

Международная научная конференция

Актуальные вопросы технических наук (II)



Пермь

УДК 62(01)
ББК 30
А43

Редакционная коллегия сборника:

*М.Н. Ахметова, Ю.В. Иванова, К.С. Лактионов, М.Г. Комогорцев,
В.В. Ахметова, В.С. Брезгин, А.В. Котляров, А.С. Яхина*

Ответственный редактор: *Г.А. Кайнова*

Актуальные вопросы технических наук (II): материалы междунар. заоч. науч. конф.
А43 (г. Пермь, февраль 2013 г.). — Пермь: Меркурий, 2013. — iv, 108 с.

ISBN 978-5-88187-443-8

В сборнике представлены материалы международной заочной научной конференции «Актуальные вопросы технических наук (II)».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)
ББК 30

СОДЕРЖАНИЕ

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Воробьев С.П., Горобец В.В.

Использование имитационного моделирования для анализа производительности биллинговых систем1

Дмитриев П.И.

Методика создания системы управления знаниями о программной продукции5

Савин С.И.Обзор современного состояния вопроса проектирования роботов для перемещения
внутри трубопроводов8

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Аверченко А.П., Женатов Б.Д.

Преимущества DVB-T2 и особенности его построения на базе оборудования DVB-T11

Мошкин В.В., Мошкина А.В.

Автоматизация импульсного метода измерения скорости звука 13

Шпагилев Д.И.

Сравнительный анализ полностью заказных СБИС, ПЛИС и СБИС с программируемой архитектурой17

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Козина А.М., Селиверов Д.И.План реконструкции кабельных сетей электрической централизации станции Россоша
Приволжской железной дороги22**Ситникова Т.Г., Селиверов Д.И.**

Способы защиты устройств СЦБ от перенапряжения 24

4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Андрянов А.И., Краснов Н.А.Математическое моделирование импульсных преобразователей напряжения с нелинейной внешней
характеристикой 28**Аронов Л.В., Васильева Т.Н.**Исследование влияния компактных люминесцентных ламп на несинусоидальность токов и напряжений
электрической распределительной сети31**Мусаева У.А.**

Обзор программных продуктов в области проектирования СВЧ управляющих устройств35

Ульянова О.А., Третьякова М.Н.

Анализ конструкций непрерывной обмотки силового масляного трансформатора41

6. МЕТАЛЛУРГИЯ

Зублев Д.Г.

Пути повышения эффективности температурного режима коксовых батарей 43

Низов В.А., Лисиенко Д.Г., Бакиров А.Р. Влияние методов отбора и анализа на оценку золотых запасов	45
Пятернева А.А., Власов А.А., Бажин В.Ю. Технология очистки отходящих газов высокоамперных алюминиевых электролизеров	49

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Емельянов Д.В., Хисамутдинов Р.М. Формообразование осевого инструмента с переменным углом подъема спирали для обработки труднообрабатываемых материалов.	53
Лысянский В.А., Кузнецов С.А., Ярута А.В. Кинематический и силовой анализ схемы зубчатого вариатора момента с несимметричным дифференциалом	55
Мальчиков А.В., Яцун С.Ф. Математическое моделирование движения плоского шестизвенного внутритрубного робота	58
Яцун С.Ф., Волкова Л.Ю., Рублев С.Б. Исследование управляемого прыжка многозвенного робота	62
Емельянова О.В., Яцун С.Ф., Попов Н.И. Изучение движения квадрокоптера в вертикальной плоскости.	66

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Колпаков А.В., Денисов Д.Ю., Абдрахимов В.З. Процессы горения при обжиге пористых заполнителей на основе отходов горючих сланцев и продукта сепарации нефтешлама	70
Лукин А.О. Сравнительный анализ на основе метода конечных элементов работы балок с гофрированной стенкой в условиях стесненного кручения	75
Суворов А.А. Дискретный метод сил. Исследование деформированного состояния шарнирно опертой пластины, подкрепляемой балкой или системой перекрестных балок	77

9. ТРАНСПОРТ

Василенко В.А. Подготовка водителя с учетом его индивидуально-психологических характеристик	83
Емельянова В.Г. Применение системы «ГЛОНАСС» на автомобильном транспорте как один из способов обеспечения безопасности дорожного движения	85
Михайлов В.В., Тажиев Б.Т., Саржигитов Д.Ж. Анализ применения методов разворачивания полевого магистрального трубопровода при тушении массовых очагов пожаров.	88
Хо Вьет Хынг. Закономерности теплообмена при кипении рабочего вещества R410A с маслом BSE32 в аппаратах судовых систем кондиционирования воздуха	90

10. АРХИТЕКТУРА

Окатая И.А. Первые велотреники времен Российской империи на территории современной Украины, России, Латвии и Грузии.	94
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Малиновский Е.Г., Курчин Г.С., Волков Е.П., Зайцева Е.В., Кирсанов А.К. К вопросу развития добычи нерудного строительного сырья в России	99
Матвеева О.Л., Селиверов Д.И. Современные электродвигатели для стрелочных приводов	102
Мусаев Г.М. Расчет производительности концентратора солнечной энергии	105

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Использование имитационного моделирования для анализа производительности биллинговых систем

Воробьев Сергей Петрович, кандидат технических наук, доцент;

Горобец Виталий Владимирович, аспирант

Южно-Российский государственный технический университет (Новочеркасский политехнический институт)

Современные тенденции развития рынка информационных технологий, связанные с постоянно и быстро растущим многообразием видов предоставляемых услуг и их объемов, ставят перед компаниями все более сложные задачи по организации процесса предоставления услуг клиентам: предоставление максимального спектра различных услуг, создание гибкой системы учета и тарификации использованных ресурсов, выставления счетов и учета оплаты, максимальная ориентация на нужды конкретного потребителя, максимально быстрая реакция на запросы клиента, поддержка различных способов оплаты. Исходя из этого, возникает задача создания современных высокоэффективных программных комплексов, осуществляющих учет объема потребляемых абонентами услуг, расчет и списание денежных средств в соответствии с тарифами компании. Такие автоматизированные системы относятся к классу OLTP (On-Line Transaction Processing) и называются биллинговыми системами (БС).

Однако традиционно их узким местом является снижение производительности при возрастании нагрузки (увеличение количества пользователей), накоплении информации за длительный промежуток времени, а также высокая фрагментация хранимых данных, характерная для транзакционных систем. Это особенно критично для рынка OLTP-решений, которые предназначены для ввода, структурированного хранения и обработки информации в режиме реального времени. Кроме того, по той же причине в них существенно ограничены возможности выполнения таких функций, как формирование бухгалтерской и аналитической отчетности в различных разрезах и с различной глубиной детализации.

Для решения данной проблемы компании, предоставляющие услуги, вынуждены приобретать дорогостоящее оборудование, производить его настройку и постоянно пользоваться услугами высокооплачиваемых специалистов. В связи с этим в качестве базовой архитектуры при разработке биллинговых OLTP-систем предлагается использовать облачную технологию (Cloud Computing), которая позволит заменить большие капи-

тальные затраты на реализацию такой системы операционными. В соответствии с [1], идеология данного подхода заключается в переносе вычислений, обработки и хранения данных в существенной степени с персональных компьютеров на серверы сети Интернет. Актуальной задачей в этом случае является оптимальное распределение данных в облаке. Этим можно добиться значительного сокращения расходов и повышения скорости работы системы. В настоящее время в большинстве случаев такие системы строятся без учета критериев эффективности и с большим запасом по масштабированию, поскольку технология проектирования и моделирования облачных систем еще недостаточно отработана. Исходя из этого, необходим программный комплекс, реализующий математические модели функционирования и оптимизации структуры облачной системы, который позволит производить имитационное моделирование с целью получения интегральных показателей эффективности ее работы.

В связи с этим в данной работе рассматривается модель архитектуры БС, предполагающей размещение фрагментов распределенной базы данных (РБД) в облаке, а также предлагается программный комплекс для оценки производительности такой системы.

Архитектура сети (рис. 1) описана в работе [2] и включает сеть с произвольной топологией (облако), соединяющую узлы (серверы), и локальные вычислительные сети (ЛВС) с регулярной структурой (сеть компании, сети удаленных филиалов), все рабочие станции которых имеют доступ в сеть с произвольной топологией. Кроме того, в архитектуру сети могут входить персональные компьютеры и мобильные устройства (ноутбуки, планшетные компьютеры и смартфоны) удаленных пользователей БС.

В состав сети произвольной топологии входят узлы хранения (непосредственно серверы, хранящие фрагменты баз данных), серверы управления доставкой контента, серверы метаданных, коммутаторы.

Серверы метаданных (СМ) содержат базы данных (БД) о местоположении фрагментов и другие параметры.

Серверы управления доставкой контента (СУД) вы-

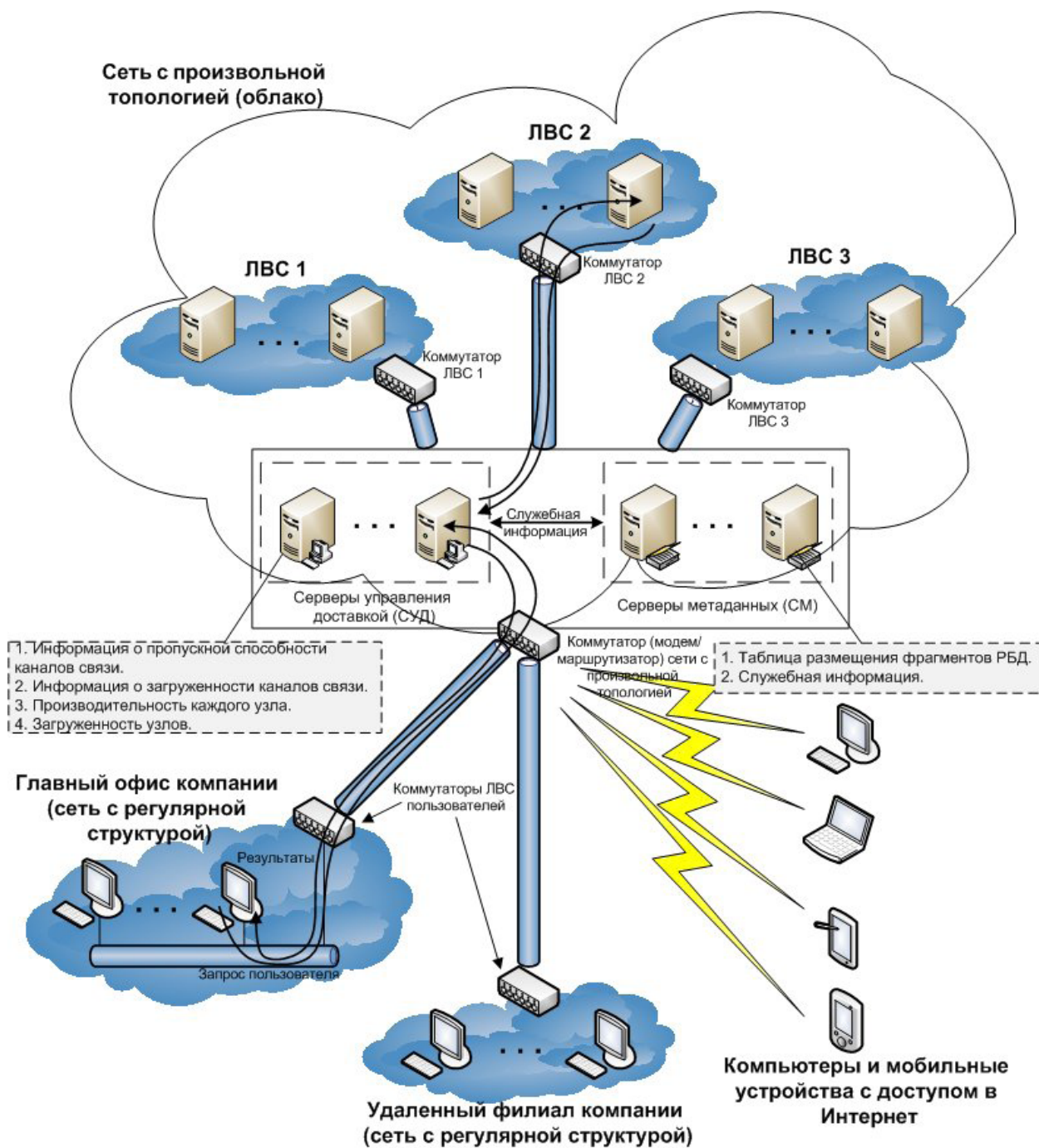


Рис. 1. Сетевая структура

полняют работу по взаимодействию пользователя с распределенной системой и предназначены для последовательного выполнения следующих задач:

- прием запросов от пользователей;
- выбор узлов, которые будут обрабатывать запрос пользователя;
- перенаправление запроса на выбранные узлы;
- прием ответов от узлов на пользовательский запрос;
- составление результирующего набора данных;
- перенаправление ответа сервера на запрос пользователя.

Узлы хранения, содержащие сами фрагменты, могут быть совершенно разными гетерогенными системами, что является принципиальным отличием предлагаемой архитектуры от известных решений.

Концептуальная модель рассматриваемой информационной системы представляет разомкнутую сеть массового обслуживания, содержащую:

- приборы, моделирующие работу канала, коммутаторов и узлов;
- буферную память каждого коммутатора, предназначенную для хранения транзакций пользователей;
- буферную память каждого узла.

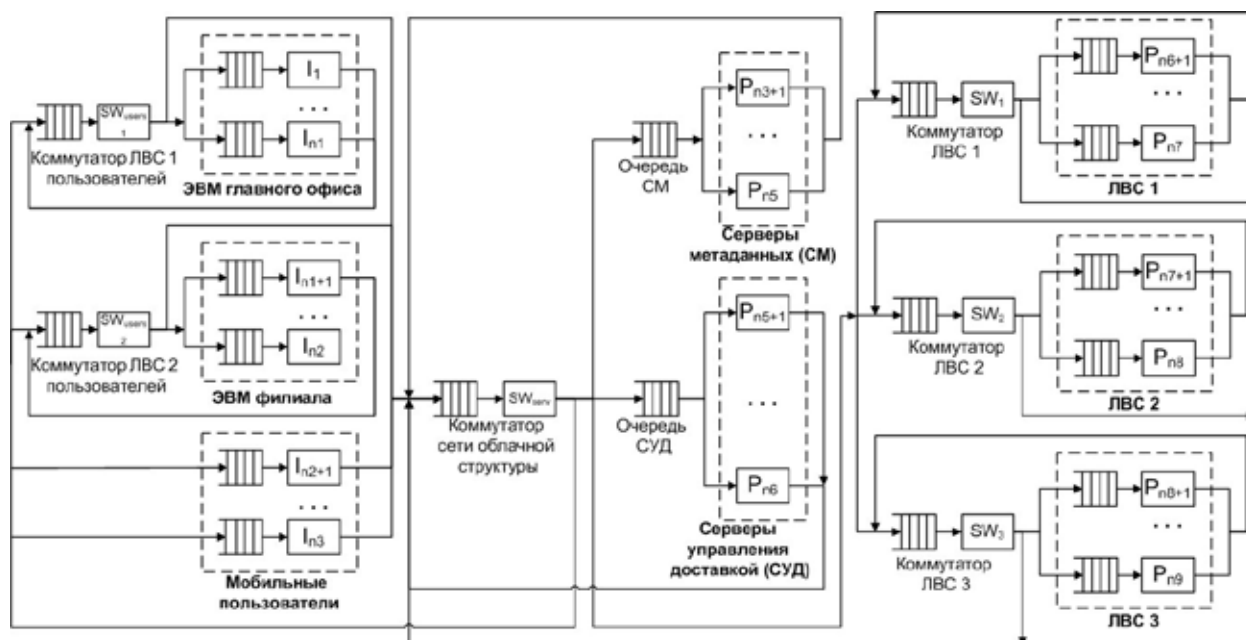


Рис. 2. Концептуальная модель системы массового обслуживания

Описанную модель распределенной системы можно представить в виде системы массового обслуживания (рис. 2).

Для оценки эффективности работы биллинговой системы в ЮРГТУ (НПИ) разработан программный комплекс, реализующий математические модели функционирования и оптимизации структуры облачной системы. Для определения интегральных характеристик, таких как время реакции на запросы каждого пользователя и время реакции системы, используются соотношения, указанные в работе [2]. Результатом работы программного комплекса является оптимальное размещение информационных ресурсов различного типа на узлах облака с использованием алгоритмов генетического программирования, определение рационального числа реплик данных с целью обеспечения высокой эффективности и надежности. Кроме того, предлагаемый комплекс позволяет производить имитационное моделирование для получения и последующего анализа таких характеристик системы, как загрузка каждого узла, среднее время обработки запроса узлом, количество обращений к узлу, квадрат коэффициента вариации времени задержки и др.

Данная программа для проведения экспериментов использует библиотеки системы имитационного моделирования Pilgrim. Однако необходимо отметить, что в разработанном продукте (в отличие от конструктора моделей GEM 1.0) очереди, обслуживающие приборы и управляемые терминаторы транзактов (демультипликаторы) создаются динамически с учетом настроек пользователя. Это дает гибкость проектирования и конфигурирования структуры БС, а также предоставляет возможность проведения эксперимента «что, если». Предложенный программный комплекс позволяет, например, определить,

сколько требуется узлов сети произвольной структуры, чтобы в течение заданного промежутка времени не происходило задержек в обработке запросов, но в то же время не было значительного простоя узлов. Во время работы модели автоматически строится график задержек в выбранном узле. Поскольку для БС крайне важно обеспечить высокую доступность (небольшое время отклика системы), то при анализе результатов имитационного моделирования необходимо обратить особое внимание на состояние очередей и загрузку обслуживающих приборов. Эти параметры во многом определяют производительность всей системы. Для рассматриваемой архитектуры БС одними из важнейших узлов являются СУД и СМ, т.к. они первоначально обрабатывают пользовательские запросы и периодически поступающую служебную информацию. Показателем стабильности работы этих узлов может служить состояние очередей к ним (пример представлен на рис. 3).

Приведенные графики показывают, что время задержки в очередях к СУД и СМ с течением модельного времени стабилизируется, следовательно, увеличения времени отклика системы из-за перегрузки СУД или СМ не будет. После окончания процесса моделирования автоматически формируется файл, который содержит указанные выше характеристики системы, часть из которых представлена в табл. 1:

Анализ приведенных результатов показывает, что за период моделирования, равный 1 суткам (86400 секунд), в систему поступило 73000 запросов. В среднем пользователи потратили на обдумывание запросов около 60% времени работы с ЛВС. Среднее время ожидания запроса и ответа в очереди пользователя составило 7 с, а среднее время пребывания в узле приблизительно равно 20 с. Из

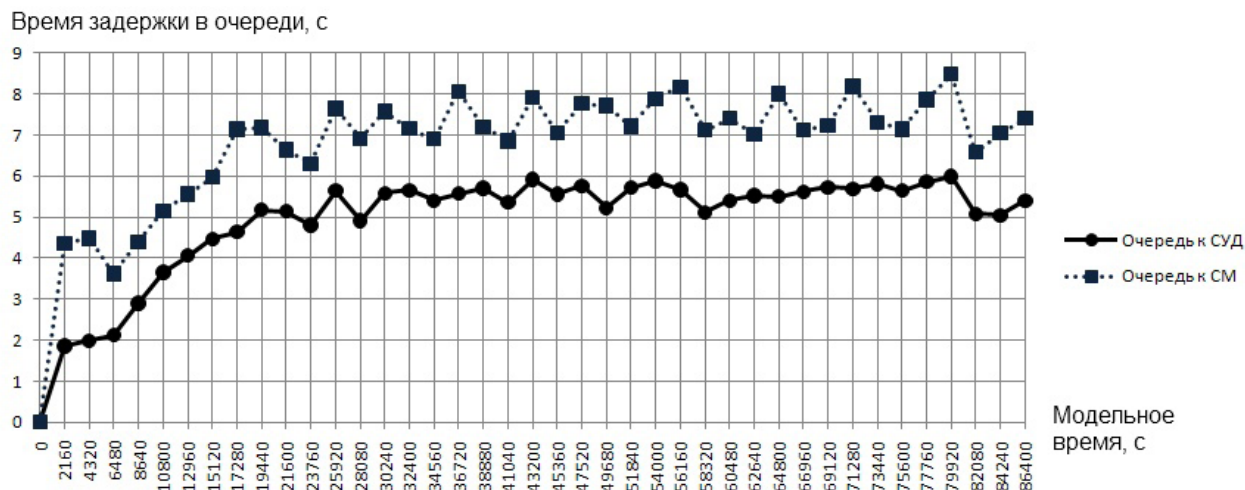


Рис. 3. Графики задержек в узлах

поступивших 73000 запросов были обработаны 72984 запроса, остальные находятся в очередях к серверам и узлам. Такая ситуация обусловлена запасом вычислительных мощностей серверов управления доставкой, т.к. коэффициент нагрузки СУД составляет 28,4 %, причем в очереди запросов не находится.

Загрузка серверов метаданных составила 33,8%, что говорит о существенном запасе вычислительной мощности. Загрузка узлов подсетей облачной структуры колеблется от 25 % до 33 %, что свидетельствует о большом запасе вычислительной мощности узлов.

При анализе состояния очередей особое внимание следует обратить на значение квадрата коэффициента вариации времени задержки. Если оно близко к нулю, время

задержки не имело существенного разброса, то есть длина очереди была практически постоянной. Если же значение квадрата коэффициента вариации велико, то это значит, что транзакты приходили в очередь группами. В данном случае квадрат коэффициента вариации не слишком большой, поэтому можно сделать вывод о том, что время задержек в очередях было приблизительно постоянным.

Следовательно, для рассмотренного примера модели БС узлов облака достаточно, чтобы в течение заданного промежутка времени не происходило задержек в обработке запросов пользователей, однако наблюдается невысокая загрузка серверов и узлов облака, что указывает на низкую эффективность функционирования системы. Это подтверждает тот факт, что рассмотренную БС целесообразно реа-

Таблица 1

Результаты моделирования

№ узла	Наименование узла	Тип узла	Загрузка (%=)	М [t] среднее время	C ² [t] кв. коэф. вар.	Счетчик входов и hold	Кол-во каналов	Оставшиеся транзакты
101	Очередь к СУД	queue	-	5,05	1,65	79332	1	0
109	Обслуженные	term	-	100,43	0,73	72984	0	1
112	Все запросы	creat	-	0,00	1,00	73000	1	0
114	СУД	serv	28,4	1,00	0,24	256581	10	0
115	Очередь ЛВС 1	queue	-	0,46	1,12	71220	1	0
116	ЛВС 1	serv	32,8	3,99	0,08	71220	10	0
120	Очередь к СМ	queue	-	7,09	1,17	75493	1	0
121	СМ	serv	33,8	2,01	0,24	75493	5	0
130	Очередь ЛВС 2	queue	-	6,20	4,34	6548	1	0
131	ЛВС 2	serv	28,7	9,1	6,01	6548	5	0
132	Очередь ЛВС 3	queue	-	6,94	1,03	1564	1	0
133	ЛВС 3	serv	25,2	4,8	7,96	1564	3	0
201	Оч. польз. 0	queue	-	7,36	1,65	2715	1	0
301	Польз. 0	serv	62,7	19,94	0,06	2715	1	0

лизовать на базе облачной технологии и использовать преимущество ее концепции «платы по мере использования».

Таким образом, разработанный в ЮРГТУ (НПИ) программный комплекс может быть использован для про-

ведения имитационного моделирования с целью анализа производительности биллинговых систем, построенных на базе облачной архитектуры.

Литература:

1. Gartner. Gartner Top Ten Disruptive Technologies for 2008 to 2012. Emerging Trends and Technologies Roadshow, 2008.
2. Воробьев С.П., Горобец В.В. Исследование модели транзакционной системы с репликацией фрагментов базы данных, построенной по принципам облачной среды // Инженерный вестник Дона: электрон. журн. 2012. № 4. URL: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n4t1y2012/1149> (дата обращения: 19.10.2012).

Методика создания системы управления знаниями о программной продукции

Дмитриев Павел Игорьевич, соискатель

Санкт-Петербургский государственный университет культуры и искусств

В статье предлагается методика создания системы управления знаниями о программной продукции, основным ресурсом знаний которой является документация на программное обеспечение. Приводятся результаты внедрения такой системы на предприятии — разработчике программного обеспечения.

Введение

Сегодня почти все предприятия обладают большими объемами ресурсов знаний в виде скрытых знаний сотрудников и разнообразных объектов знаний, содержащих явные знания (текстовая информация, базы данных и т.д.). Проблема заключается в том, чтобы организовать доступ к ним, придав форму, удобную для использования. Эта общая проблема приобретает особое значение для предприятий — разработчиков программного обеспечения (ПО) в связи с высокой динамикой в изменениях и новациях индустрии информационных технологий, большим ростом объемов, источников информации и знаний. Предприятия, которые быстрее других получают и генерируют знания, внедряют их в ключевые бизнес-процессы, обеспечивают их хранение и усвоение сотрудниками, повышают качество производимой программной продукции, обеспечивают себе устойчивый рост и приобретают несомненные конкурентные преимущества. В связи с этим возникает необходимость в эффективном управлении знаниями (УЗ) и создании систем поддержки этого процесса на таких предприятиях [1].

Основным ресурсом знаний предприятия — разработчика программного обеспечения является документация на ПО. Эти знания используются во всех основных технологических процессах такого предприятия: разработке проектной документации, разработке программных продуктов, документировании, тестировании, внедрении и сопровождении. Всю совокупность разрабатываемого на предприятии ПО можно рассматривать как основной

компонент единой информационной системы, в которой информационные процессы и методы работы с информацией осуществляются с применением средств вычислительной техники и средств телекоммуникаций.

Система управления знаниями о программной продукции

Концепция разрабатываемой системы управления знаниями о программной продукции (СУЗПП) состоит в комбинации двух типов СУЗ, построенных с использованием компонент информационно-поисковых систем или систем искусственного интеллекта. Ключевым компонентом СУЗПП является подсистема поиска, обеспечивающая оперативный отбор и выдачу релевантной информации по запросам. Поиск информации производится не в хранилище документов, а в онтологической базе знаний, что позволяет учесть семантику информации, находящейся в документации на ПО, и повысить качество поиска. Используется комбинация синтаксического и семантического поиска, т.е. поиск выполняется в экземплярах онтологии с учетом их семантических свойств и связей.

Архитектура СУЗПП, основные участники процесса УЗ и их роли представлены на рис. 1.

Основными компонентами СУЗПП являются:

- онтология информационной системы (используется для описания информационных ресурсов с учетом семантики обрабатываемой информации);
- подсистема поиска (выполняет поиск информации по запросам, навигацию, рубрицирование и визуализацию).

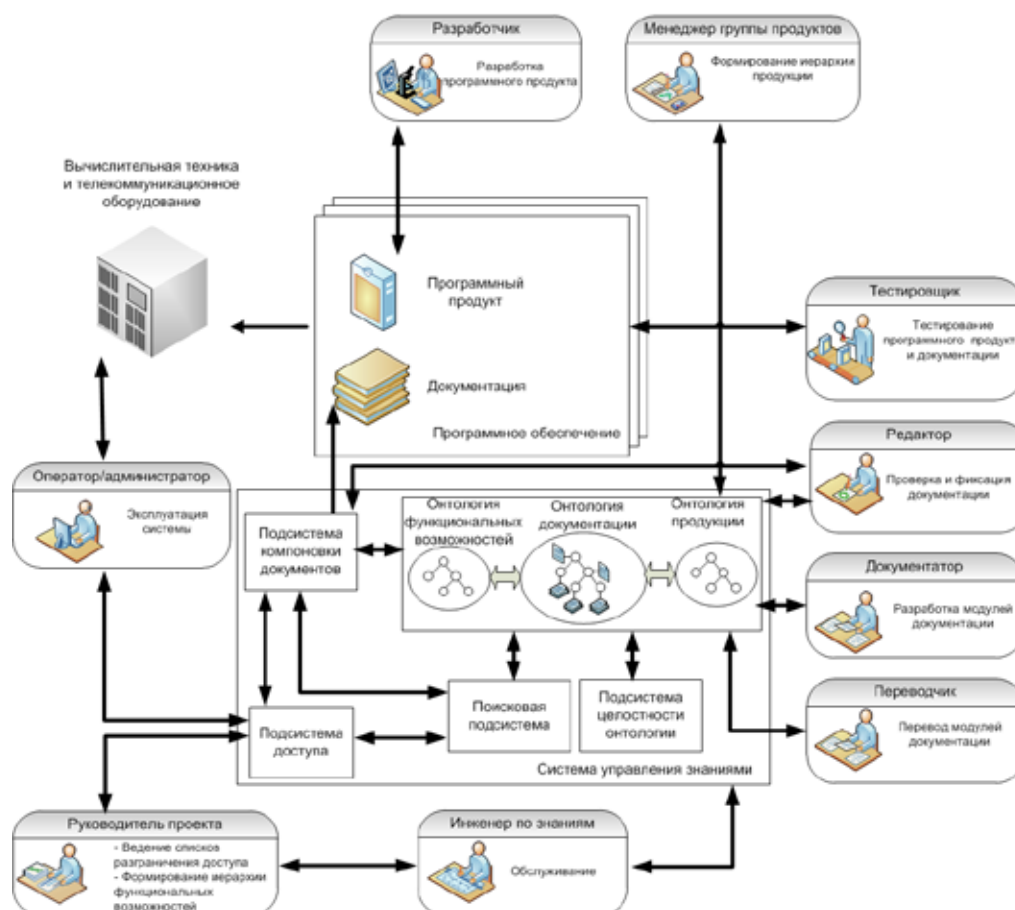


Рис. 1. Архитектура СУЗПП и основные участники процесса УЗ

зацию экземпляров онтологии информационной системы, обеспечивает обмен знаниями между пользователями СУЗПП при помощи механизмов комментирования и тегирования МД);

- подсистема компоновки документов (выполняет формирование требуемых цельных документов в определенных форматах);

- подсистема разграничения доступа (обеспечивает разграничение доступа к информационным ресурсам); подсистема целостности онтологии (обеспечивает целостность онтологии).

Методика создания СУЗПП и её проверка

Предложена методика создания СУЗПП, состоящая из следующих этапов:

- 1) Предпроектный этап (обследование документации на ПО и других ресурсов знаний предприятия, обоснование необходимости создания СУЗПП, разработка технического задания);

- 2) Проектный этап:

- разработка онтологий информационной системы (выделение понятий и отношений между ними) [3];

- наполнение онтологий (перевод документации на ПО на модульную структуру, создание экземпляров, за-

полнение свойств и формирование отношений между экземплярами);

- программная реализация (организация автоматизированной обработки и поиска информации по запросу, разработка шаблонов документов);

- разработка документации на СУЗПП;

- разработка стандарта, регламентирующего правила работы с СУЗПП, и предложений по изменению существующих стандартов организации в связи с внедрением СУЗПП [2].

