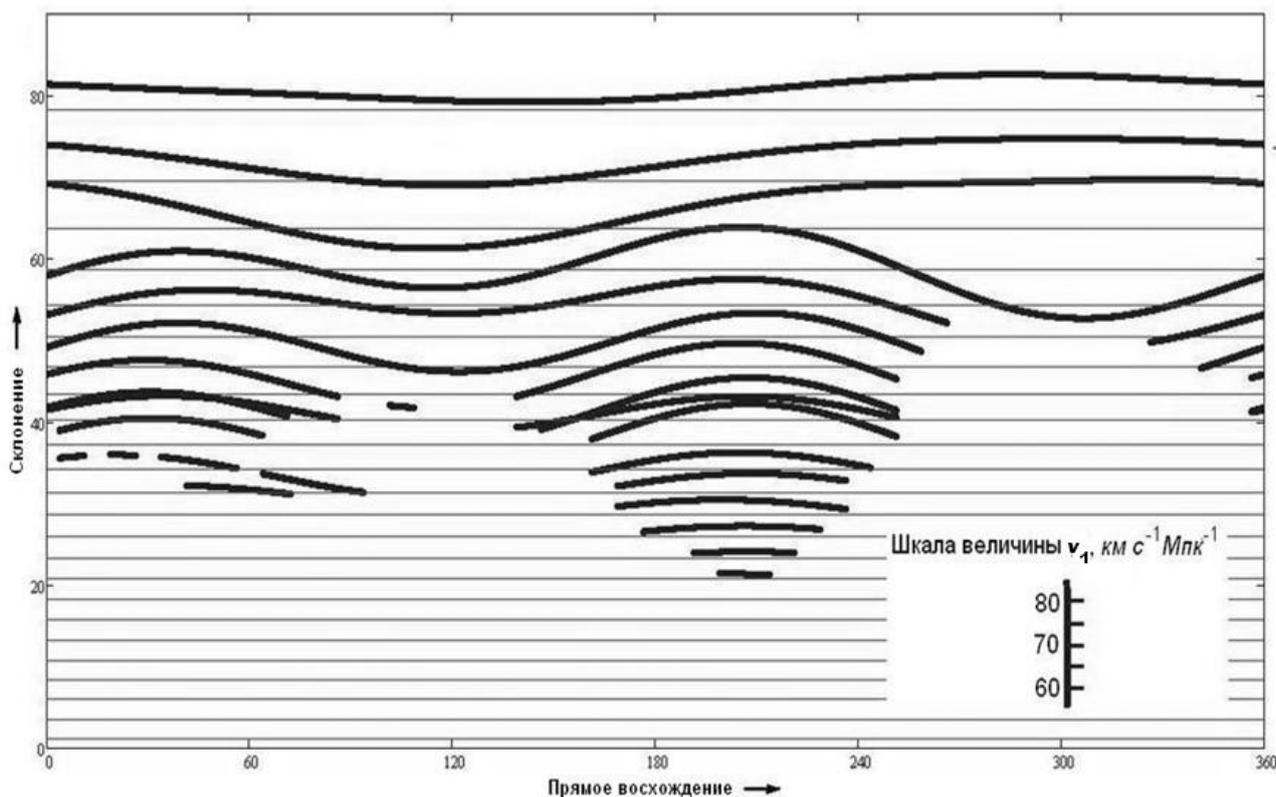


Рис.6. Распределение оценок  $v_1$  по северному полушарию галактической небесной сферы

На Рисунке 5 (б) представлены прямая (линия 5), соответствующая постоянной Хаббла  $H_0 = 71 \text{ км с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ , постоянная составляющая разложения (линия 6), первая (кривая 7) и вторая (кривая 8) гармоники, а также результирующая разложения (кривая 9) оценки скорости  $v_1$  в пределах пояaska, изображенного на Рисунке 5 (а). Рисунок 5 (в) иллюстрирует погрешность оценивания параметра  $v_1$ . Помимо прямой 5 и кривой 9 на него нанесены результаты расчетов по формуле (12) в виде оценки скорости  $v_1$  по секторам кольцевого пояaska (линия 10), а также верхняя и нижняя границы доверительных интервалов (линии 11, 12) шириной в одно среднее квадратическое отклонение.

#### Выводы.

Если допустить, что статистические свойства светимости квазизвездных объектов не зависят от их направления на небесной сфере, то разность между двумя средними значениями светимости квазаров, одна из которой рассчитана для выборки квазаров по какому-либо направлению, а другая – для всей известной их совокупности, позволяет оценить распределение радиальной составляющей скорости собственного движения квазаров по небесной сфере.

Имеющиеся каталожные данные позволяют покрыть окнами выборок около 23% небесной сферы вблизи северного полюса Нашей Галактики с числом окон 250...1100 в зависимости от способа разбиения.

Распределение оценок исследуемой скорости вдоль галактической долготы содержит две гармонические составляющие амплитуды которых превосходят соответствующие средние квадратические отклонения среднего. Суммарная амплитуда оценок абсолютной скорости составляет 2...4% (в максимуме до 8%) по отношению к абсолютному значению скорости расширения Вселенной в окрестностях исследуемых квазаров.

#### Список литературы

1. M.L.McClure, C.C.Dyer, Anisotropy of the Hubble constant as observed in the HST Extragalactic Distance Scale Key Project results.–arXiv:astro-ph/0703556v1, Mar. 21, 2007.[2].Местное поле скоростей и анизотропия хаббловского потока): <http://w0.sao.ru/hq/dim/PhD/full/node36.html> [3] Veron-Cetty, M.-P. and Veron, P. A Catalogue of Quasars and Active Nucley: 13-th Edition // Astronomy & Astrophysics manuscript.–March 30, 2010.[4]Veron-Cetty, M.-P. and Veron, P. A Catalogue of Quasars and Active Nucley: 12-th Edition // ESO Scientific Report.–YU9.–2006.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОПОГЛОЩАЮЩЕГО МАТЕРИАЛА

Насыбуллин А.Р., Туганов П.Ю., Врачев Е.Э.

КНИТУ им. А.Н. Туполева, г.Казань

Введение.

Радиопоглощающие материалы (РПМ) применяются для решения проблем электромагнитной совместимости радиоэлектронных устройств, защиты компьютерных систем обработки информации от несанкционированного доступа, защиты биологических объектов от электромагнитного излучения, а также для снижения радиолокационной заметности объектов военного и гражданского назначения. В антенной технике широко применяются радиопоглощающие материалы (РПМ) и радиопоглощающие покрытия (РПП), имеющие высокий коэффициент поглощения электромагнитных волн и обеспечивающие эффективное поглощение паразитного электромагнитного излучения радиочастотного диапазона при минимальном его отражении, снятие резонансов в резонирующих объемах СВЧ-блоков.

Целью данного исследования является разработка безэховой камеры (БЭК) для антенных измерений в дальней зоне, способной работать в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах с минимизацией отраженных сигналов в рабочей области пространства БЭК.

Задачи, поставленные для достижения цели:

- 1) исследование комбинированных радиопоглощающих материалов (РПМ) для увеличения полосы измеряемых частот БЭК;
- 2) выбор радиопоглощающих материалов, каждый из которых преимущественно рассчитан на работу в отдельном диапазоне частот;
- 3) оптимизация расположения элементов конструкции из комбинированных РПМ для высокой эффективности в минимизации отраженных сигналов в рабочей зоне.

Типичная БЭК для антенных измерений включает следующие элементы (Рисунок 1): передающая сторона, содержащая источник СВЧ сигнала, усилители (если требуются), передающую антенну и средство связи с принимающей стороной; на принимающей стороне расположены испытуемая антенна, опорная антенна, приёмник, гетеродин, понижающий преобразователь частоты, устройство позиционирования, системная программа и компьютер.

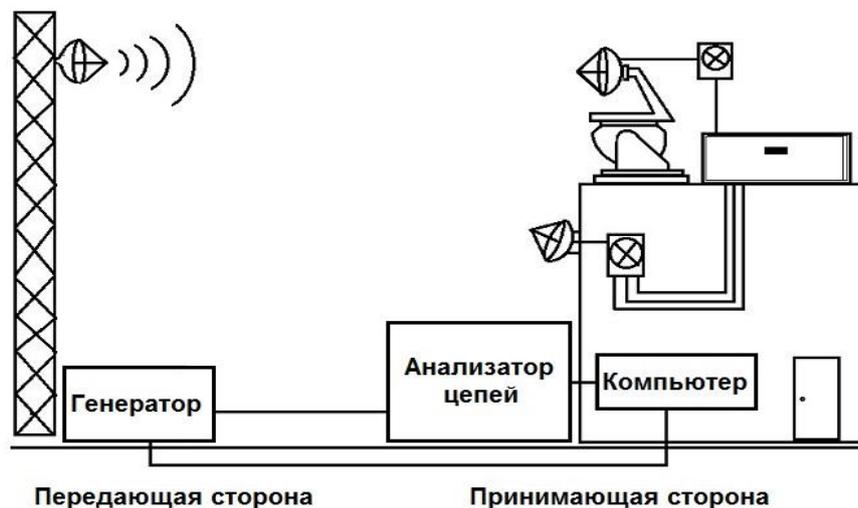


Рис.1. Типичная конфигурация для антенных измерений в дальней зоне с использованием анализатора цепей [1].

Ширину частотного диапазона для антенных измерений можно увеличить за счет применения широкополосных радиопоглощающих материалов, которые сами по себе являются дорогостоящими. В докладе предлагается использование комбинированных РПМ, состоящих из нескольких типов материалов, каждый из которых преимущественно рассчитан на работу в отдельном диапазоне частот. Оптимизацией расположения

элементов конструкции из подобных материалов для конкретного антенного зала возможно добиться высокой эффективности в минимизации отраженных сигналов в рабочей зоне.

Для использования в составе комбинированного материала выбраны два типа РПМ: пирамидальный материал, поглощающий электромагнитное излучение в дециметровом и сантиметровом диапазонах, и плоский материал, поглощающий электромагнитное излучение в миллиметровом диапазоне.

Расположение РПМ выбрано в последовательности пирамидальный поглотитель, затем плоский материал и металлический экран. Выбор объясняется тем, что падающая плоская волна миллиметрового диапазона почти полностью проходит через пирамидальный РПМ и поглощается плоским поглотителем, а волны дециметрового и сантиметрового диапазонов поглощаются пирамидальным. Соответственно, при перестановке местами поглотителей: плоская волна миллиметрового диапазона будет поглощаться плоским РПМ, а дециметрового и сантиметрового диапазонов будут полностью отражаться от плоского, не доходя до пирамидального.

Математическое описание комбинированного материала, состоящего из двух РПМ и металлического экрана (Рисунок 2) можно представить с помощью ориентированного графа (Рисунок 3).

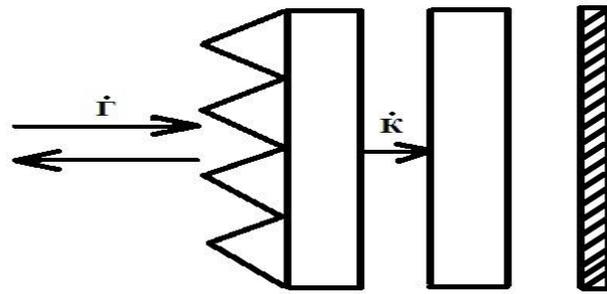


Рис.2. Конструкция широкополосного РПМ.

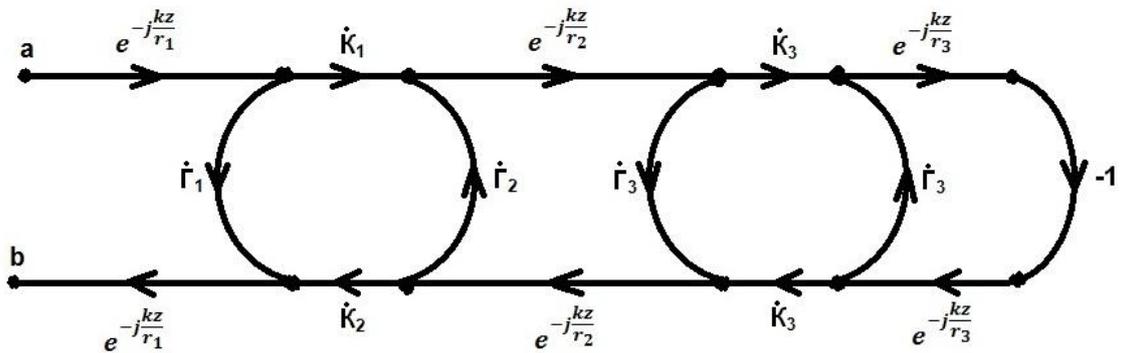


Рис.3. Топологическая схема комбинированного материала, описанная методом графов.

Коэффициент отражения от сечения  $a$ - $b$  по правилу не касающегося контура [2] можно представить как:

$$\begin{aligned}
 & T_{ba} \\
 &= \dot{\Gamma}_1 \times e^{-2j\frac{kz}{r_1}} \\
 &+ \frac{\dot{K}_1 \times \dot{K}_2 \times \dot{\Gamma}_3 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_1} + \frac{kz}{r_2})} \times \left[ 1 - \dot{\Gamma}_3 \times e^{-2j\frac{kz}{r_3}} \right]}{1 - \dot{\Gamma}_2 \times e^{-2j\frac{kz}{r_2}} \times \dot{\Gamma}_3 + \dot{\Gamma}_3 \times e^{-2j\frac{kz}{r_3}} + \dot{\Gamma}_2 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_2} + \frac{kz}{r_3})} \times \dot{K}_3^2 - \dot{\Gamma}_2 \times \dot{\Gamma}_3^2 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_2} + \frac{kz}{r_3})}} \\
 &- \frac{\dot{K}_1 \times \dot{K}_2 \times \dot{K}_3^2 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_1} + \frac{kz}{r_2} + \frac{kz}{r_3})}}{1 - \dot{\Gamma}_2 \times e^{-2j\frac{kz}{r_2}} \times \dot{\Gamma}_3 + \dot{\Gamma}_3 \times e^{-2j\frac{kz}{r_3}} + \dot{\Gamma}_2 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_2} + \frac{kz}{r_3})} \times \dot{K}_3^2 - \dot{\Gamma}_2 \times \dot{\Gamma}_3^2 \times e^{-2j(\frac{kz}{r_2} + \frac{kz}{r_3})}}
 \end{aligned}$$

Коэффициент передачи комбинированного радиопоглощающего материала зависит от переменных  $r_1, r_2, r_3$ , то есть расстояний между материалами.

Частотные зависимости коэффициента передачи и коэффициента отражения материалов могут быть найдены с помощью компьютерной модели в программе электродинамического моделирования. Пример модели показан в среде CST STUDIO SUITE (Рисунок 4), при условии падения плоской волны с учетом отражения по нормали.

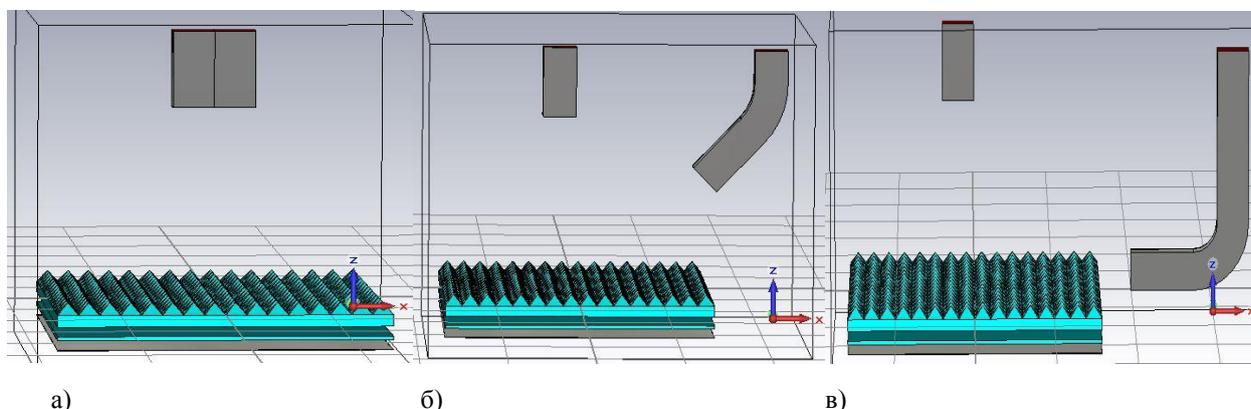


Рис.4. Модели для определения коэффициента отражения РПМ: а) – угол отражения сигнала  $0^\circ$ , б) – угол отражения сигнала  $45^\circ$ , в) – угол отражения сигнала  $90^\circ$ .

Коэффициент отражения комбинированного радиопоглощающего материала определялся путем измерения коэффициента передачи.

Таблица 1

Зависимость коэффициента отражения от угла рассеивания.

Угол рассеивания	Коэффициент отражения
$0^\circ$	- 25 дБ
$15^\circ$	- 28.42 дБ
$30^\circ$	- 31.04 дБ
$45^\circ$	-29.99 дБ
$60^\circ$	- 32.68 дБ
$75^\circ$	- 39.8 дБ
$90^\circ$	- 32.68 дБ

#### Вывод.

Для обеспечения широкополосности антенных измерений путем комбинирования наиболее предпочтительными для минимизации отражения сигналов являются комбинация пирамидального и плоскогорadioпоглощающих материалов. В результате математического описания комбинированного материала методом графов выведена зависимость коэффициента передачи от расстояний между радиопоглощающими материалами, что позволяет существенно сократить время на определение оптимальных интервалов между материалами для обеспечения минимального коэффициента передачи.

#### Список литературы

1. AgilentTechnologies. Руководство по выбору, 2006
2. Силаев М. А., Брянцев С.Ф. Приложение матриц и графов к анализу СВЧ устройств, М., Издательство «Советское радио», 248 стр.

# КОМПЕНСАЦИЯ УГЛОЧАСТОТНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПЕРЕИЗЛУЧАЕМЫХ СИГНАЛОВ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ В АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВАХ

**Кравец Е.В., Петров П.Н.**

ГУАП, г.Санкт-Петербург

В научно-технической литературе представлены основные теоретические результаты, отражающие принципы построения акустоэлектронных устройств (АЭУ) пространственной обработки сигналов, их топологию, характеристики, возможные области применения [1-3]. В любом устройстве данного типа осуществляется моделирование (в уменьшенном масштабе в аналоговом процессоре) внешних волновых полей в среде обработки.