- 3) Этап внедрения:

- проведение опытных испытаний;

- обучение персонала;

- ввод в действие стандартов;

- ввод системы в промышленную эксплуатацию.

- 4) Этап сопровождения (анализ функционирования, выявление проблем, внесение изменений в СУЗПП и стандарты организации).

Предложенная методика прошла проверку на предприятии ЗАО «Петер-Сервис» в 2012 году, которая является ведущим разработчиком решений для телекоммуникационной отрасли, специализируясь на разработке, внедрении и обслуживании OSS/BSS систем для крупных операторов связи. Документация на ПО содержит около 90 % всей информации о разрабатываемых в компании

программных продуктах, объем документации составляет более 40000 страниц текстовой информации.

Технологической платформой СУЗПП является продукт Microsoft SharePoint 2010. СУЗПП реализуется в виде Web-портала, в пределах одного узла SharePoint.

Онтология документации на ПО реализована на основе библиотеки документов Microsoft SharePoint. Для каждого концепта (вида МД) онтологии документации на ПО создан тип контента (Content Type) со своим набором столбцов (атрибутов). На сегодняшний день в онтологии документации на ПО выделено около 100 концептов и 7 типов отношений, создано около 52000 экземпляров. Объем документации на ПО, переведенный на компонентную структуру, составляет примерно 60 % (более 23000 страниц текстовой информации). В основе онтологии функциональностей лежит карта бизнес-процессов модели eТОМ (enhanced Telecom Operations Map), разработанной международной некоммерческой организацией TeleManagement Forum. Онтология функциональностей реализована на основе набора терминов управляемых метаданных Microsoft SharePoint. В онтологии функциональностей создано около 600 экземпляров. Онтология продукции реализована на основе списков Microsoft SharePoint. Онтология продукции содержит около 5000 экземпляров.

Для оценки результативности и эффективности применения СУЗПП были выбраны данные из системы учета трудозатрат и системы учета и обработки дефектов. Анализ данных выполнялся за одинаковые периоды (первое полугодие 2011 года и первое полугодие 2012 года) до и после внедрения СУЗПП. Внедрение СУЗПП в базовые про-

цессы предприятия — разработчика ПО дало следующие результаты:

- повышение качества базовых процессов: процесса проектирования и разработки ПО на 25 %, процесса сопровождения ПО на 26 %;
- получение качественного улучшения документации на ПО за счет появления новых потребительских свойств (добавлен гипертекст, метайнформация, автоматическое формирование документов);
- повышение качества процесса поиска информации о программной продукции (повышены показатели полноты и точности поиска на 44 % и 5 % соответственно);
- уменьшение трудозатрат на разработку документации на ПО (по подсистемам до 20 %, полностью генерируемой общей документации по группам продуктов до 90 %);
- уменьшение трудозатрат на сопровождение ПО (среднего времени на анализ и выработку решения по сообщению с ошибкой на 26 %, среднего времени на ответ по сообщению с вопросами по эксплуатации ПО на 33 %).

Заключение

В статье рассмотрена методика создания системы управления знаниями о программной продукции. Показано, что быстрый и удобный доступ к знаниям, которые используются и создаются в базовых процессах предприятия — разработчика ПО, играет первостепенную роль, поскольку позволяет значительно повысить качество и эффективность данных процессов.

Литература:

1. Дмитриев, П.И. Управление знаниями в системе менеджмента качества предприятия — разработчика программного обеспечения / П.И. Дмитриев, Л.П. Вершинина, Н.И. Лычагин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Сер. «Информатика. Телекоммуникации. Управление». — 2012. — № 4. — С. 61–66.
2. Дмитриев, П.И. Внедрение процесса управления знаниями в базовые процессы жизненного цикла программных средств / П.И. Дмитриев, Л.П. Вершинина // Качество. Инновации. Образование. — 2012. — № 10. — С. 24–28.
3. Дмитриев, П.И. Онтологическая модель системы управления знаниями инфокоммуникационной системы / П.И. Дмитриев // Телекоммуникации. — 2011. — № 12. — С. 8–13.

Обзор современного состояния вопроса проектирования роботов для перемещения внутри трубопроводов

Савин Сергей Игоревич, аспирант

Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

В настоящей статье приведен обзор работ по теме проектирования устройств для перемещения по трубопроводным системам. Указаны основные требования, предъявляемые к подобным роботам.

Ключевые слова. Робот для мониторинга трубопроводных систем, водопровод, нефтепровод, газопровод.

Введение

В настоящее время остро стоит вопрос о создании средств автоматизации диагностики внутренних поверхностей трубопроводов и транспортных средств для перемещения внутри трубопроводных систем в целом. Исследования данной области проводятся как в России, за рубежом.

Важность внедрения роботизированных средств диагностики трубопроводов показана в ряде публикаций. Значительное внимание вопросу доказательства важности разработки робототехнических средств для транспорта внутри трубопроводных систем уделено в своей диссертационной работе Джонг-Хон Ким (Jong-Hoon Kim, англ.) из Университета штата Луизиана (Louisiana State University, англ.) [1]. В данной работе было рассмотрено современное состояние проблемы использования автоматики для обследования и ремонта водопроводов, газопроводов, нефтепроводов и трубопроводных систем для транспорта водорода. В работах [2–4] также отмечается важность применения роботов, способных перемещаться внутри трубопроводов, в связи с возможностью снизить таким образом стоимость обслуживания трубопроводных систем. В публикациях [5, 6] отмечается, важность разработки роботов для перемещения по трубопроводам в связи с тем, что значительная часть трубопроводов располагается под землей или в труднодоступных местах. В статьях [7, 8] указано, что использование роботов для диагностики газопроводов, расположенных в жилых кварталах, важно с точки зрения возможности получения подробной информации о состоянии газопровода и точной локализации мест утечек газа, что является важным для обеспечения безопасности людей. В работе [9] также показывается важность применения автономных устройств для диагностики газопроводов изнутри, в связи с тем, что газопровод подвержен коррозии, возможно появление дефектов на сварных швах, газопровод может быть поврежден в процессе проведения строительных работ и т.п. В публикации [10] упомянуто, что использование роботов для обследования состояния трубопровода может уменьшить время, необходимое для проведения данных работ, за счет отсутствия необходимости экскавации и разбора трубопровода. В статьях [11–12] указывается, что применение роботов для диагностики трубопроводных систем может повысить без-

опасность работы на предприятиях, а также уменьшить издержки на проведение диагностики. В статье [12] особо отмечается, что использование роботов для обследования трубопроводов может увеличить точность мониторинга за счет возможности обследовать трубопровод по всей длине (при использовании методов, работающих с внешней поверхностью трубопровода, плотное расположение труб не позволяет провести полноценное обследование по всей длине, как отмечается в работе [12]). В публикации [13], напечатанной в 2003 году, сообщается, что в США на обнаружение и устранение утечек газа в год тратится порядка 300 млн долларов, и большая часть этих средств тратится на экскавацию трубопровода и восстановление местности после окончания работ. Как отмечается в данной работе, применение инструментов для регулярного диагностирования трубопроводов может снизить указанные выше затраты и снизить риск возникновения аварийных ситуаций. В работе [14] приведены данные о том, что для стальных и чугунных газовых труб утечки газа можно ожидать каждые 15–150 метров.

Вместе с тем, параллельно с разработкой транспортных средств для перемещения по трубопроводам, в мире ведутся разработки роботов для перемещения по внешней поверхности трубопровода. Так в статье [15] описывается устройство, предназначенное для перемещения по трубам высокого давления тяжеловодного ядерного реактора.

Требования, предъявляемые к устройствам для перемещения в трубопроводе

Перемещение внутри трубопроводных систем является сложной задачей. Ученые выделяют ряд основных проблем, которые необходимо решить на этапе проектирования устройства для перемещения в трубопроводах.

В ряде работ отмечается, что способность преодолевать Т-образные и L-образные (и, в некоторых случаях, Y-образные) соединения является необходимым качеством для подобного рода устройств, в связи с тем, что современные трубопроводные системы зачастую имеют значительное количество подобного рода участков [2–4, 7–9].

В статьях [5, 8] указывается, что важной задачей, которую необходимо решить при проектировании роботов для перемещения по трубопроводам, является придание

роботу возможности адаптироваться под меняющийся диаметр трубы. Это позволит расширить круг задач, решаемых роботом, как за счет возможности перемещаться по трубам с меняющимся диаметром, так и за счет возможности перемещаться по трубам, диаметр которых принадлежит к рабочему диапазону робота (в то время как устройства, неспособные адаптироваться к диаметру трубопровода, могут перемещаться только по трубам одного диаметра). Вопросам создания роботов, способных адаптироваться под меняющийся диаметр трубы посвящены также работы [5, 10, 11, 13].

В публикации [6] отмечается, что важным качеством для робота, предназначенного для перемещения в тру-

бопроводах, является способность перемещаться на большие расстояния от места введения робота в трубу.

Роботы для перемещения по трубопроводам малого диаметра

В работе [9] отмечено, что проектирование роботов для перемещения по трубопроводам малого диаметра, является важной задачей в связи с тем, что городские газопроводы зачастую имеют малый внутренний диаметр. Вопросам создания роботов, способных перемещаться по трубам малого диаметра посвящена также работа [5].

Литература:

1. Jong-Hoon Kim Sensor-based autonomous pipeline monitoring robotic system [Текст] // Dissertation submitted to the Faculty of Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy / Louisiana State University – Louisiana, 2011 – 100 с.
2. Se-gon Roh Differential-drive in-pipe robot for moving inside urban gas pipelines [Текст] / Se-gon Roh, Hyouk Ryeol Choi // IEEE Transactions on robotics, VOL. 21, NO. 1, February 2005 – 17 с.
3. Hyouk Ryeol Choi In-pipe robot with active steering capability for moving inside of pipelines [Текст] / Hyouk Ryeol Choi, Se-gon Roh // Bioinspiration and Robotics Walking and Climbing Robots, Maki K. Habib (Ed.), ISBN: 978–3–902613–15–8, 2007 – с. 376–402
4. Se-gon Roh Navigation inside pipelines with differential-drive inpipe robot [Текст] // Robotics and Automation, 2002. Proceedings. ICRA '02. IEEE International Conference on, Volume 3 / Washington, 2002–2575–2580 с
5. Shuichi Wakimoto A micro snake-like robot for small pipe inspection [Текст] / Shuichi Wakimoto, Jun Nakajima, Masanori Tanaka, Takefumi Kanda, Koichi Suzumori // Mechanical Engineering fields, Okayama University – Okayama, 2003 – с. 303–308
6. Ono Manabu Development of an in-pipe inspection robot movable for a long distance [Текст] / Ono Manabu, Hamano Toshiaki, Takahashi Masato, Kato Shigeo // Nippon Kikai Gakkai Robotikusu, Mekatoronikusu Koenkai Koen Ronbunshu, 2001, № 1; 91–92 с.
7. Dertien E. Basic maneuvers for an inspection robot for small diameter gas distribution mains [Текст] / Dertien E., Stramigioli S. // Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, Shanghai International Conference Center – Shanghai, 2011 – с. 3447–3448
8. Dertien E. Development of an inspection robot for small diameter gas distribution mains [Текст] / Dertien E., Stramigioli S., Pulles K. // Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, Shanghai International Conference Center – Shanghai, 2011 – с. 5044–5049
9. Kazimieras Ragulskis Behavior of dynamic processes in self-exciting vibration of an inpipe robot [Текст] / Kazimieras Ragulskis, Marijonas Bogdevicius, Vygantas Mištinas // The 25th International Symposium on Automation and Robotics in Construction. ISARC-2008, Vilnius Gediminas Technical University Publishing House «Technika» – Vilnius, 2008 – с. 209–212
10. Tache, F. Compact magnetic wheeled robot with high mobility for inspecting complex shaped pipe structures [Текст] / Tache, F., Fischer, W., Siegwart, R., Moser, R., Mondada, F. // Intelligent Robots and Systems, 2007. IROS 2007. IEEE/RSJ International Conference on – San Diego, California, USA 2007 – с. 261–266
11. Tatar O. Development of mobile minirobots for in pipe inspection tasks [Текст] / O. Tatar, D. Mandru, I. Ardelean // ISSN 1392–1207. MECHANIKA. 2007. Nr.6 (68) – 60–64 с.
12. Hansen P. Monocular visual odometry for robot localization in LNG pipes [Текст] / Hansen P., Alismail H., Rander P., Browning B. // Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on, Shanghai International Conference Center – Shanghai, 2011 – с. 3111–3116
13. Schempf H. Explorer: Untethered Real-time Gas Main Assessment Robot System [Текст] / H. Schempf, E. Mutschler, Vitaly Goltsberg, George Skoptsov, Alan Gavaert, G. Vradis // 1st International Workshop on Advances in Service Robotics, ASER'03 – Stuttgart, March, 2003.
14. Hagen Schempf Visual and nondestructive evaluation inspection of live gas mains using the Explorer™ family of pipe robots [Текст] / Hagen Schempf, Edward Mutschler, Alan Gavaert, George Skoptsov, and William Crowley // Journal of Field Robotics, Volume 27 Issue 3, May 2010–217–249 с.

-
15. Changhwan Choi Feeder pipe inspection robot with an inch-worm mechanism using pneumatic actuators [Текст] / Changhwan Choi, Seungho Jung, Seungho Kim // International Journal of Control, Automation, and Systems, vol. 4, no. 1 – February 2006 – с. 87–95

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Преимущества DVB-T2 и особенности его построения на базе оборудования DVB-T

Аверченко Артем Павлович, аспирант;

Женатов Бекин Десимбаевич, кандидат технических наук

Омский государственный технический университет

Россия, переходит к цифровому телевизионному вещанию. Изначально была признана целесообразность внедрения в Российской Федерации европейской системы цифрового телевизионного вещания DVB (Digital Video Broadcasting). Начались работы по внедрению стандарт цифрового телевидения DVB-T ETSI EN 300 744. Некоторые телерадиокомпании начали разворачивать свои сети цифрового телевидения и реализовывать телевизионные приставки конечным потребителям.

В 2011 года вышла новая версия стандарта DVB-T2 ETSI EN 302 755 — второе поколение европейского стандарта эфирного цифрового вещания DVB-T.

7 июля 2011 г. в Москве на заседании Правительственной комиссии по телерадиовещанию была признана Перспективность внедрения DVB-T2 в России. Однако уже развернутые сети стандарта DVB-T делают модернизацию крайне дорогостоящей — даже для таких экономически развитых стран, как Франция и Германия, т.к. DVB-T и DVB-T2 несовместимы.

Основные принципы формирования и трансляции сигнала DVB-T и DVB-T2 остались схожими, цифровой сигнал кодируется и преобразуется в OFDM-сигнал. OFDM — это технология модуляции посредством ортогональных несущих, т.е. модулируются множество несущих,

расположенных в заданной полосе с фиксированным шагом по частоте.

Если стандарт DVB-T был предназначен исключительно для передачи пакетов MPEG-2 (в последствии MPEG-4), то стандарт DVB-T2 способен транслировать самые разные по природе и структуре информационные потоки. Общая схема обработки сигналов в системе DVB-T2 существенно усложняется по сравнению с DVB-T (см. Рисунок 1).

В качестве механизма защитного кодирования стандарта DVB-T2 использован корректирующий каскадный код. В качестве внешнего кода использован блочный кодер Боуза-Чоудхури-Хоквингема (БЧХ) (вместо Рид-Соломона в DVB-T), а в качестве внутреннего используется код с проверкой на четность (LDPC) [1, с. 11; 2, с. 34].

В DVB-T2 добавлена модуляция 256-QAM, что повышает емкость канала передачи на 33% (относительно максимально возможного значения 64-QAM в DVB-T).

В DVB-T2 — введена схема модуляции с «вращающимся» сигнальным созвездием (см. Рисунок 2). При этом сформированный модуляционный символ поворачивается в комплексной плоскости на определенный угол, зависящий от числа уровней модуляции [2, с. 40].

Суть поворота заключается в том, чтобы проекции точек на соответствующие оси (синфазную и квадра-

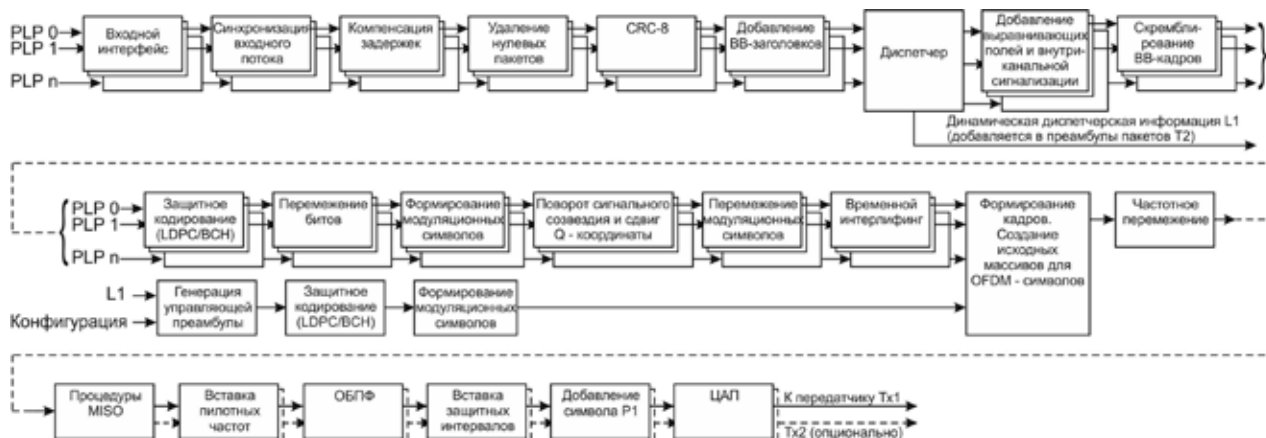


Рис. 1. Схема передающей стороны в системе DVB-T2

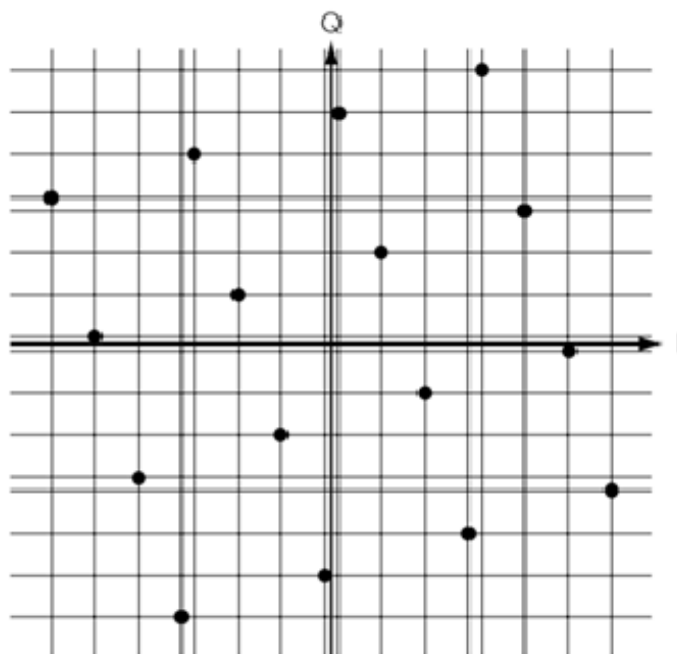


Рис. 2. Созвездие 16-QAM после поворота

турную) были не совпадающими. Хотя при этом и получается что некоторые из координат оказываются достаточно близко друг к другу, но по другой координате точки всегда можно восстановить первую ее координату.

В DVB-T2 увеличено возможное число номинальных поднесущих — помимо 8К добавлены режимы 1К, 4К, 16К и 32К поднесущих [2, с. 58]. Что в свою очередь позволяет использовать в OFDM-символе больше поднесущих для передачи данных. Чем больше номинальных поднесущих, тем длительнее может быть OFDM-символ и это позволяет уменьшить защитный интервал по сравнению DVB-T [1, с. 27].

В DVB-T была всего одна фиксированная схема распределения пилотных частот, а в DVB-T2 предусмотрено восемь различных схем их распределения. Выбор варианта зависит от числа номинальных поднесущих и размера защитного интервала. Как результат всего 1, 2 и 4 % составляют поднесущие в стандарте DVB-T2, против 8 % в DVB-T.

В DVB-T2 появилась возможность — передача в режиме MISO, т.е. приемник обрабатывает сигнал от двух передающих антенн.

При проектировании и создании сетей DVB-T2 совсем не обязательно использовать все возможности стандарта.

В некоторых случаях при замене уже существующих систем DVB-T (рассчитанных на один поток), а так же проектирование новых низко ёмких систем вполне уместно не использовать трансляцию множества мультимедийных потоков. При проектировании сетей с одним передающим центром, к примеру в областях, вообще не имеет смысла реализовывать режим MISO — прием с двух передающих антенн. Так же возможно ограничиться уже реализованными в стандарте DVB-T режимами QPSK, 16-QAM, 64-QAM, защитными интервалами 1/32, 1/16, 1/8, и 1/4, режимы 4К и 8К, полосами частот 6, 7, 8 МГц. Нагрузка на процессорный модуль, при создании оборудования DVB-T2 возрастает, в основном из-за кодирования БЧХ и поворота сигнального созвездия, но сокращение реализуемых функций позволяет сократить общий объем программы и вписать в объем использовавшийся при создании устройств DVB-T. «Железо» при такой модификации не меняется.

Оборудование, предназначенное для организации сетей DVB-T, можно использовать в сетях DVB-T2 при условии полной замены программного кода, как в модуляторах, так и в каждой телевизионной приставке. Замена программы дешевле покупки нового оборудования, т.к. не тратится значительная часть средств на «железо».

Литература:

1. ETSI EN 300 744 v1.5.1 (2004—11) Цифровые системы (DVB-T) для телевидения радиовещания и передачи данных.
2. ETSI EN 302 755 V1.2.1 (2011—02) Цифровые системы (DVB-T2) для телевидения радиовещания и передачи данных.

Автоматизация импульсного метода измерения скорости звука

Мошкин Владимир Валентинович, кандидат технических наук, доцент

Московский государственный технический университет радиотехники, электроники и автоматики

Мошкина Анна Владимировна, студент

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Акустические методы исследования широко применяются в науке и технике при исследовании свойств твердых тел. Одной из наиболее важных характеристик является скорость звуковой волны, а также ее зависимость от внешних факторов, таких как, температура, механические напряжения, электрические и магнитные поля и т.д. Для измерения скорости звука разработаны различные экспериментальные методы [1, 2] — резонансные, интерферометрические, импульсные, импульсно-фазовые. Они отличаются по точности, трудоемкости проведения измерений, возможности автоматизации измерительного процесса. Применение современной цифровой измерительной техники, сопрягаемой с персональными компьютерами, позволяет проводить исследования в автоматическом режиме, полностью исключив ручные операции. В работе предложен алгоритм обработки сигнала, регистрируемого цифровым осциллографом при импульсном методе измерения скорости звука.

Принцип импульсного метода заключается в измерении времени распространения акустического импульса в образце и вычислении скорости по формуле:

$$V = L / t, \quad (1)$$

где L — длина пути распространения акустического импульса;

t — время прохождения акустического импульса через образец.

Измерения проводились на экспериментальной установке, схема которой показана на рис. 1.

Зондирующий сдвиговый акустический импульс создается на одной из двух параллельных граней исследуемого образца с помощью излучающего пьезопреобразователя, на который поступает возбуждающий радиоимпульс (20 периодов синусоиды частотой 20 МГц) с генератора (Tektronix AGF 3102). Образец выполнен из плавленного кварца и имеет форму прямоугольного параллелепипеда длиной 23 мм вдоль направления распространения звука. После многократного отражения от граней образца серия акустических импульсов с помощью приемного пьезопреобразователя, расположенного на противоположной грани образца, преобразуется в электрические импульсы, которые поступают на вход цифрового осциллографа (Tektronix DPO 4032, полоса пропускания 350 МГц, максимальная частота дискретизации 2,5 ГГц). Оцифрованный в осциллографе сигнал передается в персональный компьютер по интерфейсу USB 2.0. Управление режимами работы генератора и осциллографа, обработка сигналов и представление результатов выполняется программным обеспечением, разработанным в среде графического программирования LabVIEW.

Вид измеренного сигнала показан на рис. 2. Цифрой «0» отмечен импульс электрической наводки, передаваемый через емкостную связь из цепи излучающего пьезопреобразователя в цепь приемного пьезопреобразователя. Цифрами «1»÷«4» отмечены акустические импульсы, воспринимаемые приемным преобразователем.

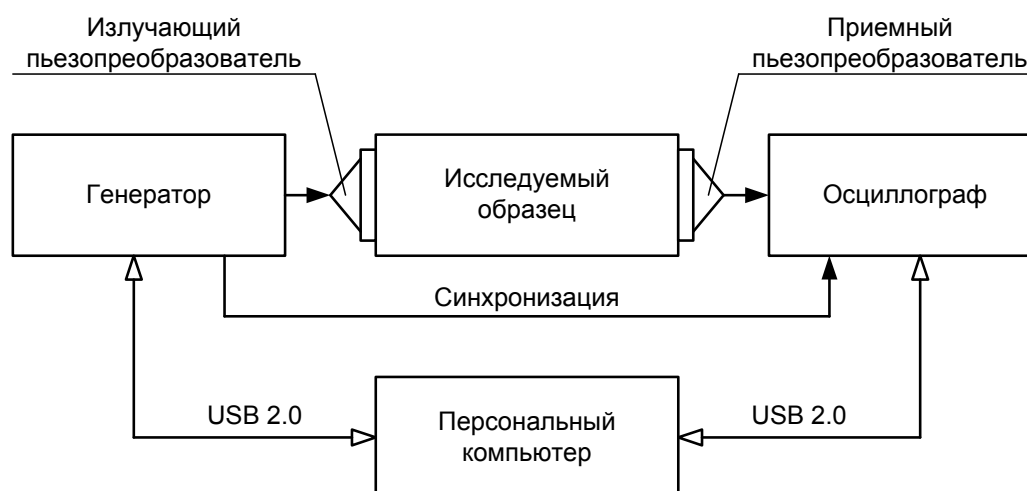


Рис. 1. Схема импульсного метода измерения скорости звука

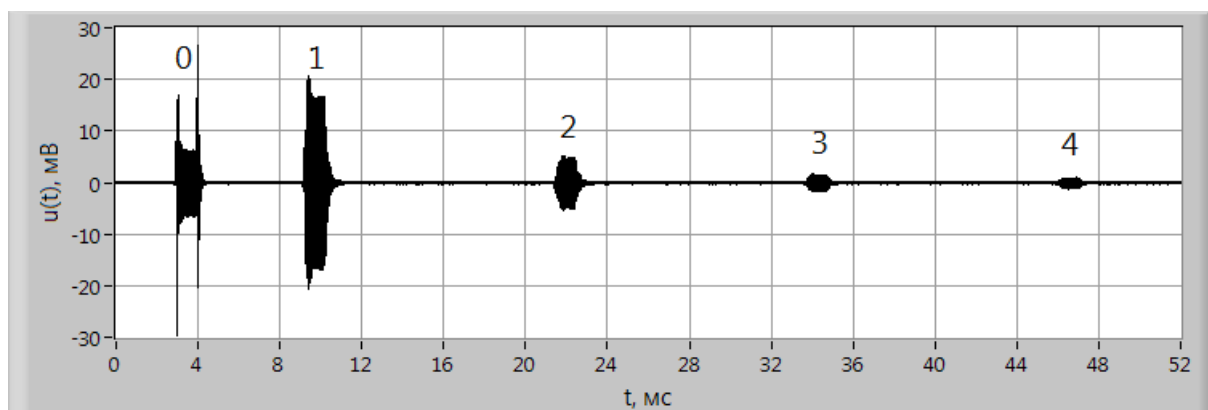


Рис. 2. Вид измеренного сигнала

Положение импульса электрической наводки на временной оси совпадает с моментом излучения зондирующего импульса. Задержка t между импульсами «0» и «1» равна времени однократного прохождения акустического импульса через образец. Задержка между любой парой соседних акустических импульсов равна $2 \cdot t$, так как звуковой импульс, отражаясь от граней образца, проходит двойное расстояние. Таким образом, для определения скорости звука в образце при известной его длине достаточно определить временную задержку между акустическими импульсами.

Для решения этой задачи можно использовать корреляционный анализ. Из теории сигналов известно [3], что взаимно корреляционная функция двух сигналов $s(t)$ и $u(t)$ определяет степень сходства их формы и взаимное расположение на оси времени. Для непрерывных сигналов ВКФ вычисляется по формуле:

$$B_{su}(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)u(t + \tau)dt, \quad (2)$$

где τ — время сдвига сигнала $u(t)$ относительно сигнала $s(t)$.

Дискретные сигналы $s(k)$ и $u(k)$ при постоянном интервале дискретизации $\Delta t = \text{const}$ обычно рассматриваются как числовые массивы длины $K+1$ с нумерацией отсчетов $k = 0, 1, \dots, K$. При этом каждый отсчет соответствует моменту дискретизации $k \cdot \Delta t$. Тогда ВКФ вычисляется как дискретная функция номеров n сдвига отсчетов одного сигнала относительно другого по формуле:

$$B_{su}(n) = \sum_{k=0}^K s_k u_{k-n}. \quad (3)$$

На рис. 3 приведен пример построения ВКФ двух прямоугольных радиоимпульсов $s(k)$ и $u(k)$, заданных массивами с числом отсчетов $K=400$. Длительность радиоимпульсов равна трем периодам синусоиды. На каждом периоде задано 20 отсчетов. Сигнал $s(k)$ задержан относительно сигнала $u(k)$ на 300 отсчетов.

На рис. 3 видно, что ВКФ обладает следующими свойствами:

- 1) частота колебаний ВКФ равна частоте колебаний заполнения радиоимпульсов;
- 2) длительность ВКФ равна удвоенному значению длительности радиоимпульсов;
- 3) максимум ВКФ отстоит от начала координат на величину задержки импульса $s(k)$ относительно импульса $u(k)$ и совпадает с началом импульса $s(k)$.

Воспользуемся третьим из указанных свойств ВКФ для определения задержки между акустическими импульсами на осциллограмме измеренного сигнала (рис. 2).

Для вычисления ВКФ измеренного сигнала нужно выбрать образцовый сигнал, с которым акустические импульсы имеют наибольшую корреляцию. Наилучшим вариантом для этого является один из акустических импульсов, например, импульс «1» (рис. 2), т.к. все они получены с выхода одного и того же приемного пьезопреобразователя, и имеют подобную форму.

Для того чтобы получить копию импульса «1», вычислим ВКФ измеренного сигнала и программно сформируем копию возбуждающего радиоимпульса (20 периодов синусоиды частотой 20 МГц), и определим положение максимума, соответствующего первому акустическому импульсу (рис. 4). Затем скопируем из измеренного сигнала фрагмент, начало которого соответствует абсциссе максимума ВКФ, а длина равна длине возбуждающего радиоимпульса. Изображение образцового сигнала показано на рис. 5, а его ВКФ с измеренным сигналом — на рис. 6.

Максимумы ВКФ, отмеченные курсорами на рис. 6, соответствуют первым четырем акустическим импульсам. Задержки между импульсами имеют следующие значения:

$$\Delta t_{12} = 12305,2 \text{ нс}; \Delta t_{23} = 12290,4 \text{ нс}; \Delta t_{34} = 12299,6 \text{ нс}.$$

Разброс не превышает 14,8 нс или 0,12 %. Расчетная средняя скорость звука в образце (при его длине 23 мм) составляет 3740,32 м/с и практически совпадает с приведенным в справочнике физических величин [4] значением 3740 м/с для сдвиговой звуковой волны в плавленом

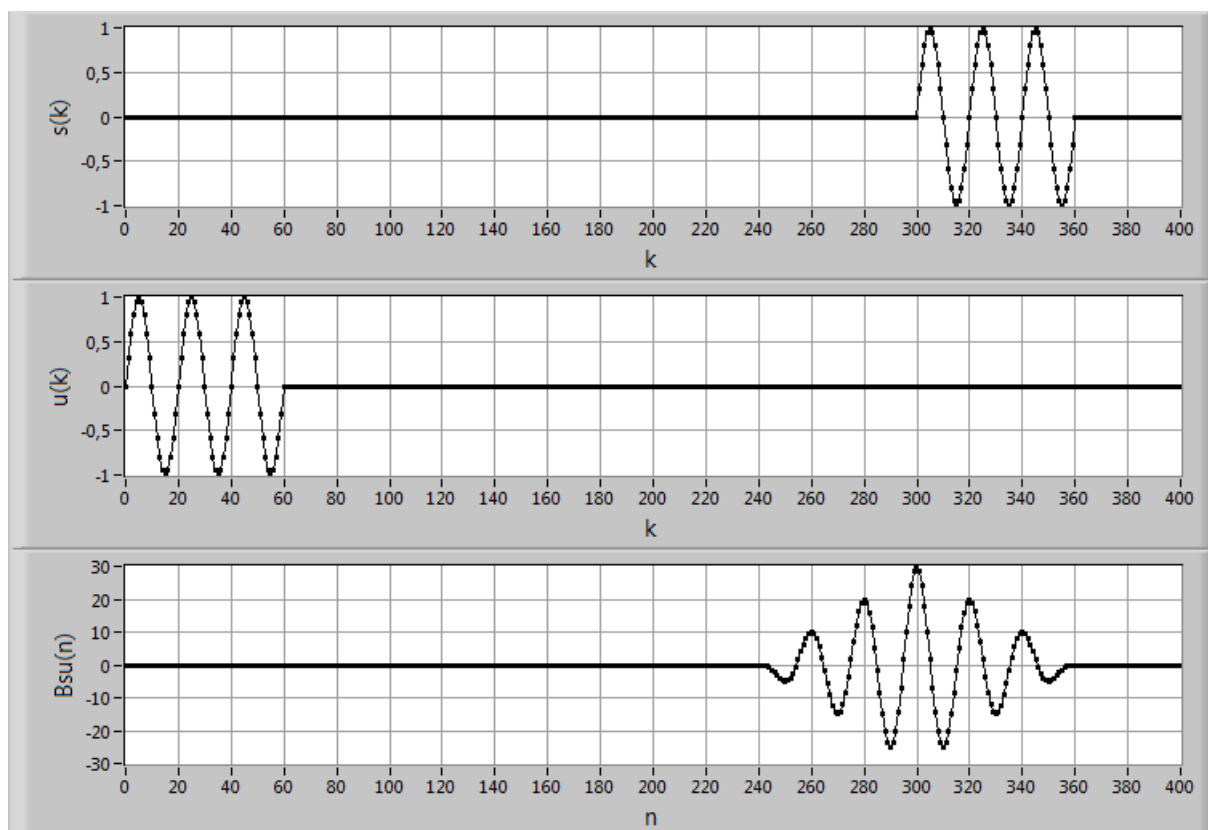


Рис. 3. Пример ВКФ двух прямоугольных радиоимпульсов

кварце. Это свидетельствует о достоверности полученного результата.

Предложенный алгоритм обработки измеренного осциллографом сигнала для измерения скорости звука импульсным методом состоит из следующих этапов:

1. Загрузка осциллограммы измеренного сигнала в персональный компьютер.
2. Вычисление ВКФ измеренного сигнала и возбуждающего импульса.
3. Формирование образцового сигнала.

4. Вычисление ВКФ измеренного и образцового сигналов.

5. Определение задержки между акустическими импульсами.

6. Вычисление скорости звука в образце и представление результатов измерения.

В соответствии с этим алгоритмом в среде LabVIEW разработана программа «Скорость звука», интерфейс пользователя которой приведен на рис. 7. Запуск программы осуществляется нажатием на кнопку RUN с изо-

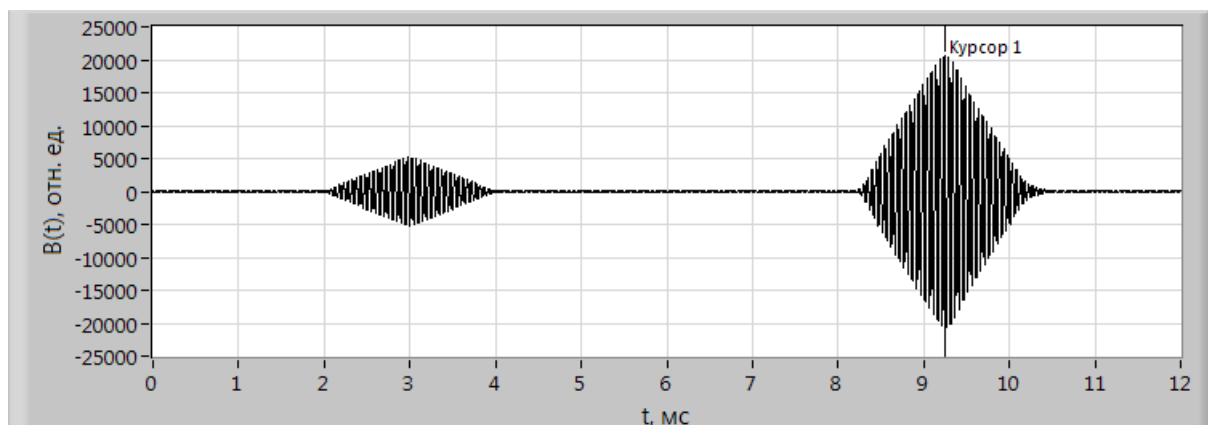


Рис. 4. Начальный фрагмент ВКФ измеренного и возбуждающего сигнала

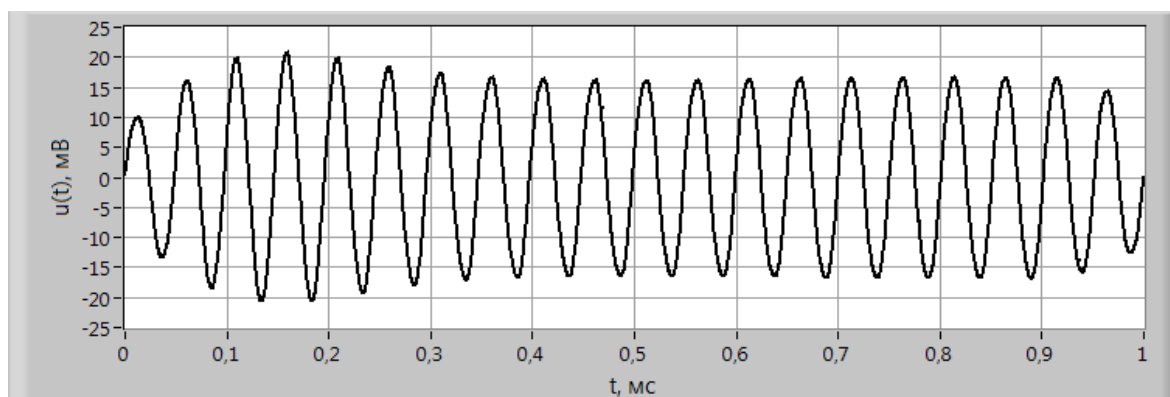


Рис. 5. Образцовый сигнал, выделенный из измеренного сигнала

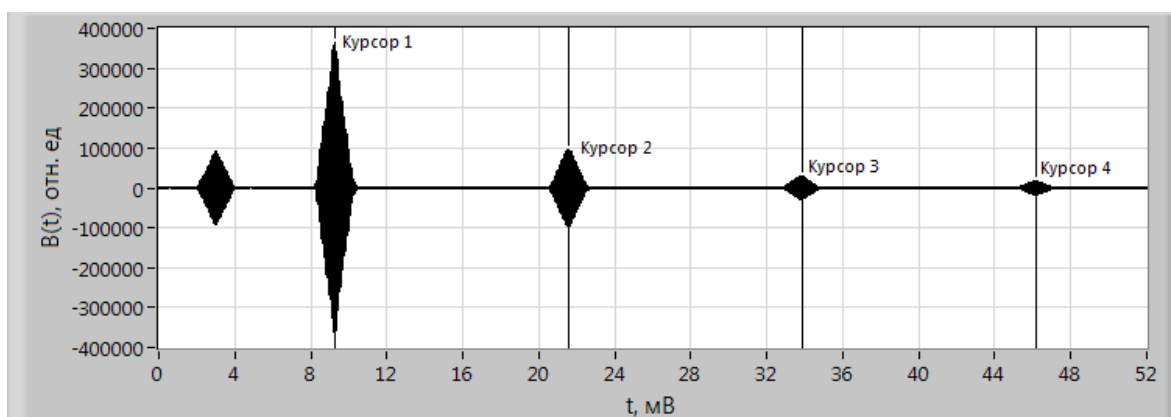


Рис. 6. ВКФ измеренного и образцового сигналов

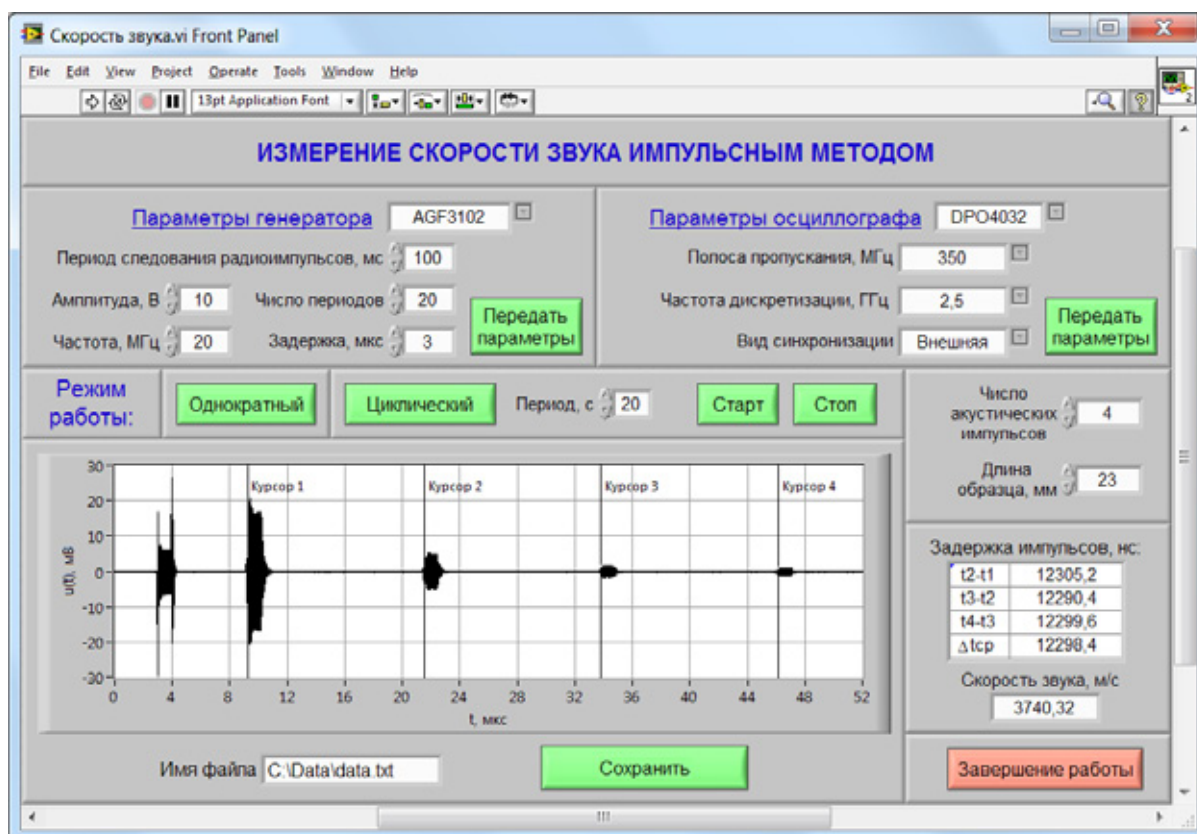



Рис. 7. Лицевая панель программы «Скорость звука»

бражением стрелки . Перед началом измерений нужно в полях ввода данных в верхней части экрана задать параметры работы генератора и осциллографа и нажать на соответствующие кнопки «Передать параметры». Также необходимо указать число акустических импульсов, учитываемых при обработке сигнала, и длину образца в направлении распространения звука. При каждом нажатии кнопки «Однократный» загружается и выводится на графический индикатор осциллограмма сигнала, определяются задержки между акустическими импульсами, и вычисляется скорость звука в образце. На изображении сигнала начало каждого акустического импульса отмечается соответствующим курсором. С помощью кнопки

«Сохранить» полученные результаты сохраняются в файл с именем, указанным в поле «Имя файла».

Циклический режим работы активируется кнопкой «Циклический». При нажатии кнопки «Старт» осциллограммы загружаются с интервалом, указанным в поле «Период». Полученные при обработке осциллограммы результаты сохраняются в файл автоматически. Кнопкой «Стоп» можно выключить циклический режим. При нажатии кнопки «Завершение работы» выполнение программы прекращается.

Программа «Скорость звука» позволяет в автоматическом режиме измерять зависимость скорости звука в образце от внешних воздействующих факторов.

Литература:

1. Труэлл Р., Эльбаум Ч., Чик Б. Ультразвуковые методы в физике твердого тела. Пер. с англ. — М.: Мир, 1972. — 307 с.
2. Физическая акустика, т.1, ч.А. Методы и приборы ультразвуковых исследований / под ред. У. Мэзона. М.: Мир, 1966. — 592 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник для вузов. — М.: Высшая школа, 2000. — 462 с.
4. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др.; Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 1232 с.

Сравнительный анализ полностью заказных СБИС, ПЛИС и СБИС с программируемой архитектурой

Шпагилев Данил Игоревич, аспирант
Московский институт электронной техники

Электронные устройства могут иметь схожую техническую реализацию. Это имеет место в тех случаях, когда они используются для типовых приложений. Например, системы управления, проводные и беспроводные коммуникационные системы, системы видеонаблюдения и т.п. построены по единому принципу. Таким образом, становится возможным их унификация на всех уровнях. Приведенный в рамках данной статьи сравнительный анализ полностью заказных СБИС, ПЛИС и СБИС с программируемой архитектурой позволяет сделать вывод о более подходящем решении для задач технической унификации таких устройств.

Ключевые слова: полностью заказных СБИС, ПЛИС и СБИС с программируемой архитектурой, унификация, анализ.

Введение

Успехи в полупроводниковой технологии интегральных микросхем сделали возможным объединение на кристалле сверхбольших интегральных схем (СБИС) целых систем, называемых «системами на кристалле» (СнК), включающих процессорные ядра, модули памяти, высокопроизводительные шины, аналого-цифровые интерфейсы, программируемую логику и другие макроблоки [1, с. 216]. Данный стиль проектирования (SoC — проектирование) начал применяться, начиная с технологических норм порядка 250–350 нм, позволяющих размещать десятки и сотни миллионов транзисторов на одном кри-

сталле. Таким образом, СБИС СнК — это СБИС, объединяющая на кристалле различные функциональные блоки, которые образуют законченное изделие для автономного применения в электронной аппаратуре.

Для конкурентно способного производства СнК необходимо минимизировать время запуска в производство и, при этом, обеспечить адекватную, по рыночным меркам, цену. Это подразумевает использование эффективных средств и методов проектирования, хорошо проработанные наборы тестов с большой площадью покрытия, минимальное количество итераций при производстве тестовых образцов [2, с. 4–14]. Для этого необходимо максимально использовать возможности готовых решений — сложно функцио-

нальных блоков (СФ-блоков) или библиотек СФ-блоков, и стремиться к повышению процента вторичного использования (Reuse). Внедрение модулей, которые неоднократно подтвердили свою работоспособность, и наличие их высокоуровневых моделей позволяет провести поведенческое (алгоритмическое) моделирование всей системы на самых ранних этапах разработки, а также значительно снизить возможные риски ошибок проектирования и риски изготовления дефектных образцов СБИС. Повторное использование СФ-блоков может быть полезным и эффективным при выполнении чётких стандартов по их созданию, распространению и применению, т.е. при обеспечении полной унификации. Приемлемые цены могут быть обеспечены сверхбольшими объемами партий выпуска готовых СБИС. Крупномасштабное производство имеет смысл, если изготавливаемая СБИС СнК имеет возможность гибкой настройки для использования в различных задачах, т.е. является существенно универсальной и, соответственно, имеет расширенную область применения.

Анализ всевозможных задач, решаемых, к примеру, в комплексных системах связи и управления показывает, что все они характеризуются рядом особенностей, главной из которых является возможность достаточно глубокой унификации соответствующих им функциональных групп на уровне технических решений, поскольку они могут быть построены на общей системе датчиков и одинаковых процессорных секциях вычислительной системы. Поэтому, необходимо закладывать в структуру СБИС СнК различные интерфейсные блоки и возможность программирования.

Для сравнения приведены три основных способа реализации СБИС СнК:

- Полностью заказные интегральные схемы (англ. Application-Specific Integrated Circuit, ASIC) — специализированные микросхемы для решения конкретной поставленной задачи, предоставляющие функционально законченный набор модулей управления и обработки данных;

- Программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС, англ. Field-Programmable Gate Array, FPGA) — микросхемы, используемые в основном для работы с цифровой информацией (однако, есть и FPGA с включением аппаратных блоков микропроцессоров, АЦП/ЦАП, интерфейсов и др.) и обладающие возможностью конфигурирования внутренней архитектуры;

- СБИС с программируемой архитектурой (англ. Programmable System on Chip, PSoC) — микросхемы для типовых приложений, имеющие широкие возможности для работы как с цифровой, так и с аналоговой информацией, и обладающие возможностью динамического переключения архитектуры (прямо во время работы, без необходимости прерывания работы устройства) [3. с. 34–43].

Финансовые затраты

В первую очередь хотелось бы коснуться финансовых затрат, необходимых для разработки каждого из типов микросхем. По отношению к PSoC и FPGA, ASIC требуют

для своей реализации куда больших финансовых затрат. Изготовление опытной партии специализированных ASIC (несколько тысяч образцов) по технологии 0,13–0,18 мкм стоит несколько сотен тысяч долларов, а по технологии 0,09 мкм — свыше миллиона долларов [4, с. 37–39]. Это связано с тем, что такие микросхемы позиционируются как полностью заказные, а, следовательно, проектируются они в соответствии с определенной конкретной задачей. От таких микросхем часто ждут достижения максимальной производительности, и, как правило, в таких случаях для обеспечения требуемых параметров работы уже существующие СФ-блоки не всегда подходят, поэтому необходима разработка специальных СФ-блоков. Это влечет за собой значительные финансовые затраты, в которые входит не только стоимость инструментальных средств проектирования, но и капиталовложения для проведения работ по моделированию и параллельной проверке того, правильно ли был выбран подход к проектированию.

Таким образом, разработка ASIC приводит к огромному количеству невозвратимых затрат (Non-Recurring Engineering charges, NRE). Также высока вероятность того, что в результате разработки не будет достигнуто какое-то из начальных требований к проекту по производительности, надежности, срокам разработки и т.д., что может привести либо к финансовым потерям, связанным со снижением спроса на рынке, либо со штрафными санкциями со стороны заказчика за невыполнение установленных требований. В связи с резким сокращением сроков службы разработок весьма критичным для успешных продаж становится сокращение времени разработки, а отсутствие у СБИС возможности конфигурирования затрудняет учет этих изменений в проекте.

FPGA и PSoC, наоборот, имеют малые NRE-затраты и могут разрабатываться относительно быстро и при помощи менее сложных и дорогих средств. Для PSoC не нужно проектировать СФ-блоки специального назначения с особыми параметрами. Они содержат блоки, как правило, средней производительности, но при этом универсальные и уже неоднократно проверенные в работе. За счет этого можно значительно снизить финансовые затраты на их разработку.

Риски

Далее, до тех пор, пока с производства не поступят и не будут полностью протестированы опытные образцы ASIC, нет абсолютной гарантии безошибочности законченной разработки. Стоимость изготовления и тестирования опытных образцов может обойтись в полмиллиона долларов, постоянно при этом возрастающая. В случае обнаружения ошибки все работы по проектированию кристалла приходится начинать сначала, и лишь потом запускать его в массовое производство. При этом следует учесть, что согласно имеющемуся опыту разработки ASIC СнК только в 25% проектов первоначально полученные опытные образцы соответствуют заданным требованиям.

В большинстве случаев для получения необходимого результата требуется несколько итераций, что значительно увеличивает стоимость выполнения проекта. Можно надеяться, что развитие средств систем автоматизированного проектирования (САПР) позволит снизить риски при выполнении таких проектов.

Размеры рыночного сегмента и финансовые показатели зависят от того, насколько хорошо все сделано с первого раза, и от сроков задержки выхода микросхемы на рынок. В первом случае может потребоваться дополнительное финансирование на исправление ошибок, тестирование и повторный запуск производства. Во втором случае компания из-за позднего выхода на рынок микросхемы может потерять свои позиции в узком целевом сегменте рынка. Связано это со снижением конкурентоспособности по отношению к другим фирмам, которые вышли на рынок со своими аналогами раньше нее [5, с. 69–77].

В отличие от ASIC, производственные риски при разработке PSoC значительно ниже, а соответственно и потенциальные затраты также будут ниже. Как уже упоминалось, это связано с тем, что СФ-блоки в их составе являются уже неоднократно отработанными. Это в какой-то степени предопределяет большую вероятность успешного тестирования опытных образцов. Кроме того, они являются микросхемами для типовых приложений широкого применения и не создаются специально для какого-либо узкого рыночного сектора. Их универсальность гарантирует в ряде важных случаев достаточно высокую тиражность, а, следовательно, невысокую стоимость и другие сопутствующие преимущества. Поэтому даже при срывах сроков разработки они могут найти свою нишу на рынке среди потребителей, и это не повлечет за собой больших финансовых потерь.

Минимальные объемы производства

ASIC перспективны в основном для реализации дорогостоящих проектов, предполагающих последующий крупносерийный выпуск изделий. Их разработка сопровождается, как было выяснено, большими и постоянно растущими финансовыми затратами, поэтому окупить эти затраты можно только за счет прибыли, полученной от продаж после крупносерийного (в редких случаях серийного и массового) производства.

При производстве PSoC же не требуется каких-либо ограничений по минимальному объему выпускаемой продукции. За счет сравнительно малых затрат на разработку, низких рисков при производстве, широких возможностей применения и низкой стоимости штучной продукции они могут окупиться даже при минимальных объемах выпуска.

Надежность и функционал

ASIC обладают «жесткой» архитектурой, что заранее предопределяет весь ее функционал. Возможность программирования архитектуры — одна из главных особен-

ностей FPGA и PSoC, дает гибкость и позволяет изменять требования к проекту, что обеспечивает большую функциональность, поскольку такие типы устройств могут иметь перестраиваемую в рабочем (для FPGA нерабочем) режиме архитектуру. Это дает возможность настраивать систему на решение новых задач, благодаря чему они оказываются очень полезными в условиях высоких требований к массе и объему аппаратуры. Кроме того, обеспечивается большая надежность, так как для некоторых операций возможно несколько реализаций, следовательно, возможна замена неисправных функциональных блоков (если позволяют внутренние ресурсы устройства при текущей конфигурации) совокупностью блоков, реализующих те же операции другими методами.

Конкурентными преимуществами PSoC, отличающими этот класс микросхем от FPGA, являются:

- более высокий показатель надежности (благодаря использованию многократно проверенных СФ-блоков);
- возможность динамического программирования (не нужно останавливать работу устройства для изменения его конфигурации);
- возможность выполнения замены части программных операций их аппаратными реализациями, благодаря довольно большой и разнообразной номенклатуре как цифровой, так и аналоговой периферии.

Как уже было отмечено, программируемые логические схемы FPGA позволяют создавать схемы практически любой конфигурации, но в отличие от PSoC это касается в основном только лишь цифровой обработки, тогда как с аналоговыми сигналами могут работать далеко не все FPGA. Те же FPGA, мощности которых позволяют осуществлять работу с аналоговой информацией, обеспечивают ее не с помощью аппаратных средств самой микросхемы, как например это реализовано в PSoC, а с помощью ресурсов процессорного ядра. Такая программная реализация аналоговых блоков значительно снижает быстродействие и повышает энергозатраты на работу схемы. Кроме того, создание и отладка внутренней конфигурации FPGA — процесс относительно сложный, требующий определенной квалификации разработчика. Поэтому использование FPGA (в особенности со встроенными процессорными ядрами) оправдано лишь в высокопроизводительных системах обработки только лишь цифровой информации [6, с. 83–88].

Энергопотребление

Необходимо также обратить внимание на энергопотребление микросхем всех трех типов. Как известно, энергопотребление имеет три составляющие: статическую, динамическую и системную (ввод/вывод). Последние две играют наиболее заметную роль. В отличие от универсальных микросхем — FPGA и PSoC, специализированные ASIC имеют малые габариты и низкий уровень потребления энергии, поскольку они разрабатываются под конкретные специальные задачи и поэтому обладают мак-

Таблица 1

Качественный сравнительный анализ типов микросхем

Показатель	ASIC	FPGA	PSoC
Быстродействие	очень высокое	высокое	высокое
Плотность упаковки элементов	очень высокая	средняя	очень высокая
Стоимость при единичном производстве	очень высокая	средняя	средняя
Стоимость при серийном производстве	низкая	высокая	низкая
Невозвратимые затраты	высокие	нет	нет
Время разработки	большое	малое	малое
Сложность разработки	высокая	средняя	средняя
Время отладки	очень большое	малое	малое
Сложность тестирования	высокая	низкая	низкая
Время производства	большое	среднее	среднее
Время выхода на рынок	большое	среднее	среднее
Возможности модернизации	«жесткая» архитектура	в нерабочем режиме	в рабочем режиме
Риск изготовителя	очень высокий	низкий	низкий
Степень автоматизации процесса проектирования	средняя	высокая	высокая
Энергопотребление	низкое	высокое	низкое
Минимальный объем заказов	высокий	нет	нет

Таблица 2

Основные параметры микросхем Altera Arria-GX и Cypress PSoC@ 5LP

Показатель	FPGA (Altera Arria – GX)	PSoC (Cypress PSoC@ 5LP)
Технология изготовления, нм	90	90
Частоты работы $f_{\text{раб}}$, МГц	50–622	67
Мощность потребления (динамическая) $P_{\text{потр.дин.}}$, мВт	180	7
Удельная мощность потребления (динамическая) $P_{\text{потр.дин.}}/f_{\text{раб}}$, мВт/МГц	0,63	0,1
Мощность потребления (статическая), мВт	6	$7 \cdot 10^{-3}$
Габариты, мм	29x29	10x10
Температурный диапазон, °C	-40...+100	-40...+85

симально оптимизированной внутренней структурой [7, с. 52–56].

Программируемая часть PSoC построена на программируемых логических матрицах (англ. Programmable Logic Array, PLA) или программируемых логических устройствах (англ. Programmable Logic Device, PLD) [8]. Наибольшее их количество содержится в микросхемах последнего семейства микросхем PSoC@ 5LP фирмы Cypress и составляет 24 блока. Чем больше ресурсов используется в устройстве, тем заметнее растет динамическое энергопотребление системы на кристалле любого назначения. Поэтому комбинация большого числа логических устройств в микросхемах типа FPGA (на сегодняшний день до 2 млн. вентилях, как например в Virtex-7 фирмы Xilinx) и внутреннее распределенное дерево тактирования требуют значительно большего количества энергии в процессе работы и больших габаритов микросхем

(45x45мм для Virtex-7 фирмы Xilinx) по сравнению с PSoC.

Кроме того, связи между компонентами FPGA содержат своеобразные «стыки» в виде программируемых точек соединения, из-за чего частота работы оказывается меньше, чем для специализированной микросхемы, выполненной по одному и тому же технологическому процессу. В итоге получается медленный и дорогой испытательный стенд для проектирования новых микросхем.

Результаты проведенного качественного анализа наглядно представлены в таблице 1.

Качественно оценка FPGA и PSoC уже была проведена в предыдущей части статьи. Она привела к тому, что, как оказалось, по некоторым ключевым параметрам FPGA становятся неконкурентоспособными на фоне PSoC. Далее для наглядного подтверждения полученных результатов приводится сравнение представителей каждой их

этих типов микросхем, изготовленные по одному технологическому процессу. В таблице 2 представлены данные по основным параметрам представителей двух сравниваемых концепций, в качестве которых были выбраны высокопроизводительные FPGA семейства Arria-GX фирмы Altera [9], а также PSoC последнего (пятого) поколения фирмы Cypress [10].

Из анализа результатов сравнения можно сделать вывод о том, что PSoC, при использовании для изготовления микросхем технологического процесса 90нм, позволяет значительно (почти в 3 раза) уменьшить как габариты целевой микросхемы, так и ее энергопотребление. Из таблицы видно, что максимально возможная рабочая частота Arria — GX в несколько раз превосходит частоту работы PSoC@ 5LP, но в тоже время это приводит к значительному росту уровня потребляемой мощности микросхемы. Для того чтобы сделать объективную оценку была приведена удельная мощность потребления, рассчитанная из отношения среднего значения рабочей частоты к значению мощности потребления микросхемы, которая показывает что PSoC@ 5LP в 6 раз выигрывает по этому показателю у Arria — GX.