Универсальной характеристикой, определяющей основные показатели устройства обработки сигналов антенных решеток (АР), является пространственная импульсная характеристика  $h(\bar{r}, \alpha, \beta, \alpha', \beta')$ , где  $\alpha, \beta$  и  $\alpha', \beta'$  - углы места и азимута в пространстве объектов и, соответственно, в пространстве изображений (в среде обработки). Пространственная импульсная характеристика является откликом на монохроматический  $\delta$ -источник и определяется с точностью до несущественного множителя как [2]:

$$h(k, \alpha_o, \beta_o, \alpha'_o, \beta'_o) = C \int_{\bar{r}} P(k, \bar{r}) V(k, \alpha_o, \beta_o, \bar{r}) W(k, \alpha'_o, \beta'_o, \bar{r}) d\bar{r}, \quad (1)$$

где  $P(k, \bar{r})$  - функция раскрытия АР,  $V(k, \alpha, \beta, \bar{r})$  - функция, определяющая распределение комплексных амплитуд принимаемых сигналов,  $W(k, \alpha', \beta', \bar{r})$  - опорная функция акустоэлектронного устройства,  $\bar{r}$  - радиус-вектор точки на раскрытии АР.

В работах [2, 3] рассмотрены частотные свойства АЭУ обработки сигналов линейных АР. Показано, что при работе с масштабированием по частоте принимаемых сигналов, возникает эффект углочастотной зависимости, проявляющейся в изменении направления переизлучения волны при изменении частоты принимаемого сигнала. Таким образом, на полосу пропускания АЭУ накладываются ограничения связанные с однозначностью определения направления локации.

С целью компенсации углочастотной зависимости предлагается использовать дифракционные максимумы считывающей и переизлучающей решеток преобразователей поверхностных акустических волн (ПАВ) [4]. Таким образом, изменение направления ПАВ при изменении частоты принимаемого сигнала можно скомпенсировать путем использования частотозависимых дифракционных максимумов первого порядка считывающего преобразователя, выполненного в виде дифракционной решетки (Рисунок 1).

При угловой координате источника  $\alpha$  направление распространения переизлученной волны  $\alpha'$  в дифракционном максимуме порядка  $i$  в соответствии с выражением определяется как [2]:

$$\alpha' = \arcsin \left( \frac{\omega}{\omega'} \cdot \frac{d \cdot v'}{d' \cdot v} \cdot \sin \alpha + i \frac{\lambda'}{d'} \right), \quad (2)$$

где  $d$  и  $d'$  - шаг линейной антенной решетки и шаг переизлучающей решетки преобразователей поверхностных волн,  $D$  и  $D'$  - апертура АР  $D=N \cdot d$  и переизлучающей решетки  $D'=N \cdot d'$ ,  $N$ - число элементов АР,  $\omega$  и  $\omega'$  - частота сигнала в пространстве объектов и на выходе преобразователя частоты,  $\lambda'$  - длина поверхностной акустической волны,  $v$  и  $v'$  - скорость распространения волны в пространстве объектов и скорость распространения поверхностной акустической волны.

Чтобы минимизировать зависимость пространственной частоты на считывающей решетке  $\omega_{\eta} = k' \cdot \sin(\alpha' + \varphi)$  от частоты принимаемого АР сигнала потребуем равенства нулю ее первой производной. С учетом выражения (2) это выполняется при выборе угла  $\varphi$ , удовлетворяющего выражению:

$$\varphi = \arctg \left( \operatorname{tg} \alpha'_0 - m_{dv} \cdot q \frac{\sin \alpha_0}{\cos \alpha'_0} \right) - \alpha'_0, \quad (3)$$

где  $m_{dv} = dv'/d'v$  - масштабный коэффициент.

При расположении считывающего преобразователя в плоскости  $\eta$ , расположенной под углом  $\varphi$  (Рисунок 2), определяемым в соответствии с выражением (3), пространственная частота будет в меньшей степени зависеть от частоты принимаемого сигнала. Основной вклад будет определяться направлением  $\alpha$  падения волны

на линейную АР, что позволяет обеспечить частичную (без учета производных высокого порядка) компенсацию углочастотной зависимости.

Наличие периодической структуры дифракционных максимумов приводит к возможной неоднозначности определения угловой координаты. Для обеспечения однозначности необходимо, чтобы возможная полоса пространственных частот  $\Delta\omega_n$  не превышала интервал между дифракционными максимумами считывающей решетки. Тогда необходимое условие однозначности считывания может быть найдено как условие для выбора необходимого порядка дифракционного максимума переизлучающей решетки:

$$|i| > \frac{d}{\lambda_0} \sin \alpha_{\max} \left( \frac{2\omega_{\max}}{\omega_0} + \left| 1 - \frac{\omega'_0}{\omega_0} \right| \right), \quad (4)$$

где  $2\alpha_{\max}$  – сектор обзора линейной антенной решетки,  $\omega_{\max}$  и  $\omega_0$  – максимальная и центральная частота принимаемой АР волны,  $\lambda_0$  – длина волны во внешней среде,  $\omega'_0$  – центральная частота сигнала на выходе преобразователя частоты.

Выполнение условия, описываемого выражением (4), обеспечивает однозначность определения угловой координаты за счет отсутствия в секторе углов переизлучения ПАВ в  $i$ -ом дифракционном максимуме (при изменении частоты и углового положения принимаемого сигнала) дифракционных максимумов считывающей решетки кроме первого.

Таким образом, считывающие преобразователи, расположенные под углами  $\varphi$ , обеспечивают формирование дифракционных максимумов первого порядка в направлениях дифракционных максимумов  $i$ -ого порядка переизлучающей решетки преобразователей. Максимальный отклик формируется на одном из выходов считывающих преобразователей, соответствующего направлению локации  $\alpha_0$ . При этом распределение сигналов по считывающим преобразователям практически не зависит от частоты принимаемого сигнала, а определяется направлением локации.

Для реализации устройства с использованием выбранного дифракционного порядка переизлучающей решетки  $i$  следует потребовать, чтобы дифракционные максимумы других порядков не участвовали в формировании поля на считывающих преобразователях. Для этого можно использовать пространственное разделение дифракционных порядков, а также соответствующую ориентацию парциальных диаграмм направленности элементов переизлучающей решетки. При этом необходимым условием является существенное превышение углового расстояния между дифракционными максимумами над рабочим диапазоном углов переизлучения ПАВ. Откуда следует, что в заданном диапазоне частот должно выполняться неравенство  $(\omega'/\omega) \cdot m_{dv} \cdot \sin \alpha_{\max} \ll (\lambda'/d)$ , которое приводит к условию однозначного формирования главного лепестка диаграммы направленности в заданном секторе обзора линейной АР  $\sin \alpha_{\max} \ll \lambda_{\min}/d$ .

При условии однозначности можно считать, что на считывающих преобразователях, расположенных под углами  $\varphi$ , с точностью до фазового множителя формируется распределение вида:

$$\begin{aligned} h(\omega_\eta) &= \text{sinc} \left[ \frac{D_\eta}{2\pi} (\omega_\eta - \omega_{\eta 0}) \right] = \\ &= \text{sinc} \left[ \frac{D}{\lambda_0} \frac{1}{m_{dv}} \frac{\omega'_0}{\omega_0} \frac{\cos(\alpha')}{\cos(\alpha' + \varphi)} \cdot \left\{ \frac{\omega'}{\omega'_0} \sin(\alpha') - \sin(\alpha'_0) \right\} \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

Так как пространственная частота  $\omega_\eta$  является функцией частоты и угла падения принимаемого АР сигнала, то пространственная импульсная характеристика при фиксированной угловой координате источника  $\alpha = \alpha_0$  устройства может быть определена как функция частоты:

$$|h(\omega, \alpha_0)| \cong \text{sinc} \left[ \frac{D}{\lambda_0} \frac{1}{2m_{dv}} \frac{\omega_0}{\omega'_0} \frac{\sin \varphi}{\cos^2 \alpha_0 \cos(\alpha'_0 + \varphi)} \cdot (m_{dv} \sin \alpha_0 - \sin \alpha'_0)^2 \cdot \left( \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right)^2 \right]. \quad (6)$$

Полученные зависимости иллюстрируются следующими графиками. На рисунке 3(а) представлена пространственная импульсная характеристика АЭУ без использования компенсации углочастотной зависимости, демонстрирующая изменение направления переизлучения ПАВ при изменении частоты принимаемого сигнала. На Рисунке 3(б) представлены отклики АЭУ на центральной и граничных частотах  $\omega_{\min} = 0,9 \cdot \omega_0$ ,  $\omega_{\max} = 1,1 \cdot \omega_0$ , показывающие практическое отсутствие углочастотной зависимости.

В соответствии с полученным выражением (6) на частотные свойства АЭУ существенное влияние оказывает волновой размер АР  $D/\lambda_0$  и отношение частот  $\omega_0/\omega'_0$ , определяемое частотой гетеродина (Рисунок 4).

В результате применения АЭУ с компенсацией углочастотной зависимости удается достичь существенного расширения полосы пропускания. Но с учетом ограничивающих факторов, связанных с использованием дифракционных максимумов, полоса пропускания устройства может достигать 20-30%.

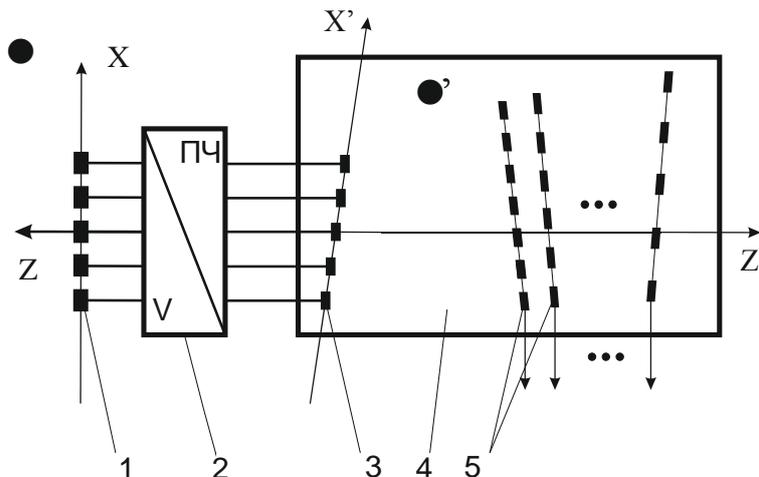


Рис.1. Акустоэлектронное устройство с линейной переизлучающей решеткой и дифракционными считывающими преобразователями ПАВ:

- 1- элементы АР, 2-многоканальный преобразователь частоты,
- 3-переизлучающая решетка преобразователей ПАВ, 4- подложка, 5- считывающие решетки преобразователей ПАВ

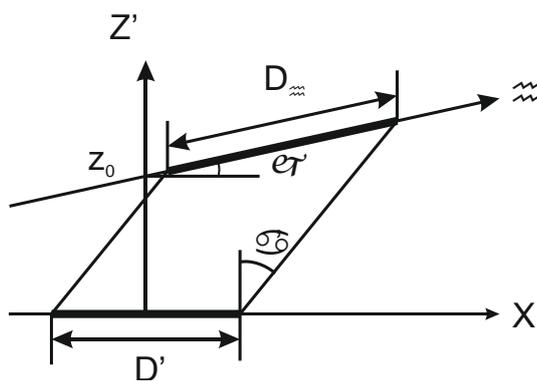
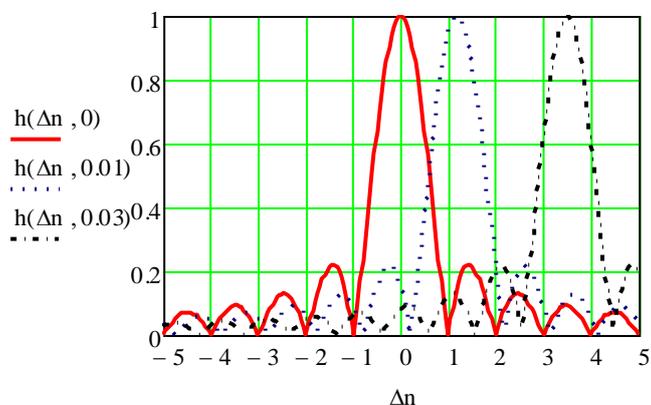
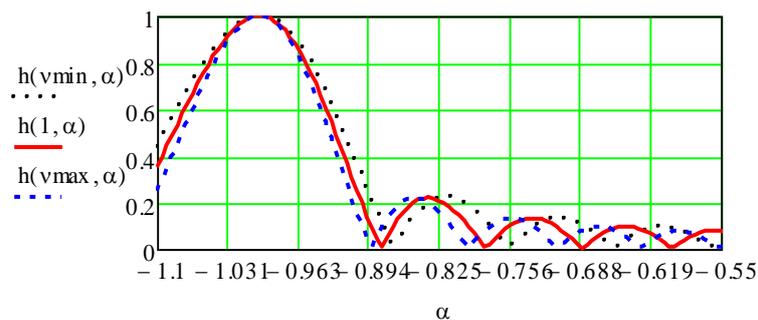


Рис.2. Расположение оси считывающей решетки относительно оси переизлучающей решетки



a



б

Рис.3. Отклики АЭУ для различных значений частоты принимаемого сигнала без компенсации (а) и с компенсацией углочастотной зависимости (б)

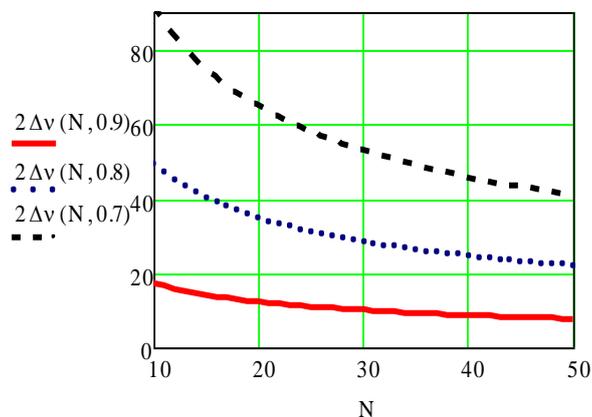


Рис.4. Зависимость полосы пропускания  $2\Delta v(N, \omega_1/\omega_0)$  (в процентах) для АЭУ с компенсацией углочастотной зависимости при  $\omega_1=0,7\omega_0; 0,8\omega_0; 0,9\omega_0$

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-07-04720

#### Список литературы

1. Акустоэлектронные устройства обработки гидроакустических сигналов / В.И. Рогачев, П.Н. Петров, В.С. Кравец, С.В. Кулаков. СПб.: Судостроение, 1993. 184с.
2. Кравец Е.В. Пространственная импульсная характеристика акустоэлектронных устройств обработки сигналов антенных решеток/ Е.В. Кравец, П.Н. Петров // Успехи современной радиоэлектроники. 2013. №2. С. 93-97.
3. Кравец, Е.В. Увеличение широкополосности акустоэлектронных устройств обработки сигналов антенных решеток / Е.В. Кравец, П. Н. Петров // Информационно-управляющие системы. 2012. №3 С. 46–53.
4. Пат. 139809 РФ, МПК G01S 3/00. Устройство пространственной обработки сигналов / Е.В. Кравец, В.С. Кравец, П. Н. Петров (РФ). №2013148692/07 // заявл. 31.10.13; опубл. 27.04.14 , Бюл.№ 12. 2с.

#### РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ ЗАМЕРУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ (ВИБРАЦИЙ)

**Алексеев А.В., Александров М.В.**

КНИТУ-КАИ им. А.Н. Туполева, г.Казань

Эксплуатация центробежных насосов, вентиляторов и компрессоров сопровождается вибрацией оборудования и отдельных его элементов. Колебательные движения механических систем при определенных

условиях могут явиться причиной возникновения напряжений в элементах конструкций, что, в свою очередь, приводит к деформации их и, как следствие, к ускоренному износу или разрушению.

Причиной колебаний наиболее часто являются инерционные силы движущихся частей машин, в частности неуравновешенные центробежные силы вращающихся масс. Эти силы действуют в плоскости перпендикулярной оси вращения, попеременно во всех направлениях и вызывают колебания, частота которых равна угловой скорости вращения детали (узла), имеющей неуравновешенную массу. Амплитуда этих колебаний зависит от величины неуравновешенной центробежной силы и отношения угловой скорости вращающейся детали (узла) к частоте собственных колебаний конструкции. В условиях, близких к резонансу, даже небольшая неуравновешенная центробежная сила может вызвать интенсивные и опасные колебания. Одним из наиболее действенных средств борьбы с колебаниями является виброизоляция машин (насосов, вентиляторов, компрессоров, центрифуг и других технических систем).

Основная цель виброизоляции агрегата с динамическими нагрузками заключается в уменьшении колебаний поддерживающей конструкции (колебания самого агрегата в результате виброизоляции уменьшаются, кшс правило, незначительно).

В настоящее время широко используются следующие виброизоляционные устройства: пружинные, резиновые, опорные виброизоляторы с гидрошарнирами, комбинированные виброизоляторы с гидрошарнирами, демпферы (гидродемпферы).

Было предложено модернизировать существующую установку для исследования процесса виброизоляции, с устранением самого узкого места существующей установки – ручной записи показаний стрелочного индикатора вибраций.

В последние десятилетия XX века массовый выпуск стрелочных электроизмерительных приборов достигал значительных объемов. Так, например, на АО “Электроприбор” (г.Чебоксары) - 4-5 миллионов штук в год, на ПО “Электроизмеритель” (г.Витебск) – около 1 миллиона. Причем работа с такими приборами осложняется тем, что большинство массовых стрелочных измерительных приборов не имеют электрического выхода индикации результатов измерений.

Задача поверки, построение САК, САУ, включающих такие приборы требует разработки методов, алгоритмов считывания и обработки изображений показаний стрелки на средствах визуализации. Заметим, обозначенная задача не может быть сведена просто к задаче распознавания (как, например, распознавание номера автомобиля) вследствие континуального характера распознаваемой величины на диапазоне измерения.

Структура автоматизированной лабораторной установки (АЛУ) на основе оценки показаний аналогового стрелочного прибора представлена на Рисунке 1.

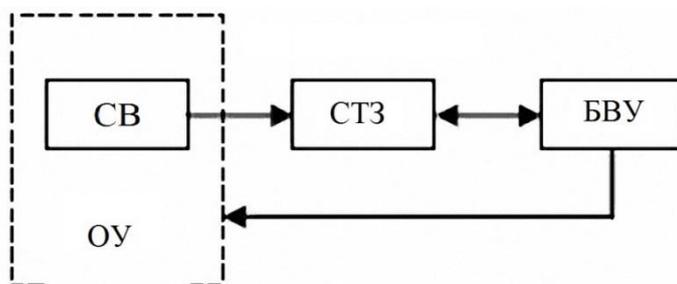


Рис.1.