Заключение

Требования взаимной совместимости систем связи и управления, экономические и эксплуатационные требования обуславливают возможность глубокой унификации на всех уровнях, которая предполагает наличие в таких системах некоторой номенклатуры типовых технических решений. Поэтому, становится все более актуальным поиск подходов к проектированию, позволяющих создавать универсальные устройства для выполнения типовых задач. В рамках данной статьи были рассмотрены некоторые из них, которые существуют на данный момент: полностью заказные СБИС, ПЛИС и СБИС с программируемой архитектурой.

Исходя из проведенного выше сравнения этих трех подходов к проектированию, можно предположить, что подходящим решением вполне способны стать СБИС с программируемой архитектурой, обладающие необходимой универсальностью и имеющие некоторые выявленные преимущества по сравнению с применением остальных рассмотренных подходов.

Литература:

1. Немудров В., Мартин Г. Системы-на-кристалле. Проектирование и развитие. М.: Техносфера. 2004. — С. 216.
2. Бухтеев А. Методы и средства проектирования систем на кристалле // Chip News. 2003. №3. — С. 4—14.
3. Шейкин М. Две микросхемы — хорошо, а одна лучше. Программируемые цифровые микросхемы с аналоговым интерфейсом // Элементная база электроники. — 2012. — №1 — С. 34—43.
4. Шагурин И. Системы на кристалле. Особенности реализации и перспективы применения // Электронные компоненты. 2009. №1. — С. 37—39.
5. Несс Р. Ежегодное исследование рынка встраиваемых систем // Электронные компоненты. 2007. №11. С. 69—77.
6. Шагурин И., Шалтырев В., Волов А. «Большие» FPGA как элементная база для реализации систем на кристалле // Электронные компоненты. 2006. №5. С. 83—88.
7. Бухтеев А., Немудров В. Системы на кристалле. Новые тенденции // Электроника. НТБ. 2004. №3. — С. 52—56.
8. Ahmad Athif bin Mohd Faudzi Programmable system on chip distributed communication and control approach for human adaptive mechanical system // Journal of Computer Science. — 2010. — August
9. Arria V Device Handbook [Электронный ресурс] // Altera Corporation [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.altera.com/literature/lit-arria-v.jsp>, свободный (дата обращения: 24.12.2012)
10. PSoC® 5LP: CY8C58LP Family Datasheet [Электронный ресурс] // Cypress Semiconductor [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.cypress.com/?rID=72824>, свободный (дата обращения: 24.12.2012).

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

План реконструкции кабельных сетей электрической централизации станции Россоша Приволжской железной дороги

Козина Анастасия Михайловна, студент;

Селиверов Денис Иванович, заместитель директора по учебно-производственной работе, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Обеспечение гарантированной безопасности и надёжности перевозочного процесса является первоочередной задачей, определённой стратегией развития ОАО «РЖД». При этом задачи, стоящие перед хозяйством автоматики и телемеханики, рассматриваются как инструмент реализации процесса реформирования Российских железных дорог.

Разветвлённые кабельные сети электрической централизации представляют собой комплекс конструкций и устройств, предназначенных для управления объектами СЦБ и обеспечения контроля их состояния. Кабелями соединяют напольные устройства СЦБ стрелочные электроприводы, светофоры, приборы рельсовых цепей с постовыми устройствами при этом надёжная работа этих устройств в большей степени зависит от качества и состояния кабельных сетей. [1, с. 370]

Статистика неисправностей кабельных сетей показывает, что отказы из-за повреждения кабеля при производстве работ другими организациями составляет 28 %, понижения сопротивления изоляции 33 %, нарушение сроков проверки кабелей 7 %, некачественного соединения в муфтах 10 %. Данная общая статистика подтверждается эксплуатационными показателями за 2011 год хозяйства автоматики и телемеханики Приволжской железной дороги. Здесь в прошлом 2011 году произошло 37 случаев нарушений нормальной работы устройств СЦБ из-за неисправности кабелей. Это и внутренний обрыв жил, сообщение жил, и понижение сопротивления изоляции. Допущено 14 случаев повреждения кабелей работниками смежных служб и сторонних организаций работающих в зоне железнодорожных путей. А также 16 случаев порчи и хищения кабеля посторонними лицами. [2]

С перечисленными выше проблемами эксплуатации кабельных сетей сталкиваются и электромеханики СЦБ станции Россоша Приволжской железной дороги. Станция географически находится на удалённом расстоянии, как от города Саратова, так и от других районных центров. По этой причине в настоящее время сложился дефицит рабочих кадров бригады по обслуживанию устройств СЦБ на станции Россоша. Нехватка электромехаников СЦБ сказывается на качестве обслуживания

и техническом состоянии устройств СЦБ. Из-за этого на станции имеют место отказы в работе устройств электрической централизации и кабельных сетей.

Отказ систем автоматики, вызвавший неоправданную остановку поезда или снижение его скорости движения, приводит к задержкам не только этого поезда, но и следующих за ним. Следствием этого являются прямые экономические потери, вызванные простоем поездов и нарушением сроков поставки грузов, а также потери от недополученного дохода, снижение доверия пассажиров и грузоотправителей к железнодорожному транспорту.

Детально разбирая и анализируя причины отказов в работе устройств автоматики, учёные и проектировщики научных институтов ВНИИЖТ, ВНИИАС, ГТСС и отраслевых учебных ВУЗов регулярно разрабатывают немало дополнительных схемных технических решений, внедрение которых способствует повышению надёжности уже действующих систем автоматики управляющих движением поездов. При разработке этих схемных решений также учитываются и другие недостатки существующих систем, вскрытые в процессе эксплуатации.

В современных условиях эксплуатации систем СЦБ на станции Россоша становится актуальным вопрос внедрения электронных приборов контроля и непрерывного мониторинга исправного состояния устройств СЦБ, малообслуживаемого напольного оборудования, технологий сокращающих эксплуатационные расходы и позволяющих покрыть дефицит кадров.

Путевое развитие станции Россоша это четыре приемо-отправочных пути. Станция оборудована двенадцатью поездными светофорами, шестью маневровыми. В электрическую централизацию включено четырнадцать стрелок (по семь в каждой горловине), четырнадцать рельсовых цепей. Так как надёжная работа устройств электрической централизации в большей степени зависит от качества и состояния кабельных сетей то решением одной из проблем может действительно стать реконструкция существующих кабельных сетей на станции с применением современных технологий и оборудования.

Одним из наиболее опасных отказов устройств СЦБ связанных с неисправностью кабелей являются отказы

вызванные сообщением различных цепей или заземления этих цепей. Самопроизвольное появление тока в цепи может вызвать любой опасный отказ: появление разрешающего сигнала, перевод стрелки под составом, ложный контроль стрелок или свободности рельсовой цепи, а это уже прямая угроза безопасности движения поездов.

Правильная эксплуатация кабельных сетей является одним из решающих факторов обеспечения надёжной работы систем СЦБ, где ведущая роль принадлежит плановым профилактическим мероприятиям. Это технический надзор за состоянием трассы и кабельных муфт (внутренняя проверка муфт со вскрытием, ополка от травы, покраска), электрические измерения состояния изоляции, контроль за работой устройств сигнализации о понижении сопротивления изоляции. Именно эти работы являются наиболее трудоёмкими и требуют большого количества времени на их выполнение.

Эффективным методом решения проблемы обслуживания наземных групповых и соединительных кабельных муфт на станции Россоша в настоящее время может стать их замена на подземные.



Муфты серии ПРМз предназначены для устройства ответвлений от группового кабеля к светофорам, путевым и трансформаторным ящикам рельсовых цепей, к стрелочным электроприводам и другим устройствам. ПРМз являются подземными необслуживаемыми муфтами. Сама муфта изготовлена из высокопрочного полипропилена и состоит из корпуса с ячейками кабельных вводов и крышки, соединяемые друг с другом с помощью болтов. Смонтированная муфта ПРМз для герметизации полностью заполняется гидрофобом, который входит в комплект поставки муфты. [3]

Для замены наземных соединительных муфт установленных электромеханиками СЦБ при ремонте кабелей следует использовать новые подземные заливные муфты серии ЗМ «Scotchcast» 91-NBA. Внутри пластикового корпуса также заливается компаунд, являющийся гидрофобным и не растворяющимся в воде.

Однако, как показал опыт после внедрения таких подземных муфт достаточно трудно в дальнейшем определить точное их местоположение под землёй. Решением

проблемы обнаружения подземных кабельных муфт может стать использование радиометок. При этом рядом с кабельной муфтой размещается радиометка, связанная с кабельной муфтой гибкой сцепкой. Когда возникнет необходимость доступа к подземной кабельной муфте, область её залегания можно будет легко определить с помощью специализированного маркероискателя. В процессе движения грунта гибкая связка обеспечит совместное залегание радиометки с муфтой и исключит повреждение последней при откапывании. [4, с. 21]

Контроль исправного состояния кабельных сетей в соответствии с графиком технического обслуживания осуществляется периодическим измерением сопротивления изоляции. Выполняемые электрические измерения с помощью мегомметра являются наиболее ответственными и так же очень трудоёмкими, их следует вести с соблюдением целого ряда требований, главными из которых являются: проверка перед каждым измерением исправности измерительной аппаратуры, правильность подключения жил кабеля и соединительных проводников на выводы прибора, точная фиксация и отсчёт показаний измерительного прибора. [1, с. 371]

В связи с этим, а также ввиду не укомплектованности бригады СЦБ станции Россоша имели место случаи фиктивного выполнения измерений и ошибки при определении измеренных величин сопротивления изоляции. При этом неисправности кабеля оставались не выявленными.

Важную роль в решении этой проблемы без сомнения может сыграть современный прибор контроля и измерения сопротивления изоляции ИСИ. Цифровой измеритель сопротивления изоляции будет своевременно фиксировать понижение величины изоляции жил кабелей до критических пределов и безошибочно определять значения сопротивления изоляции при плановых измерениях.



Цифровой многофункциональный прибор контроля сопротивления изоляции ИСИ был принят к применению Департаментом автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» в 2006 году». Измеритель сопротивления изоляции ИСИ предназначен для непрерывного измерения сопротивления изоляции относительно «земли» 16-ти гальванически не связанных цепей, без отключения проводов, в том числе и цепей, находящихся под напряжением до 220В: цепей управления огнями светофоров, стрелочных электроприводов, релейных и питающих концов рельсовых цепей. ИСИ обеспечивает передачу информации

о величине измеренного сопротивления изоляции контролируемых цепей в систему автоматизированного диспетчерского контроля.

Отличительные особенности ИСИ от применяемых сигнализаторов заземления это:

- обеспечение круглосуточного измерения сопротивления изоляции групп гальванически не связанных электрических цепей относительно «земли», путем циклического поочередного подключения каждой контролируемой цепи к измерительному каналу встроенными средствами коммутации;

- возможность передачи в систему автоматизированного диспетчерского контроля информации о величине сопротивления изоляции в каждой контролируемой цепи и признака снижения сопротивления изоляции относительно установленного порога срабатывания для каждой контролируемой цепи;

- возможность индивидуальной установки порога срабатывания для каждой контролируемой цепи со встроенной клавиатуры;

- отображение номера контролируемой цепи и величины сопротивления изоляции на знаковосинтезирующем индикаторе;

- возможность хранения в энергонезависимой памяти информации о снижении сопротивления изоляции ниже установленного порога по каждой контролируемой цепи.

С помощью ИСИ можно будет прогнозировать предостаточное состояние устройств СЦБ на станции Россоша, заменив планово-предупредительное обслуживание кабельных сетей на обслуживание по «необходимости». [5]

Экономическая эффективность от внедрения на станции Россоша проекта реконструкции кабельных сетей электрической централизации будет достигнута путём сокращения ряда эксплуатационных расходов связанных с обслуживанием кабельных сетей, что решит проблему нехватки электромехаников СЦБ, а сами кабельные сети станут более надёжными. За счёт сокращения эксплуатационных расходов окупятся и затраты на приобретение необходимого оборудования.

Литература:

1. Станционные системы автоматики. И.Л. Рогачёва, А.А. Варламова, А.В. Леонтьев. УМЦ ЖДТ, 2007 г.
2. Анализ работы устройств СЦБ в 2011 году службы автоматики и телемеханики Прив. ж.д.
3. Материалы и оборудование для кабельных сетей. inguscom.com
4. Современные средства позиционирования кабельных сетей. Журнал АСИ №4 2011.
5. Измеритель сопротивления изоляции ИСИ. НПП «Стальэнерго». stalenergo.ru

Способы защиты устройств СЦБ от перенапряжения

Ситникова Татьяна Геннадьевна, студент;

Селиверов Денис Иванович, заместитель директора по учебно-производственной работе, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

В электрических сетях часто возникают импульсные всплески напряжения, вызванные коммутациями электроаппаратов, атмосферными разрядами или иными причинами. Несмотря на кратковременность такого перенапряжения, его может быть достаточно для пробоя изоляции и, как следствие, короткого замыкания, приводящего к разрушительным последствиям. Для того, чтобы устранить вероятность короткого замыкания, можно применять более надежную изоляцию, но это приводит к значительному увеличению стоимости оборудования. В связи с этим в электрических сетях целесообразно применять разрядники и выравниватели. [1]

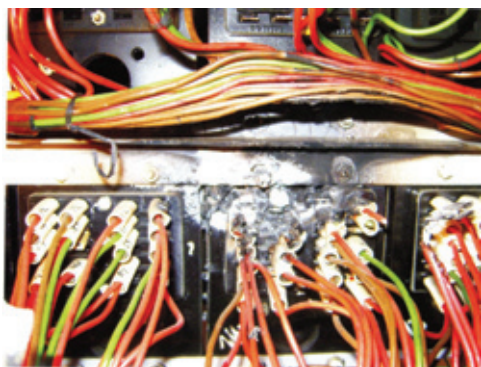
Самыми распространёнными средствами защиты от перенапряжений приборов перегонной сигнальной установки автоблокировки и автоматической локомотивной сигнализации являются вентильные разрядники типа РВНШ-250 или РВН-250. Разрядник РВН-250 предназначен для защиты от перенапряжений электрических

цепей аппаратуры автоматики с рабочим напряжением до 250В и обеспечивает мгновенное гашение дуги сопровождающего тока. Разрядник штепсельный РВНШ-250 предназначен для защиты от перенапряжений электрических цепей аппаратуры автоматики с рабочим напряжением до 360В и обеспечивает мгновенное гашение дуги сопровождающего тока. Более поздняя разработка это разрядники РКН-600 предназначенные для замены разрядников типа РВНШ-250 в цепях защиты вводов питания и цепях ввода-вывода. Он предназначен для защиты изоляции переменного тока с напряжением от 0 до 250В и постоянного тока с напряжением от 0 до 120В в устройствах автоматики от импульсных перенапряжений, возникающих в результате грозовых разрядов и коммутационных процессов в линиях электропитания. С 1989 года промышленностью выпускаются устройства УЗТ и устанавливаются взамен разрядников типа РВНШ-250. Устройства защиты тиристорные типов УЗТ-1 и УЗТ-2

предназначены для защиты аппаратуры электрических цепей переменного тока с частотой до 75 Гц и рабочим напряжением до 220 В (УЗТ-1) либо до 60 В (УЗТ-2) от коммутационных перенапряжений, возникающих на аппаратуре рельсовых цепей при аварийных режимах работы тяговой сети.

Для защиты от перенапряжений полупроводниковой аппаратуры СЦБ предназначены выравниватели разных типов. С 1973 года выпускаются керамические выравниватели типа ВК-10.

Выравниватели ВОЦШ-220 и ВОЦШ-110 предназначены для защиты от перенапряжений полупроводниковой аппаратуры СЦБ и связи в электрических цепях с номинальным напряжением 220 и 110 В переменного тока частотой 50 Гц. Выравниватели типа ВОЦН-24 и ВОЦН-36 пришли на смену выравнивателям ВОЦШ-220 и ВОЦШ-110 и предназначены для защиты аппаратуры рельсовых цепей на участках с автономной тягой и другой низковольтной аппаратуры от импульсных перенапряжений, возникающих в результате грозовых разрядов и коммутационных процессов в контактной сети электрифицированных железных дорог. [2]



Несмотря на многолетний опыт эксплуатации, перечисленные выше средства грозозащиты, оказались недостаточно надёжными и эффективными. Кроме того, они требуют периодической проверки и сами могут стать причиной возгорания оборудования, в результате которого выходили из строя полупроводниковые элементы приборов, происходили пробой изоляции обмоток сигнальных трансформаторов, прожоги штепсельных плат реле.



Иногда срабатывание выравнивателей и разрядников приводило к выходу из строя питающего кабеля, оплавлению монтажа и даже возгоранию релейных шкафов, что усугубляло ситуацию и увеличивало продолжительность отказа. Из-за отсутствия удалённого мониторинга состояние этих устройств защиты после воздействия грозовых перенапряжений электромеханикам СЦБ приходится менять разрядники и выравниватели, что требует дополнительных трудозатрат.



Для исключения возгорания релейных шкафов автоблокировки от элементов защиты специалистами хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» предпринимались разные меры. Наиболее эффективным оказался способ предложенный эксплуатационниками Дальневосточной железной дороги, при котором выравниватели и разрядники выносятся из релейного шкафа и размещаются в отдельно стоящем путевом ящике. Такой способ помог повысить защищённость сигнальных точек автоблокировки на участках повышенной грозовой активности на 30 %. [6. с.25–26]

Одним из современных и эффективных средств защиты является защитный фильтр ЗФ-220, который устанавливается не в релейном шкафу, а в специальном кабельном ящике на опоре. По сравнению с распространенными элементами защиты от перенапряжений выравнивателей ВОЦШ и разрядников РВНШ защитный фильтр ЗФ-220 имеет более низкий порог срабатывания, меньшее значение остаточного напряжения и в своем составе содержит более энергоемкие элементы защиты, что обеспечивает большую надежность помехозащищенность аппаратуры СЦБ. Защитный фильтр ЗФ-220 имеет встроенные средства обогрева, что обеспечивает стабильность характеристик при низких значениях температуры окружающей среды.



Защитный фильтр ЗФ-220М содержит счетчик выработки ресурса защитных элементов, что позволяет дистанционно контролировать ресурс элементов защиты средствами диспетчерского контроля, либо по органам индикации на корпусе блока. [4]

Следует отметить, что задолго до появления фильтров ЗФ, ещё в 90-х годах, проходила опытные испытания аппаратура защиты от импульсных перенапряжений, разработанная специалистами ДВГУПС: ключевое защитное устройство «КЗУ», защитный многофункциональный тиристорный ключ «ЗАМОК-Т» и сетевой фильтр ввода питания релейных шкафов «ФСРШ». Эти устройства были установлены для защиты вводов питания автоблокировки на участках с высокой грозовой активностью.

В устройствах СЦБ с такой защитой повреждений не наблюдалось. По мнению работников дистанции СЦБ эти приборы имеют ряд достоинств: низкое остаточное напряжение при грозовом воздействии, стабильность характеристик во времени и по уровню срабатывания, возможность настройки устройств на любой уровень защиты. Но к их недостаткам можно отнести отсутствие информационных каналов о срабатывании устройств защиты для подачи в систему диспетчерского контроля, которыми обладает современное средство защиты аппаратура «БАРЬЕР-АБЧК». [6. с. 26]

Аппаратура «БАРЬЕР-АБЧК» — современное и эффективное средство защиты, которое включается в разрыв внешних цепей сигнальной установки и защищающее устройства автоблокировки от импульсных помех, проникающих со стороны источников электропитания, рельсовых и линейных цепей. В разработанном изделии «БАРЬЕР-АБЧК» реализованы решения, повышающие надёжность и сокращающие затраты на обслуживание как защищаемой аппаратуры, так и самой аппаратуры защиты.

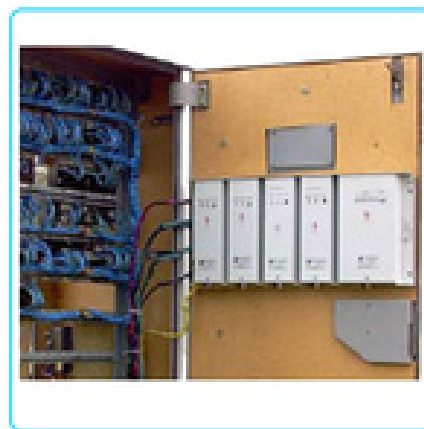
Аппаратура защиты «БАРЬЕР-АБЧК» имеет средства контроля срабатывания защиты, вычисления ресурса и передачу сигнала о необходимости замены защитных элементов (80% ресурса) в аппаратуру диспетчерского контроля. Аппаратура «БАРЬЕР-АБЧК» устанавливается на боковой стенке перегонного релейного шкафа с внешней стороны. Аппаратура защиты «БАРЬЕР-АБЧК» выпускается в трёх исполнениях «БАРЬЕР-АБЧК-1», «БАРЬЕР-АБЧК-2», «БАРЬЕР-АБЧК-3».

Аппаратура «БАРЬЕР-АБЧК-1» и «БАРЬЕР-АБЧК-2» предназначена для защиты от атмосферных и коммутационных перенапряжений устройств числовой кодовой автоблокировки и переездной сигнализации. Аппаратура защиты имеет средства контроля срабатывания защиты, вычисления ресурса и передачи сигнала о необходимости замены защитных элементов в аппаратуру диспетчерского контроля, размещается в шкафу аппаратуры защиты.

Отличительные особенности «БАРЬЕР-АБЧК-1» и «БАРЬЕР-АБЧК-2» заключаются лишь в способе их подключения к электрическим цепям релейного шкафа.



Подключение входных цепей блоков защиты «БАРЬЕР-АБЧК-1» в релейном шкафу производится на клеммы, на которые разделаны вводы кабелей релейного шкафа. При этом монтажные провода, увязанные в жгут из шкафа «БАРЬЕР-АБЧК-1» в релейный шкаф автоблокировки передаются через специальное отверстие. Шкаф аппаратуры «БАРЬЕР-АБЧК-2» в свою очередь установлен на отдельной стойке для релейных шкафов, а сообщение между шкафами организуется посредством сигнально-блокировочного кабеля, уложенного в земле и вводимого через защитные трубы.



Аппаратура «БАРЬЕР-АБЧК-3» предназначена для установки на внутренней стенке задней двери релейного шкафа, а в целом функции этой аппаратуры идентичны «БАРЬЕР-АБЧК-1» и «БАРЬЕР-АБЧК-2». [3]

Современным модифицированным исполнением аппаратуры защиты «БАРЬЕР-АБЧК-1–3» является аппаратура защиты «БАРЬЕР-АБЧК-1М-3М», которая также предназначена для защиты устройств числовой кодовой автоблокировки и переездной сигнализации от атмосферных и коммутационных перенапряжений. Она устанавливается на участках железнодорожных линий с любым видом тяги и релейными шкафами числовой кодовой автоблокировки.

В сравнении с аппаратурой защиты «БАРЬЕР-АБЧК-1–3» аппаратура защиты «БАРЬЕР-АБЧК-1М-

ЗМ оптимизирована для защиты как одиночных, так спаренных и сигнальных установок, увеличена нагрузочная способность по току, увеличена энергоемкость элементов защиты. В состав и функциональные возможности устройства могут изменяться в зависимости от условий применения, предусмотрена функция отключения варисторов при перегреве с передачей информации об отключении в цепи ДК, исключены элементы печатного монтажа. Модуль регистрации модернизированной аппаратуры имеет функции вычисления выработки ресурса и подсчета количества срабатываний элементов защиты, повреждение

модуля защиты не приводит к отключению защищаемой цепи, снижена масса и уменьшены габариты. [5]

Вследствие применения принципиально новой защиты от перенапряжений «ББАРЬЕР» и ЗФ-220 уменьшается количество нарушений нормальной работы устройств автоблокировки и сбоев автоматической локомотивной сигнализации. Более того эти устройства позволяют организовать дистанционный контроль выработки ресурса элементов защиты, в результате чего сокращаются эксплуатационные расходы на обслуживание элементов защиты.

Литература:

1. Анализ влияния атмосферных перенапряжений на устройства автоблокировки». www.dc-neman.ucoz.ru
2. Сороко, В.И., Розенберг, Е.Н. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник: в 2 кн. Кн.2.3-е изд.М.: Москва: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000.-1008 с.
3. Аппаратура защиты «БАРЬЕР-АБЧК». Технические решения по включению числовой кодовой автоблокировки ЕИУс. 646181.004 ТР12006.
4. Защитный фильтр ЗФ-220. stalenergo.ru
5. Аппаратура защиты «Барьер-АБЧК-М». <http://www.stalenergo.ru>
6. Защита систем ЖАТ от грозовых и коммутационных перенапряжений. Журнал «АСИ» №4 2011 г.

4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Математическое моделирование импульсных преобразователей напряжения с нелинейной внешней характеристикой

Андриянов Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент;

Краснов Никита Александрович, аспирант

Брянский государственный технический университет

На сегодняшний день накоплен достаточно большой практический опыт в области математического моделирования замкнутых систем с ШИМ, однако полностью универсальных подходов к моделированию различных по структуре преобразователей напряжения не существует, что требует создания новых математических моделей и алгоритмической базы для отдельно взятых топологий силовой части или их классов.

Рассмотрим математическую модель замкнутой системы управления с преобразователем напряжения первого рода с нелинейной внешней характеристикой. К преобразователям первого рода согласно [1] относятся непосредственный понижающий, мостовой, полумостовой преобразователи, преобразователь с выводом средней точки первичной обмотки трансформатора и др. Под нелинейной внешней характеристикой в данном случае понимается характеристика, обладающая как участком стабилизации напряжения, так и участком ста-

билизации тока. Такие преобразователи находят широкое применение в сварочных аппаратах инверторного типа и зарядных устройствах аккумуляторов [2].

Схема замещения преобразователя представлена на рис. 1. Здесь приняты следующие обозначения: E — напряжение источника питания; R — внутреннее сопротивление, характеризующее потери в преобразователе; L — индуктивность; C — емкость выходного конденсатора; R_n — сопротивление нагрузки; ИМ — импульсный модулятор; β_1 , β_2 — коэффициенты передачи датчиков обратной связи выходного напряжения и тока дросселя соответственно; КУ — коммутирующее устройство контуров напряжения и тока; U_{zu} — напряжение задания; U_{zi} — задание на ток; ГРН — генератор развертывающих напряжений. При построении схемы замещения принимались во внимание допущения, представленные в [3].

Кусочно-гладкая модель системы автоматического управления на базе полупроводниковых преобразова-

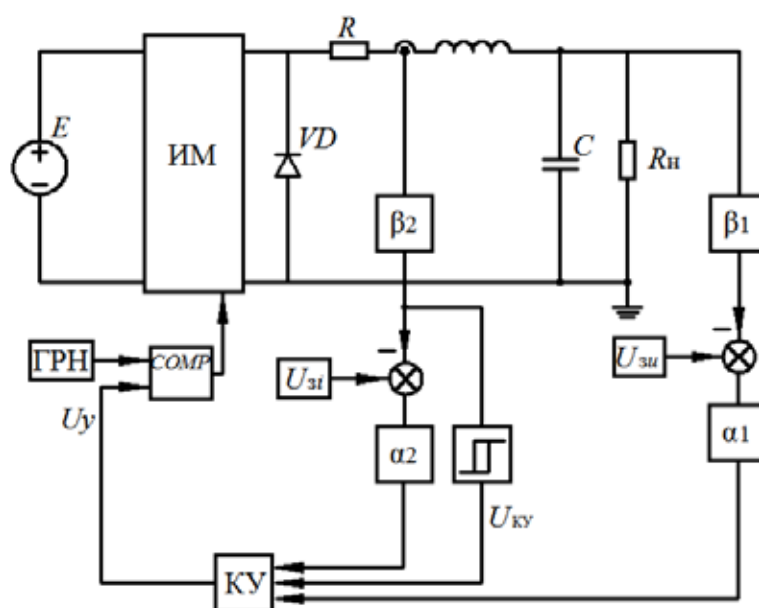


Рис. 1. Схема замещения замкнутой импульсной системы автоматического управления на основе понижающего преобразователя с нелинейной внешней характеристикой

телей с широтно-импульсной модуляцией имеет вид

$$\frac{d\mathbf{X}}{dt} = \mathbf{A}_i \mathbf{X} + \mathbf{B}_i, \quad (1)$$

где \mathbf{A}_i — матрица постоянных коэффициентов на i -том участке гладкости, \mathbf{B}_i — вектор вынуждающих воздействий на i -том участке; $\mathbf{X} = (x_1, x_2)^T = (i_L, U_C)^T$ — вектор переменных состояния.

На рис. 2 представлены временные диаграммы, поясняющие особенности работы преобразователя на тактовом интервале. На рисунке приняты следующие обозначения: $U_{\text{вп}}$ и $U_{\text{нп}}$ — верхний и нижний пределы петли гистерезиса соответственно; U_p — развертывающее напряжение; i_L — ток дросселя.

Как видно из рис. 2, а, на тактовом интервале в общем случае существует четыре информационных точки (момента коммутации), когда схема меняет свою топологию: в момент $t_{k\text{ШИМ}}$ напряжение управления после регулятора (U_y) сравнивается с развертывающим напряжением (U_p); в момент $t_{k\text{вп}}$ выходной сигнал датчика тока дросселя достигает значения верхнего предела гистерезиса ($U_{\text{вп}}$); в момент $t_{k\text{нп}}$ выходной сигнал датчика тока дросселя достигает значения нижнего предела гистерезиса ($U_{\text{нп}}$); в момент t_{k0} ток дросселя достигает нуля.

В зависимости от параметров системы возможны несколько режимов работы, каждый из которых связан с определенным порядком пересечения траекторией различных поверхностей сшивания участков гладкости в фазовом пространстве. На рис. 2 представлены два частных случая работы преобразователя.

1. Если $t_{k\text{вп}} < t_{k\text{ШИМ}}$ (достижение сигналом датчика тока верхнего порогового значения происходит раньше естественной коммутации ШИМ), на тактовом интервале происходит три коммутации (рис. 2, а):

— первая коммутация происходит в момент $t_{k\text{вп}}$. В данном случае преобразователь начинает работать в режиме обратной связи по току, т.е. на участке стабилизации тока. В этом случае коммутирующее устройство КУ на вход ШИМ-компаратора подает сигнал после регулятора α_2 , что приводит к резкому изменению сигнала управления;

— вторая коммутация происходит в момент $t_{k\text{нп}}$. После пересечения током дросселя нижнего порога гистерезиса преобразователь переходит в режим стабилизации напряжения;

— третья коммутация происходит в момент t_{k0} . Здесь ток дросселя падает до нуля (режим прерывистых токов).