На Рисунке 1 обозначено ОУ – объект управления, СВ – средство визуализации, СТЗ – система технического зрения, БВУ – блок вычислений и управления.

Общий алгоритм работы АЛУ на базе оптического считывания показаний состоит в следующем.

1. Считывание показаний прибора. БВУ выдает команду СТЗ оптически считать индицирующую часть прибора, получая оцифрованное изображение с показаниями прибора и передать полученное изображение в устройство хранения информации для дальнейшей обработки и распознавания.

2. Алгоритм предварительной обработки изображения. Перед тем как изображение с показанием прибора будет подано для распознавания на БВУ, его необходимо преобразовать к виду, который позволит получить показания прибора с низким уровнем ошибок, упростить процесс распознавания и повысить быстродействие.

2.1. Сегментация изображения предназначена для выделения из общего поля считывания СТЗ изображений шкал приборов.

2.2. Контрастирование изображения. Переводит диапазон яркостей входного изображения в максимально допустимый для данной глубины цвета диапазон яркостей.

2.3. Преобразование изображения к черно-белому. Во многих случаях фиксированный порог преобразования, применяемый в СТЗ, не позволяет получать изображения с четким разделением на фон объекты. Вследствие этого оптическое считывание необходимо проводить в режиме полутонового изображения, а затем использовать алгоритмический метод преобразования.

2.4. Фильтрация изображения. Убирает присутствующий на изображении случайный шум, который появляется из-за нестабильности встроенного аналого-цифрового преобразователя сканера. Фильтрация облегчает последующее определение контуров объектов на изображении, уменьшая количество анализируемых объектов (например, медианная фильтрация, позволяющая отбросить шум и единичные пиксели на изображении).

2.5. Выделение информативной части. Выделяется прямоугольный участок постоянного размера, содержащий шкалу контролируемого прибора и перемещающийся стрелочный указатель. Таким образом, в процессе реализации алгоритма предварительной обработки изображения шкалы прибора, получается участок изображения, который несёт в себе информацию, достаточную для того, чтобы с требуемой точностью определить показание прибора.

Разработанная методика, алгоритм и программа применима к любому стрелочному измерительному прибору.

Методика, алгоритм и программа не требуют знания координат начала и конца стрелки. Для определения измеряемого значения необходимо определять только угол наклона стрелки, причем методика, алгоритм инвариантны к положению стрелки на изображении – важен только ее наклон. Поэтому, можно фотографировать не всю шкалу, а только участок содержащий стрелку.

Достоинство методики состоит также и в том, что не требуется определять (идентифицировать, распознавать) саму шкалу.

Программа дополнена существенным элементом – записи результата измерения с учетом класса точности стрелочного прибора. Так программно определяется абсолютная и относительная погрешность измерения и с учетом правил округления производится окончательная запись измеренной величины.

Алгоритм и программа являются открытыми и их можно модифицировать. В частности, ввести распознавание класса точности стрелочного прибора по изображению.

Система Matlab, при использовании MatlabCompiler позволяет конвертировать программу в коды Си и использовать ее без применения самой системы Matlab. Это позволит значительно снизить требования к программно-аппаратной составляющей разрабатываемой АЛУ.

Для автоматической работы системы можно также воспользоваться еще одним приложением Matlab - ImageAcquisitionToolbox – получение изображений. Это приложение позволяет непосредственно подключать, настраивать и управлять средствами формирования изображений и потокового видео.

Разработанная методика, алгоритм и программа может найти широкое применение для автономного использования на различных объектах химического производства.

### Список литературы

1. Виброизоляция машин: Методические указания /В.В.Алексеев и др. Казан.гос. технол. ун-т, Казань, 2006, 24 с.
2. Машинное зрение и цифровая обработка изображений / Головастов А., Современные технологии автоматизации – 2010. – № 4. – С. 8–18.
3. Обработка и анализ цифровых изображений с примерами на LabVIEW и IMAQ Vision (Ю.В. Визильтер, С.Ю. Желтов, В.А. Князь, А.Н. Ходарев, А.В. Моржин), ДМК Пресс, 2008, 464 с.
4. Овсянников А.В. Система автоматического контроля и управления на основе распознавания показаний на средствах визуализации аналоговых приборов // Тезисы доклада на международной научно-технической конференции “Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов”. БГТУ, Минск, январь 2008. С.56-63
5. Учебный курс по системам технического зрения на базе программной среды LABVIEW / С.Р. Горгуца, П. М. Михеев, А.С.Соболев, МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, МУНЛЦ МГУ, 2006

## СВЧ - ДАТЧИК КОНТРОЛЯ ОТВЕРЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Врачев Е.Э., Туганов П.Ю., Насыбуллин А.Р.

КНИТУ им. А.Н. Туполева, г.Казань

Введение.

Композиционный материал - искусственно созданный неоднородный сплошной материал, состоящий из нескольких компонентов. Области применения композиционных материалов многочисленны, кроме авиационно-космической, композитные материалы могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной промышленности и др.

Во время отверждения материала необходимо контролировать материал в процессе изготовления. В данной статье описывается устройство и способ контроля отверждения композиционных материалов.

Основная часть.

Контролирование материала будет происходить следующим образом: чувствительная резонансная микрополосковая СВЧ-структура прикладывается к композиционному материалу и контролируется изменение диэлектрических характеристик в зависимости от стадий отверждения композиционного материала. Контроль будет происходить в измерительном устройстве, который соединён с резонансной СВЧ – структурой посредством соединительного кабеля.

На Рисунке 1 показано контролирование материала в процессе изготовления.



Рис.1. Контролирование материала в процессе изготовления.

Была построена компьютерная модель резонансной микрополосковой СВЧ – структуры в программе MicrowaveCSTStudio. Частота, на которой проводился расчет 2,1 ГГц. Нижний слой представляет собой металлическую подложку, далее диэлектрический материал. Следующий слой образует микрополосковая линия с определенным периодом повтора неоднородностей в середине которой расположена узкая неоднородность 2-го порядка. Сверху расположен композиционный материал.

Датчик будет реализован на двухчастотном методе. Кратко охарактеризуем принцип действия предлагаемого метода. Для измерения характеристик СВЧ-датчика с помощью перестраиваемого по частоте генератора генерируют исходное одночастотное колебание, которое преобразуют в зондирующее колебание в преобразователе одночастотного колебания в двухчастотное.

Для этого с устройства управления через шину управления подается команда управления параметрами генерации перестраиваемого по частоте генератора и преобразования в преобразователе одночастотного колебания в двухчастотное.

В соответствии с поданной командой зондирующее колебание в преобразователе одночастотного колебания в двухчастотное формируют двухчастотным, состоящим из двух одночастотных сигналов равной амплитуды соответственно на частотах  $f_{11}$  и  $f_{12}$ . Для его формирования в перестраиваемом по частоте генераторе генерируют среднюю частоту равную

$$f_c = \frac{(f_{11} + f_{12})}{2} \quad (1)$$

Затем передают зондирующее колебание к СВЧ-датчику через разделительную сеть и СВЧ-кабель. В зондирующем колебании, проходящем через СВЧ-датчик, происходит изменение амплитуд составляющих зондирующего колебания, они становятся не равными в зависимости от взаимного положения его средней частоты и резонансной частоты СВЧ-датчика.

Далее принимают зондирующее колебание после воздействия на СВЧ-датчик СВЧ-приёмником. На выходе СВЧ-приёмника образуется сигнал, соответствующий огибающей биений двух составляющих выходного двухчастотного колебания, отраженного от или прошедшего через СВЧ-датчик.

На Рисунке 2 показана структурная схема устройства.

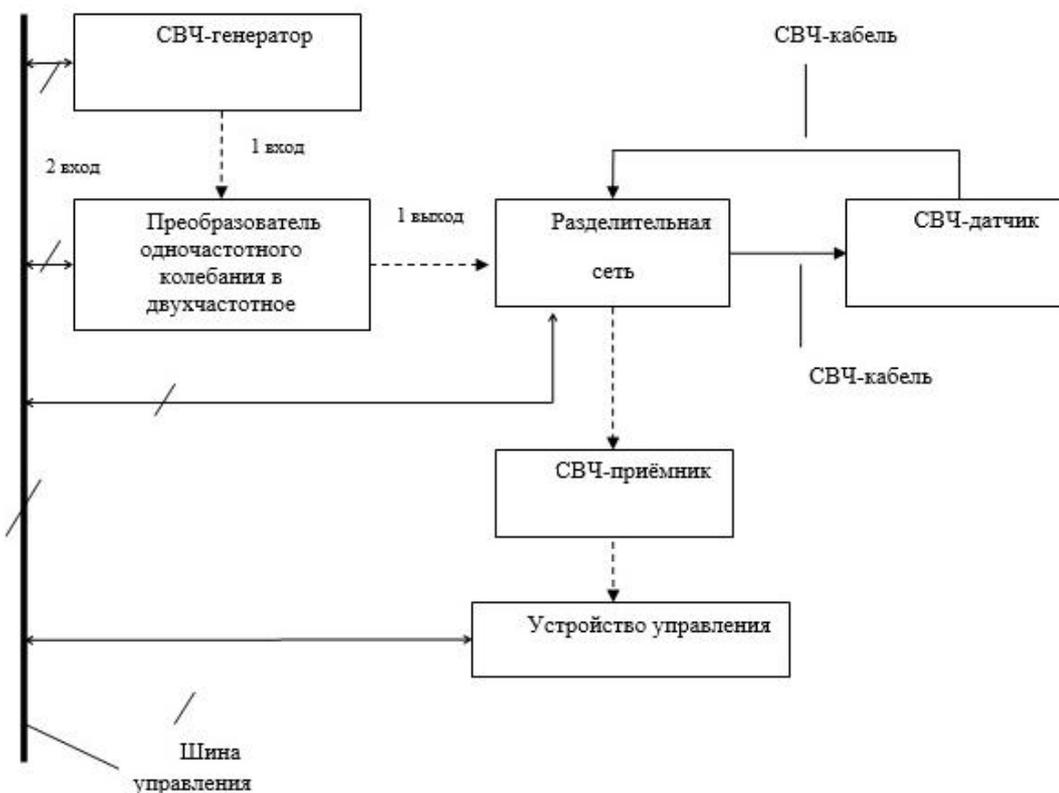


Рис.2. Структурная схема устройства.

На Рисунке 3 показана структурная схема преобразователя одночастотного колебания в двухчастотное основе амплитудно-фазового преобразователя.

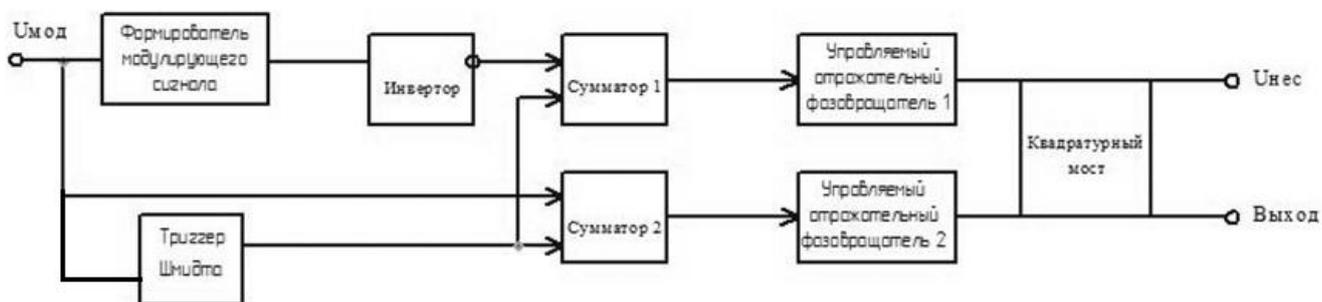


Рис.3. Структурная схема преобразователя одночастотного колебания в двухчастотное

Амплитудно-фазовый модулятор содержит квадратурный мост, управляемые отражательные фазовращатели выполненные на варакторах, сумматоры, инвертор. Сигнал несущий Унес, поступает через квадратурный мост на фазовращатели после отражения от которых направляется на выход. При подаче модулирующего сигнала  $U_{мод}(\varphi)$  происходит относительное изменение фазы сигнала несущей на выходе, а при подаче модулирующего сигнала  $U_{мод}(A)$  изменяется амплитуда сигнала несущей на выходе.

На Рисунке 4 показана принципиальная схема формирователя двухчастотного сигнала в СВЧ-диапазоне на основе амплитудно-фазового преобразователя [2].

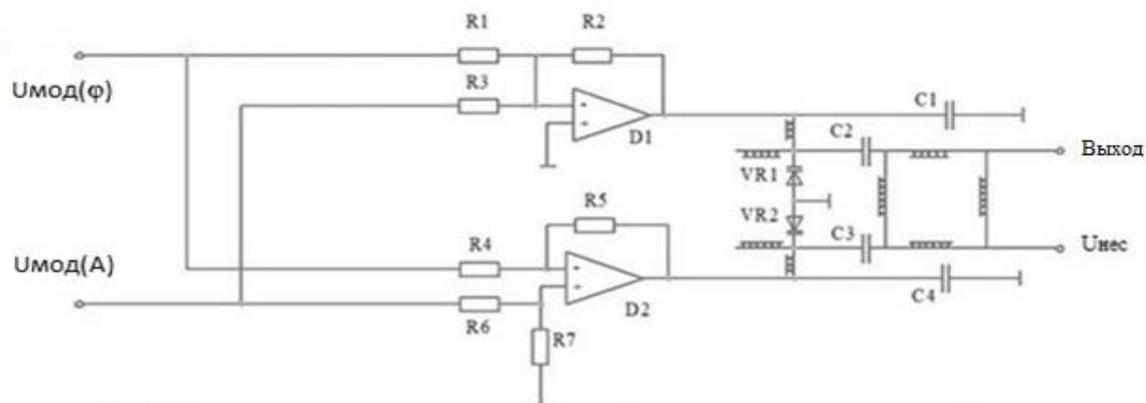


Рис.4. Схема электрическая-принципиальная преобразователя одночастотного колебания в двухчастотное реализованная на амплитудно-фазовом модуляторе.

Вывод.

Двухчастотный метод обладает высокой точностью при стабильности амплитуд и фаз зондирующих колебаний. На основе двухчастотного метода был предложен СВЧ-датчик для контроля отверждения композиционных материалов, достоинствами которого является точность измерения, достигаемая с помощью двухчастотного метода зондирования и применения чувствительного элемента; низкая себестоимость измерения; большая информативность.

#### Список литературы

1. Пат. 124812 Российская Федерация МПК G01R 27/04. Устройство для измерения характеристик резонансных структур / Морозов, Г.А., Морозов, О.Г., Насыбуллин, А. Р.и др.; опубл. 10.02.2013.-2 с.
2. Пат. 1665493 Союз Советских Социалистических Республик Н 03 С 5/00. Амплитудно-фазовый модулятор / Зельдин, Ю.М., Плотницкий, С.О.; опубл. 23.07.1991.-3 с.

## СЕКЦИЯ №15. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.09.00)

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Дураков А.А., Михайлова М.Ю.

ФГБОУ ВПО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, г.Белгород

Для многократной защиты электрических сетей и установок от перегрузок и коротких замыканий применяются системы автоматических выключателей. В настоящее время на российском рынке представлены автоматические выключатели таких компаний, как ОАО «Контактор», ОАО «ДЗНВА», ООО «КЭАЗ», «IEK», ООО «ТЕХЭНЕРГО», «ЕКФ» и др. Самыми известными и крупными производителями автоматических выключателей за рубежом являются такие компании, как «GeneralElectric», «HAGER», «Legrand», «SchneiderElectric», «ABB», «Siemens» и др.

К основным техническим характеристикам автоматических выключателей относятся: номинальный ток, номинальное напряжение, время срабатывания, класс выключателя, отключающая способность. Рассмотрим каждую из характеристик более подробно[15].

Номинальное напряжение  $U_n, В$ . – напряжение переменного или постоянного тока, протекающего через автоматический выключатель, при котором нормируются его технические характеристики;

Номинальный ток выключателя  $I_{н.а}$ , А – нормируемое значение тока, протекающего в длительном режиме через автоматический выключатель при нормальных условиях эксплуатации. Определяется его контактами и другими проводящими частями;

Номинальный ток теплового расцепителя  $I_{н.т}$ , А – калиброванное значение рабочего тока, при длительном протекании которого не происходит отключения автоматического выключателя. Калиброванные значения номинального рабочего тока теплового расцепителя выбираются из стандартного ряда, но не могут превышать номинального тока выключателя;

Ток срабатывания при перегрузке  $I_{с.п}$ , А – ток, приводящий к срабатыванию автоматического выключателя за время, достаточного для достижения установившегося теплового состояния. В каталожных данных задаётся отношением  $I_{с.п}/I_{н.т}$  (1,15 1,35).

Уставка по току срабатывания в зоне токов короткого замыкания (ток срабатывания отсечки)  $I_{с.о}$ , А – такое значение тока, при котором происходит практически мгновенное срабатывание автоматического выключателя с разрывом электрической цепи. Нормируется либо в единицах тока, либо как величина, кратная току теплового расцепителя  $I_{н.т}$ .

Для современных автоматических выключателей, выполненных в стандарте DIN, уставка по току срабатывания в зоне короткого замыкания стандартизована и определяется как характеристика мгновенного расцепления и имеет обозначение:

характеристика «В» - ток электромагнитного расцепителя лежит в пределах  $3-5 \cdot I_{н.т}$ ;

характеристика «С» - то же  $5-10 \cdot I_{н.т}$ ;

характеристика «D» и «K» - то же  $10-14 \cdot I_{н.т}$ ;

характеристика «L» - то же  $3-4 \cdot I_{н.т}$ ;

характеристика «U» - то же  $6-9 \cdot I_{н.т}$ ;

характеристика «Z» - то же  $2,5-3,5 \cdot I_{н.т}$ ;

Время срабатывания в зоне токов короткого замыкания  $t_{с.о}$ , с. определяет время выдержки до разрыва электрической цепи при достижении протекающего через выключатель тока величины, равной или превышающей уставку тока электромагнитного расцепителя. Нормируется для селективных выключателей с регулируемой выдержкой времени и равно  $0,1 \div 0,7$  с. У неселективных нетокоограничивающих выключателей время срабатывания отсечки, как правило, не превышает 0,1 с. и приводится в каталогах.

Предельная коммутационная способность ПКС, кА – максимальное значение тока короткого замыкания, которое выключатель способен включить и отключить несколько раз, оставаясь в исправном состоянии. Одноразовый ПКС (ОПКС) называется наибольшее значение тока, которое выключатель может отключить один раз. После этого дальнейшая работа выключателя не гарантируется.

Автоматические выключатели выбираются по параметрам нормального режима и проверяются из условия пиковых режимов и режимов коротких замыканий. Выбор выключателей рассмотрим в Табл.1[15].

Таблица 1

Выбор автоматического выключателя

Условия выбора	Расчетные формулы
Соответствие номинального напряжения автоматического выключателя номинальному напряжению сети	$U_{ном.а} \geq U_{ном.с}$ где $U_{ном.а}$ – номинальное напряжение автоматического выключателя (указывается в паспортных данных); $U_{ном.с}$ – номинальное напряжение сети.
Соответствие номинального тока автоматического выключателя расчётному току защищаемой цепи	$I_{н.а} \geq I_{р.мах}$ где $I_{н.а}$ – номинальный ток автоматического выключателя (принимается по каталожным данным); $I_{р.мах}$ – максимальный рабочий ток цепи защищаемой автоматом
Тепловой расцепитель автоматического выключателя выбирают из условия отстройки от рабочих и пиковых токов электроприёмников	$I_{н.т} \geq K_n \cdot I_{р.мах}$ где $I_{н.т}$ – номинальный ток теплового расцепителя; $I_{р.мах}$ – максимальный рабочий ток цепи, защищаемой автоматическим выключателем; $K_n$ – коэффициент надёжности, принимаемый равным: $K_n=1$ – для электрических цепей ламп накаливания и люминесцентных

	<p>ламп при защите автоматическим выключателем с тепловым расцепителем. А также цепей для люминесцентных ламп при автоматическом выключателе с комбинированным расцепителем;  <math>K_n=1,4</math> – для электрических цепей ламп высокого давления (ДРЛ) при защите автоматическим выключателем с тепловым расцепителем, а также при защите цепей ламп накаливания и ламп высокого давления при защите автоматическими выключателями с комбинированным расцепителем.</p>
<p>Электромагнитный расцепитель автоматического выключателя выбирают из условий отстройки от пиковых токов электроприёмников</p>	$I_{c.o} \geq K_{н.о} \cdot I_{пик}$ <p>где <math>I_{c.o}</math> – ток срабатывания электромагнитного расцепителя;  <math>K_{н.о}</math> – коэффициент надёжности отстройки,  <math display="block">K_{н.о} = 1,05 \cdot K_3 \cdot K_a \cdot K_p,</math> <p>где 1,05 – коэффициент, учитывающий, что в нормальном режиме напряжение может быть на 5% выше номинального напряжения электроприёмника;  <math>K_3</math> – коэффициент запаса, принимается равным 1,1;  <math>K_a</math> – коэффициент, учитывающий наличие апериодической составляющей в пиковом токе электроприёмника;  <math>K_p</math> – коэффициент, учитывающий возможный разброс тока срабатывания отсечки относительно уставки. Принимается по каталожным данным.</p> </p>
<p>Эффективность защиты электрических сетей от перегрузки</p>	<p>Защита от перегрузок будет эффективна, если выполняются условия:  Для невзрывоопасных помещений (зон):  <math display="block">I_{c.n} \leq 1,25 \cdot I_{д.д}</math> <p>где <math>I_{c.n}</math> – ток срабатывания от перегрузки;  <math>I_{д.д}</math> – длительно допустимая электрическая нагрузка проводников электрической сети.  Для взрывоопасных помещений (зон):  <math display="block">I_{c.n} \leq I_{д.д}</math> <p>Ток срабатывания от перегрузки определяется по каталожным данным автоматических выключателей.</p> </p></p>
<p>Соблюдение условия селективности</p>	<p>При выборе в качестве аппаратов защиты неселективных выключателей следует обеспечить их селективное действие хотя бы при однофазных коротких замыканиях.  <math display="block">I_{c.o.послед} \geq K_{н.о} \cdot I_{к.пред},</math> <p>где <math>I_{c.o.послед}</math> – ток срабатывания отсечки одной из двух последовательно соединённых защит, расположенной ближе к источнику питания  <math>I_{к.пред}</math> – наибольшее значение тока однофазного КЗ в конце зоны действия одной из защит, расположенной ближе к источнику питания;  При выборе в качестве аппаратов защиты селективных выключателей с регулируемой выдержкой времени срабатывания отсечки, селективность обеспечивается при выполнении условия:  <math display="block">t_{c.o.послед} \geq t_{c.опред} + \Delta t,</math> <p>где <math>t_{c.o.послед}</math> – время срабатывания отсечки автоматического выключателя расположенного ближе к источнику питания;  <math>t_{c.опред}</math> – время срабатывания отсечки автоматического выключателя расположенного дальше от источника питания;  <math>\Delta t</math> – степень селективности, зависящая от типа селективного выключателя и принимаемая по каталогу.  В этом случае избирательность действия защит обеспечивается возрастанием времени срабатывания по цепи от конечного потребителя до ввода в электроустановку.  Причём ближний к потребителю автоматический выключатель должен иметь минимальное время срабатывания, т.е. быть неселективным. При</p> </p></p>

	выполнении этих условий удаётся построить селективную защиту электрической сети во всём диапазоне сверхтоков.
Условие стойкости при КЗ	$PKC \geq I_{k,max}$ , где $PKC$ – предельная коммутационная способность автомата (принимается по каталогу). $I_{k,max}$ – максимальное значение трёхфазного тока при КЗ в месте установки автомата. Допускается поverять автоматический выключатель по значению тока одноразовой предельной коммутационной способности (ОПКС), а также устанавливать нестойкие при КЗ выключатели или группы выключателей, если они защищены расположенными ближе к источнику питания стойкими при КЗ выключателем, обеспечивающим мгновенное отключение всех КЗ с током, равным или большим тока ОПКС, указанных нестойких выключателей.

Большинство современных автоматических выключателей – комбинированные. Они имеют электромагнитный и тепловой расцепитель и могут одновременно защищать и от перегрузок сети, и от коротких замыканий. Монтируются выключатели на 35 мм DIN-рейку, поэтому их ещё часто называют модульными.

В настоящее время легко найти изделия на токи 6-63А, с характеристикой В,С,Д, с отключающей способностью от 4,5 кА до 6 кА, с количеством полюсов 1-4, износостойкостью 20000 срабатывания, наработкой 6000-10000 часов.

Самым популярным и распространённым типом автоматических выключателей является класс С. Данный класс автоматов применяется как для бытового назначения, так и для промышленных целей для осветительных сетей, двигателей и трансформаторов. Наиболее распространённые автоматические выключатели класса С представлены в Табл.2.

Рассмотрим и проанализируем данные Табл.2.. Цена на современные однополюсные автоматические выключатели российского производства колеблется от 44 до 215 руб. Цена на выключатели зарубежного производства колеблется от 60 до 395 руб. Если сравнить выключатели отечественного производителя между собой, то самыми выгодными решениями будут выключатели компаний ЕКФ, ИЕК и ООО «КЭАЗ». Выключатели компаний «ТЕХЭНЕРГО»,

Таблица 2

Технические характеристики однополюсных автоматических выключателей на номинальный ток 63 А

Производитель автомата	Наименование автомата	Отключающая способность, кА	Время срабатывания, с	Механическая износостойкость, циклов В-О, не менее	Гарантия	Стоимость, руб.
Российский производитель						
«ТЕХЭНЕРГО»	ВА 67-29	4,5	0,01	20000	3 года	44,75
ДЭК	ВА-101	4,5	0,01	6000	3 года	50,00
ЕКФ	ВА 47-63	6	0,01	20000	5 лет	60,00
ИЕК	ВА 47-60	6	0,01	20000	5 лет	69,50
ОАО «Контактор»	ВА47-063Про	4,5	0,01	10000	3 года	70,00
ООО «КЭАЗ»	OptiDinBM63	6	0,01	20000	5 лет	149,00
ОАО «ДЗНВА»	ВА61-29	6	0,01	20000	5 лет	215,00
Зарубежный производитель						
TDM	BA47-29	4,5	0,01	6000	3 года	60,50
Schneider Electric	EASY 9	4,5	0,01	20000	5 лет	170,00
HAGER	MC-63	6	0,01	20000	5 лет	238,00
ABB	S201	4,5	0,01	20000	5 лет	265,00
Siemens	5SL	6	0,01	20000	5 лет	270,00
General Electric	G61	6	0,01	20000	5 лет	347,00

Legrand	ТХЗ	6	0,01	20000	5 лет	395,00
---------	-----	---	------	-------	-------	--------

ДЭК и ОАО «Контактор» уступают остальным выключателям по техническим характеристикам и сроку гарантии. Цена на выключатель компании ОАО «ДЗНВА» на 66 руб. выше чем на выключатели компании ООО «КЭАЗ» при таких же технических характеристиках и сроке гарантии. Если сравнить выключатели компаний ЕКФ, ИЕКи ООО «КЭАЗ», то наиболее выгодным решением будут выключатели компаний ЕКФ и ИЕК. Цена на эти выключатели при одинаковых технических характеристиках на 80 руб. ниже, чем на выключатели компании ООО «КЭАЗ».

Сравнивая выключатели зарубежного производителя можно выделить три наиболее выгодных продукта. Это выключатели компаний HAGER, Siemens и GeneralElectric. Выключатели таких компаний как TDM, SchneiderElectric и АВВ уступают остальным выключателям по отключающей способности, а выключатели компании TDM ещё и в механической износостойкости и сроке гарантии. Цена на выключатели компании Legrand при одинаковых технических характеристиках на 48 руб. выше чем на автоматы компании GeneralElectric. Если сравнивать выключатели компаний HAGER, Siemens и GeneralElectric между собой, то самым выгодным решением будут выключатели компании HAGER. Цена на выключатели компании GeneralElectric на 77 руб. выше чем на выключатели Siemens. Цена на выключатели Siemens на 32 руб. выше чем на выключатели HAGER.

На сегодняшний день на российском рынке в производстве и поставке на рынок автоматических выключателей лидируют компании ЕКФ и ИЕК. На рынке зарубежных производителей автоматических выключателей лидирует компания HAGER.

#### Список литературы

1. Официальный сайт компании ОАО «Контактор» - <http://www.kontaktor.ru>.
2. Официальный сайт компании ЗАО «Электрощит»- <http://www.electroshield.ru>.
3. Официальный сайт компании ООО «КАЭЗ»- <http://keaz.ru>.
4. Официальный сайт компании ООО «ТЕХЭНЕРГО» - <http://www.texenergo.ru>.
5. Официальный сайт компании «ЕКФ» - <http://ekfgroup.com>.
6. Официальный сайт компании «HAGER» - <http://www.hagersystems.ru>.
7. Официальный сайт компании «Legrand» - <http://www.legrand.ru>.
8. Официальный сайт компании «SchneiderElectric» - <http://www.schneider-electric.com>.
9. Официальный сайт компании «АВВ» - <http://www.abb.ru>.
10. Официальный сайт компании «ИЕК» - <http://www.iek.ru>.
11. Официальный сайт компании «Siemens» - <http://iadt.siemens.ru>.
12. Официальный сайт компании «GeneralElectric» -<http://www.ge.com/ru>.
13. Официальный сайт компании «DEKraft» - <http://www.dek.ru>.
14. Официальный сайт компании ОАО «ДЗНВА» - <http://www.dznva.ru>.
15. Учебно-методическое пособие «Защита электрических сетей 0,4 кВ».

## СЕКЦИЯ №16.

### БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА, ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, ОХРАНА ТРУДА И ЭКОЛОГИЯ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.26.00)

#### ТРАВМАТИЗМ СО СМЕРТЕЛЬНЫМ И ТЯЖЕЛЫМ ИСХОДОМ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Студенникова Н.С.

ВНИИ социального развития села ФГБОУ ВПО Орловский государственный аграрный университет, г.Орел

По данным Федеральной службы государственной статистики РФ по уровню общего травматизма сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство являются самым травмоопасным видом экономической деятельности. В 2012 году уровень общего травматизма в сельском хозяйстве, охоте и лесном хозяйстве превысил среднее значение по РФ в 1,5 раза.

Уровень общего травматизма в животноводстве составил 3,3 и превысил средний показатель в целом по сельскому хозяйству в 1,2 раза, а средний по РФ в 1,7 раза. Уровень травматизма со смертельным исходом в животноводстве был ниже среднего показателя по сельскому хозяйству, но выше среднероссийского в полтора раза [1].

Таким образом, животноводство может быть отнесено к одному из самых травмоопасных видов экономической деятельности, как в сельском хозяйстве, так и среди других видов экономической деятельности.

В последние годы наблюдается сокращение числа работников, занятых в животноводстве и, как следствие, общего числа пострадавших, однако коэффициент частоты смертельного травматизма не снижается.

Повышенная доля травм среди работников животноводства приходится на женщин, так как они выполняют большую часть работ по уходу за животными. В сельском хозяйстве почти каждая вторая погибшая и четвертая тяжело травмированная женщина – работницы животноводства.

В 2012 году коэффициент частоты общего травматизма среди женщин в животноводстве превысил средний показатель по РФ более чем в два раза и был самым высоким в сельском хозяйстве, а коэффициент частоты травматизма со смертельным исходом превысил средний показатель по РФ в 1,4 раза.

Анализ травматизма со смертельным и тяжелым исходом в животноводстве проводился по материалам расследования несчастных случаев на производстве с использованием Базы данных «Травматизм со смертельным и тяжелым исходом в АПК Российской Федерации» [2].

Как показал анализ материалов расследования несчастных случаев, наиболее травмоопасными профессиями в животноводстве являются: животновод, тракторист-машинист сельскохозяйственного производства, сторож, доярка, пастух, слесарь-наладчик по оборудованию животноводческих ферм, подсобный рабочий. На долю работников этих профессий приходится 80 % пострадавших со смертельным исходом и 70% пострадавших с тяжелым исходом.

Чаще всего работники животноводства получали смертельные и тяжелые травмы при выполнении основных технологических операций (39,5% от общего числа пострадавших в животноводстве), а именно, при выпасе и перегоне животных, уходе за ними, приготовлении и раздаче кормов, уборке навоза, доении.

На втором месте среди видов работ по числу травмированных находятся транспортные перевозки, при выполнении которых были травмированы 25,0% работников, из них 7,0% работников пострадали непосредственно при перевозке их к месту работы и обратно.

На третьем месте находятся дежурства, включающие в себя работы по охране ферм, участков работ, выполнение некоторых технологических операций по уходу за животными в ночное время.

Опасность травмирования представляют также работы по ремонту и техническому обслуживанию машин и оборудования. Работники чаще всего травмировались в результате ударов нестандартным или неисправным инструментом и осколками, отлетающими при ударах по ремонтируемому оборудованию, а также захватов вращающимися и движущимися деталями машин и оборудования.

Около 43,0% несчастных случаев было связано с эксплуатацией мобильной техники и транспортных средств, в первую очередь, колесных тракторов (17,3%), грузовых и легковых автомобилей (4,7% и 4,2% соответственно), гусеничных тракторов (3,1%), автомолоковозов (1,9%). При этом около трети случаев произошли в результате дорожно-транспортных происшествий.

Непосредственно оборудование животноводческих ферм послужило источником смертельных и тяжелых травм для 8,4% работников, из них наиболее опасными оказались агрегаты навозоудаления. В основном травмировались слесари и скотники, выполняющие работы по уборке навоза, ремонту и техобслуживанию. Травмирование происходило в результате захватов работника элементами наклонного транспортера при нахождении его в зоне движущихся и вращающихся узлов и деталей, при падении в приемки возле наклонного транспортера из-за отсутствия ограждения, ударов деталями и отлетающими осколками оборудования при его ремонте, а также в результате поражения электротоком из-за нарушения изоляции питающего кабеля. Чаще всего работники травмировались при обслуживании скребковых транспортеров марок ТСН-160 и ТСН-3,0 на фермах крупного рогатого скота и свиноводческих фермах. Основной причиной травмирования явилась эксплуатация транспортеров в неисправном состоянии (78%), в основном без соответствующих защитных ограждений движущихся и вращающихся узлов транспортеров и приемков.

Опасность травмирования представляют также стационарные и прицепные раздатчики кормов (2,8%). При эксплуатации кормораздатчиков, агрегатированных с тракторами, травмирование происходило при нахождении работников около карданного вала или битеров работающего кормораздатчика в результате захватов работников карданным валом или битером кормораздатчика. К вынужденному нахождению работника в зоне вращающихся деталей приводит отказ в работе одного из продольных транспортеров кормораздатчика. Для дальнейшей раздачи кормов работник вынужден находиться в кузове кормораздатчика и перебрасывать корм на второе полотно. В

такой ситуации происходит захват одежды работника бiteraми работающего кормораздатчика. Аналогичная ситуация наблюдалась при ремонте цепи транспортера, очистке битеров от забивания. Захват работников не огражденным карданным валом происходил при ремонте поперечного транспортера (при его забивании, обмерзании и пробуксовке) и попытке определить количество корма, находящегося в кузове кормораздатчика. Несчастные случаи также происходили в результате наездов тракторов, агрегатированных с кормораздатчиками, на работников и при опрокидывании машинно-тракторных агрегатов. В этих ситуациях травмировались трактористы-машинисты, выполняющие работы по завозу и раздаче кормов, животноводы, операторы мясного и молочного животноводства, операторы по производству свинины, а также доярки, птичницы, подсобные рабочие при раздаче кормов, слесари – наладчики при раздаче кормов и ремонте кормораздатчиков.

К травмоопасному оборудованию относятся дробилки кормов, в основном КДУ-2,0 и агрегаты кормоприготовления. Несчастные случаи происходили при нахождении работников в зоне вращающихся и движущихся деталей во время подачи сырья в приемные камеры, устранении забивания и очистке рабочих органов дробилок и агрегатов кормоприготовления.

Были зарегистрированы случаи смертельного и тяжелого травмирования работников при эксплуатации электроводонагревателей. Несчастные случаи возникали в результате электропоражений (в условиях неисправности автоматики, нарушения изоляции ТЭНов, питающего кабеля, при отсутствии заземления корпуса) и взрывов (при отсутствии циркуляции воды в системе, неисправности контрольно-предохранительной аппаратуры).

Из года в год большую опасность для жизни работников представляют сельскохозяйственные животные (14,0%). Травмы, в основном, наносят быки-производители (8,6%), реже коровы (2,6%) и лошади (1,3%).