2. Если $t_{k\text{вп}} > t_{k\text{ШИМ}}$ (рис. 2, б) на тактовом интервале происходит всего одна коммутация в момент $t_{k\text{ШИМ}}$. В данном случае преобразователь работает в режиме обратной связи по напряжению.

Таким образом, на тактовом интервале в общем случае существует пять участков гладкости (отмечены римскими цифрами на рис. 2, а). Решение дифференциального уравнения на каждом участке гладкости имеет вид

$$\mathbf{X} = e^{\mathbf{A}_i a z} (\mathbf{X}_0 + \mathbf{A}_i^{-1} \mathbf{B}_i) - \mathbf{A}_i^{-1} \mathbf{B}_i, \quad (2)$$

где a — период ШИМ, z — относительное время на тактовом интервале, которое может быть представлено как $z = (t - (k - 1)a) / a$.

Анализ выражения показывает, что для вычисления вектора переменных состояния необходимо знать вектор \mathbf{X}_0 в начале участка и длительность самого участка. Переход от участка к участку осуществляется методом припасовывания, т.е. начальными условиями для каждого участка будет являться вектор переменных состояния в конце предыдущего участка.

Уравнения, определяющие моменты коммутации (разностные функции) могут быть представлены как

$$\xi_{\text{шиМ}}(\mathbf{X}, z) = \alpha_1 (U_{\text{зи}} - \beta_1 u_c(t)) - U_{\text{рм}} z;$$

$$\xi_{\text{вп}}(\mathbf{X}, z) = \alpha_2 (U_{\text{вп}} - \beta_2 i_L(z)) - U_{\text{рм}} z;$$

$$\xi_{\text{нп}}(\mathbf{X}, z) = U_{\text{нп}} - \beta_2 i_L(z);$$

$$\xi_0(\mathbf{X}, z) = i_L(z),$$

где $U_{\text{вп}}$ и $U_{\text{нп}}$ — верхний и нижний пороги гистерезиса соответственно; $U_{\text{зи}}$ — задание на напряжение; $U_{\text{рм}}$ — амплитуда развертывающего напряжения.

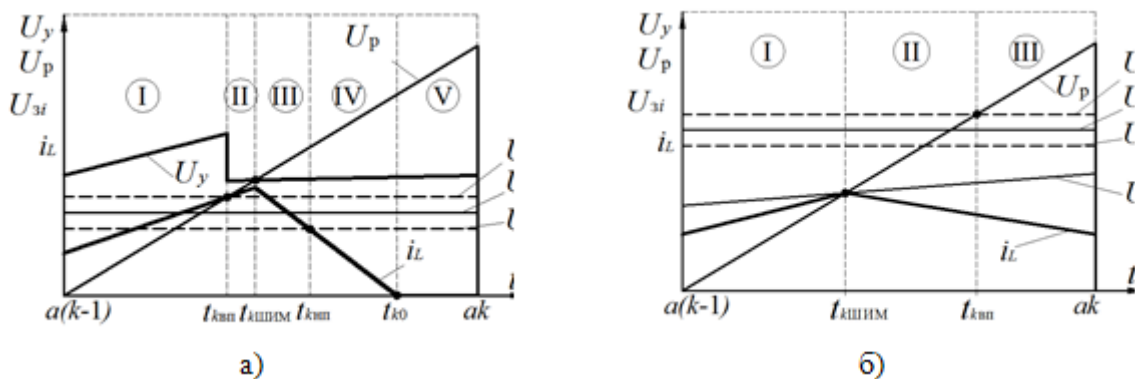


Рис. 2. К пояснению принципа действия силовой части преобразователя: а) $t_{k\text{вп}} < t_{k\text{ШИМ}}$; б) $t_{k\text{ШИМ}} > t_{k\text{вп}}$.

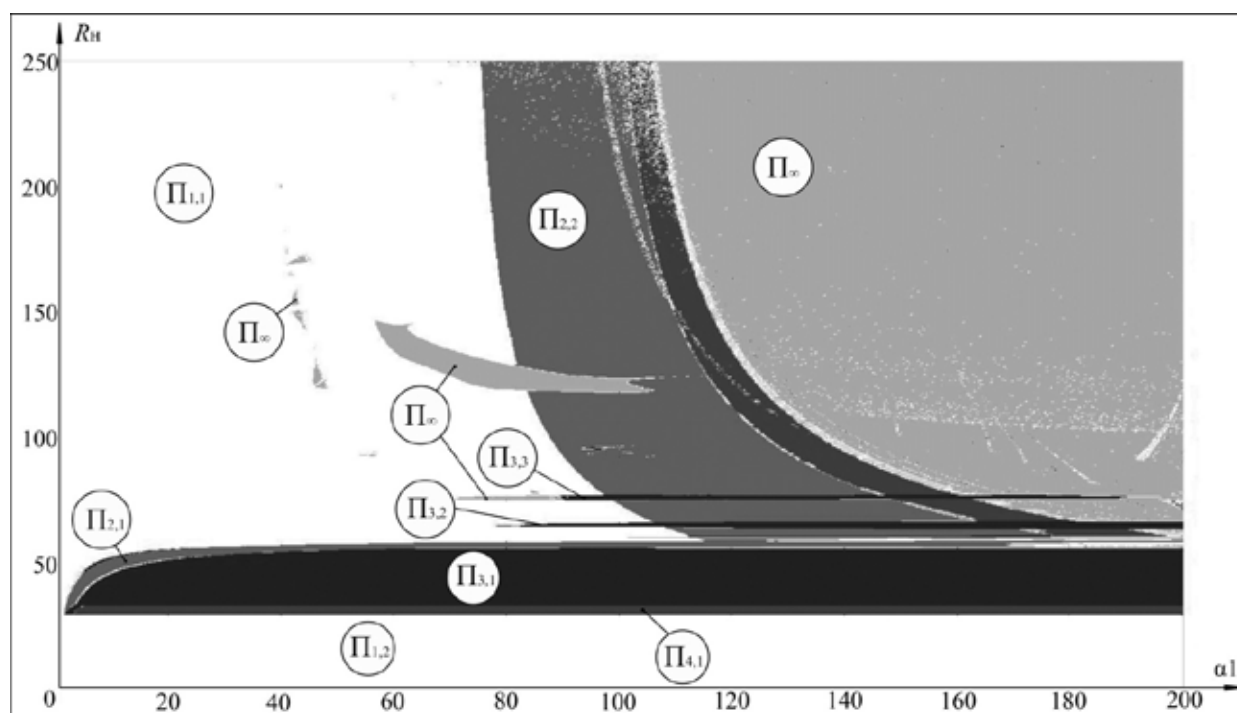


Рис. 3 Двухпараметрическая карта режимов работы преобразователя при параметрах системы:
 $E = 1040 \text{ В}$, $L = 0,01 \text{ Гн}$, $C = 10 \text{ мкФ}$, $R_n = 40 \text{ Ом}$, $\beta_1 = 0,01$, $\beta_2 = 1$, $U_{zu} = 4 \text{ В}$, $U_{zi} = 7 \text{ А}$, $U_{pm} = 10 \text{ В}$, $\alpha_2 = 25$.

Поиск коэффициентов заполнения осуществляется путем решения нелинейных трансцендентных уравнений:

$$z_{k\text{шим}} \rightarrow \xi_{\text{шим}}(\mathbf{X}_1, z) = 0; \quad z_{k\text{вп}} \rightarrow \xi_{\text{вп}}(\mathbf{X}_2, z) = 0;$$

$$z_{k\text{нп}} \rightarrow \xi_{\text{нп}}(\mathbf{X}_3, z) = 0; \quad z_{k0} \rightarrow \xi_0(\mathbf{X}_4, z) = 0,$$

где $z_{k\text{шим}}$, $z_{k\text{вп}}$, $z_{k\text{нп}}$, z_{k0} — моменты коммутации внутри такта в относительном времени (коэффициенты заполнения).

Полученная кусочно-гладкая математическая модель импульсного преобразователя, позволяет проводить бифуркационный анализ замкнутых импульсных систем с нелинейной внешней характеристикой.

Двухпараметрическая динамическая карта режимов преобразователя представлена на рис. 3. На данной диаграмме приняты следующие обозначения: символом $\Pi_{i,j}$ обозначены параметрические области существования различных динамических режимов (индекс i — обозначает m -цикл, характерный для данной области, j — порядковый номер области на карте динамических режимов). Области $\Pi_{1,1}$ и $\Pi_{1,2}$ представляют собой область существования основного ($m = 1$) — проектного режима. Под проектным режимом понимается цикл периода один, когда частота колебаний выходного напряжения равна частоте ШИМ [4]. Работа преобразователя в данном режиме характеризуется высокими показателями качества преобразования энергии. Область, обозначенная Π_∞ соответствует недетерминированным режимам функционирования преобразователя ($m \rightarrow \infty$).

Карта на рис. 3 позволяет сделать выводы о существовании областей параметров, в которых реализуются

непроектные режимы с $m > 1$, обусловленными динамическими нелинейностями системы. Особое внимание следует уделить областям при малых значениях сопротивления нагрузки ($\Pi_{2,1}$, $\Pi_{3,1}$, $\Pi_{1,2}$). На рис. 4 (а, б) представлены временные диаграммы напряжения в областях $\Pi_{3,1}$ и $\Pi_{1,2}$. Как видно из рисунка, размах колебаний выходного напряжения в области $\Pi_{3,1}$ (рис. 4,а) в 10 раз больше размаха колебаний в области $\Pi_{1,2}$ (рис. 4,б). Возникновение непроектных режимов при снижении сопротивления нагрузки до 50 Ом связано с достижением током нагрузки порогового значения, при котором начинается переход на участок стабилизации тока. При работе системы в области $\Pi_{3,1}$ происходит постоянное переключение коммутирующего устройства КУ, что приводит к возникновению сложной динамики.

При правильном выборе коэффициента усиления регулятора α_1 ($\alpha_1 < 1,5$) система во всем диапазоне сопротивления нагрузки работает в проектном режиме (1-цикл) с малым коэффициентом пульсаций.

Заключение

Предлагаемая математическая модель может использоваться при бифуркационном анализе замкнутых систем с ШИМ, обладающих нелинейной внешней характеристикой. Использование разработанной математической модели в инженерном проектировании позволит на стадии технического проекта учитывать нелинейные динамические свойства системы, что не всегда возможно с использованием средств имитационного моделирования типа

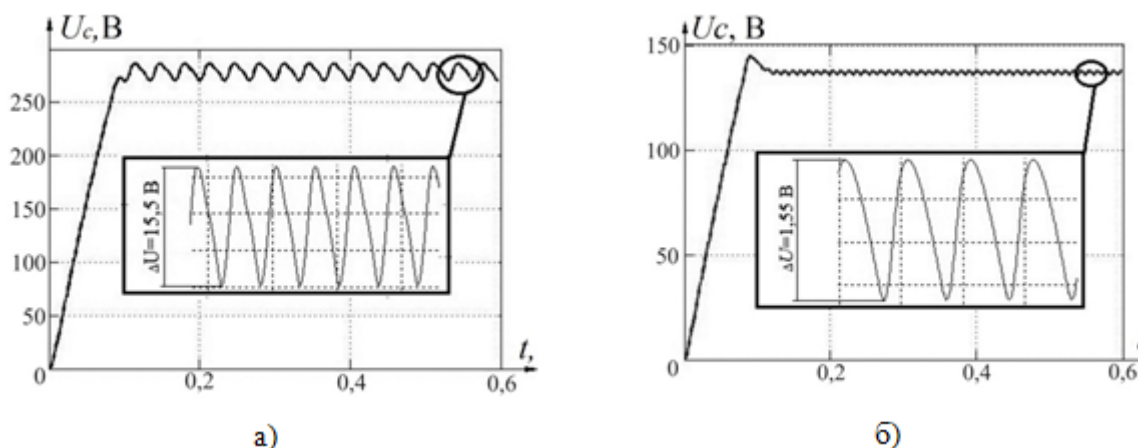


Рис. 4. Временные диаграммы выходного напряжения при $\alpha_1=10$:
а) в области $\Pi_{3,1}$ при $R_n=40$ Ом; б) в области $\Pi_{1,2}$ при $R_n=0$ Ом.

OrCAD и MatLab Simulink. Научно-обоснованный выбор параметров системы управления с использованием данной модели позволит исключить работу преобразователя в опасных режимах в процессе эксплуатации.

Литература:

1. Кобзев, А.В. Модуляционные источники питания РЭА / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, Н.М. Музыченко. — Томск: Радио и связь, 1990. — 336 с.
2. Мелешин, В.И. Транзисторная преобразовательная техника / В.И. Мелешин. — М.: Техносфера, 2005. — 627 с.
3. Болотовский Ю.И. OrCAD 9.x, OrCAD 10.x. Практика моделирования / Ю.И. Болотовский, Г.И. Таназлы, М.: СОЛОН-Пресс, 2008—207 с.
4. Кобзев, А.В. Нелинейная динамика полупроводниковых преобразователей / А.В. Кобзев, Г.Я. Михальченко, А.И. Андриянов, С.Г. Михальченко. — Томск: ТУСУР, 2007. — 224 с.
5. Анищенко, В.С. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем: Фундаментальные основы и избранные проблемы / В. С. Анищенко, Т. Е. Вадивасова, В. В. Астахов. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1999. — 368 с.

Исследование влияния компактных люминесцентных ламп на несинусоидальность токов и напряжений электрической распределительной сети

Аронов Леонид Вячеславович, ассистент;
Васильева Татьяна Николаевна, доктор технических наук, профессор
Рязанский государственный агротехнологический университет

В статье исследуется проблема высших гармоник, создаваемых энергосберегающими лампами. Приведены результаты измерений: временные диаграммы и спектры токов и напряжений. Проведено сравнение спектрального состава тока электрической сети до и после установки в неё энергосберегающей лампы.

Ключевые слова: несинусоидальность, высшие гармоники, энергосберегающая лампа.

В настоящее время в нашей стране активно развиваются энергосберегающие технологии, в т.ч. широкое распространение получили энергосберегающие лампы. Энергосберегающая лампа представляет собой компактную люминесцентную лампу, скрученную в спираль или змейку, в цоколь лампы помещается электронный бал-

ласт, обеспечивающий запуск лампы. Можно выделить ряд достоинств и недостатков таких ламп. Достоинства компактных люминесцентных ламп в следующем:

- 1) достаточно большой срок службы, до 10000 часов;
- 2) низкое энергопотребление, согласно инструкции компактная люминесцентная лампа мощностью 26 Вт

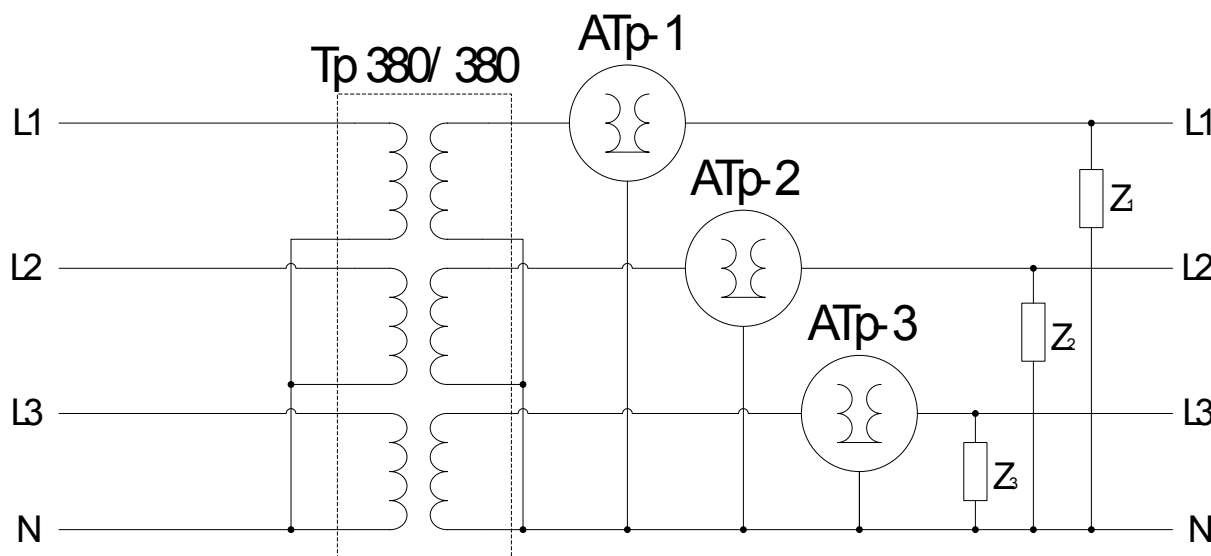


Рис. 1. Схема лабораторной установки

обеспечивает такой же уровень освещения, как и лампа накаливания мощностью 100 Вт;

- 3) наличие заводской гарантии;
- 4) высокий КПД, и как следствие низкий уровень нагрева;
- 5) стандартный цоколь E27 или E14, что делает их взаимозаменяемыми с лампами накаливания.

Недостатки энергосберегающей лампы следующие:

- 1) относительно высокая стоимость;
- 2) содержащий ртуть люминофор;
- 3) в процессе работы генерируются высшие гармоники, что приводит к повышению коэффициента гармоник в электрической распределительной сети, и как следствие, к увеличению потери электрической мощности и энергии

Высшие гармоники в сетях электроснабжения приводят к ряду негативных последствий, их влияние было подробно рассмотрено в [2–4]. Содержание высших гармоник и значение коэффициента несинусоидальности регламентируется ГОСТ 13109–97.

Для исследования влияния энергосберегающих лам был собран лабораторный макет (рис. 1.), состоящий из разделительного трансформатора соединенного «звездой» и сменных нагрузок (Z_1 , Z_2 , Z_3). Для симметрирования напряжения на нагрузках предусмотрены автотрансформаторы АТр-1, АТр-2, АТр-3. Измерения производились пофазно, однофазным анализатором качества электрической энергии С.А. 8220, прошедшим поверку. Перед проведением измерений напряжение предварительно симметрировалось в режиме холостого хода, для того чтобы исключить влияние внешней несимметрии на результат эксперимента.

В начале измерения, для оценки уже существующей в сети несинусоидальности, в качестве нагрузки использовались лампы накаливания мощностью 100 Вт.

Исследования показали, что существует разброс в параметрах ламп накаливания, что не позволяет считать идентичными лампы накаливания одной мощности (рис. 2, 3), Ток в сети изначально искажен высшими гармониками и также несимметричен.

Энергосберегающая лампа мощностью 105 Вт была включена в фазу L3, в остальные фазы были включены лампы накаливания мощностью 100 Вт. Измерение тока и напряжения было произведено для всех фаз. Для фазы L3 сравнение результатов показано на рис. 4.

Амплитудный спектр тока при включении ЭСЛ приведен на рис. 4,5. Сравнение показывает, что за счет ЭСЛ в ток фазы было внесено значительное искажение, в то время как форма напряжения практически не изменилась. До включения ЭСЛ величина гармоник равнялась 0,4% для 3-й гармоники, 2% для 5-й, 0,2% для 7-й, 9-й и 18-й, величина остальных не превышала 0,1%, а гармоники выше 19-й отсутствовали. Включения ЭСЛ привело к увеличению 3-й гармоники до 21%, 5-й до 14%, 7-й до 13%, 9-й до 5,5%, 11-й до 11%, 13-й до 5,7%, 17-й до 5,1%, 19-й до 4,7%. Гармоники с амплитудой свыше 1% встречаются и после 19-й, что видно из рис. 5. Прибор С.А. 8220 способен измерять уровень гармоник до 50-й включительно, и измерения показывают, что 49-я гармоника составляет 1,3% от первой.

Таким образом применение ЭСЛ, несмотря на имеющиеся достоинства создает загрязнение частотными составляющими кратными основной гармонике. Причем уровень их достаточно высок, чтобы влиять на работу электрооборудования и правильность учета электроэнергии индукционными счетчиками. Высокая интенсивность высших гармоник может приводить к созданию радиопомех и помех работе бытовых электронных устройств.

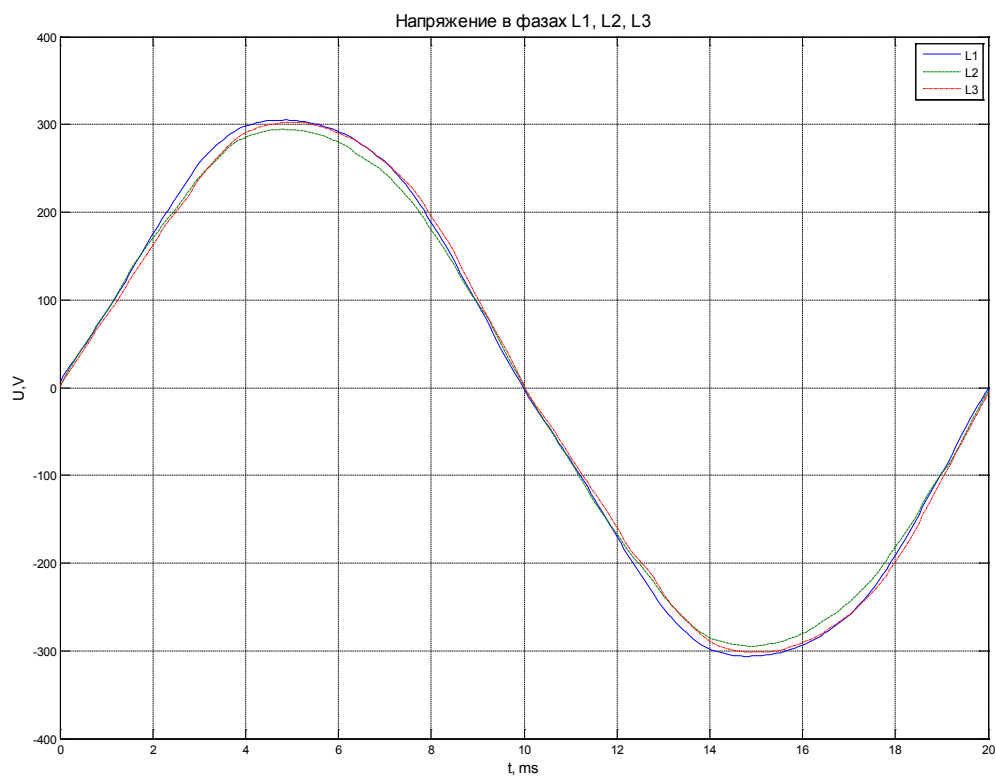


Рис. 2. Напряжение в фазах электрической сети, при симметричной активной нагрузке

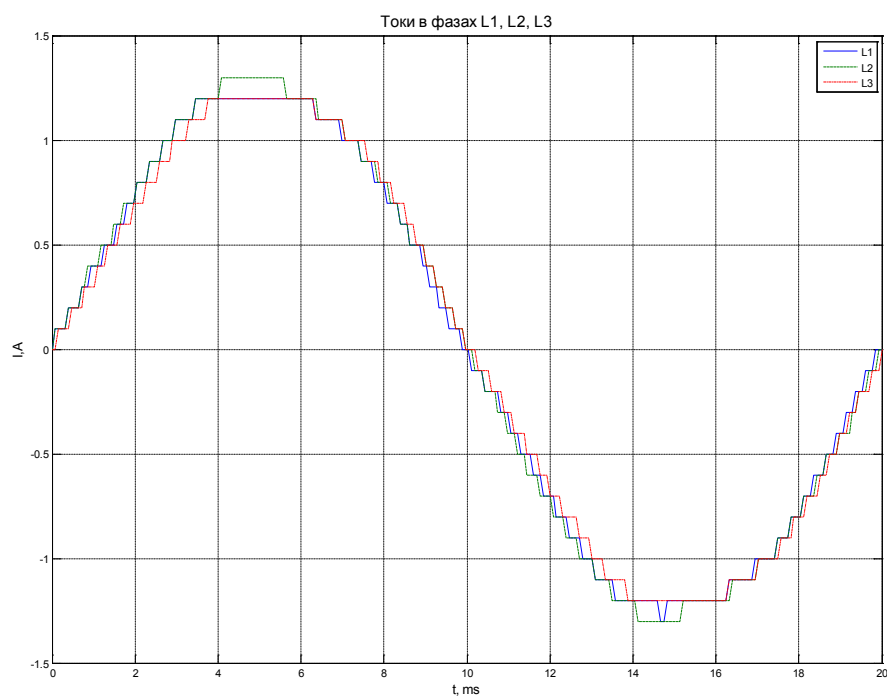


Рис. 3. Токи в фазных проводниках электрической сети, при симметричной активной нагрузке

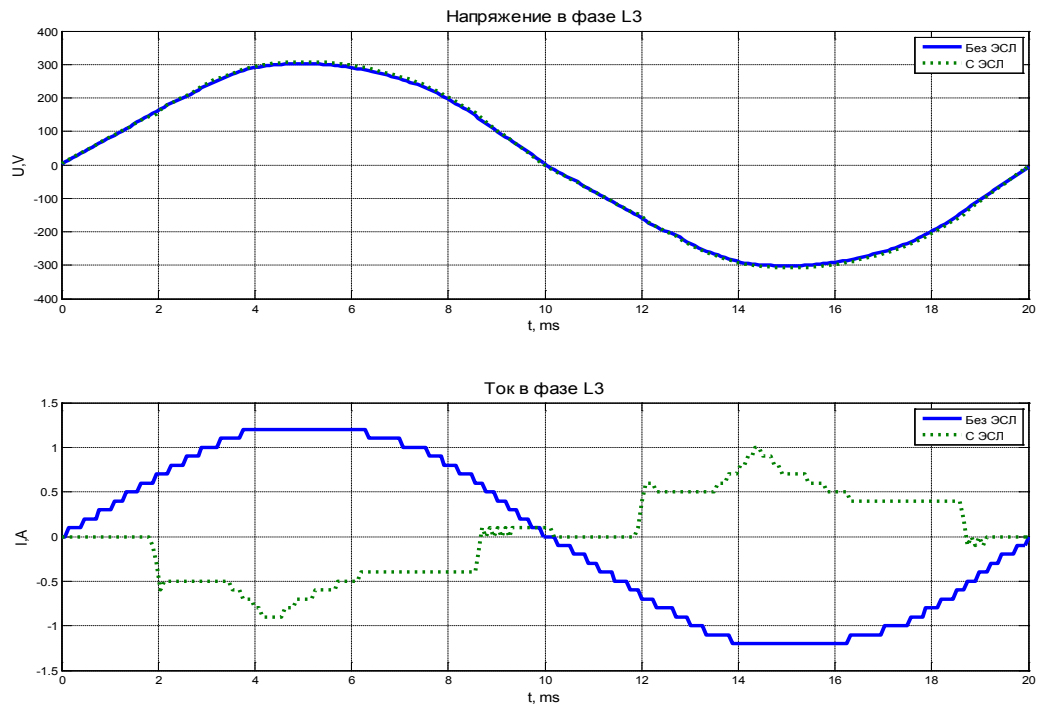


Рис. 4. Токи и напряжения в фазе L3 с энергосберегающей лампой (ЭСЛ) и без ЭСЛ

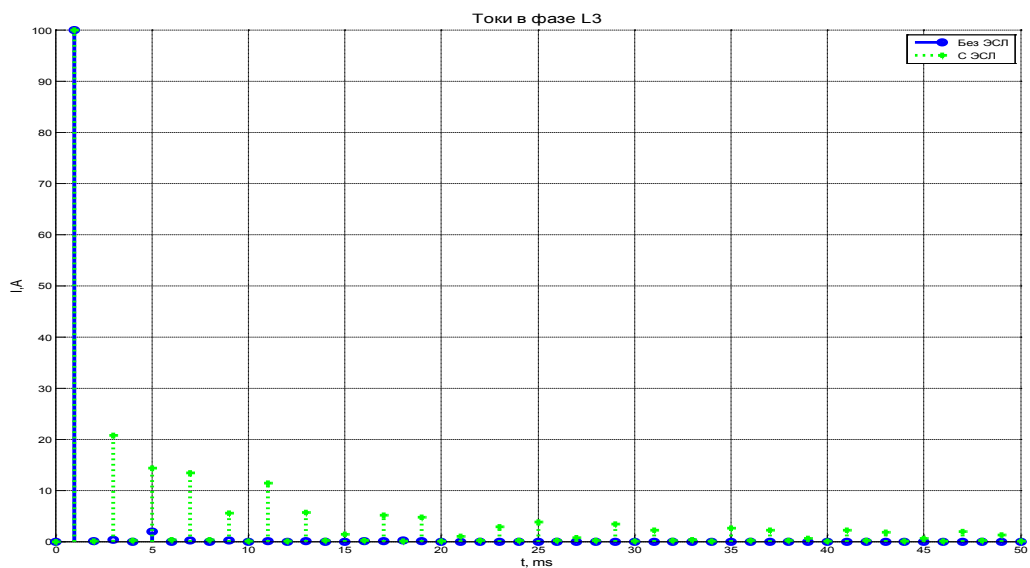


Рис. 5. Амплитудный спектр тока в фазе L3 с ЭСЛ и без ЭСЛ

Литература:

1. ГОСТ 13109–97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. [Текст] — М.: Стандартинформ — 2006—31 с.
2. Аронов Л.В., Васильева Т.Н. Методы исследования несимметрии и несинусоидальности тока и напряжения в сетях электроснабжения//Методы и устройства обработки сигналов в радиотехнических системах, межвузовский сборник научных трудов, выпуск 6, Рязань.: Изд-во РГРТУ, 2012

3. Аронов Л.В. Влияние несинусоидальности напряжения на дополнительные потери мощности в асинхронных двигателях//Особенности технического оснащения современного сельскохозяйственного производства [сборник]: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых 24–25 апреля 2012 г./Под редакцией к.с. х-н, доцента Стебакова В.А., к.т.н., доцента Гончаренко В.В. — Орел: Изд-во Орел ГАУ, 2012—480 с., ил.
4. Васильева Т.Н., Аронов Л.В. Потери от несинусоидальности//Сельский механизатор, №6, 2012, с. 31.

Обзор программных продуктов в области проектирования СВЧ управляющих устройств

Мусаева Ума Алиевна, кандидат технических наук, старший преподаватель
Дагестанский государственный технический университет

Исторически сложилось так, что разработка САПР на более высоких частотах часто осуществлялась путем развития более низкочастотных систем, поэтому ознакомление с последними представляет определенный интерес.

Следует отметить, что на первых этапах развития теории и методов расчета СВЧ — устройств значительные усилия прилагались к созданию их низкочастотных эквивалентных схем, расчет и анализ которых можно осуществлять путем применения низкочастотных САПР. Кроме того, в этих САПР были достаточно хорошо разработаны вопросы создания и идентификации моделей элементов. Все это также повышает интерес к низкочастотным САПР.