Продолжают погибать работники в результате пожаров, возникающих от непотушенных окурков (3,2%), а также при использовании неисправных или самодельных электронагревательных установок (1,5%).

Работники животноводства получали тяжелые травмы в результате падений на поверхности (3,8%). Падения происходили в коровниках, телятниках и прилегающей к ним территории. Причиной падений явилось скользкое состояние полов помещений и пешеходных дорожек.

Таким образом, наиболее определяющими факторами смертельного и тяжелого травмирования работников животноводства являются:

- отсутствие или неисправность защитных ограждений движущихся и вращающихся частей оборудования;
- неисправность машин, механизмов, инструмента и приспособлений;
- не отвечающая требованиям безопасности организация рабочих мест;
- недостатки в инструктаже и обучении работников безопасным методам работы, в руководстве и надзоре за соблюдением требований охраны труда и трудовой дисциплины.

#### Список литературы

1. Производственный травматизм в Российской Федерации в 2012 году //Бюллетень / Росстат. [Электронный ресурс] - URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/wages/working\\_conditions/](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/working_conditions/) (дата обращения 15.07.2014).
2. База данных «Травматизм со смертельным и тяжелым исходом в АПК Российской Федерации» (свидетельство о государственной регистрации № 2011620431).

**СЕКЦИЯ №17.  
ИНЖИНИРИНГОВЫЕ И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПЛАТФОРМЫ  
(СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.13.12)**

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ В СРЕДЕ УЧЕБНО-НАУЧНОГО  
ВИРТУАЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

**Болдырев А.В., Павельчук М.В.**

СГАУ им. акад. С.П. Королёва (НИУ), РФ, г. Самара

Обсуждаются результаты педагогического эксперимента по апробации методики проектирования силовых схем конструкций с использованием специализированного PLM-решения учебно-научного виртуального предприятия (УНВП). Приводятся результаты повышения весовой эффективности проектируемых конструкций и роста квалификации обучающихся.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, силовая схема конструкции, континуальная модель, оптимизация

Развитие CALS-технологий обуславливает применение инновационных форм обучения в инженерном образовании. В работе [7] предложена методология обучения автоматизированному проектированию конструкций с использованием УНВП на базе PLM-системы. УНВП объединяет методическое обеспечение, интеллектуальные, программно-технические и информационные ресурсы подразделения учебного заведения, направлено на решение учебно-исследовательских задач проектирования изделий и выработку профессиональных компетенций у обучающихся.

В работе [3] заложены теоретические основы автоматизированного проектирования силовых схем авиационных конструкций (ССК) на основе континуальных моделей по методу конечных элементов. В [1] представлено развитие этого подхода, в котором используется процесс последовательного замещения элементов гипотетического материала в континуальной конечно-элементной модели (КЭМ) конструктивными элементами, реализующими принятые технические решения по ССК. В [5] предложен сценарий обучения проектированию ССК в среде УНВП в форме деловой игры (ДИ).

В настоящей статье рассматриваются результаты обучения студентов методике автоматизированного проектирования ССК [1] по сценарию ДИ на примере плоских ферм. Обучение проектированию ССК осуществляется в среде PLM-системы Windchill и CAE-системы NASTRAN [6].

Сущность педагогического эксперимента заключается в следующем. Исходными данными являются заданные размеры плоской геометрической области, внутри которой может располагаться проектируемая ферма, нагрузки и крепления конструкции. Используются различные типы креплений, например, шарнирно подвижная и шарнирно неподвижная опоры, заделка. Ставится задача отыскать рациональную силовую схему фермы.

Рассмотрим последовательность действий обучающихся при отыскании рациональной структуры фермы.

1. Допустимая геометрическая область проектируемой конструкции заполняется непрерывной упругой средой, названной в [3] континуальной моделью. В качестве такого заполнителя для плоских конструкций используется мембранная изотропная пластина переменной толщины. Разрабатывается КЭМ заполнителя, который потенциально содержит все возможные ССК. Эту модель назовём КЭМ-1.

2. Выполняется оптимизация распределения толщин материала заполнителя по равнопрочному алгоритму и отыскивается теоретически оптимальная конструкция (ТОК).

3. Анализируется информация о распределении материала и генеральных путей передачи усилий в ТОК с использованием потоков главных усилий (ПГУ) [3]. В зонах ТОК, в которых преобладают одноосные потоки усилий целесообразно располагать стержневые элементы проектируемой фермы в соответствии с направлениями векторов ПГУ, а в зонах с двухосным распределением ПГУ рекомендуется использовать перекрёстную систему стержней.

4. Разрабатывается КЭМ-2, которая реализует выбранную в п.3 структуру фермы и учитывает технологические ограничения. Выполняется весовой анализ фермы и проверяется выполнение функциональных требований. Критерием весовой эффективности ССК принимается силовой фактор  $G$  [2].

5. В проектную область, согласно методике [1], вновь вписывается заполнитель. КЭМ-3, созданная на этом этапе, объединяет выбранные элементы фермы и континуальную модель.

6. Выполняется оптимизация распределения материала заполнителя в КЭМ-3. Интерпретация картин ПГУ в заполнителе позволяет наметить пути совершенствования структуры конструкции за счёт изменения расположения уже имеющихся силовых элементов или добавления дополнительных стержней.

7. Разрабатывается вариант конструкции (КЭМ-4) с усовершенствованной ССК.

Оценку весового качества проектируемой конструкции  $p$  и квалификации проектного персонала  $q$  [4] можно выполнить по следующим формулам:

$$p = \frac{G_{opt}}{G_{st}}, \quad (1)$$

$$q = \frac{p}{1 - p} \quad (2)$$

где  $G_{opt}$  – силовой фактор ТОК,  $G_{st}$  – силовой фактор конструкции, предложенной студентом.

Для выполнения педагогического эксперимента разработана структура папок в PLM-системе со специально подобранным методическим обеспечением, вариантами проектных задач, прикладным программным обеспечением. Временной контроль выполнения проектного документооборота осуществляется по технологии Workflow.

На Рисунке 1 в качестве примера представлена одна из учебных задач, с размерами проектной области  $A \times B$ , нагрузкой  $P$  и типом закрепления заделка.

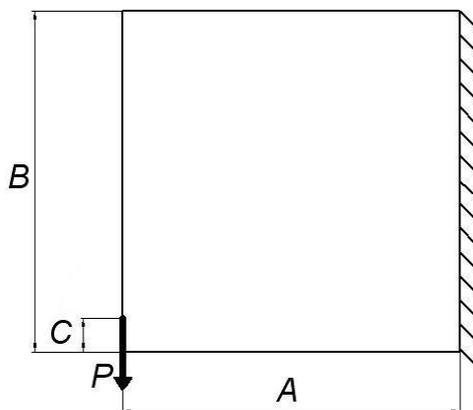


Рис.1. Вариант проектной задачи

Применяется конструкционный материал с характеристиками: модуль упругости 70000 МПа, коэффициент Пуассона 0.3, плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>, допустимое напряжение 300 МПа. На Рисунке 2 представлено решение этой задачи по предложенной последовательности действий при следующих значениях:  $A=B=1000$  мм,  $C=100$  мм,  $P=100$  кН.

В КЭМ-1 на Рисунке 2, а, б показано распределение материала и ПГУ в ТОК. КЭМ-2, реализующая технологичный вариант фермы, приведена на Рисунке 2, в. Силовой фактор этой фермы превышает  $G_{opt}$  на 8,2 %. Рисунок 2, г иллюстрирует ПГУ в заполнителе КЭМ-3. Усовершенствованная структура фермы, реализованная в КЭМ-4, показана на Рисунке 2, д. Силовой фактор для этой конструкции превышает  $G_{opt}$  на 3,4 %.

В данной работе к участию в педагогическом эксперименте были привлечены 5 групп студентов. Результаты вычислений  $p$  и  $q$  для различных задач, решаемых студентами, представлены на Рисунке 3.

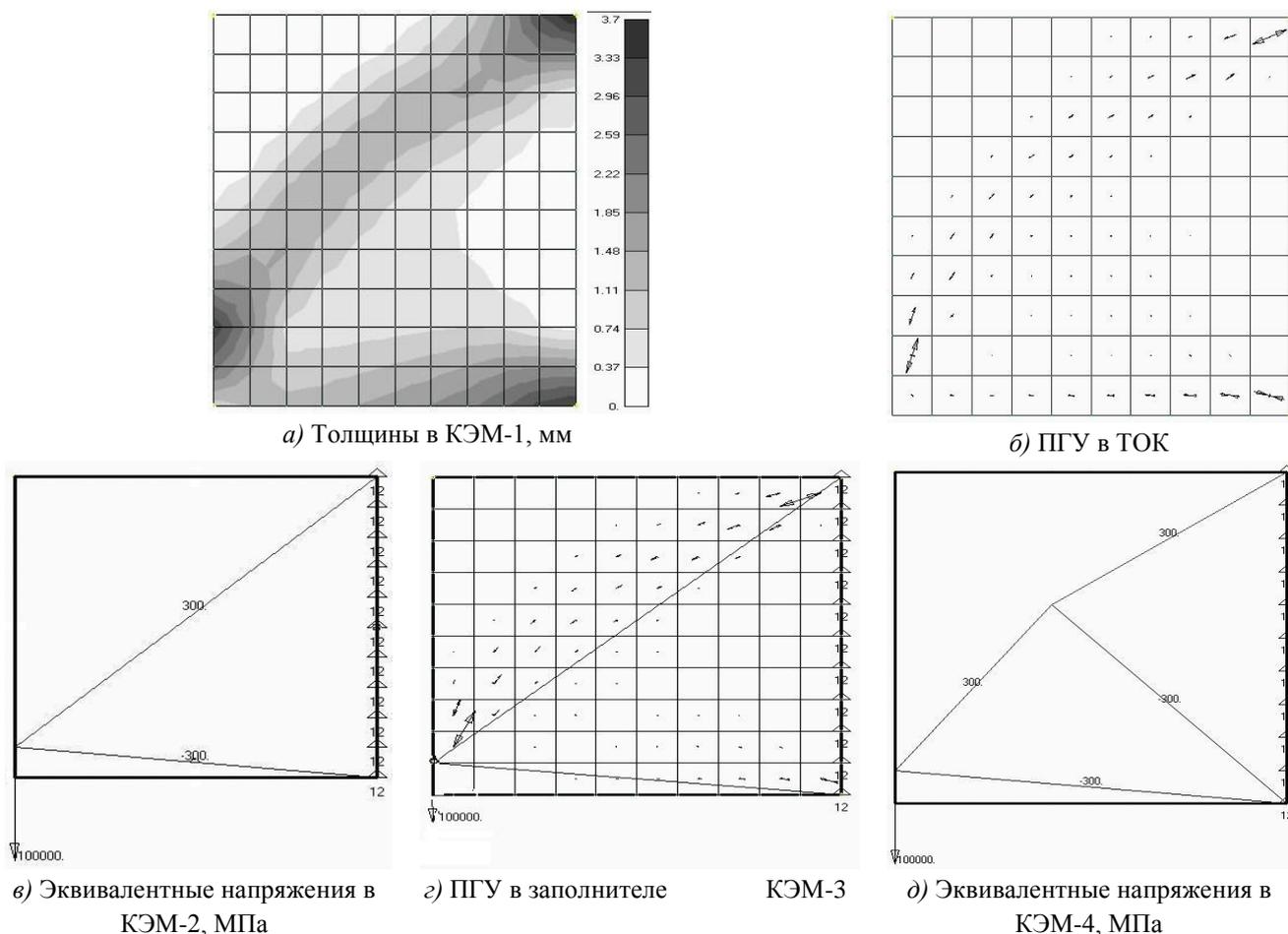


Рис.2. Процесс проектирования ССК

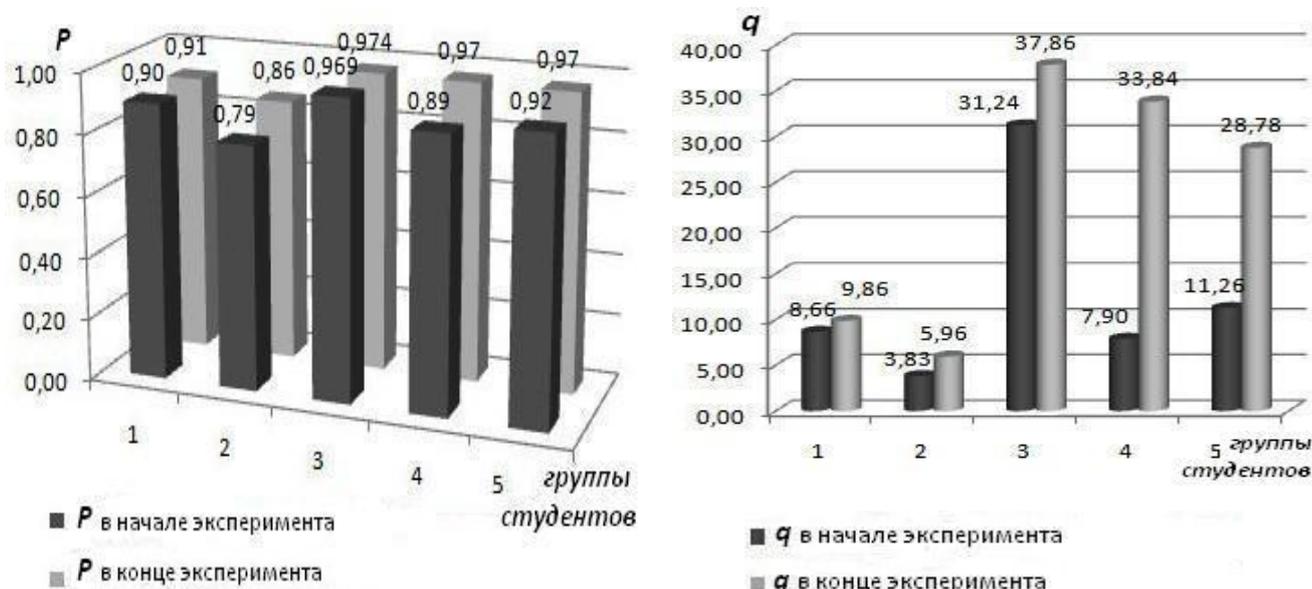


Рис.3. Результаты педагогического эксперимента

Для некоторых задач по методике проектирования получено снижение силового фактора до 15 % за счёт совершенствования структуры ферм. Средний рост весового качества ферменных конструкций составил 4,5 %, а средний рост квалификации обучающихся 40,5 %.

Таким образом, в результате экспериментальных исследований в среде УНВП удалось подтвердить работоспособность методики проектирования ССК на примере плоских ферм и существенно повысить квалификацию обучающихся при решении задач структурного проектирования конструкций.

### Список литературы

1. Болдырев А.В., Павельчук М.В. Развитие методики проектирования силовых схем авиационных конструкций с использованием модели тела переменной плотности // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15. № 6(3). С. 603–606.
2. Комаров В.А. Весовой анализ авиационных конструкций: теоретические основы // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». 2000. № 1. С. 31–39.
3. Комаров В.А. Проектирование силовых схем авиационных конструкций // Актуальные проблемы авиационной науки и техники. М.: Машиностроение. 1984. С. 114–129.
4. Комаров В.А., Черепашков А.А. Компьютерные тренажёры для конструкторов // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». 1999. № 8. С. 31–36.
5. Павельчук М.В. Сценарий обучения деловой игры «Проектирование силовых схем авиационных конструкций в среде учебно-научного виртуального предприятия» // Проблемы теории и практики современной науки: сб. научн. трудов II Междунар. науч.-практич. конф. М.: Перо. 2014. С. 60–64.
6. Рычков С.П. MSC.visual Nastran для Windows. М.: НТ Пресс. 2004. 552 с.
7. Черепашков А.А., Букатин А.В. Обучение автоматизированному проектированию с использованием учебно-научного виртуального предприятия // Вестн. Самарск. гос. аэрокосм. ун-та. 2012. № 5 (36). С. 342–345.

### СЕКЦИЯ №18.

#### ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И МЕНЕДЖМЕНТ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.02.22, 05.02.23)

### СЕКЦИЯ №19.

#### НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОМАТЕРИАЛЫ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.16.08)

#### ПРИМЕНЕНИЕ НАНОПОРОШКА $\text{CuO}$ В ФОРМИРОВАНИИ ПОКРЫТИЯ НА ПОВЕРХНОСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИМ ОКСИДИРОВАНИЕМ

Козлов А.В.

Орел ГАУ, г.Орел

Анализ литературных данных показывает, что при эксплуатации различной техники около 50 % их деталей переходят в неработоспособное состояние при износах, не превышающих 0,1 мм. Значительную долю в этом объёме составляют детали из алюминиевых сплавов, обладающие рядом достоинств, благодаря чему широко применяемые в машиностроении. Однако в ряде случаев они не обеспечивают требуемый ресурс подвижных соединений деталей машин.

Перспективным способом восстановления с одновременным упрочнением деталей из алюминиевых сплавов с таким износом, в значительной мере лишенным многих недостатков и получающим в последнее время все более широкое распространение, является плазменно-электролитическое оксидирование (ПЭО). Однако, в условиях граничной смазки или взаимодействия без смазочного материала, которые возникают в периоды приработки, начала или окончания работы машины, а также при аварийных ситуациях, у ПЭО-покрытий, проявляются повышенные фрикционные свойства. Это приводит к тому, что деталь с покрытием вызывает значительный износ сопрягаемой с ней детали типа «вал» при их взаимодействии, за счет чего происходит снижение износостойкости подвижного соединения в целом.

Сущность ПЭО заключается в том, что под действием высокого напряжения, прикладываемого между находящейся в электролите деталью и металлическим катодом (корпусом электролитической ванны или электродом) на ее поверхности возникают мигрирующие точечные микродуговые разряды (МДР), воздействие которых преобразует поверхностный слой изделия в прочно сцепленное ПЭО-покрытие. В результате теплового воздействия МДР окисная пленка локально нагревается до температуры выше 2000°C [2], что приводит к оплавлению стенок поровых разрядных каналов и появлению в покрытии кристаллических модификаций оксидов алюминия.

На основании литературных данных и собственных проведенных исследований мы сделали предположение, что включение частиц оксида меди в состав ПЭО-покрытий, при дуговом электрофорезе, может обеспечить существенное повышение антифрикционных свойств подвижных соединений деталей машин, содержащих покрытия данного типа.