В настоящее время все большую популярность получают программные продукты в области проектирования ВЧ и СВЧ — устройств, предназначенных для исследования, синтеза и моделирования волноводных СВЧ — устройств, трехмерного электромагнитного моделирования объемных сверхвысокочастотных структур, исследования и проектирования цифровых полосных систем связи. Рынок программных продуктов САПР развивается быстро и динамично.

В статье кратко рассмотрены программные продукты в области проектирования СВЧ управляющих устройств, которые предназначены для:

- Исследования, синтеза и моделирования волноводных СВЧ-устройств;
- Проектирования планарных устройств ВЧ- и СВЧ-диапазона;
- Трехмерного электромагнитного моделирования объемных СВЧ-структур;
- Проектирование микросхем и антенн, работающих в СВЧ-диапазоне волн;
- Исследования и проектирования цифровых широкополосных систем связи, соответствующего оборудования и устройств и др.

В статье выполнен сравнительный анализ программного обеспечения, который начинается с пакета Sonnet Software, предназначенного для моделирования планарных СВЧ устройств. Пакет Sonnet Suites предназначен

для строгого электродинамического анализа пассивных многослойных планарных структур с достаточно большим количеством диэлектрических слоев и с произвольно сложной топологией металлизации, нанесенной на них. Количество портов, задаваемых в топологии структуры, также могут находиться внутри анализируемой структуры.

Это позволяет осуществлять стыковку результатов расчета пассивной части схемы, выполненных в среде Sonnet, с моделями активных элементов, представленными в какой-либо сторонней программе (например, Microwave Office) (рис. 1) [1].

Отмеченный выше Microwave Office компании AppliedWave Research, Inc. (AWR) (США), предназначен для проектирования планарных СВЧ-устройств. Имеется возможность разработки и моделирования линейных и нелинейных схем, 2.5D-электромагнитный анализ планарных структур, топологический редактор, наборы библиотек элементов.

Программа позволяет выполнять следующие виды анализа схем:

- Анализ на основе рядов Вольтера;
- Анализ смесителей;
- Метод линейного анализа, анализа шумов и переходных процессов;
- Одночастотный и многочастотный методы гармонического баланса.

В Microwave Office возможен анализ антенн в дальней зоне (диаграммы направленности RH CP, LHCP, EPhi и ETheta).

Программа представляет значительные графические возможности, которые позволяют наблюдать цветное трехмерное анимационное изображение токов высокой частоты (с отображением амплитуды и направления) (рис. 2).

Дополняют возможности программы диаграммы Смита, графики в прямоугольной и полярной системах координат, таблицы данных [2].

Интерфейс Sonnet основан на стандарте Windows, что является достаточно удобным для создания топологии анализируемых структур, задания их параметров и представ-

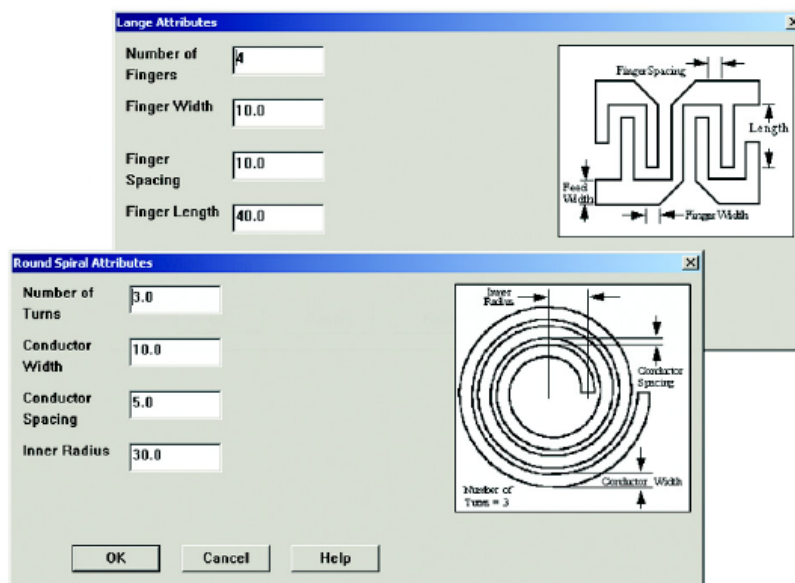


Рис. 1. Параметризуемые топологические примитивы Sonnet

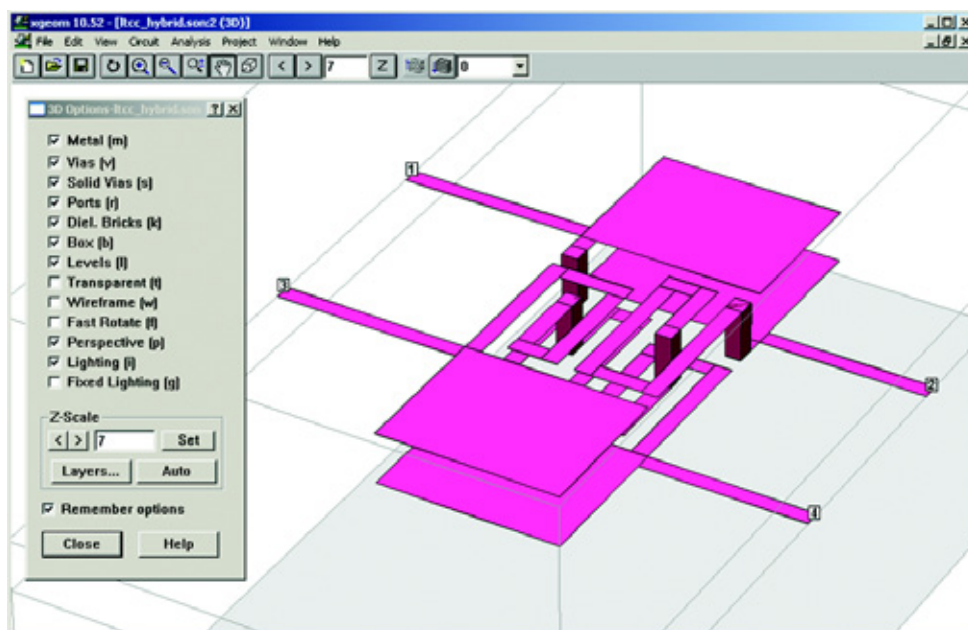


Рис. 2. Трехмерное представление анализируемой структуры в Sonnet

ления полученных расчетных результатов. В последних версиях Microwave Office предусмотрена возможность непосредственной связи топологии, созданной в EM Sight с Sonnet с помощью интерфейса EM Sight: топология рисуется в среде Microwave Office, а расчет ее производится посредством программы Sonnet. В Sonnet есть механизм ручного создания топологии и имеется возможность автоматического создания ряда примитивов, широко используемых в СВЧ. При создании топологии пользователем задаются лишь основные геометрические характеристики, а генерация топологии производится Sonnet в автоматическом режиме. Sonnet способен проводить расчет распре-

деления тока по поверхности анализируемой структуры. Результаты могут быть представлены в виде цветного изображения. Тем не менее, возможности вывода рассчитанных результатов в среде Sonnet немного ограничены по сравнению с пакетом Microwave Office. Также невозможно одновременно вывести на график рассчитанные амплитудную и фазовую характеристики, установить маркеры на заданную частоту, не предусмотрена возможность вывода на экран характеристик, определяемых пользователем.

В целом, интерфейс Sonnet является достаточно удобным для анализа и проектирования многослойных планарных схем.

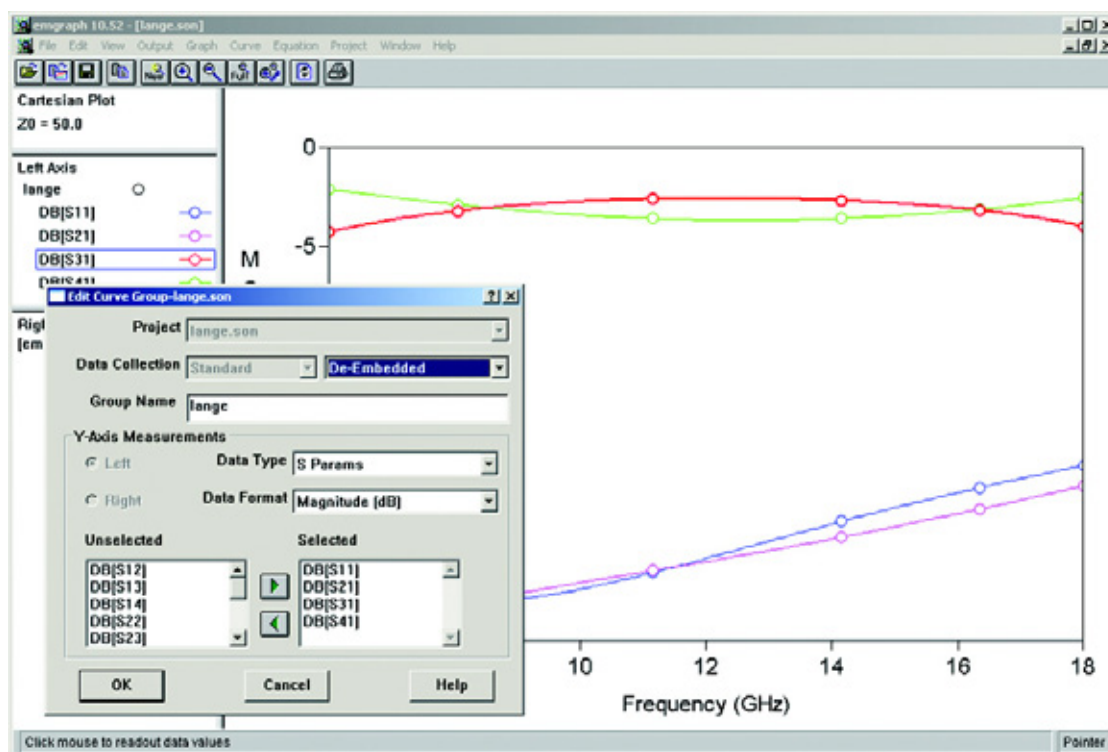


Рис. 3. Представление S-параметров в среде Sonnet

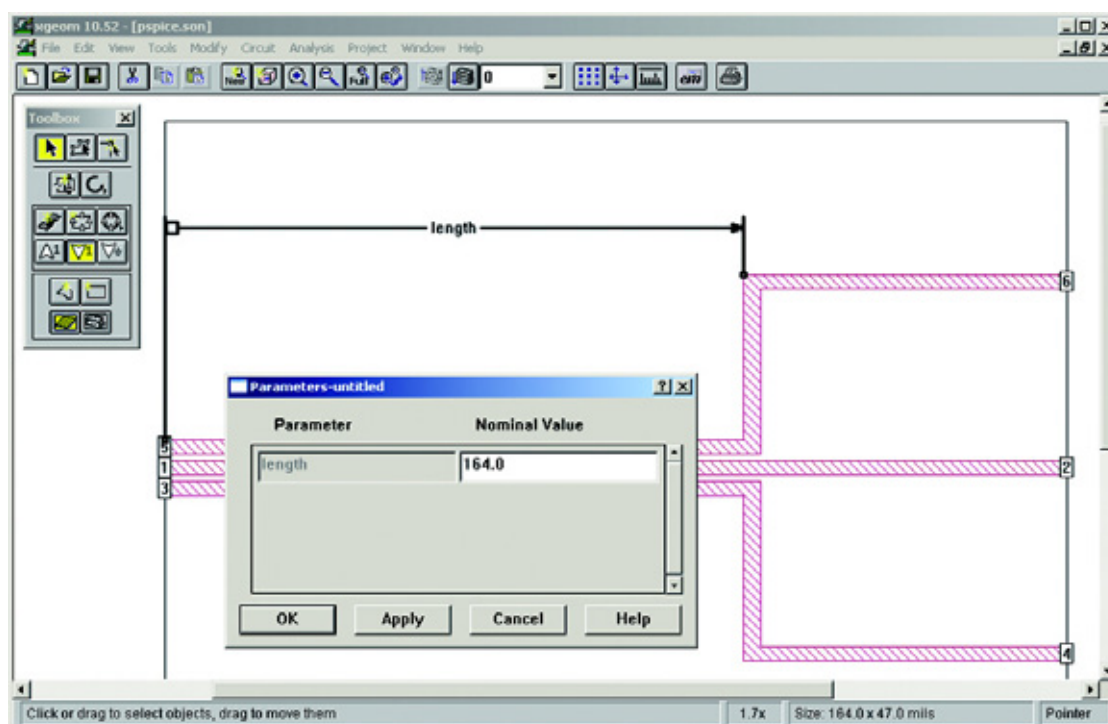


Рис. 4. Параметризация топологии в Sonnet

Другим достоинством программы Sonnet является способность проводить электродинамический анализ и оптимизацию структур, включающих в себя активные и пассивные элементы, описываемые матрицами S-параметров (рис. 3). [1]

Весьма полезной функцией программы Sonnet является возможность параметризации создаваемой топологии — описания геометрии создаваемых полигонов с помощью численных параметров (рис. 4).

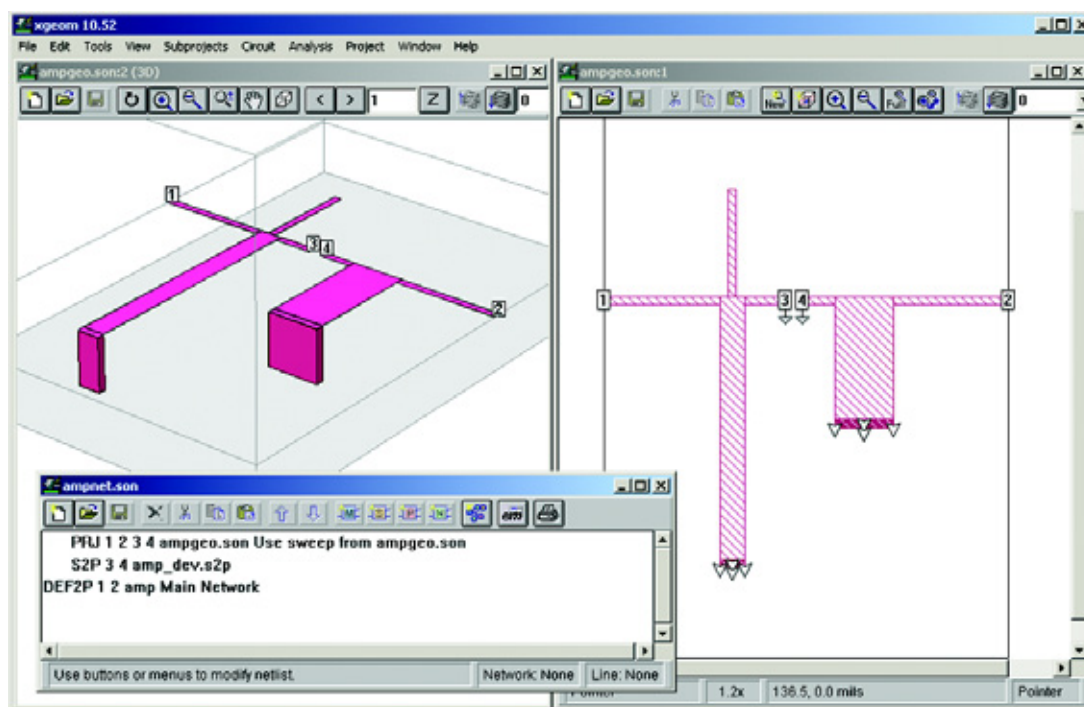


Рис. 5. Пассивная часть усилителя

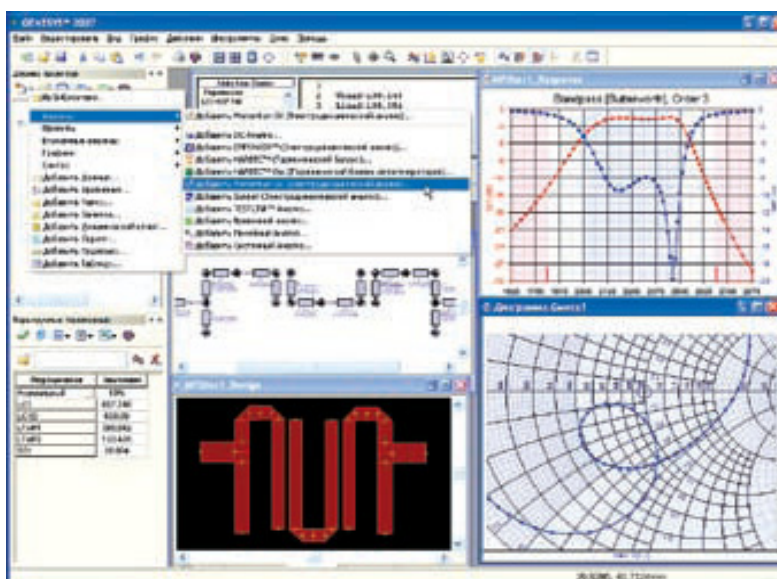


Рис. 6. Система Genesys с пользовательским интерфейсом на русском языке

Данная способность Sonnet позволяет проводить параметрическую оптимизацию электродинамических структур, что полностью отсутствует в аналогичных программах, и даже в Microwave Office.

В среде Sonnet имеется возможность проводить непосредственный расчет и оптимизацию схем, включающих в себя активные элементы, представляемые S-параметрами.

Данный подход существенно расширяет возможности Sonnet, поскольку обычный способ сопряжения пассивных и активных структур, заключающийся в передаче S-параметров в стороннюю программу (например

Microwave Office), является значительно более громоздкими не позволяет проводить оптимизацию созданной структуры. Недостатком подхода к объединению различных частей сложной системы, продемонстрированного на рис. 5, является невозможность расчета нелинейных узлов, а также его низкая наглядность. Более эффективное сопряжение программы Sonnet с линейными или нелинейными устройствами реализовано в пакете CST Design Studio.

Основными нововведениями в программе Microwave Office являются:

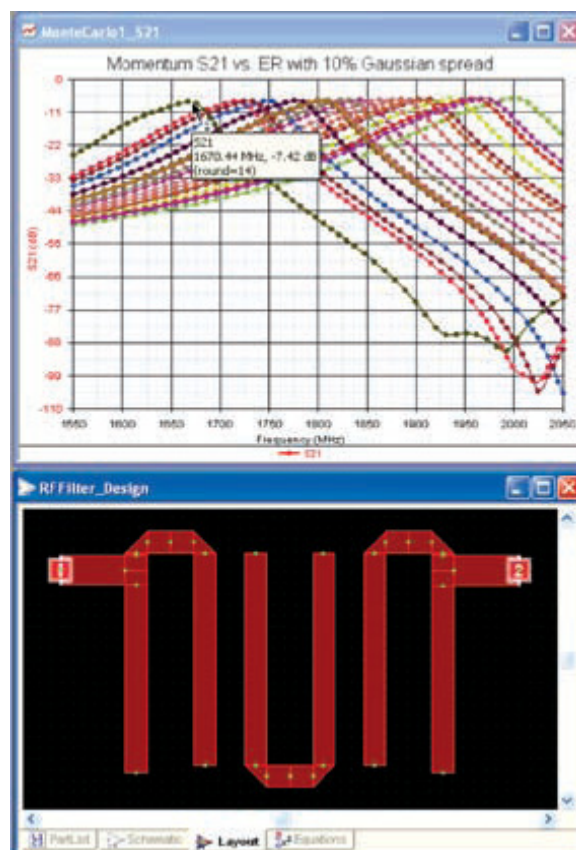


Рис. 7. Анализ влияния изменения диэлектрической постоянной на характеристики микрополоскового фильтра

— Усовершенствование доступа к библиотекам с описанием технологического доступа широкому кругу разработчиков и крупным компаниям. Платформа процесса Open Access Process Design Kits (OAPDK). С помощью прямой интеграции Microwave Office в OAPDK намного быстрее и проще разрабатывать ВЧ — и СВЧ — устройства различного типа и сложности (усилители, монолитные интегральные микросхемы);

— Моделирование устройств с постоянной выходной мощностью;

— Усовершенствование мастера согласования нагрузок (load-pull wizard). Усовершенствование заключается как в ускорении моделирования, так и в возможности вывода измеренной и оптимизированной нагрузки непосредственно на диаграмме Смита;

— Поддержка поведенческих моделей для систем Мезуро;

— Оптимизация дерева проекта с возможностью поддержки схемных решений и графиков.

На сегодняшний день, компания Applied Wave Research, выпустившая на мировой рынок САПР СВЧ устройств мощное интегрированное решение Microwave Office для проектирования планарных СВЧ устройств, значительно потеснило позиции ближайших конкурентов, таких как Ansoft и другие компании.

Большой интерес представляет программа Serenade, которая имеет топологически ориентированный графиче-

ский редактор схем, а также средства анализа и оптимизации линейных и нелинейных устройств СВЧ. [3]

Большинство разработчиков САПР радиочастотных и СВЧ — компонентов развивают свои продукты в двух направлениях:

- Расширение поддержки корпоративных разработок;
- Проектирование интегральных схем.

Система Genesys компании Agilent доступна широкому кругу разработчиков и крупным компаниям (рис. 6).

Платформа Genesys включает средства схемотехнического моделирования нелинейных схем и переходных процессов (Spice — моделирование), прогнозирования выхода годных, а также большую библиотеку стандартных навесных компонентов [4].

Среда Genesys поддерживает импорт чертежа топологии из систем сторонних производителей, в том числе и механических САПР. На этот чертеж можно наложить принципиальную электрическую схему и провести совместное электрическое и электромагнитное моделирование с учетом влияния паразитных эффектов. Такой маршрут проектирования делает возможным верификацию и доводку проекта с минимальными инвестициями в САПР. Во многих системах проектирования радиочастотных устройств делается акцент на поддержании постоянного соответствия между принципиальной схемой и топологией. Это не всегда удобно для разработчиков, которые имеют доступ только к механическим чертежным средствам, не-

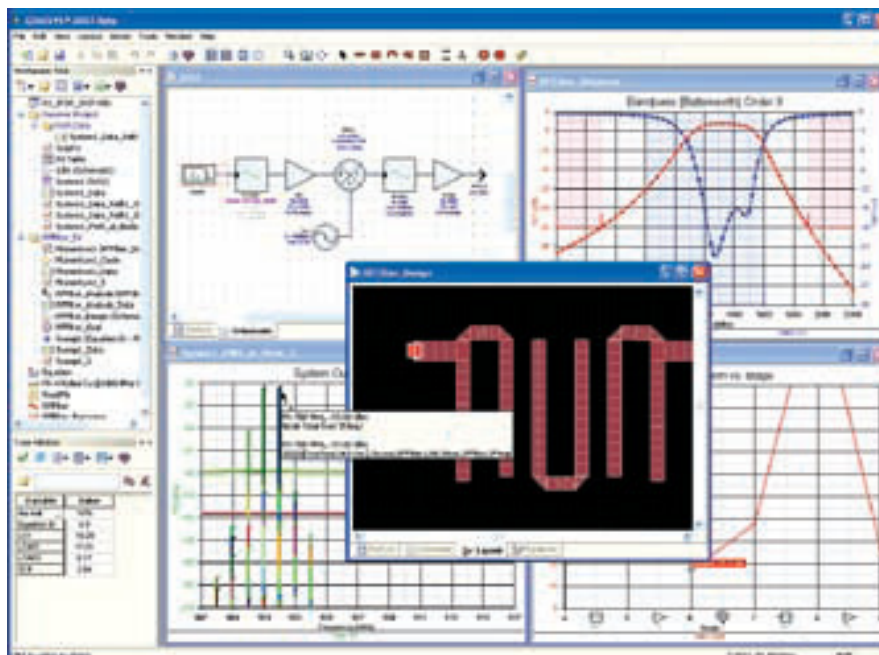


Рис. 8. Интеграция средств синтеза и электромагнитного моделирования на системном уровне

больших компаний, чей бюджет не позволяет обеспечить инфраструктуру и программные средства поддержания высокого уровня автоматизации. Оснащенная доступной высококачественной системой электромагнитного моделирования планарных схем и несколькими графическими трансляторами ввода/вывода, Genesys позволяет применять разнообразные инструменты проектирования топологии. Результаты проектирования топологии могут быть импортированы в систему, верифицированы и подготовлены к производству с учетом используемой технологии производства. Например (рис. 7), можно исследовать влияние диэлектрической проницаемости на работу микрополоскового фильтра.

Использование Momentum GX для верификации помогает избежать излишнего макетирования. Платформа Genesys в своем роде уникальна, поскольку дает возможность синтезировать фильтры и другие пассивные структуры непосредственно из блок-схемы радиочастотной си-

стемы на системном уровне. С введением Momentum GX характеристики синтезированных фильтров и межсоединений могут быть проанализированы на системном уровне с точностью электромагнитного моделирования и с учетом паразитных эффектов.

Система Genesys всегда считалась быстрым и простым средством синтеза и проектирования линейных схем. После перехода к компании Agilent система была усовершенствована. Сегодня Genesys позиционируется как недорогая платформа проектирования (стоимость порядка 15 тыс. долларов), ориентированная на разработчиков, работающих в условиях самообеспечения, небольших рабочих групп, проектирующих традиционные радиочастотные и СВЧ-устройства. С введением в систему программы электромагнитного моделирования Momentum GX перед такими разработчиками открываются возможности, которые раньше были доступны только пользователям дорогих САПР.

Литература:

1. Моделирование СВЧ-устройств средствами Sonnet. Титаренко А. Журнал www.chip-news.ru. стр.56–59/
2. Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы, 2007, № 2 (30) II секция «Перспективные информационные технологии» стр. 25–32. статья называется «Программные продукты СВЧ ВЧ и СВЧ-устройств». В.В. Лисяк, М.В. Лисяк, Н.К. Лисяк.
3. Система математического моделирования и проектирования СВЧ – устройств и ФАР – «Lambda MDS». Батов П.Л. и др. Журнал «Антенны», № 5, 2008.
4. САПР СВЧ-устройств Genesys компании Agilent. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. № 7/2007, с. 94–96.

Анализ конструкций непрерывной обмотки силового масляного трансформатора

Ульянова Ольга Александровна, студент;

Третьякова Марина Николаевна, кандидат педагогических наук, доцент

Тольяттинский государственный университет

В силовых масляных трансформаторах в качестве обмоток высокого и среднего напряжения широко используются непрерывные катушечные обмотки.

Классическая непрерывная катушечная обмотка состоит из ряда расположенных в осевом направлении и соединенных последовательно катушек. [1] Каждая катушка состоит из нескольких витков, намотанных по плоской спирали с радиальными охлаждающими каналами между ними (см. рис. 1). Характерной особенностью таких обмоток является то, что они наматываются без разрыва провода и не имеют отпаек. Все переходы из одной катушки в другую выполняются кратчайшим путём в направлении внутренней или внешней образующей обмотки. В результате у одной из пары соседних катушек началом является внешний виток, а у другой — внутренний [2].

Отличительной чертой непрерывной обмотки стандартного исполнения является наличие радиальных каналов между катушками, образуемых за счёт применения специальных прокладок. Этот тип обмоток находит широкое применение в трансформаторостроении, поскольку они наиболее стойки к механическим деформациям при коротких замыканиях, а так же имеют хорошую теплоотдачу за счёт циркуляции масла по радиальным и аксиальным каналам охлаждения (см. рис. 2).

Однако в настоящее время на передовых трансформаторных заводах, кроме стандартной непрерывной об-

мотки применяют другой тип её конструктивного исполнения (см. рис. 3).

Схема намотки данной обмотки представлена на рис. 4. Среди производителей трансформаторов её принято называть обмоткой «Смит». В ней в отличие от рассмотренной выше непрерывной обмотки традиционного исполнения количество вертикальных каналов зависит от числа витков в катушке. Отдельные катушки в такой обмотке располагаются вплотную друг к другу.

Движение масла в рассматриваемой обмотке осуществляется только по аксиальным каналам рис. 5.

Очевидно, что если число витков в катушке не велико, то теплоотдача такой обмотки будет меньше, по сравнению с непрерывной обмоткой стандартного типа.

Проведенный расчет показал, что в трансформаторе АТДЦТН-250000/230/121 обмотка ВН должна иметь 140 катушек, число витков в каждой из которых равно трём. При этом в стандартной обмотке формируется 138 радиальных и 2 аксиальных канала, а в обмотке «Смит» всего два вертикальных канала. Понятно, что этого количества недостаточно для обеспечения допустимого превышения температуры масла над температурой обмотки. Кроме того при использовании данной обмотки нельзя регулировать её высоту, как это делается в стандартной конструкции за счёт имеющихся радиальных каналов.

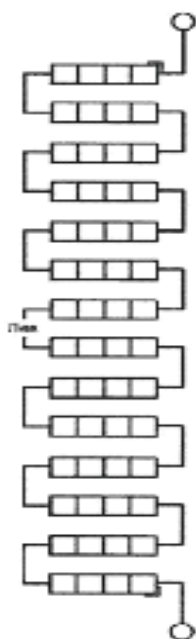


Рис. 1. Схема непрерывной катушечной обмотки

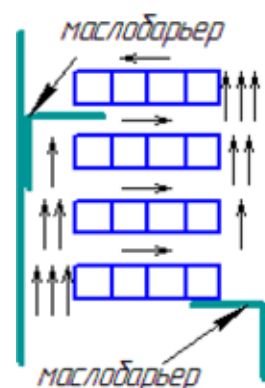


Рис. 2. Схема циркуляции масла в непрерывной катушечной обмотке



Рис. 3. Намотка непрерывной катушечной обмотки «Смит»

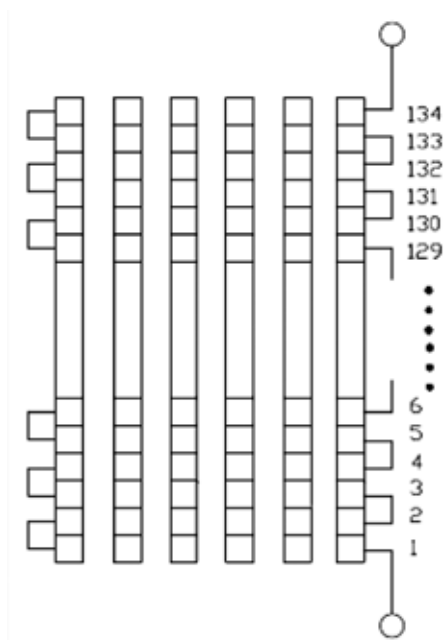


Рис. 4. Схема обмотки «Смит», состоящей из 134 катушек по 6 витков и 5 охлаждающих каналов

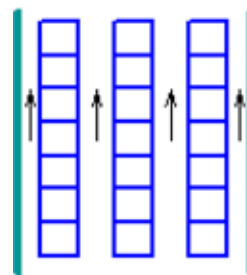


Рис. 5. Схема циркуляции масла в обмотке «Смит»

Однако при большом количестве витков в катушке обмотка «Смит» имеет преимущества по сравнению с традиционной конструкцией [3]:

- Равномерное тепловыделение;
- Эффективное использование охлаждающего пространства;
- Повышение технологичности;

- Высокий коэффициент заполнения обмоток;
- Высокая устойчивость к токам короткого замыкания за счёт индивидуальной фиксации обмоток особыми стопорами.

На указанные достоинства непрерывной катушечной обмотки «Смит» стоит обратить внимание при проектировании современного силового масляного трансформатора.

Литература:

1. Тихомиров О.М. Расчет трансформаторов: Учебное пособие для вузов. 5-е изд., перераб и доп. — М: Энергоатомиздат, 1986—528 с.
2. Лизунова С.Д. Лоханина А.К. Силовые трансформаторы: Справочная книга. — М: Энергоиздат, 2004—616 с.
3. http://www.pwr-tech.ru/userfiles/file/Smit_Company_presentation_rus.pdf

6. МЕТАЛЛУРГИЯ

Пути повышения эффективности температурного режима коксовых батарей

Зублев Дмитрий Геннадиевич, кандидат технических наук
ООО «НПП Донтехэксперт» (Украина)

Изучено влияние факторов, вызывающих понижение температуры за время между кантовками на поду вертикалов, работающих на нисходящем потоке. Предложены на этой основе технические решения по улучшению температурного режима обогрева коксовых батарей.

Ключевые слова: кокс, печь, обогрев, температура.

Температурный режим обогрева коксовых батарей, наряду со свойствами угольной шихты, оказывает существенное влияние на ход процесса коксования, что проявляется в значительных изменениях качества и выхода кокса и химических продуктов коксования [1, 2].

Условием оптимальности температурного режима является равномерный прогрев угольной загрузки в каждой печи коксовой батареи [3–6]. Для осуществления контроля за температурным режимом производят замеры температур в контрольных и крайних вертикалах машинной и коксовой стороны, замеры температуры вдоль всех обогревательных простенков, по оси коксового пирога перед его выдачей, в подсводовом пространстве камер коксования, в «глазках» регенераторов, в газовоздушных клапанах и борах.

Периодичность измерения температуры в отопительных каналах установлена в Правилах технической эксплуатации КХП [3]. При замере температуры нить лампы пирометра наводят на кладку пода вертикала между косыми ходами и горелкой. Это место выбрано в связи с его наиболее удобной доступностью для замера.

Температуры в контрольных вертикалах измеряются ежесменно и являются основным показателем температурного режима коксовой батареи. В связи с тем, что после кантовки температура в вертикалах, работающих на нисходящем потоке, постепенно понижается, а одновременно замерить температуры во всех контрольных вертикалах нет возможности, измеренные температуры приводятся к единому условному периоду — 20-й секунде после кантовки. Для этого предварительно при регулировке обогрева производят замер падения температур за время между кантовками отдельно для контрольных вертикалов машинной и коксовой стороны согласно методике, описанной в [6]. Затем разбив отопительные простенки на участки, внутри которых падение температур между отдельными вертикалами отличается незначительно, вычисляют поправку к 20-й секунде для данного участка с учётом времени замера.

Согласно [6] величина падения температуры зависит от:

- вида отопительного газа;
- температуры нагрева кладки;
- продолжительности периода между кантовками;
- степени рециркуляции;
- коэффициента избытка воздуха;
- количества воздуха, подаваемого на обезграфичивание и прочих технологических факторов.

Необходимость подачи воздуха на обезграфичивание вызвана постоянным разложением компонентов отопительного коксового газа при нагревании в горелках, в дюзовых каналах и корнюрах при работе вертикалов на восходящем потоке. Однако величина воздуха, подаваемого на обезграфичивание, в процессе эксплуатации коксовых батарей практически не контролируется, никогда не измеряется и изменяется по мере засорения газоподводящей арматуры. Воздух через горелку поступает в вертикал, работающий на нисходящем потоке, и через косые ходы сразу же уходит в регенератор вместе с продуктами горения. Вследствие этого на протяжении всего времени между кантовками происходит охлаждение пода вертикала за счёт движения воздуха. Причём степень охлаждения может существенно колебаться от простенка к простенку в зависимости от нескольких технологических факторов:

- чистоты газоподводящей арматуры;
- размеров отверстий в газоподводящей арматуре для подачи воздуха на обезграфичивание;
- величины разрежения в подсводовом пространстве регенераторов коксовых батарей с боковым подводом отопительного газа и в подовых каналах коксовых батарей с нижним подводом отопительного газа;
- размеров регулировочных средств, дозирующих подачу коксового газа в вертикал (горелки на коксовых батареях с боковым подводом и регулировочные сопла на коксовых батареях с нижним подводом).

При этом далеко не всегда во всех контрольных вертикалах отопительных простенков (в том числе и крайних

простенков) установлены одинаковые горелки или регулировочные сопла, а также регистры в косых ходах. В связи с этим при одинаковой температуре пода контрольных вертикалов, но при различном объёме воздуха для обезграфичивания, распределение температур по высоте отопительных каналов может существенно отличаться друг от друга. Поэтому замер температуры на поду между горелкой и косыми ходами может способствовать неодинаковой подаче тепла в коксую загрузку и, соответственно, приводить к получению неоднородного по своим технологическим свойствам кокса в различных камерах коксования.

Замеры температур в крайних вертикалах и вдоль отопительных простенков не приводятся поправками к 20-й секунде [3]. Однако в этом случае также может иметь место различие в количестве подаваемого тепла в коксую загрузку напротив одноимённых вертикалов по тем же причинам. Это относится в равной степени как к печам с боковым подводом, так и к печам с нижним подводом в виду того, что закономерность расстановки регулировочных сопел на батареях с нижним подводом, как правило, идентична закономерности расстановки горелок на батареях с боковым подводом.

В связи с этим с целью оптимизации температурного режима коксовых батарей и приведения замеров температур к одинаковым условиям предлагается изменить порядок их проведения.

Для замеров температур в контрольных вертикалах предлагается наряду с традиционным замером температуры на поду периодически производить замер температур у перевального окна в вертикалах восходящего потока при помощи хромель-алюмелевых термопар, как это делается при разогреве батареи.

При проведении замеров температур в крайних вертикалах и по длине обогревательных простенков предлагается исключить подачу воздуха для обезграфичивания путём отключения лебёдки декарбонизации за определённое время до их начала.

В практике уже имелись случаи автоматизации обогрева коксовых батарей [7–10] на основе выбора других параметров контроля за температурным режимом, однако они не получили по настоящее время широкого распространения в виду сложного их технического оформления. Поэтому контроль за температурным режимом коксовых батарей можно вести, например, и по температуре пода вертикалов, измеряя её пирометром, и по температуре продуктов горения в районе перевальных окон, измеряя её хромель-алюмелевыми термопарами (т. е. комбинированным способом). Это позволит полностью исключить существенные колебания в подаче теплоносителя между отдельными обогревательными простенками, что, в конечном итоге положительно отразится на качестве кокса.

Литература:

1. Шевченко Н.С. Зависимость качества кокса от температурного режима коксования // Кокс и химия. — 1957. — № 2. — с. 24–30.
2. Определение готовности коксового пирога в период выдачи / Лейбович Р.Е., Робул Л.А., Лысый И.Д. и др. // Металлургия и коксохимия. — 1981. — Вып. 73. — с. 23–25.
3. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. — Харьков, 2001. — 309 с.
4. Смойловский Н.И., Израэлит Э.М. Теплотехника и гидравлика коксовых печей. — М.: Металлургия, 1977. — 208 с.
5. Вирозуб И.В., Кустов Б.И. Тепловой режим коксовых печей. — Харьков: Металлургиздат, 1960. — 237 с.
6. Вольфовский Г.М., Мироненко Л.И., Кауфман А.А. Газовщик коксовых печей. — М.: Металлургия, 1989. — 190 с.
7. Потрашков В.И., Краснополюсовский В.М., Иващенко В.А. Система автоматического контроля температур в обогревательных простенках // Кокс и химия. — 1987. — № 11. — с. 57–59.
8. Журавский А.А., Корницкий В.В., Проненко В.П. и др. Автоматический контроль температурного режима коксовых батарей // Кокс и химия. — 1995. — № 2. — с. 7–10.
9. Панкратьев О.Н., Морозова К.О., Абрамочкин С.Н. и др. Состояние работ в области создания автоматизированных систем управления технологией коксования // Кокс и химия. — 1989. — № 1. — с. 42–47.
10. Гербали С.Н., Журавский А.А. Экспертная система для стабилизации технологических режимов коксования // Кокс и химия. — 2000. — № 2. — с. 40–43.

Влияние методов отбора и анализа на оценку золотых запасов

Низов Василий Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Лисиенко Дмитрий Георгиевич, кандидат химических наук, доцент;

Бакиров Альфит Рафитович, аспирант

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург)

Надежность оценки содержания благородных металлов в материалах составляет едва ли не основную проблему технико-экономических расчетов, предполагаемых к разработке проектов, действующих технологий и спорных ситуаций в межотраслевых отношениях при производстве конечных продуктов по кооперации [1].

На стадии оценки рудопроявлений отсутствие объективных данных о концентрации благородных металлов в рудах ведет к недооценке стоимости участка недр, в то же время, при их известных содержаниях и ресурсах, но без данных о форме их нахождения — нередко к их переоценке (из-за преобладания «упорного» — трудно вскрываемого золота и других металлов). В частности, по запасам накопленного металла хвостохранилища горно-обогаительных комбинатов (Гайского, Учалинского) могут сопоставляться с крупными месторождениями золота. В то же время до 87 % Au относится к его состоянию в невидимой (упорной) форме, чем объясняются технологические проблемы извлечения [2].

Одной из основных причин получения недостаточно достоверных данных при низких содержаниях компонентов является применение при анализе непредставительных навесок.

Можно оценить представительную навеску исходя из требований к точности опробования основываясь на следующих соображениях. Пусть в навеске массой m находится n частиц, содержащих определяемый элемент. Тогда стандартное отклонение δ , характеризующее рас-

хождение в числе частиц в разных навесках будет равно \sqrt{n} , а

его относительное значение $V = 1/\sqrt{n}$. Число частиц в навеске можно оценить исходя из массовой доли элемента C , плотности частиц минерала d и их линейного размера a , как:

$$n = \frac{C \cdot m}{a^3 \cdot d}.$$

Отсюда следует, что минимальная представительная навеска, отвечающая заданным требованиям по точности пробоотбора V оказывается равной:

$$m_o = \frac{a^3 \cdot d}{C \cdot V^2}.$$

Если принять $d=4$ г/см³, $C=1$ г/т и задать $V=0,1$, то при размере частиц минерала 10 мкм представительная навеска m_o будет равна 400 г. Таким образом, важным средством повышения достоверности определения ком-

понентов при их концентрациях 1 г/т и ниже является применение при анализе больших навесок на уровне сотен граммов. Действительно, при максимальном размере частиц рудного материала 0.15–0.074 мм при неравномерно распределенном и крупноразмерном золоте оптимальная масса лабораторной пробы должна быть 2 кг, и дальнейшее ее сокращение не рекомендуют, так как доизмельчение, которое обычно применяют для уменьшения представительной навески, в случае свободного и ковкого золота оказывается не эффективным [3]. В пробирном анализе при содержаниях золота 1 г/т и менее рекомендуют использовать аналитическую навеску не менее 100 г.

Для примерной оценки возможных форм нахождения золота в сульфидах используются данные рационального (фазового) анализа (Лодейщиков, 1999), обычно используемого в отечественной практике оценки технологических свойств золотосодержащих руд и в настоящее время в полноформатном варианте выполняемого лишь единичными лабораториями страны для представительных навесок (1 кг) из технологических проб руд. В основе методики лежит различная химическая устойчивость форм золота, ассоциируемого с сульфидами и силикатами, при их растворении. Относительно крупное свободное золото извлекается из руды амальгамацией, мелкое самородное золото в тонких сростках с сульфидами — цианированием, тонкодисперсное (вероятно, в основном, структурно-связанное) золото в сульфидах извлекается цианированием после разложения нерастворенного цианидом остатка в азотной кислоте («упорное» золото). Описанный прием оценки форм нахождения золота имеет естественные ограничения, обусловленные тем, что степень химической экстракции золота определяется не только его минеральной формой и крупностью частиц, несущих металл, но и разной степенью доступности субмикроскопических выделений минералов золота для контакта с химическим реагентом, в частности в зависимости от наличия микрон неоднородностей (пор, микротрещин, дефектов кристаллической решетки минерала-хозяина) в структуре вмещающих сульфидов и силикатов [4].

Таким образом, аналитические возможности исследований крайне затруднены заведомо неизвестным распределением фрагментов содержащих золото в общей массе материала. Это обуславливает также резкое различие результатов анализа одних и тех же объектов, выполненных различными методами, о чем свидетельствуют данные представленные в заимствованной таблице 1 [5].

Таблица 1

Содержание золота (в г/т) в коре выветривания Суран-Ишлинской площади
по результатам изучения различными методами

ЦНИГРИ					Полевской ХТЦ
№проб	пробирный	Атомно-абсорбционный	Масс-спектрометрический	количественный	пробирный
65/76– 65/77	1,54	0,70	3,24	Среднее 0,75	н/о
			0,01		
			0,37		
			0,12		
			0,02		
65/78– 65/79	0,32	2,07	0,003	Среднее 1,76	н/о
			0,12		
			0,03		
			8,11		
			0,53		
68/45				1,64	н/о
68/46				0,15	н/о
67/240				5,31	н/о
67/300				27,29	н/о
53/270				1,50	н/о
56/150				0,90	н/о
56/186				3,05	н/о
51/85				0,31	

Таблица 2

Сравнение результатов анализа образцов

№образца	Au, ppm		Ag, ppm	
	пробирный	представленный	пробирный	представленный
1	1	1,54	10,4	5,7
2	1	1,05	10,2	5,2
3	1	5,11	10,8	7,1
4	0,7	1,35	11,9	4,3
5	1	2,02	17,0	14,9

В настоящей работе для повышения надежности заключений о составе материала и выявлении доли «упорного» золота предложена следующая методика. Образец материала, массой 0,3 кг с крупностью зерна менее 0,3 мм подвергали последовательному четырехкратному выщелачиванию тиомочевинным сернокислым раствором при соотношении Т:Ж = 1:2,5 [6]. Полученные растворы содержали легко вскрываемое «свободное» золото. Затем твердую фазу отделяли и подвергали обработке в микроволновой печи с мощностью СВЧ поля 0,1–0,4 кВт в течение 15 мин, длина волны 0,12 м. Контроль процесса по инфракрасному пирометру исключал перегрев материала выше 250°C. СВЧ обработка материала способствует образованию пор, микротрещин, развитию дефектов кристаллической решетки минерала-хозяина, в результате чего «упорное» золото становится доступным для воздействия реагента. Далее следовал повторный цикл четырех-

стадийного выщелачивания в тиомочевинном растворе. Всего проводили три цикла: первый без обработки в СВЧ поле, два последующих с обработкой в СВЧ поле. Полученные после выщелачивания растворы анализировали масс-спектрометрическим методом с индуктивно-связанной плазмой в качестве источника ионов, обеспечивающим низкие пределы обнаружения большинства элементов. Перед проведением определений для снижения общей солевой концентрации растворы разбавляли в 10 раз бидистиллированной водой.

Анализ выполняли на масс-спектрометре ELAN 9000 в следующем режиме — мощность, подводимая к плазме 1,40 кВт; расход плазмообразующего аргона 15 дм³/мин; расход вспомогательного аргона 1,0 дм³/мин; расход распыляющего аргона 0,9 дм³/мин; расход раствора 1,5 см³/мин. Использовали поперечно-поточный пневматический распылитель с камерой Скотта, режим настройки

линз Auto Lens, число параллельных наблюдений за экспозицией — 2. Для градуировки спектрометра использовали градуировочные образцы на основе раствора для выщелачивания, в который вводили стандартные растворы золота и серебра, приготовленные из чистых металлов растворением в царской водке и азотной кислоте соответственно. Определение вели по ионам изотопов Au-197, Ag-107, Ag-109.

Результаты аналитических определений в первом цикле четырехкратного выщелачивания суммировали для определения концентрации золота «свободного» в исходном материале. Результаты аналитических определений во втором и третьем циклах так же суммиро-

вали для определения доли «упорного» золота. Остаток твердой фазы после полного цикла подвергали штатной процедуре пробирного анализа для контроля за полнотой извлечения золота. В таблице 2 сведены результаты анализа образцов, отобранных с шламохранилища Гайского ГОКа по представленной выше методике и классическим пробирным методом.

В качестве иллюстраций возможностей предложенной методики приводим распределение концентраций золота и серебра в растворах выщелачивания для четырех образцов пиритных хвостов флотации Гайского ГОКа Рис. 1, 2 и твердой фазы флотоконцентрата Березовской ЗИФ. Рис 3, 4



Рис. 1. Распределение золота в растворах выщелачивания с низкотемпературной обработкой в СВЧ поле (образцы Гайского ГОКа)

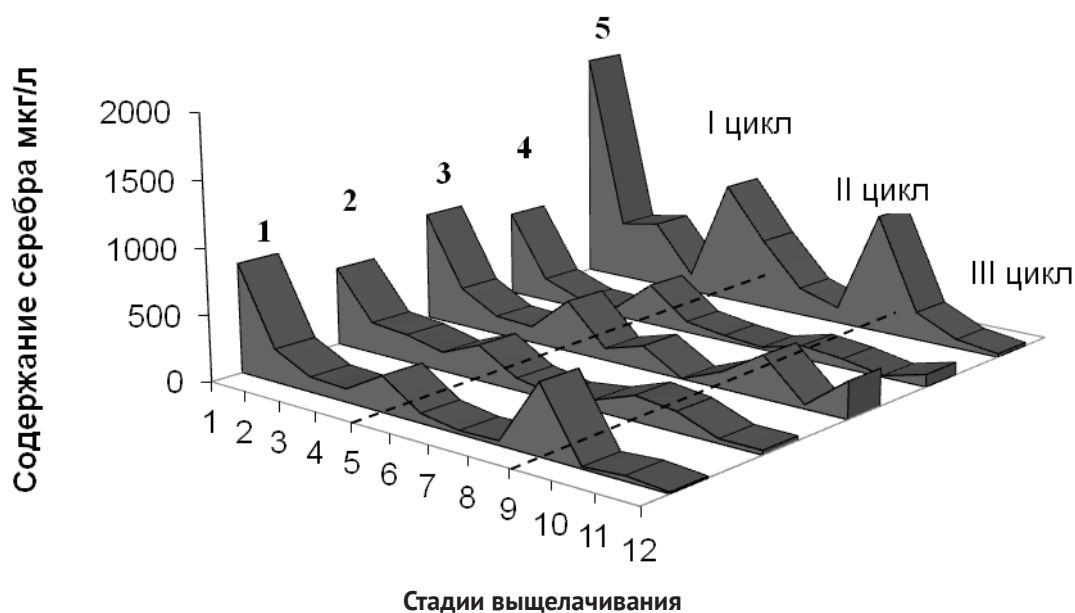


Рис. 2 Распределения серебра в растворах выщелачивания с низкотемпературной обработкой в СВЧ поле (Образцы Гайского ГОКа)



Рис. 3. Распределение золота в растворах выщелачивания с низкотемпературной обработкой в СВЧ поле (Березовская ЗИФ)

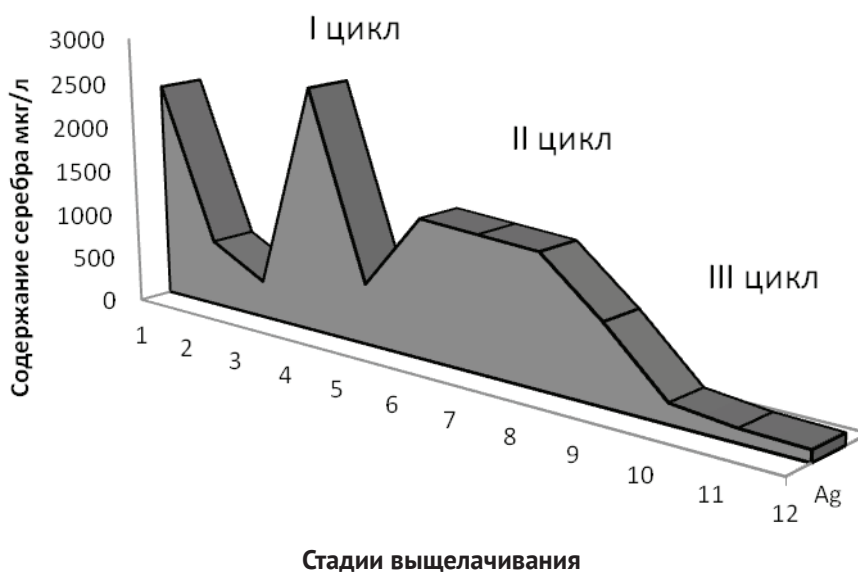


Рис. 4. Распределения серебра в растворах выщелачивания с низкотемпературной обработкой в СВЧ поле (Березовская ЗИФ)

Из представленных зависимостей на рисунках видно, что значимые различия в результатах оценки содержания золота в образцах пиритных хвостов флотации Гайского ГОКа объясняются, как микронеоднородностью материала, так и присутствием золота в виде «упорных» изолированных для доступа выщелачивающего агента форм. Обработка в СВЧ поле приводит к возникновению дефектов в структуре материнской фазы, после чего процесс выщелачивания «упорного» золота значительно интенсифицируется. Результаты исследований образца Березов-

ской ЗИФ обнаруживают значительно-меньшее содержание «упорного» золота.

Об эффективности предложенных к реализации технических решений в процессе подготовки материальных объектов к процедуре аналитического определения содержания благородных металлов можно судить по результатам исследований образцов пиритных хвостов, представленных в Таблице 3.

Таким образом, представленная выше методика определения золота из увеличенных навесок позволяет более до-

Таблица 3

Процентное содержание компонентов, доступных для выщелачивания без облучения

Компонент	№ образца					
	1	2	3	4	5	6*
Ag	56,63	57,12	49,36	56,92	48,91	73,6
Au	43,76	31,06	9,91	17,45	78,37	96,1

* — образец Березовской ЗИФ.

стоверно оценивать запасы в сырье с малым содержанием золота и техногенных образований. Кроме того, использо-

вание данного подхода может представлять большую практическую ценность для выбора технологий переработки.

Литература:

1. Игнаткина В.А., Бочаров В.А. Комплексное обогащение пиритных золотосодержащих руд цветных металлов // Цветные металлы. 2007. №8, с18–23.
2. Бортников Н.С., Кабри Л., Викентьев И.В. и др. Невидимое золото в сульфидах современных сульфидных построек // Геология руд. месторождений. 2003. Т.45. №3. С. 232–245.
3. Пробоотбирание и анализ благородных металлов. Справочник, под ред. Барышникова И.Ф. Москва, Металлургия, 1978, с 334
4. Лодейщиков В.В. Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. Иркутск: ИРГИРЕДМЕТ, 1999. 342 с
5. И.В. Высоцкий 1, С.Г. Ковалев Проблема достоверности определений благородных металлов. Геологический сборник №8. Информационные материалы Институт геологии Уфимского научного центра РАН с. 145–153.
6. Колпакова Н.А., Поцяпун Н.П., Буйновский А.С. Выщелачивание тиокарбамидом тонкодисперсного золота из упорных руд, активированных электрическими разрядами в жидкости // Цветные металлы №4, 2006, 47–49 с.

Технология очистки отходящих газов высокоамперных алюминиевых электролизеров

Пятернева Александра Алексеевна, студент;

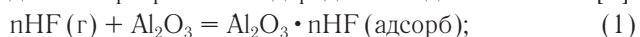
Власов Александр Анатольевич, кандидат технических наук, ассистент;

Бажин Владимир Юрьевич, кандидат технических наук, доцент

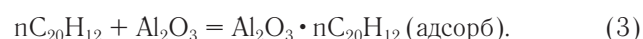
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (г. Санкт-Петербург)

Во время электролиза криолит-глиноземного расплава происходит выделение как газообразных, так и твердых фторидов: HF, CF₄, C₂F₆, SiF₄, SO₂, H₂S, CS₂, COS, CO₂, CO, H₂O, HC, а также угольную, криолитовую, глиноземную пыль и смолистые вещества [1]. Основная часть этих газов собирается в системе газоотсоса и направляется в реакторы сухой очистки газов, где в качестве сорбента используется металлургический глинозем.

Технология улавливания фтористого водорода в системе сухой газоочистки основана на способности глинозема поглощать фтористый водород. В реакторе-адсорбере в режиме аэровзвеси, происходит процесс соединения фтористого водорода с оксидом алюминия [2]:



Одновременно происходит адсорбция оксидом алюминия полициклических ароматических углеводородов:



В рукавных фильтрах при прохождении очищаемых газов через слой глинозема, осевшего на материале, продолжается процесс очистки газов.

В результате образуется фторированный глинозем, который возвращается в электролизеры как источник сырья оксида и фторида алюминия. Это обеспечивает практически полную утилизацию уловленных фторидов без дополнительной переработки. Фторидные составляющие электролита имеют высокое давление паров и характеризуются большими расходными коэффициентами — 30–60 кг на 1 т металла, что составляет (4–8%) в себестоимости производства первичного алюминия.

Важным аспектом эффективного улавливания фтористых соединений является их негативное влияние на состояние окружающей среды. Фторводород хорошо растворяется в воде, что приводит к появлению в атмосфере

Таблица 1

Гранулометрический состав образцов глинозема

№	Содержание фракций мкм, %								
	-10,1	-29,9	-51,5	-67,5	-88,6	-116,2	-133,1	-152,5	+152,5
1	1,958	6,398	17,672	17,692	20,069	17,428	6,072	4,455	8,256
2	0,958	4,301	11,2	16,563	26,808	22,999	6,896	4,492	5,783
3	1,839	4,211	11,522	17,523	26,256	22,028	6,67	4,339	5,612
4	2,017	6,311	20,119	22,243	24,315	15,23	3,978	2,514	3,273

Таблица 2

Химический состав образцов глинозема

№	Fe ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	C+S	F	MOI	LOI
1	0,051	0,032	0,014	0,011	0,18	97,1	-	0,49	0,07	0,05	1,0	1,0
2	0,065	0,072	0,044	0,049	0,36	93,1	0,028	0,92	0,3	0,8	1,0	4,24
3	0,07	0,19	0,031	0,093	0,069	92,9	0,38	0,72	0,22	0,51	2,4	2,46
4	0,042	0,037	0,025	0,006	0,076	92,9	-	0,61	0,21	0,46	1,4	4,64

аэрозолей плавиковой кислоты. Их действие вызывает раздражение слизистых оболочек глаз, кровоизлияние и язвы дыхательных путей, гнойный бронхит, удушье, спазм гортани и судороги. Длительное воздействие даже в небольших количествах может вызвать хроническое заболевание в виде отложений фтора в зубах и костях [3].

Учитывая, что образующийся фторированный глинозем, является сырьем для производства алюминия, определение потерь фторсодержащих веществ, их закономерности, характере взаимодействия фтористого водорода с глиноземом, свойствах фторированного глинозема является актуальной проблемой научных исследований в металлургии алюминия и инженерной экологии.

При хранении и транспортировке внутри завода глинозем подвергается механическому и физико-химическому воздействию. В результате происходит изменение его свойств, которые оказывают негативное влияние на эффективность процесса электролиза алюминия.

В работе было проанализировано поэтапное изменение физико-химических свойств глинозема, отобранного с разных участков электролизного цеха и сухой газоочистки на Красноярском алюминиевом заводе [4]. Гранулометрический состав образцов глинозема представлен в таблице 1, химический состав — в таблице 2.

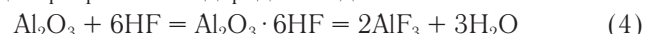
Изменения гранулометрического состава соответствуют изменениям содержания примесей в глиноземе. Для понимания механизмов взаимного влияния этих двух показателей качества были проведены микроструктурные исследования зерен глинозема (рис. 1).

Рассмотрим физико-химические изменения глинозема, происходящие на участке транспортировки до и после сухой очистки отходящих от электролизеров газов. Глинозем поступает в реактор газоочистки, где встречается с отходящим от электролизеров газовым потоком. В ре-

зультате протекания сорбционных процессов, газ очищается от газообразных и твердых фторидов, SO₂ и других примесей.

Глинозем после участка сухой газоочистки характеризуется минимальным содержанием мелкой фракции и повышенным содержанием примесей. Микроструктурные исследования частиц фторированного глинозема свидетельствуют об агломерации глиноземной пыли (поверхностных осколков) и увеличении ВЕТ частиц [5].

Установлено, что фторирование глинозема происходит только с участием двух соединений, фторводорода и тетрафторалюмината натрия (рис. 2, табл. 3). Механизм процесса фторирования глинозема основан на хемосорбции фтористого водорода оксидом алюминия:



Данные об увеличении влаги во фторированном глиноземе, также подтверждают данный механизм адсорбции. Однако природа связи влаги до конца остается неясной [139]. Из таблицы 3 видно, что после участка газоочистки происходит увеличение гидратной и кристаллизационной влаги, а содержание адсорбированной влаги остается на прежнем уровне.

Данные РФА анализа образцов глинозема №№ 1 и 2 представлены на рисунке 3.