Однако, в отличие от общепринятого дугового электрофореза, где включение частиц порошков металлов в покрытие происходит прямо из электролита, в котором и происходит ПЭО, мы предлагаем осуществить этот процесс в две стадии в начале ПЭО, а затем дуговой электрофорез с увеличенной концентрацией частиц меди на поверхности уже сформированного оксидного покрытия. Первая стадия предусматривает полное формирование ПЭО-покрытия на алюминиевом сплаве. Затем удаление рыхлого, технологического слоя. Нанесение и закрепление частиц нанопорошка  $\text{CuO}$  на поверхность ПЭО-покрытия. Далее идет вторая стадия, которая предусматривает дуговой электрофорез (вторичная обработка), для расплавления и закрепления меди в оксидном покрытии. Главным плюсом такого решения будет включение частиц антифрикционного металла только в поры и поверхностный слой ПЭО-покрытия. Это позволит существенно снизить расход применяемого порошка и повысить антифрикционные свойства внешнего слоя покрытия. Данное обстоятельство связано с тем, что в трении двух твердых тел участвует только внешняя поверхность покрытия. Поэтому улучшение антифрикционных свойств по всей толщине упрочненного слоя не требуется.

Проанализировав имеющиеся на Российском рынке порошковые материалы, их свойства и стоимость, мы пришли к выводу, что для повышения антифрикционных свойств ПЭО-покрытий наиболее целесообразно использовать порошки оксида меди. Такой порошок часто применяют в материаловедении, в качестве добавок к электродным материалам для изготовления высокопроводящих кислородных электродов с высокой электрохимической активностью, что по нашему мнению будет благоприятно сказываться на включении порошка в состав покрытия при образовании МДР. Кроме этого данный вид порошка отличается относительной дешевизной.

Так как размеры пор в ПЭО-покрытии колеблются в интервале от 2 до 6 мкм [1], то для лучшей заполняемости при дуговом электрофорезе потребуется порошок фракцией менее 1 мкм. Предлагаемый нами, способ закрепления частиц нанопорошка  $\text{CuO}$  перед дуговым электрофорезом на поверхности ПЭО-покрытия заключается в следующем. Порошок должен находиться в составе раствора, который при нанесении на сформированное при первичной обработке ПЭО-покрытие позволит зафиксировать его частицы на поверхности упрочненного слоя до начала вторичной обработки. Для приготовления основы раствора-носителя мы решили выбрать дистиллированную воду и один из компонентов электролита, а именно  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ , так как натриевое жидкое стекло применяется в промышленности в качестве компонента клеевых растворов. Предполагаем, что нанопорошок  $\text{CuO}$  в растворе-носителе на основе воды и  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  под собственным весом будет осаждаться на ПЭО-покрытии и частично проникать в его поры, а  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  за счет склеивающей способности, после испарения воды удержит частицы  $\text{CuO}$  на ПЭО-покрытии. Выбор натриевого жидкого стекла для основы раствора-носителя также основан на том, что  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  является компонентом электролита и не сможет повлиять на химический состав ПЭО-покрытия.

После нанесения раствора-носителя на поверхность ПЭО-покрытия верхняя часть пор в нем окажется занятой частицами оксида меди, а сама пора внутри будет полый. В этом случае при вторичной обработке воздействие МДР будет проходить по пути наименьшего сопротивления, т.е. через поры в упрочненном слое. В это же время она окажет воздействие на нанопорошок  $\text{CuO}$ , который будет находиться в зоне единичной поры. Под действием МДР нанопорошок  $\text{CuO}$  расплавится и займет полость поры. При этом также произойдет частичное расплавление стенки поры в ПЭО-покрытии. Таким образом и произойдет модифицирование его внешнего слоя, медь будет включена в состав ПЭО-покрытия. Продолжительность вторичной обработки выбирали исходя из потребности расплавления как можно большего количества частиц нанопорошка  $\text{CuO}$ , нанесенного на поверхность ПЭО-покрытия.

Для проведения исследований использовали образцы, изготовленные из литейного алюминиевого сплава АК7ч ГОСТ 1583. При выборе материала руководствовались тем, что данный сплав широко применяется для изготовления поршней гидроцилиндров, а также различных корпусных и других деталей в технике. ПЭО образцов (первичную обработку) осуществляли на специальной установке, работающей от трехфазной сети переменного тока 380 В и частотой 50 Гц. Эксперименты проводили в электролите, содержащем дистиллированную воду с добавлением гидроксида калия КОН ГОСТ 9285 и натриевого жидкого стекла  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ГОСТ 13078.

Формирование покрытий при первичной обработке проводили на следующих режимах ПЭО: плотность тока – 25 А/дм<sup>2</sup>; продолжительность оксидирования – 60-80 мин.; содержание компонентов электролита составляло: КОН – 2 г/л;  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  – 10 г/л [1], температура электролита – 20-40°C. Данный интервал температуры

был выбран для искусственного изменения пористости покрытия [1]. ПЭО-покрытия формировали на торцевой поверхности образцов.

После ПЭО снимали рыхлый, технологический слой с оксидированной поверхности образца и шлифовали его до шероховатости, соответствующей оригинальной детали ( $Ra=0,32$ ). Затем на упрочненную поверхность наносили подготовленный раствор-носитель с нанопорошком CuO.

Раствор-носитель для вторичного оксидирования содержал дистиллированную воду,  $Na_2SiO_3$  и нанопорошок CuO с фракцией частиц от 80 до 100 нм по ТУ 1791-003-36280340-2008. Пропорции компонентов раствора-носителя определяли опытным путем, они имеют следующее соотношение: три части по массе жидкого стекла  $Na_2SiO_3$ , три части по массе дистиллированная вода, 1 часть нанопорошок CuO. Далее, после застывания раствора-носителя проводили вторичную обработку исследуемой поверхности образца.

Модифицирование ПЭО-покрытия при вторичной обработке дуговым электрофорезом проводили на следующих режимах: плотность тока – 25 А/дм<sup>2</sup>; продолжительность оксидирования – до 2 мин.; содержание компонентов электролита составляло: КОН – 1-2 г/л;  $Na_2SiO_3$  – 2-10 г/л; температура электролита – 15-20°С. После этого образец подвергался повторному шлифованию и проведению дальнейших исследований.

Исследования показали, что с увеличением температуры электролита, сквозная пористость ПЭО-покрытия возрастает (Рисунок 1). При создании в ПЭО-покрытии необходимой пористости для последующего модифицирования частицами нанопорошка CuO температура электролита должна поддерживаться на уровне 40°С.

Продолжительность оксидирования на рациональных режимах ПЭО и сплаве АК7ч была определена экспериментальным путем. Она составила 80...90 мин. Сквозная пористость ПЭО-покрытия при этом составит 12%. Более высокие её значения негативно сказываются на несущей способности упрочненного слоя. Толщина внешнего упрочнённого слоя ПЭО-покрытия (после удаления технологического) составит 65...70 мкм (на сторону) при общей толщине упрочненного слоя 125 мкм. Микротвердость ПЭО-покрытия составит 10 ГПа. Исследование поверхности модифицированных нанопорошком CuO ПЭО-покрытий на содержание меди по толщине упрочненного слоя проводили на многоканальном рентгеновском спектрометре СРМ-35. Результаты представлены в Табл.1. В связи с тем, что присутствие меди по всей толщине упрочненного слоя не требуется, исследования проводили на глубину не более 15 мкм. Таким образом, наши исследования подтверждают возможность модифицирования ПЭО-покрытия частицами нанопорошка CuO после его полного формирования. Научные исследования проводились при поддержке программы «УМНИК».

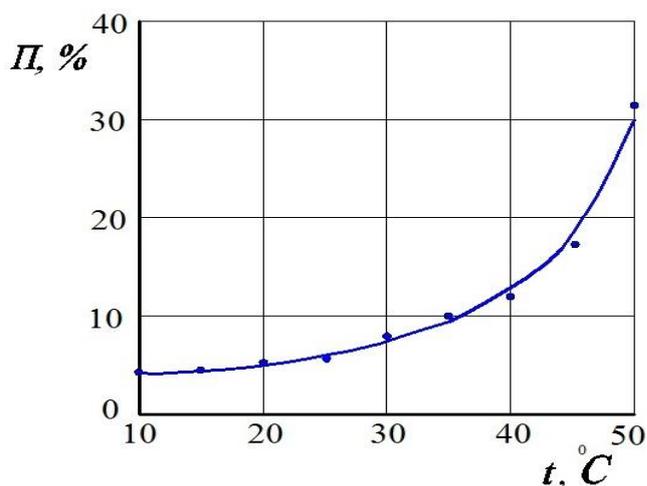


Рис.1. Влияние температуры электролита t на сквозную пористость П ПЭО-покрытия при  $D_t=25$  А/дм<sup>2</sup>; T=80 мин;  $C_{KOH}=2$  г/л;  $C_{Na_2SiO_3}=10$  г/л

Таблица 1

Содержание меди на поверхности модифицированного нанопорошком CuO ПЭО-покрытия пористостью 12%

№ п/п опыта	Глубина шлифования от поверхности модифицированного ПЭО-покрытия, мкм	Набор импульсов за 20 сек.	Содержание Cu на поверхности, %
1	0	3022701	6,55
2	5	1013837	2,95
3	10	599362	1,29
4	15	572062	1,23

### Список литературы

1. Коломейченко, А.В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением рабочих поверхностей комбинированными методами [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. наук / А.В. Коломейченко. – М., 2011. - 31 с.
2. Суминов, И.В. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов [Текст] В 2-х т. Т. 2 / И.В. Суминов, П.Н. Белкин, А.В. Эпельфельд, В.Б. Людин, Б.Л. Крит, А.М. Борисов – Москва: Техносфера, 2011. – 512 с.

## СЕКЦИЯ №20.

### ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 05.25.05)

#### ОБНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ПРИ ПОМОЩИ SIGNALR

Рыбкина М.В., Чугунов А.П., Строев В.Д.

Ульяновский государственный технический университет, г.Ульяновск

В настоящее время все чаще появляются веб-приложения, использующие технологии обновления данных в реальном времени. Приложениями, которые можно отнести к этой категории, чаще всего являются различные чаты и социальные сервисы. Наиболее распространенным примером являются такие сервисы как Twitter или Facebook. Многие из вас замечали, что страница обновляется автоматически, в реальном времени и без перезагрузки, когда приходят обновления сообщений или новостей. Эти приложения можно назвать веб-приложениями, работающими в реальном времени. Таким образом вы постоянно видите последнюю актуальную информацию.

С точки зрения программирования такой подход является достаточно интересным, так как нарушается привычная модель работы веб приложения – запрос-ответ, благодаря чему пользователи видят обновленные данные сразу же, как только они появляются на сервере.

Существует несколько способов реализации обновления данных в веб-приложении. Одним из первых методов, появившихся на просторах интернета, является «long polling». Он имеет довольно простую схему: клиент отправляет асинхронный запрос на сервер для получения новых данных и ожидает ответа, после чего отправляет новый запрос. Далее идет реализации части «long» - сервер не закрывает соединение до тех пор, пока не появятся новые данные или не произойдет необходимое событие. Каждый пакет данных, таким образом, означает новое соединение, которое будет открыто пока сервер не решит прислать информацию.

Следует также упомянуть Server-Sent Events - технологию отправки уведомлений от сервера на клиент в виде DOM-событий. Данная технология является стандартом, определяющим то, как серверы должны вести передачу данных веб браузеру с момента первого подключения. Сейчас стандарт широко используется для отправки уведомлений об обновлениях или для посылки постоянных потоков данных браузеру клиента. Протокол спроектирован для улучшения кросс-браузерного взаимодействия посредством JavaScript; с его помощью веб браузер задает ссылку для получения интересующего его потока событий. Технология Server-Sent Events в настоящее время стандартизируется как часть HTML5 организацией W3C.

Наиболее эффективной на данный момент методикой является WebSockets - протокол полнодуплексной связи поверх TCP-соединения, основным предназначением которого является передача сообщений между клиентом и сервером в режиме реального времени. Для установления соединения WebSocket клиент и сервер используют протокол, схожий с HTTP. Браузер формирует особый HTTP-запрос, на который сервер отвечает определенным образом. В настоящее время в W3C осуществляется стандартизация API Web Sockets. Черновой вариант стандарта этого протокола утверждён IETF. Основным преимуществом данной технологии является отсутствие необходимости постоянно пересоединяться с сервером.

Новейшие технологии, такие как Server-Sent Events и WebSockets поддерживаются не во всех браузерах. «Long polling», являющийся по сути обыкновенным Ajax запросом для клиента, работает практически везде, но оказывает существенную нагрузку на сервер и имеет задержки при получении данных. Наилучшим выходом из данной ситуации было бы объединение приведенных методов в различных случаях, но это достаточно тяжело реализовать и поддерживать. Именно эту задачу и решает библиотека SignalR.

SignalR – это не что иное, как абстракция над приведенным набором техник. При выборе того или иного метода, преимущество отдается наиболее современным, так как они обеспечивают минимальную нагрузку на сервер и сеть. Когда пользователь заходит на сервис, работающий на SignalR, библиотека автоматически проверяет браузер пользователя на возможность использования того или иного метода отправки уведомлений. В случае, когда клиент не поддерживает ни одну из технологий, библиотека выберет самый надежный способ – «long polling», который работает практически везде.

Одной из дополнительных возможностей SignalR является поддержка групп. Их можно использовать для объединения клиентских подключений на стороне сервера. Это полезно, когда необходимо сделать так, чтобы лишь определенные пользователи могли получать обновления.

Для небольших сервисов, у которых их нет нескольких тысяч пользователей онлайн и не подверженным высоким нагрузкам, приемлемым решением было бы всегда использовать «long polling». Но для больших проектов решение с «long polling», где каждый клиент с определенной периодичностью будет отправлять запрос на сервер, это создаст слишком высокую нагрузку. Конечно, мы можем оптимизировать запросы, клиентский и серверный код и создать цепочку серверов по всей стране, которые будут готовы обрабатывать все запросы клиентов. Но такое решение достаточно дорогое и дальнейший рост нагрузки на сервер приведет к необходимости использовать все большие мощности, что в конечном итоге приведет к убыткам.

SignalR может легко масштабироваться с помощью SQL Server, Redis или сервисной шины. Масштабирование означает добавление серверов по мере возрастания нагрузки. При этом нет необходимости изменять серверный код и есть возможность автоматизировать этот процесс, что является немаловажным фактором при разработке веб сервиса. Передача данных осуществляется при помощи текста в формате JSON в несжатом виде. В случае необходимости, для уменьшения объема передаваемого трафика между клиентом и сервером, можно передавать данные в сжатом виде.

При помощи SignalR можно без особых усилий абстрагироваться от технологий обмена данными и уделить время более важным вещам. Таким образом SignalR обеспечивает очень простой, высокоуровневый интерфейс прикладного программирования для реализации взаимодействия сервер-клиент в веб приложениях.

#### Список литературы

1. Server-sent events [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Server-sent\\_events](https://ru.wikipedia.org/wiki/Server-sent_events)
2. SignalR в помощь, или как оживить веб [Электронный ресурс] // Хабрахабр. Режим доступа: [http://habrahabr.ru/company/dnevnik\\_ru/blog/167307/](http://habrahabr.ru/company/dnevnik_ru/blog/167307/)
3. WebSocket [Электронный ресурс] // Википедия. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/WebSocket>

## ПРИНЦИП ИСТОРИЗМА В СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ СТАНДАРТНЫХ ИНТЕРФЕЙСОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Кочергин И.Г., Кочетков В.А., Лутохин И.В., Солдатов И.В.**

Академия ФСО России, г.Орел

В статье с позиций системно-исторического аспекта исследования развития технических систем рассматривается роль принципа историзма в определении этапов, современного состояния, условий изменчивости и адаптации автоматизированных измерительных комплексов и стандартов, лежащих в основе их функционирования. Показан один из подходов использования принципа историзма для учета изменчивости, способности к развитию и расширению стандартных интерфейсов измерительных систем и комплексов.

Усложнение технических устройств, особенно радиоэлектронных комплексов, происходящее от поколения к поколению, приводит к необходимости в процессе их разработки, производства, испытаний и эксплуатации контролировать десятки и сотни параметров и характеристик. При этом все чаще требуется получать результаты измерений с высокой точностью. Еще в 50-х годах прошлого столетия было выяснено, что эффективность контроля и измерений большого числа параметров достигается только при автоматизации процессов измерений и обработки их результатов. Раньше автоматизированные системы предназначались для "грубого" контроля и назывались автоматизированными системами контроля. В настоящее время они решают задачи контроля с выраженными измерительными функциями и обычно называются автоматизированными измерительными комплексами (АИК).

Последние четыре–пять десятилетий непрерывно возрастала потребность в автоматизированной контрольно-измерительной аппаратуре (КИА) в различных отраслях промышленности, в том числе и в телекоммуникационной сфере. Высокие требования к производительности, надежности, метрологическим характеристикам, необходимость уменьшения габаритов и массы, снижения стоимости заставляли разработчиков и изготовителей КИА объединять усилия в развитии традиционных и поиске новых технологий построения современных унифицированных средств измерения в модульном исполнении.

Одной из первых разработанных модульных технологий создания унифицированных средств измерения для научного приборостроения была система КАМАК.

Магистральный интерфейс КАМАК (САМАС – Computed Aided for Measurement, Automation and Control) разработан комитетом по стандартам в области ядерной электроники (ESONE, США) в 1968 году. В стандарте КАМАК формулировались требования к функциональным модулям по электрической, конструктивной и информационной совместимости.

С точки зрения развития технологии стандартных интерфейсов автоматизированных измерительных комплексов КАМАК представляет собой первую в мире магистрально–модульную (функционально-модульного типа) агрегатную систему, предназначенную для связи измерительных устройств с цифровой аппаратурой обработки данных. Цель разработки – применение в физике элементарных частиц для автоматизации экспериментов. Утвержден стандартом IEEE 583 в США и ГОСТ 26.201-80, 26.201.1-94 и 26.201.2-94 в СССР и России. Стандарт КАМАК – это функционально-модульная система агрегатного типа, объединенная единым магистральным интерфейсом и едиными конструктивными параметрами [1]. Предназначена для сбора, накопления, преобразования и обработки измерительных и управляющих сигналов в АИК реального времени, соединенных с ЭВМ (персональным компьютером). Особенности системы КАМАК: модульный принцип построения; конструктивная однородность системы за счет унификации несущих конструкций и конструкций модулей; магистральная структура интерфейса; программное управление АИК. Конструктивно измерительная система на основе интерфейса КАМАК выполняется в виде, представленном на Рисунке 1.

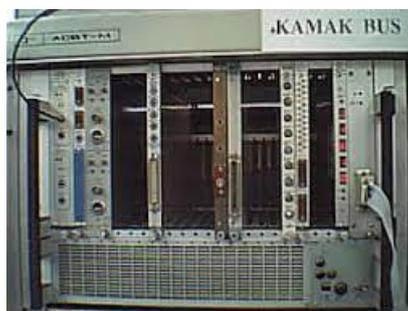
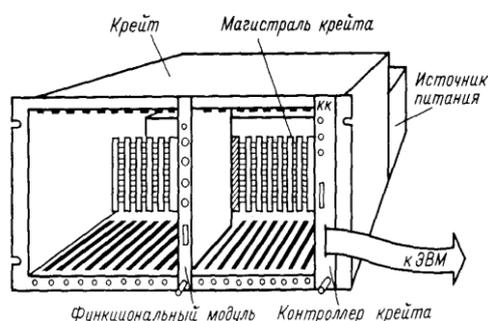


Рис.1. Стандарт КАМАК, выполненный в виде крейтовой системы

Интерфейс отличается единым управлением, характеризуемым различным количеством уровней централизации. Архитектура системных шин телекоммуникационного и сервисного сигналов – не повторяемая; топология интерфейсов каналов обмена радиально – магистральная, последовательность отработки основных этапов обмена информацией – параллельный, метод обмена информацией – синхронный, допускается работа с различными персональными компьютерами. Параметры электрического питания и конструктивных особенностей удовлетворяют унифицированным требованиям. Основой структуры КАМАК является крейт. Конструктивно крейт – это стойка, в которую вставляются платы-модули, расположение которых в крейте может быть произвольным.

С позиций принципа историзма, включающего периоды постепенной эволюции и резких структурных перемен во многих областях жизни общества, можно считать в той или иной степени, закономерным появление этого стандарта именно в конце шестидесятых годов прошлого века. Вторую половину этого десятилетия историки многих стран мира называют "эволюционным" и "бурным" периодом развития индустриального общества. Специалисты в области социально-исторических проблем и сегодня не могут объяснить, почему именно в этот период люди в разных концах света одновременно захотели совершать революции и прорывы. Негативное отношение к тем или иным аспектам своего существования охватило различные общественные и социально-значимые группы и приобрело формы молодежных движений, выступлений представителей рабочего

класса, различных "сопротивлений", национально-патриотических фронтов. Северная Америка, европейский континент, СССР, Китайская народная республика, другие державы встретились с угрозами самому факту своего геополитического и общественного развития. И преодолели они это по-разному: например, США прошли в полный рост через все невзгоды и препятствия и удержались на мировой арене, а Советский Союз не смог излечиться от недугов и нездоровых симптомов исторических коллизий и через четверть века перестал существовать как государство. Но тектонические общественно-политические и технологические прорывы, начавшиеся в этот исторический период, все еще продолжают оказывать влияние на ход мировой истории и развитие техники и технологий [2].

Примерно в это же время на свет появилась компания Intel, которая технологическим инструментарием произвела иную "общественную" революцию: вычислительные машины, которые представлялись "super" исследовательской и специальной техникой военного назначения, достаточно быстро стали доступными для населения западных стран приборами домашнего пользования. Стоит отметить, что в те времена все эти новшества выглядели наивными: документы развития фирм и предприятий составляли не более одной страницы машинописного текста. Одновременно с развитием аппаратных средств стартовала и разработка программной компоненты ЭВМ, речь идет об операционной системе UNIX. Рождение этой операционной системы определило некую рубежность в истории техники. Несмотря на то, что она по распространенности по всему миру уступает программному обеспечению фирмы Microsoft, программные пакеты, созданные на этой платформе, не теряют популярности среди системных администраторов и профессиональных программистов. Но необходимо обратить внимание на следующий аспект рассматриваемой проблематики. Аппаратно-программные, специальные, образовательные и информационные технологии также перетекали в некое облако молодежных, студенческих движений. По своей сути это один из спокойных, как бы интеллигентных способов ухода от окружающей реальности. Представители молодого поколения, которых из-за отсутствия опыта и навыков работы не приняли бы даже на низшие должности в мега компании и консорциумы, изобретали свои уникальные "социумы". Мечтания и грезы об идеальных общественных устройствах просто перешли в область скринов и листингов программ.

В науке и технике возникли новые теории. В деловой сфере были отмечены грандиозные перемены. Самая обыкновенная по западным меркам фирма IBM в реальной жизни не реализовала бы идей по созданию и развитию массовых ПЭВМ. Их разработчики студенты – С. Джобс и С. Возняк, которые собрали в гараже первый Apple Macintosh. Или, к примеру, "всемирная сеть". Это не что иное, как результат развлечений младших научных сотрудников на службе натовского блока: "они просто соревновались друг с другом в компьютерных играх – развлекались на рабочем месте", – поясняет профессор Г. Дерлугьян, член Исполнительного комитета Программы новых подходов к безопасности России [3].

По его словам, примерно то же произошло и с первой советской космической программой. Академик С. П. Королев по заданию Министерства обороны должен был создать носитель, который выводил бы на орбиту ядерное оружие. В это же время перспективные советские инженеры создали программу по исследованию Вселенной. И только когда генеральный секретарь ЦК КПСС увидел американскую прессу и понял, насколько на Западе удивлены разработками русских, он заявил: "Вот какие наши молодцы – ну и разрабатывайте свою космическую программу". Олицетворение эпохи "наших" шестидесятых – это бестселлер братьев Стругацких "Понедельник начинается в субботу" – по сути, руководство к действию для младших научных сотрудников советских НИИ и НПО. Не было еще в истории столько научных сотрудников, и никогда не работали они в таких огромных иерархических институтах какие были в СССР. Раньше такие первооткрыватели как Маркони, Тесла или Эдисон трудились в одиночку, как и большинство других исследователей и ученых до XX века. А рассматриваемый исторический период – это колоссальные НИИ с бесконечными организационными иерархиями и управленческим аппаратом.

Однако система КАМАК не нашла широкого распространения в измерительной технике из-за функционально-параметрической и конструктивной ограниченности, прежде всего в радиочастотном и СВЧ диапазонах, которые в то время стали интенсивно осваиваться промышленностью в системах связи как военного назначения, так в телекоммуникационных структурах гражданского и двойного применения.

В соответствии с исторической хронологией в 70-х годах прошлого века широкое распространение получил стандарт на магистраль VME (Virtual Memory Environment) (МЭК 821) фирмы Motorola (США) как внутрисистемную шину персональной ЭВМ. На базе этой магистрали были разработаны модульные системы для контроля технического состояния и диагностики цифровых устройств, но магистраль VME изначально не была предназначена для использования в контрольно-измерительных системах.

Исторически появлению этого стандарта предшествовала эволюция, с одной стороны, средств телекоммуникаций, с другой – вычислительной техники, результатом которой стало развитие компьютерных сетей (Рисунок 2).

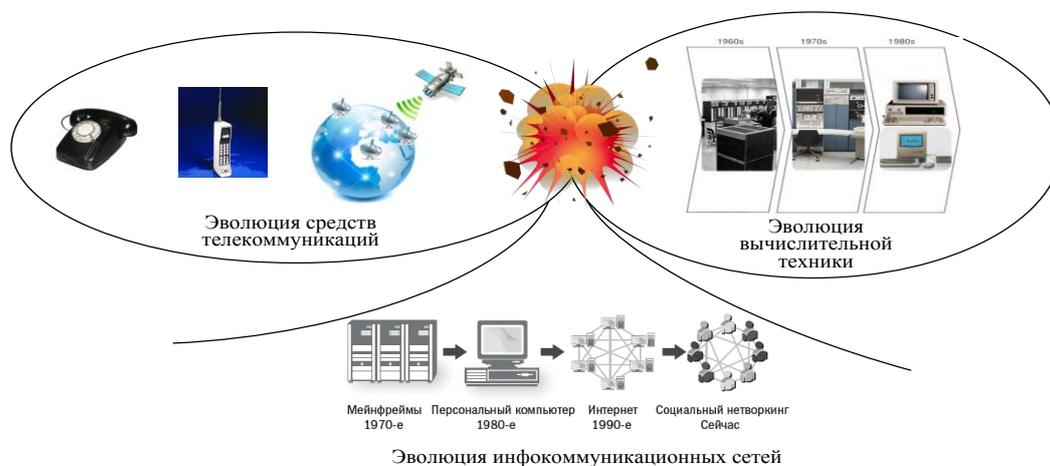


Рис.2. Эволюция инфокоммуникационных сетей как симбиоз развития средств телекоммуникаций и вычислительной техники

Принцип историзма в аспекте появления стандарта VME заключается в применении ряда следствий, охватывающих всю область эволюции элементов телекоммуникаций и вычислительной техники, первое из которых вытекает на основе хронологии развития компьютерных сетей (Табл.1).

Таблица 1

Хронология развития информационно-коммуникационных сетей

Этап	Период времени
Первые глобальные связи компьютеров, первые эксперименты с пакетными сетями	Конец 60-х годов XX века
Начало передач по телефонным сетям голоса в цифровой форме	Конец 60-х годов XX века
Появление больших интегральных схем, первые мини-компьютеры, первые локальные сети	Начало 70-х годов XX века
Создание сетевой архитектуры IBM SNA	1974 г.
Появление стандарта X.25	1974 – 1975 гг.
Первые персональные компьютеры, создание Интернета, использование на всех узлах компьютерной сети стека TCP/IP	Начало 80-х годов XX века
Разработка стандартов локальных сетей (Ethernet – 1980 г, Token Ring – 1985 г.)	Середина 80-х годов XX века
Начало коммерческого использования Интернета	Конец 80-х годов XX века
Изобретение Web- технологий	1991 – 1992 гг.

Другой аспект принципа историзма при анализе причин появления стандарта VME заключается в том, что на всем пространстве, включающем в себя процессы преобразования, кодирования, приема и представления информации, основные положения этого стандарта базируются на теории информации, которая крайне устойчива и, в какой-то степени нерушима, так как в основе ее законов находятся извечные пласты – опыт взаимодействия, логические и математические постулаты.

Но, пожалуй, основной особенностью принципа историзма при его применении к рассмотрению идеологии построения и развития VME стандарта является некий элемент условности, связанный с общими тенденциями развития науки и технологий в рассматриваемый исторический период. Именно в последнюю четверть прошлого

века средства измерений получили микропроцессоры, что позволило, во-первых, полностью отказаться от операций по настройке режимов работы средств измерений обслуживающим персоналом, во-вторых обеспечить предварительную обработку метрологических данных и, в-третьих, позиционировать измерительные комплексы как программно-управляемые. Существующие на тот момент времени технологии производства средств вычислительной техники, позволили совместить ЭВМ со средствами измерений. Благодаря такой совместимости: электрической, информационной и во многом конструктивной, прибора-модуля и внешней ЭВМ появилась разновидность стандарта VME – VMEbus (шина VME). Примерно в это же время Фирмой Hewlett-Packard был предложен приборно-модульный принцип построения АИК, базирующийся на использовании автономных программно-управляемых измерительных приборов-модулей, имеющих встроенный интерфейс и работающих на общую магистраль (канал общего пользования – КОП). Требования, предъявляемые к интерфейсу КОП, впервые были изложены в открытом стандарте *IEEE 488.1* (МЭК 625) [4].

В России эти требования для программируемых средств измерения были определены в ГОСТ 26.003-80, разработанном в 1980 г. Нижегородским НИПИ "Кварц". Данный документ описывает структуру интерфейса для АИК с различными видами технологий обмена информацией. По мере усложнения АИС, базирующихся на канале общего пользования, возникла необходимость дальнейшего совершенствования стандарта МЭК 625. В результате дополнительно были разработаны два стандарта: МЭК 625.1 и МЭК 625.2. В России в НИПИ "Кварц" были разработаны аналогичные стандарты.

Таким образом, методология разработки стандарта КОП, как в нашей стране, так и за рубежом, учитывала изменяемость автоматизированной измерительной системы, ее способность к развитию, адаптации, расширению функциональных возможностей и накоплению обрабатываемой информации, что соответствует принципу историзма при проектировании и разработке измерительного комплекса как технической системы.

К концу 80-х годов отечественной приборостроительной промышленностью выпускалось около 175 типов радиоизмерительных приборов с интерфейсом, отвечающим требованиям ГОСТ 26003-80, предназначенных для агрегатирования в АИК. Использование в составе АИК радиоизмерительных приборов общего применения привело к функциональной и параметрической избыточности контрольно-измерительных систем, что вызвало увеличение их стоимости и повышение расходов при эксплуатации. Поэтому ведущие приборостроительные фирмы мира продолжили работы по изысканию путей создания новых средств измерения открытой архитектуры, лишенных указанных недостатков.

С этой целью в 1987 г. пятью приборостроительными фирмами США (Colorado Data Systems, Hewlett-Packard, Racal Dana Instruments, Tektronix и Wavetek) был создан консорциум, задачей которого была разработка концепции открытого стандарта, выражающего требования и принципы построения магистрально-модульных контрольно-измерительных систем нового поколения. За основу была выбрана магистраль VME, получившая широкое распространение в компьютерных технологиях, доработанная с учетом требований ее использования в автоматизированных измерительных системах и получившая название магистрали VXI (шина VME, по сути, расширенная для использования в измерительной технике) [5].

Консорциумом была разработана спецификация магистрали VXI, в которой сохранялись все сигналы магистрали VME и вводились новые, необходимые для применения в приборной магистрали (локальные шины, линии сигналов запуска и т. д.) Кроме того, спецификация расширила возможности по габаритным размерам, установила требования к электромагнитной совместимости, питанию и системе охлаждения базового блока и функциональных модулей.

Очевидные преимущества модульной аппаратуры на базе магистрали VXI преопределили ее широкое распространение. В настоящее время более 120 фирм мира выпускают около 1500 типов модулей различного назначения, что дает возможность потребителям самим собирать автоматизированные контрольно-измерительные системы.

Стандарт магистрали VXI предусматривает применение в модулях до трех 96- контактных разъемов типа DIN (Рисунок 3) [5].

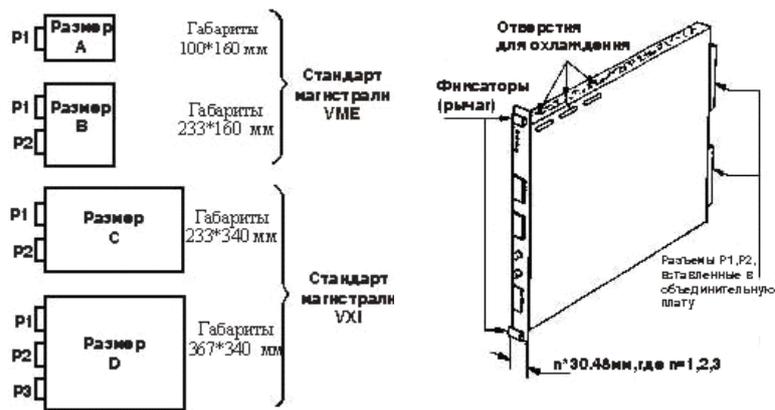


Рис.3. Массогабаритные показатели и конструкция модулей стандарта VXI

Программное обеспечение (ПО) является средством управления магистрально-модульными средствами VXI во всех случаях их применения от виртуальных приборов и до функционально сложных автоматизированных систем контроля и диагностирования. На Рисунке 4 приведена обобщенная программно-аппаратная модель VXI системы, включающая в себя различные (наиболее часто встречаемые) варианты используемых программно-технических средств [6]. Нижний (аппаратный) уровень – уровень модулей VXI характеризуется унифицированной для всех типов функциональных модулей регистровой структурой. Это позволило реализовать принцип стандартизации драйверов всех устройств, который сохраняется на всех верхних уровнях модели. Второй особенностью VXI модуля является возможность программировать команды модулей не только в двоичном коде (регистровые операции), но и в ASCII кодах. Второй, третий и четвертый уровни определяют конкретную конфигурацию VXI системы, ее производительность и технические возможности. На верхних уровнях представлены программные средства, встречающиеся в VXI технологиях при разработке прикладных программ.

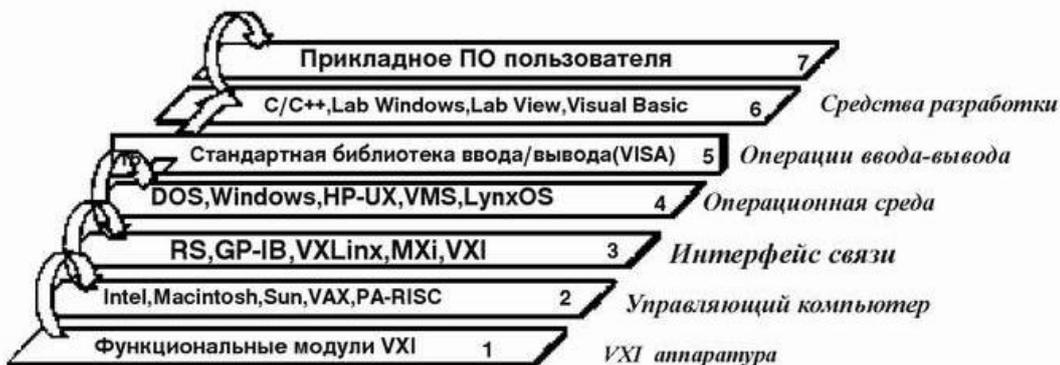


Рис.4. Программно-аппаратная модель VXI стандарта АИК

Пятый уровень стандартизует библиотеку операций ввода/вывода межсистемных обменов по различным интерфейсам связи (VISA – Virtual Instrument Software Architecture). На уровне языков программирования VXI технологии предоставляют широкий выбор средств и возможностей для пользователя. Кроме общеизвестных алгоритмических языков программирования C++, PASCAL, FORTRAN, BASIC разработаны специализированные графические среды, существенно облегчающие процесс, а также сокращающие время создания и отладки прикладных программ VXI систем. Встроенная поддержка современных технологий взаимодействия между приложениями позволяет полностью реализовать принципы модульного построения прикладного ПО.

Таким образом, стандарт VXI, обобщил в себе опыт, накопленный при разработке и эксплуатации стандартных интерфейсов 70–80-х годов XX века, и дал им новое технологическое направление – обеспечение максимальной "дружественности" для пользователей и полной независимости их от конкретного производителя.

Стандарт занял на рынке устойчивое положение в определенных приложениях и прошел этапы внедрения от военных отраслей до гражданского применения. Примеры успешного внедрения *VXI*-технологий в России показывают, что в ряде случаев альтернативы для них в настоящее время нет. Опыт применения *VXI* показал, что эту технологию легко осваивают отечественные специалисты и быстро находят им прикладные приложения, не имеющие аналогов в мировой практике.

Следующей, в хронологическом порядке, технологией стандартных интерфейсов АИК, явилась платформа *PXI* (Рисунок 5).

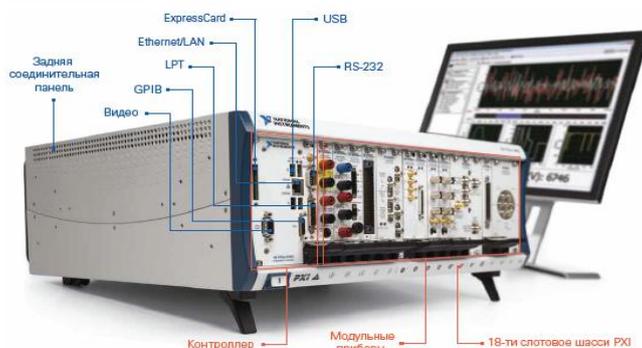


Рис.5. Программно-аппаратная модель *PXI* стандарта АИК

Повсеместное использование ПЭВМ позволило им занять место в составе испытательных стендов, измерительных комплексов и выполнять важные операции в циклах управления процессами в современном промышленном производстве. Особняком стоят программно-аппаратные процедуры ввода/вывода и преобразования сигналов, где достоинства вычислительной техники неоспоримы, несмотря на то, что целый ряд перечисленных задач диктует необходимость в использовании специальных и дорогостоящих технологий, к которым относятся операционные платформы, работающие с реальным временем типа Linux, OS-9, QNX и др. совместно с аппаратными комплексными приложениями. Перечисленные специальные аппаратные, программные и инфокоммуникационные приложения и комплексы особенно востребованы в военных ведомствах и на предприятиях военно-промышленного комплекса различных стран. Поиск решений типичных диагностических, измерительных и задач контроля в сфере телекоммуникаций базируется на простых и более дешевых и "открытых" технологиях, например, ОС Windows NT в совокупности с оборудованием ввода/вывода измерительных сигналов. Этим требованиям удовлетворяет большинство продуктов фирмы National Instruments.

Особенности стандарта *PXI*:

- открытая модульная архитектура;
- более 1500 измерительных модулей (от единиц Гц до 26.5 ГГц);
- до 17 измерительных модулей в одном шасси;
- возможность синхронизации как модулей, так и отдельных шасси;
- стандартные компьютерные технологии и интерфейсы ввода/вывода;
- полная совместимость платформ *PXI/PXI Express* и CompactPCI;
- пропускная способность: до 1 ГБ/с - каждого слота для подключения модулей, до 4 ГБ/с - слота системного контроллера.

Принцип историзма в исследовании рассматриваемого стандарта *PXI* позволяет вычленить специфические черты, определяемые доступностью персональных ЭВМ, их широкой унификацией, не высокой стоимостью относительно профессиональных АИК, что имеет важное значение для понимания причин современного развития технологий стандартных интерфейсов и может служить основой прогнозирования для разработки новых, модернизации существующих платформ, которые расширяют функциональные возможности процедур контроля и измерения параметров и характеристик различных телекоммуникационных систем.

Историческим и техническим развитием рассмотренных технологий стандартных интерфейсов АИК стал разработанный в 2004 году стандарт *LXI*. Определяя взаимодействие испытанных, широко распространенных инфокоммуникационных стандартов, таких как: Ethernet, Web-браузеры и IVI-драйверы, стандарт *LXI* обеспечивает оперативное, эффективное и экономичное создание и реконфигурирование АИК. Хотя многие измерительные приборы текущего поколения имеют порты LAN, именно стандарт *LXI* явился следующим

логичным шагом в эволюции построения АИК на базе локальной сети (LAN). Стандарт *LXI* охватывает классические измерительные приборы, модульные измерительные приборы без передней панели, а также функциональные унифицированные модули (стандартные блоки, из которых строится измерительная система), получившие название синтетических приборов.

Предложенный в статье подход к анализу развития технологий стандартных интерфейсов автоматизированных измерительных комплексов может рассматриваться, с одной стороны, с точки зрения специфики технических аспектов и совершенствования показателей таких систем, а с другой стороны, с позиций историзма, которые не предусматривают изучение конкретной предметной области, тем более с позиций технологичности конкретного направления в технике. Результаты анализа современных стандартов как элементов технологий с позиций принципа историзма могут дополнить теоретико-методологическую основу для осуществления прогнозирования путей развития, определения основных тенденций модернизации качественных характеристик таких технических комплексов в ближайшей исторической перспективе.

Выполненная попытка периодизации развития стандартов и интерфейсов автоматизированных измерительных комплексов с позиций историко-системного анализа может дополнить теоретическую составляющую неоформленной еще методологии "История техники" на таком этапе ее развития как автоматизация.

#### Список литературы

1. Климентьев К.Е. Системы реального времени: обзорный курс лекций / К.Е. Климентьев. – Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун-т, 2008. – 45 с.
2. Москва и Восточная Европа. Непростые 60-е... Экономика, политика, культура: Сборник статей. – М.: Институт славяноведения РАН, 2013. – 486 с.
3. Исторический процесс, согласно Георгию Дерлугьяну // Журнал "Эксперт" № 15, 17 апреля 2006 г. – С. 18-23.
4. Петросьянц В.В. Измерительно-вычислительные комплексы (КОП). Учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 159 с.
5. Что такое стандарт VXI? <http://www.vxi.ru/common/vved.htm>.
6. И. Каршенбойм. Контроллеры Fast Ethernet для встроенных применений // Компоненты и Технологии. 2003, № 5. – С. 27-34.

### СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЁННОЙ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТЬЮ БГТУ ИМ. В.Г. ШУХОВА

**Михайлов В.В., Тюлюков В.Н., Гвоздевский И.Н., Морозов Д.А., Гончаров М.В.**

БГТУ им. В.Г. Шухова, г.Белгород

За последние несколько лет распределённые системы становились все более популярными и их роль только возрастала. Среди основных причин роста их значимости можно выделить следующие:

Географически распределённая вычислительная среда. Сегодня в большинстве случаев сама вычислительная среда по своей природе представляет собой территориально распределённую систему. Примером географически распределённой вычислительной среды является всем хорошо знакомая сеть Интернет.

Требование увеличения производительности вычислений. Быстродействие традиционных однопроцессорных систем стремительно приближается к своему пределу. Различные архитектуры призваны увеличивать производительность вычислительных систем за счёт различных механизмов параллельного исполнения команд. Однако все эти приёмы способны повысить производительность максимум в десятки раз. Масштабируемость подобных подходов оставляет желать лучшего. Чтобы повысить производительность в сотни или тысячи раз и при этом обеспечивать хорошую масштабируемость решения необходимо свести воедино многочисленные процессоры и обеспечить их эффективное взаимодействие.

Совместное использование ресурсов. Важной целью создания и использования распределённых систем является предоставление пользователям (и приложениям) доступа к удалённым ресурсам и обеспечение их совместного использования. Распределённые базы данных могут быть отличным примером совместного использования программных компонентов, когда соответствующие программные абстракции распределены по

нескольким компьютерам и согласованно обслуживаются несколькими процессами, образующими распределённую систему.

Отказоустойчивость. В традиционных "нераспределённых" вычислительных системах, построенных на базе единичного компьютера, выход из строя одного из его компонентов обычно приводит к неработоспособности всей системы. Такой сбой в одном или нескольких компонентах системы называют частичным отказом, если он не затрагивает другие компоненты. Характерной чертой распределённых систем, которая отличает их от единичных компьютеров, является устойчивость к частичным отказам, т.е. система продолжает функционировать после частичных отказов, правда, незначительно снижая при этом общую производительность. Подобная возможность достигается за счёт избыточности, когда в систему добавляется дополнительное оборудование (аппаратная избыточность) или процессы (программная избыточность), которые делают возможной правильное функционирование системы при неработоспособности или некорректной работе некоторых из её компонентов.

Эффективная распределённая система должна обладать следующими свойствами: прозрачность, открытость, безопасность, масштабирование. Однако стоит отметить, что, несмотря на кажущуюся простоту и очевидность перечисленных свойств, их реализация на практике часто представляет собой непростую задачу. [1]

Система управления беспроводной сетью кампуса университета представляет собой распределённую систему, состоящую из двух контроллеров беспроводных сетей Cisco 4402 и Cisco 5508, и двух систем: аутентификации клиентов, содержащих, в том числе, сертификаты безопасности, и оповещения о неисправностях в беспроводной сети (см. Рисунок 1).

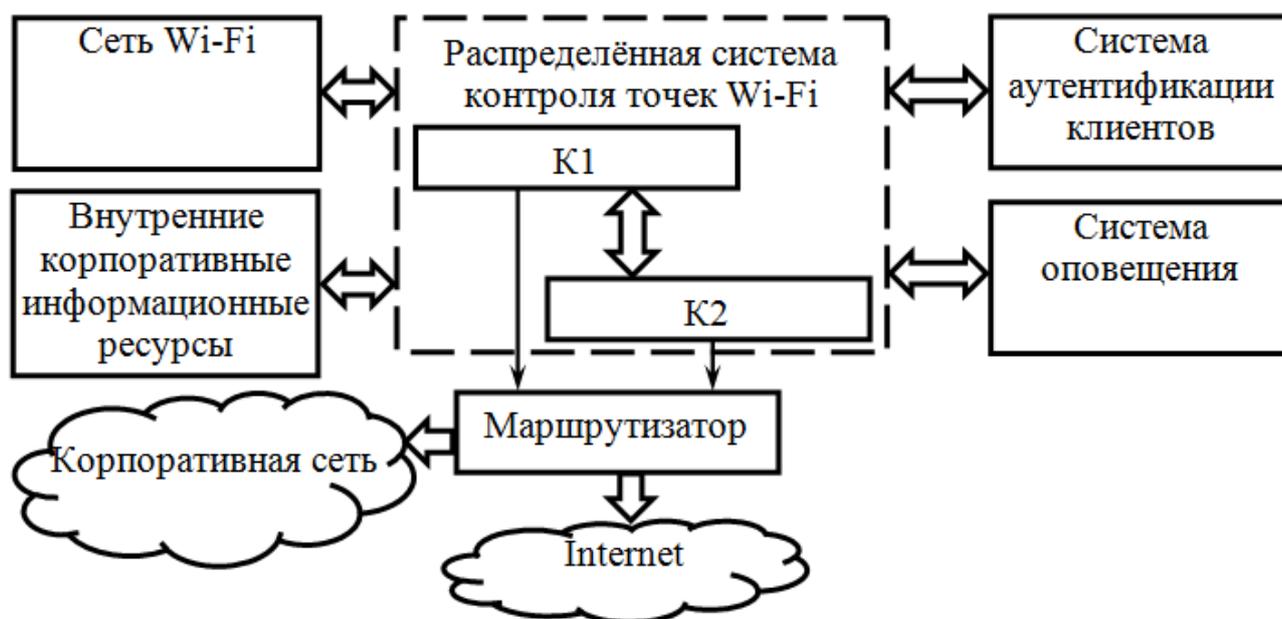


Рис. 1. Структурная схема распределённой системы управления беспроводной сетью кампуса университета где K1, K2 – контроллеры беспроводных сетей.

Система аутентификации клиентов беспроводной сети использует программный сервер RADIUS, связанный с базой данных логинов и паролей, зашифрованных по протоколу WPA2-Enterprise. Они используются для аутентификации студенческого контингента университета, имеющего доступ к сети Интернет и ограниченному набору внутренних информационных ресурсов, а также для профессорско-преподавательского состава и старост студенческих групп, имеющему доступ дополнительно еще и ко всем внутренним информационным ресурсам. Все логины и пароли шифруются по алгоритму AES, что значительно повышает безопасность доступа к беспроводной сети. Данные учётных записей и сертификаты безопасности возможно получить только через единую систему «Личный кабинет». После того, как система аутентификации регистрирует пользователя, управление сессией передается распределённой системе контроля беспроводных точек.

Распределенная система контроля беспроводных точек состоит из двух контроллеров (см. Рисунок 1), один из которых работает в режиме «управляющий» (Cisco 5508 – Master), а второй – в режиме «подчинённый» (Cisco 4402 – Slave). В случае если один из контроллеров выходит из строя, второй берет управление точками на себя,

занимая свободные лицензии, что повышает отказоустойчивость системы. Системой периодически ведётся опрос всех устройств беспроводной сети, в качестве точек доступа используются AIR-LAP1131, AIR-LAP1141n, AIR-LAP1132, AIR-LAP1242, и если обнаруживается, что нет вещания сети с определённых точек или контроллер вышел из строя, то система оповещения уведомляет администраторов по электронной почте и в виде смс о неисправностях с указанием конкретной информации об устройствах, вышедших из строя.

На контроллерах беспроводных сетей организовано две сети, которые имеют доступ к разным виртуальным подсетям vlan: к корпоративной сети университета и отдельной маршрутизируемой подсети для выхода в сеть Интернет.

Одна из них – скрытая, доступ к ней возможен только после установки сертификата безопасности с помощью специального скрипта, который дополнительно настраивает беспроводную сеть и делает её видимой. Эта сеть используется для профессорско-преподавательского состава и старост студенческих групп.

Вторая сеть – открытая, подключение к которой возможно произвести с любого устройства, имеющего беспроводной интерфейс. Свободный доступ возможен только к некоторым внутренним информационным ресурсам, например, к официальному сайту университета – <http://www.bstu.ru>. Для выхода в сеть Интернет необходимо пройти веб-авторизацию.

Используемое оборудование и созданная распределённая система контроля беспроводных точек позволяет тонко настраивать параметры сетей и оборудования, в частности уменьшать уровень сигнала на конкретных точках, которые находятся в прямой видимости, чтобы избежать интерференции волн. Зона покрытия создана таким образом, чтобы наложение волн было минимально, в то же время уровень сигнала был максимальным. На рисунке 2 показана схема распространения волн между двумя соседними точками. В процентах показан уровень сигнала, пересечение происходит преимущественно в зоне, где уровень сигнала составляет от 20 до 30 процентов, в ней же происходит переключение беспроводных устройств с одной точки на другую при передвижении по территории университета, причём разрыва связи не происходит.

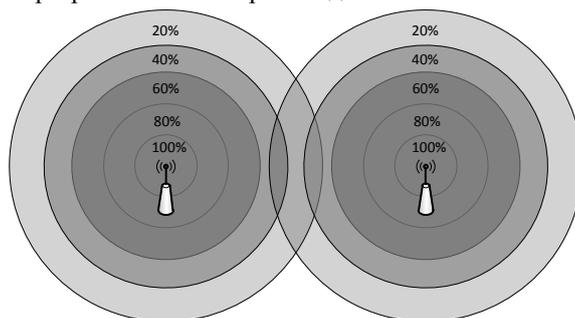


Рис.2. Схема распространения волн между двумя соседними точками

#### Список литературы

1. Косяков М.С. Введение в распределённые вычисления. – СПб: НИУ ИТМО, 2014. – 155с., сс. 12-13.

#### СЕКЦИЯ №21.

#### МЕТОДОЛОГИЯ И ФИЛОСОФИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ (СПЕЦИАЛЬНОСТЬ 09.00.08)

## ПЛАН КОНФЕРЕНЦИЙ НА 2015 ГОД

### Январь 2015г.

II Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием «**Актуальные вопросы технических наук в современных условиях**», г.Санкт-Петербург

Прием статей для публикации: до 1 января 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 февраля 2015г.

### Февраль 2015г.

II Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием «**Актуальные проблемы технических наук в России и за рубежом**», г.Новосибирск

Прием статей для публикации: до 1 февраля 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 марта 2015г.

### Март 2015г.

II Межвузовская ежегодная научно-практическая конференция с международным участием «**Вопросы современных технических наук: свежий взгляд и новые решения**», г.Екатеринбург

Прием статей для публикации: до 1 марта 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 апреля 2015г.

### Апрель 2015г.

II Международная межвузовская научно-практическая конференция «**Актуальные вопросы науки и техники**», г.Самара

Прием статей для публикации: до 1 апреля 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 мая 2015г.

### Май 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Проблемы и достижения в науке и технике**», г.Омск

Прием статей для публикации: до 1 мая 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июня 2015г.

### Июнь 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Вопросы технических наук: новые подходы в решении актуальных проблем**», г.Казань

Прием статей для публикации: до 1 июня 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 июля 2015г.

### Июль 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Перспективы развития технических наук**», г.Челябинск

Прием статей для публикации: до 1 июля 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 августа 2015г.

### Август 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Технические науки в мире: от теории к практике**», г.Ростов-на-Дону

Прием статей для публикации: до 1 августа 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 сентября 2015г.

### Сентябрь 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Современный взгляд на проблемы технических наук**», г.Уфа

Прием статей для публикации: до 1 сентября 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 октября 2015г.

### Октябрь 2015г.

II Международная научно-практическая конференция «**Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития**», г.Волгоград

Прием статей для публикации: до 1 октября 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 ноября 2015г.

**Ноябрь 2015г.**

II Международная научно-практическая конференция «**Новые технологии и проблемы технических наук**»,  
**г.Красноярск**

Прием статей для публикации: до 1 ноября 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 декабря 2015г.

**Декабрь 2015г.**

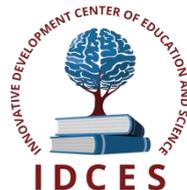
II Международная научно-практическая конференция «**Развитие технических наук в современном мире**»,  
**г.Воронеж**

Прием статей для публикации: до 1 декабря 2015г.

Дата издания и рассылки сборника об итогах конференции: до 1 января 2016г.

**С более подробной информацией о международных научно-практических конференциях можно ознакомиться на официальном сайте Инновационного центра развития образования и науки [www.izron.ru](http://www.izron.ru) (раздел «Технические науки»).**

**ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР РАЗВИТИЯ ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ**  
**INNOVATIVE DEVELOPMENT CENTER OF EDUCATION AND SCIENCE**



## **АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

### **Выпуск II**

**Сборник научных трудов по итогам  
международной научно-практической конференции  
(14 января 2015г.)**

**г. Санкт-Петербург  
2015 г.**

Печатается в авторской редакции  
Компьютерная верстка авторская

Подписано в печать 15.01.2015.  
Формат 60×90/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 28,0.  
Тираж 250 экз. Заказ № 33.

Отпечатано по заказу ИЦРОН в ООО «Ареал»  
603000, г. Нижний Новгород, ул. Студеная, д. 58