Из рисунка 3 видно, что после обработки глинозема отходящими электролизными газами происходит снижение содержания $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Содержание же остальных фаз остается постоянным, следовательно, нельзя говорить о переходе $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ в другие фазы. Однако спектры $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ становятся более широкими (размытыми), что может свидетельствовать об изменении расстояния между атомами в кристаллической решетке. Вероятно, подобные изменения связаны с внедрением в решетку $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ других химических элементов. Можно предположить, что обра-

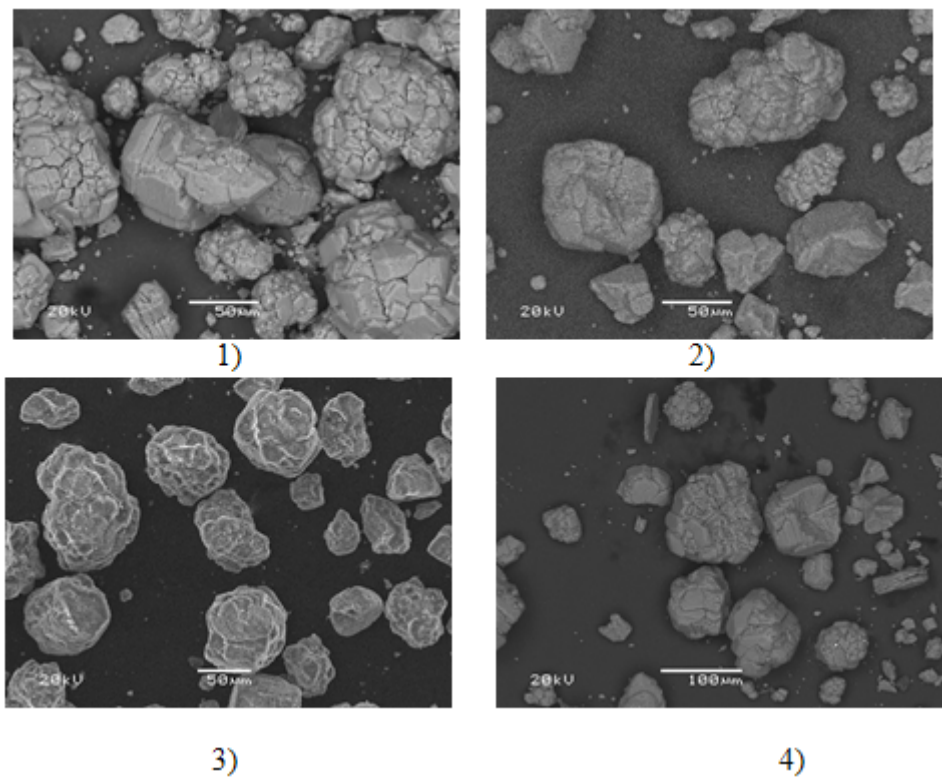


Рис. 1. Микроструктура образцов глинозема

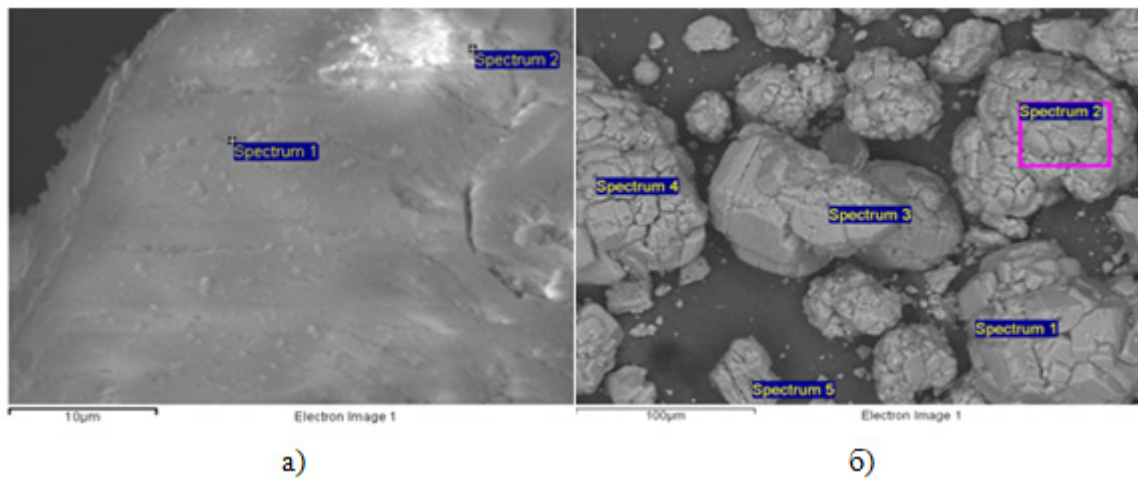


Рис. 2. Поверхность частиц глинозема №№1 (а) и 2 (б)

Таблица 3

Химический состав образцов глинозема №№1 и 2

Спектры	O	F	Na	Al
Образец № 1				
Спектр 1	47,07	-	-	52,93
Спектр 2	47,07	-	-	52,93
Спектр 3	47,07	-	-	52,93
Спектр 4	47,07	-	-	52,93
Спектр 5	47,07	-	-	52,93
Образец № 2				
Спектр 1	44,01	20,33	1,72	33,93
Спектр 2	43,33	9,14	-	47,53

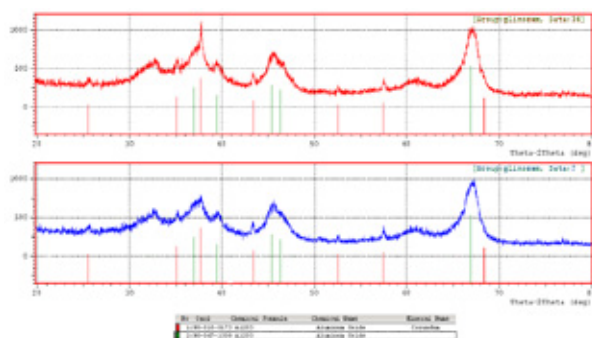


Рис. 3. Характеристики интенсивностей рентгеновского излучения альфа-фазы (красные линии) и других фаз (зеленые линии) для образцов глинозема №№1 (вверху) и 2 (внизу)

зуется внутрикристаллическая влага, которая и была обнаружена при прокаливании пробы глинозема №2.

Взаимодействие глинозема с соединениями фтора в условиях сухой газоочистки приводит к уменьшению как мелкой ($-67,5$ мкм), так и крупной ($+152,5$ мкм) фракций. Образование на поверхности глинозема фтористых соединений и увеличение содержания влаги способствуют агрегации мелких частиц в более крупные, однако, высокая интенсивность перемешивания создает условия для истирания фракции $+152,5$ мкм.

Снижение степени улавливания фторидов в реакторах газоочистки связано с несоблюдением соответствия между расходными коэффициентами глинозема и его способности адсорбировать фториды. Количество выделяющихся электролизных газов постоянно изменяется, при этом параметры процесса улавливания газов остаются постоянными. В настоящее время повышения эффективности улавливания фторидов в процессе сухой очистки

можно достичь, контролируя количество образующихся газов при одновременной корректировке параметров процесса их очистки. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- определить кинетические зависимости процесса фторирования глинозема от параметров очистки и физико-химических свойств глинозема;
- установить зависимости количества газообразных выделений с электролизера, попадающих в систему газоочистки, от параметров электролиза (температура, химический состав, площадь открытой поверхности расплава, влажность воздуха и прочее).

Решение поставленных задач позволит сократить количество выбросов предприятиями по производству первичного алюминия фтористых веществ в атмосферу, а также сократить себестоимость производства за счет увеличения доли повторно вовлекаемых в процесс фторидов.

Литература:

1. Уэдде Г. Контроль выбросов в алюминиевой промышленности / Сборник докладов 9 МК «Алюминий Сибири — 2003». — 2003. — с. 8—22.
2. Минцис М.Я., Поляков П.В., Сиразутдинов Г.А. Электрометаллургия алюминия. — Новосибирск: Наука, 2001. — 368 с.
3. Борисоглебский Ю.В., Галевский Г.В., Кулагин Н.М. [и др.]. Металлургия алюминия — Новосибирск: Наука, 1999. — 438 с.
4. Сизяков В.М. Химико-структурные изменения глинозёмов в электролитическом производстве алюминия [Текст] / В.М. Сизяков, А.А. Власов, В.Ю. Бажин, В.В. Гембицкий, И.М. Гембицкая // Цветные металлы — 2010. Красноярск: ООО «Версо», 2010 г.С. 430—437.
5. Thonstad J. Aluminium Electrolysis. Fundamentals of the Hall-Heroult process [Текст] // Aluminium-Verlag, Dusseldorf, 2001. 324 p.

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Формообразование осевого инструмента с переменным углом подъема спирали для обработки труднообрабатываемых материалов

Емельянов Дмитрий Владимирович, ассистент;

Хисамутдинов Равиль Миргалимович, кандидат технических наук, доцент

Набережночелнинский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева

На сегодняшний день в современном производстве актуальным является вопрос о повышении производительности обработки и качества изделий из труднообрабатываемых материалов. Одним из определяющих параметров качества и производительности является состояние режущего инструмента в процессе обработки, в т.ч. и собственно конструкция инструмента. Предложенная конструкция сверла позволяет повысить эффективности обработки труднообрабатываемых материалов.

Эффективность обработки деталей из труднообрабатываемых материалов напрямую зависит от используемого оборудования и инструмента. Однако, режущих инструментов, предназначенных для механической обработки таких деталей, крайне мало. Этим в значительной степени обусловлены трудности эффективной обработки резанием. Например, при изучении обработанных поверхностей деталей видны дефекты, как по шероховатости, так и по ее механическому состоянию. Также встречаются прижоги на поверхностях, в результате чего возникает необходимость дополнительной обработки деталей. Процесс резания сопровождается выкрашиванием и чрезмерным износом режущих кромок инструмента.

При обработке отверстий изделий решающую роль играет повышение жесткости, износостойкости режущего инструмента и, как следствие, снижение брака. Поэтому, повышение износостойкости сверл, применяемых при обработке таких изделий, значительно сократит количество используемых дорогостоящих инструментов и повысит экономичность обработки также за счет сокращения времени переналадки оборудования.

Место, где ломается сверло, находится, в конце рабочей части, где заканчивается спиральная канавка. Это обусловлено тем, что в конце стружечной канавки величина крутящего момента максимальна, а площадь сечения стержня минимальна, что обуславливается наличием обратной конусности рабочей части сверла стандартной конструкции.

Повышение стойкости сверла возможно двумя путями: улучшением физико-механических характеристик материала режущей части инструмента (например, твердого сплава) или разработкой наиболее рациональной конструкции сверла [1].

Одним из важных геометрических параметров сверла является угол наклона стружечной канавки, который су-

щественно влияет, с одной стороны, на кинематические значения углов инструмента и на условия резания и, тем самым, на физические процессы при резании на качество обрабатываемой поверхности и, с другой стороны, на прочность рабочей части сверла. Для решения данной задачи предложена конструкция спирального сверла с переменным углом подъема спирали. Переменный угол подъема спирали обеспечивает чистоту отверстия на входе и позволяет выполнять оптимальное удаление формирующейся стружки из зоны резания и собственно из отверстия, что обеспечивает быстрое проникновение даже в самый твердый материал. Кроме того, предлагаемая винтовая форма канавки помогает выполнять правильное ведение сверла в начале сверления. Уменьшение угла наклона спирали так же позволяет повысить жесткость конструкции, поглощать вибрацию в процессе резания, тем самым уменьшить количество поломок инструмента. (Рис. 1).

Для улучшения условия резания, величина угла наклона винтовой канавки ω_1 у вершины сверла должна быть, по возможности, максимальной. Численное значение угла зависит от физико-механических свойств обрабатываемого материала. Естественно, что при сверлении труднообрабатываемых материалов величина угла у режущей кромки будет сравнительно меньше, а при сверлении композитных материалов больше. Затем угол ω_1 постепенно уменьшается и в конце спиральной канавки достигает минимального значения ω_2 . Благодаря такой конструкции повышается прочность сверла.

Для изготовления спирального сверла с переменным углом подъема винтовой линии необходимо однозначно описать соответствующую винтовую поверхность.

Винтовая поверхность переменного шага формируется переменным винтовым движением криволинейной образующей:

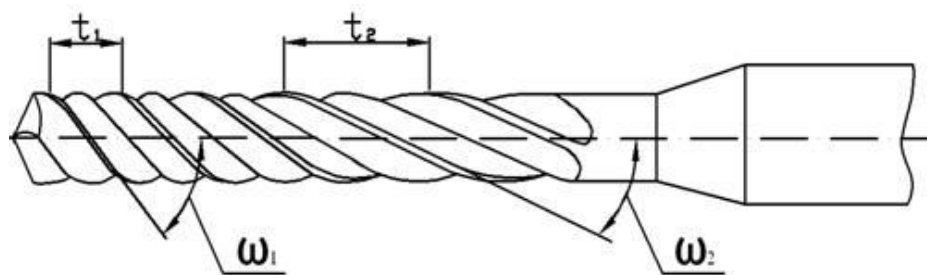


Рис. 1 Сверло с переменным углом наклона винтовой линии

1) с постоянным значением угла наклона винтовой линии ω и переменным значением шага винтовой линии H .

2) с переменным значением угла наклона винтовой линии ω и переменным значением шага винтовой линии H .

Согласно зависимостям, полученным в работе [2], для цилиндрических винтовых поверхностей существует следующая связь между получаемым передним углом инструмента первого порядка в нормальном сечении и углом наклона направляющей винтовой линии: при увеличении угла наклона направляющей линии передний угол уменьшается

$$\gamma_n = \arctg(\tg \gamma_t \cos \omega) \quad (1)$$

где γ_t — передний угол в торцовом сечении инструмента первого порядка; ω — угол наклона направляющей винтовой линии.

В случае применения в инструменте первого порядка или детали с винтовой линией переменного шага H , угол ω будет переменным. Под углом ω понимается угол скрещивания между положительными направлениями вектора касательной к винтовой линии в заданной точке и оси винтового движения. Определим зависимость угла ω от радиуса r :

$$\cos \omega = \frac{z'_\varphi}{|r'|} \quad (2)$$

Если пространственная линия задана параметрическими выражениями

$$(x = f_1(\varphi) \quad y = f_2(\varphi) \quad z = f_3(\varphi) \quad ,$$

то ненулевой вектор r , лежащий на касательной или параллельно ей, будет являться направляющим вектором касательной к линии при $r' = \{x'_\varphi, y'_\varphi, z'_\varphi\}$. Координаты направляющего вектора r' определяются как его алгебраические проекции на координатные оси.

Переменный шаг винтовой линии H с переменным углом наклона винтовой линии ω запишется системой уравнений

$$\begin{cases} X = R \cos \phi; \\ Y = R \sin \phi; \\ Z = A^{np} \end{cases} \quad (3)$$

Полученные строгие аналитические выражения позволяют описать направляющую винтовой поверхности с переменным углом подъема спирали (рис. 2). Использование в качестве направляющей винтовой поверхности линии, описываемой системой (3), позволяет добиться стабильности геометрических параметров режущей части инструмента при его изготовлении.

Заключение. Использование предложенной конструкции сверла для обработки материалов применяемых в авиастроении приводит к повышению эффективности обработки, повышению жесткости режущего инструмента. Так же, используя данный инструмент, можно повысить точность и качество изделия, избежать прижогов, трещин, выкрашивания как режущих кромок инструмента,

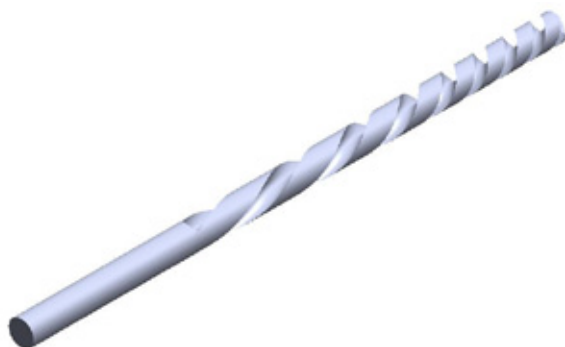


Рис. 2. Компьютерная модель сверла с переменным шагом винтовой канавки

так и самой поверхности детали. Кроме того, данный инструмент позволит повысить производительность обработки. Переменный шаг винтовой канавки обеспечивает чистоту отверстия на входе и позволяет выполнять опти-

мальное удаление формирующейся стружки из зоны резания и собственно из отверстия, что благоприятно сказывается на процессе обработки детали.

Литература:

1. Турманидзе Р.С., Адамия Д.Р. Исследование влияния угла наклона спиральной канавки на величину износов режущих элементов спиральных сверл. Международный научно-технический сборник «Резание и Инструмент в технологических системах». г. Харьков, 2004 г. с. 229–233.
2. Чемборисов Н.А. Профилирование дисковых режущих инструментов для обработки винтовых поверхностей цилиндрических и конических деталей: Дис.д-ра техн. наук: 05.03.01: Казань, 2003 399 с.

Кинематический и силовой анализ схемы зубчатого вариатора момента с несимметричным дифференциалом

Лысянский Вячеслав Анатольевич, кандидат технических наук, ассистент;

Кузнецов Сергей Анатольевич, доктор технических наук, профессор;

Ярута Алексей Вячеславович, студент

Волгодонский институт сервиса (филиал) Южно-Российского государственного университета экономики и сервиса

Кинематическая схема зубчатого вариатора момента с несимметричным дифференциалом представлена на рисунке 1.

Устройство состоит из дифференциального механизма, входным звеном которого является водило 1 с сателлитами и двумя центральными колесами 4 и 5, установленными на выходных валах 2 и 3 соответственно, один из которых соединен с водилом 6 планетарного механизма, который выполнен двухрядным, а на водиле 6 установлен с возможностью вращения блок сателлитов 7, образованный двумя соосными сателлитами с равным числом зубьев, взаимодействующими с двумя центральными соосными зубчатыми колесами 8, одно из которых закреплено неподвижно, а ко второму подвижному колесу жестко прикреплен рычаг управления 9 вариатором [1].

Вариатор работает следующим образом. Вращение от двигателя подается на водило 1 дифференциала. Полу-

ченное водилом движение делится между выходными валами 2 и 3 с центральными колесами 4 и 5 соответственно. При неподвижном выходном валу 2 движение центрального колеса 5 передается на водило планетарного механизма 6, которое вместе с блоком сателлитов 7 свободно вращается вокруг центральных зубчатых колес 8, которые остаются неподвижными, поскольку одно из них закреплено неподвижно, а передаточное отношение равно бесконечности при равных числах зубьев центральных зубчатых колес 8. При приложении управляющего момента на рычаг управления 9 свободное движение водила 6 с блоком сателлитов 7 затормаживается, и возникающий момент торможения на валу водила 6 способствует возникновению крутящего момента на выходном валу 2 вариатора, причем этот момент пропорционален управляющему усилию. Угловая скорость выходного вала 2 также начинает увеличиваться по мере преодоления момента

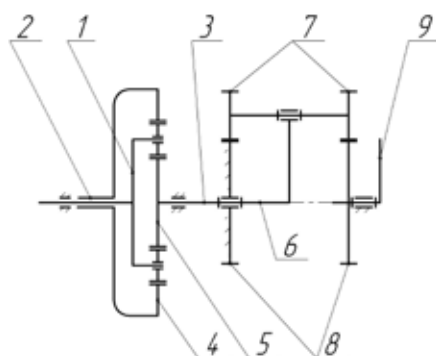


Рис. 1. Кинематическая схема зубчатого вариатора момента

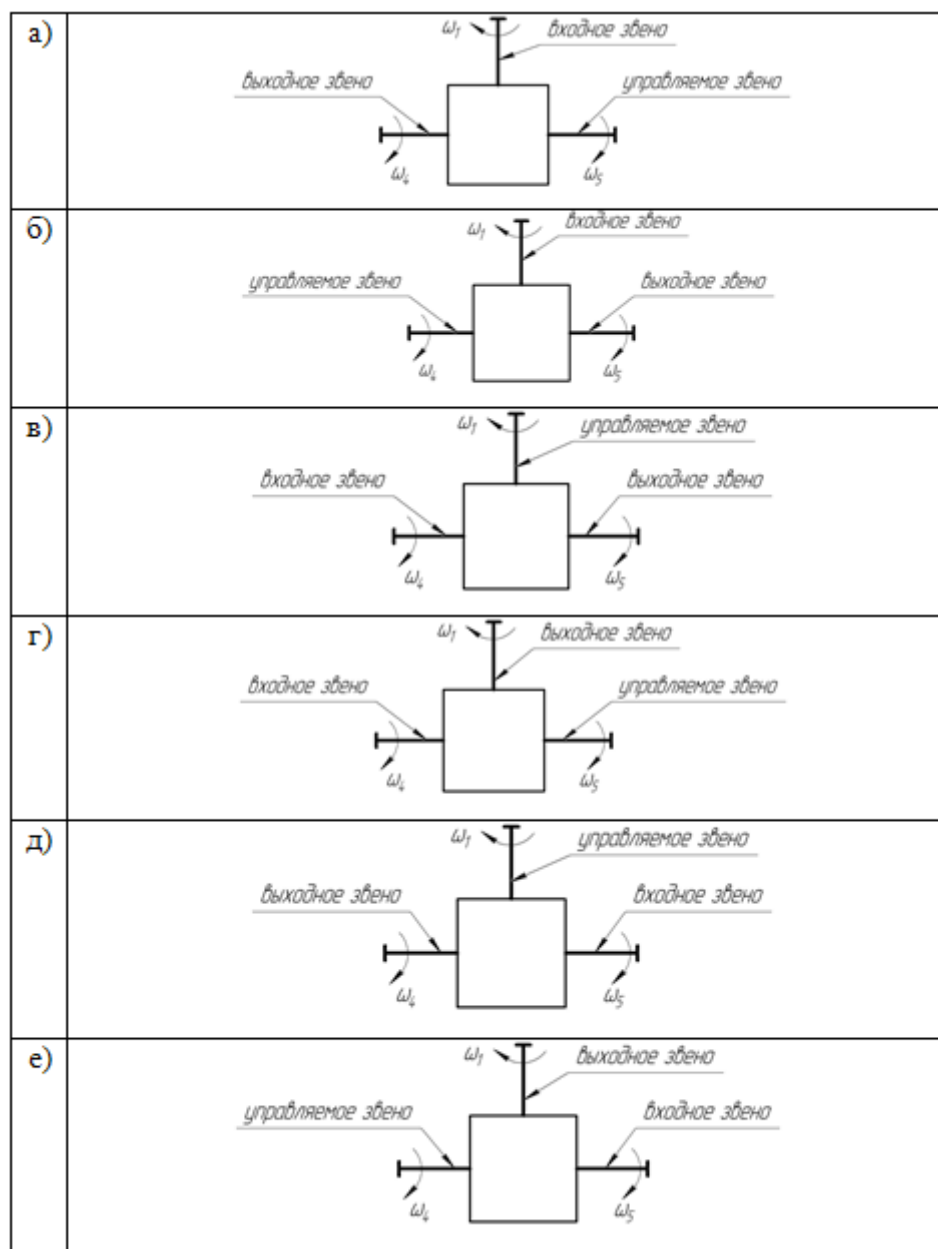


Рис. 2. Варианты расположения звеньев вариатора

полезного сопротивления пропорционально управляющему воздействию.

Рассмотрим кинематические и силовые параметры вариатора представленного на рисунке 1 в зависимости от того, какое из звеньев дифференциала будет ведущим, ведомым или управляемым (рисунок 2)

Для определения угловых скоростей звеньев дифференциала используем формулу Виллиса [2, 3]:

$$(\omega_5 - \omega_H) / (\omega_4 - \omega_H) = i_{54}^H. \quad (1)$$

Передаточное отношение i_{54}^H определяется через радиусы начальных окружностей r зубчатых колес или через числа их зубьев z

$$i_{54}^H = \frac{\omega_5}{\omega_4} = \pm \frac{r_4}{r_5} = \pm \frac{z_4}{z_5}.$$

Обозначим величину $z_4 / z_5 = -i_{54}^H$ (знак «-» так как центральные колеса при остановленном водиле вращаются в разные стороны) через p .

Тогда зависимость между моментами на центральных колесах (5 и 4) и водиле (H) без учета потерь на трение [2]:

$$M_5 = -\frac{z_5}{z_5 + z_4} M_H; \quad M_4 = -\frac{z_4}{z_5 + z_4} M_H;$$

или (2)

$$M_5 = -M_H \frac{1}{1+p}; \quad M_4 = -M_H \frac{p}{1+p}.$$

Используя формулы (1) и (2) определим кинематические и силовые зависимости вариатора.

Первый вариант (рисунок 2, а)

Водило 1 (H) — входное звено, центральное колесо 5 соединено с нагрузителем (управляющее звено), центральное колесо 4 соединено с ведомым валом (выходное звено).

При $\omega_5 = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_4 = \frac{1+p}{p} \omega_H.$$

Таким образом, угловая скорость ω_4 ведомого вала 4 изменяется в пределах

$$0 \leq \omega_4 \leq \frac{1+p}{p} \omega_H.$$

Силовые параметры выходного звена (крутящий момент M и мощность N) без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_4 = -M_H \frac{p}{1+p}; \quad 0 < N_4 \leq N_H.$$

Второй вариант (рисунок 2, б)

Водило 1 (H) — входное звено, центральное колесо 5 выходное звено центральное колесо 4 соединено с нагрузителем (управляющее звено).

При $\omega_4 = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_5 = (1+p) \omega_H.$$

Таким образом, угловая скорость ω_5 ведомого вала 5 изменяется в пределах

$$0 \leq \omega_5 \leq (1+p) \omega_H.$$

Силовые параметры выходного звена без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_5 = -M_H \frac{1}{1+p}; \quad 0 < N_5 \leq N_H.$$

Третий вариант (рисунок 2, в)

Центральное колесо 4 — входное звено, центральное колесо 5 управляемое звено, а водило 1 (H) выходное звено.

При $\omega_5 = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_H = \frac{p}{1+p} \omega_4.$$

Таким образом, угловая скорость ω_H выходного звена изменяется в пределах

$$0 \leq \omega_H \leq \frac{p}{1+p} \omega_4.$$

Силовые параметры выходного звена без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_H = -\frac{1+p}{p} M_4; \quad 0 < N_H \leq N_4.$$

Четвертый вариант (рисунок 2, г)

Центральное колесо 4 — входное звено, центральное колесо 5 выходное звено, а водило 1 (H) управляемое звено.

При $\omega_H = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_5 = -p \omega_4.$$

Таким образом, угловая скорость ω_5 выходного звена изменяется в пределах

$$-p \omega_4 \leq \omega_5 \leq 0.$$

Силовые параметры выходного звена без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_5 = M_4 / p; \quad 0 < N_5 \leq N_4.$$

Пятый вариант (рисунок 2, д)

Центральное колесо 5 — входное звено, центральное колесо 4 управляемое звено, а водило 1 (H) выходное звено.

При $\omega_4 = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_H = \frac{\omega_5}{1+p}.$$

Таким образом, угловая скорость ω_4 ведомого вала 4 изменяется в пределах

$$0 \leq \omega_H \leq \frac{\omega_5}{1+p}.$$

Силовые параметры выходного звена без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_H = M_5 (1+p); \quad 0 < N_H \leq N_5.$$

Шестой вариант (рисунок 2, е)

Центральное колесо 5 — входное звено, центральное колесо 4 выходное звено, а водило 1 (H) управляемое звено.

При $\omega_4 = 0$ угловая скорость выходного звена будет иметь максимальное значение, которое составит

$$\omega_4 = -\omega_5 / p.$$

Таким образом, угловая скорость ω_5 выходного звена изменяется в пределах

$$-\omega_5 / p \leq \omega_4 \leq 0.$$

Силовые параметры выходного звена без учета к.п.д. дифференциала связаны соотношениями

$$M_4 = M_5 \cdot p; \quad 0 < N_4 \leq N_5.$$

Проведенный кинематический и силовой анализ позволяет определить оптимальное расположение входного, выходного и управляемого звеньев зубчатого вариатора момента при использовании его в составе привода техно-

логической машины, для максимально эффективной работы исполнительного органа при выполнении технологических операций.

Литература:

1. Пат. №2445531 Российская федерация МПК F16H 3/74, F16H. Вариатор момента [Текст] / Кузнецов С.Н., Владимиров А.В., Лысянский В.А., Старченко И.Е.; заявитель и правообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса» (ГОУ ВПО «ЮРГУЭС») — №2010149799/11; заявл. 03.12.2010; опубл. 20.03.2012, Бюл. №8.
2. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин [Текст] / И.И. Артоболевский. — М.: Наука, 1988. — 640 с.
3. Кирдяшев Ю.Н. Многопоточные передачи дифференциального типа [Текст] / Ю.Н. Кирдяшев. — М.: машиностроение, 1981. — 231 с.

Математическое моделирование движения плоского шестизвездного внутритрубного робота

Мальчиков Андрей Васильевич, аспирант;
Яцун Сергей Федорович, доктор технических наук, профессор
Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

В данной работе рассмотрена математическая модель шестизвездного плоского мобильного робота для мониторинга трубопроводов переменного сечения. Предложен оригинальный алгоритм расчета и показаны результаты численного моделирования движения звеньев с учетом моментов сил трения в шарнирных соединениях робота.

Введение. На сегодняшний день, изучению динамики многосвязных систем уделяется достаточно большое внимание [1–4]. В данной работе рассматривается математическая модель движения звеньев многосвязного мобильного робота, предназначенного для задач мониторинга внутренних поверхностей трубопроводов [5–6].

1. Описание конструкции и принципа перемещения робота. Робот представляет собой шестизвездную конструкцию. Звенья 1–6 соединены между собой посредством мотор-редукторов вращательного движения 7–11 (рис. 1.). Рассмотрим алгоритм перемещения устройства по вертикальному прямолинейному отрезку трубопровода.

Выделим 4 отдельные фазы движения робота: **I фаза:** режим силового удержания пары звеньев 5–6 и расклинивание пары звеньев 1–2 между стенок трубы; **II фаза:** режим силового удержания пары звеньев 1–2 и перемещение средней пары звеньев; **III фаза:** расклинивание пары звеньев 5–6 при силовом удержании пары звеньев 1–2; **IV фаза:** режим силового удержания пары звеньев 5–6 и перемещение средней пары звеньев.

Математическое моделирование процесса удержания робота за счет сил трения под действием переменных внешних сил описано в работах [7–8]. Рассмотрим математическое моделирование движения средних звеньев при их перемещении согласно алгоритму, приведенному на рис. 1. Особенностью рассматриваемой модели является учет моментов сил трения, действующих в шарнирах и представленных в виде сложных зависимостей от скоростей относительного вращения звеньев.

2. Математическая модель движения средних звеньев внутритрубного робота. Расчетная схема устройства показана на рис. 2.

На данном рисунке: звенья 1 и 2 осуществляют фиксацию робота внутри трубопровода за счет сил трения. Точку A_3 считаем неподвижной. Введем неподвижную систему координат с центром в точке A_3 , при этом ось A_3Y направлена по линии действия силы тяжести. Звенья 3 и 4 осуществляют перемещение переднего фиксирующего модуля (звенья 5 и 6) под действием крутящих моментов M_{23} и M_{34} . Со стороны верхнего ФМ на звенья действуют крутящий момент M_{45} и сосредоточенная сила F_5 приложенная под углом α_5 в точке A_5 . Примем, что центры масс звеньев A_3A_4 и A_4A_5 расположены в их геометрических центрах O_3 , O_4 . Системы координат $X_3Y_3O_3$ и $X_4Y_4O_4$ связаны с центрами масс звеньев.

В качестве обобщенных координат примем углы поворота звеньев относительно их центров масс φ_3 , φ_4 и якорные

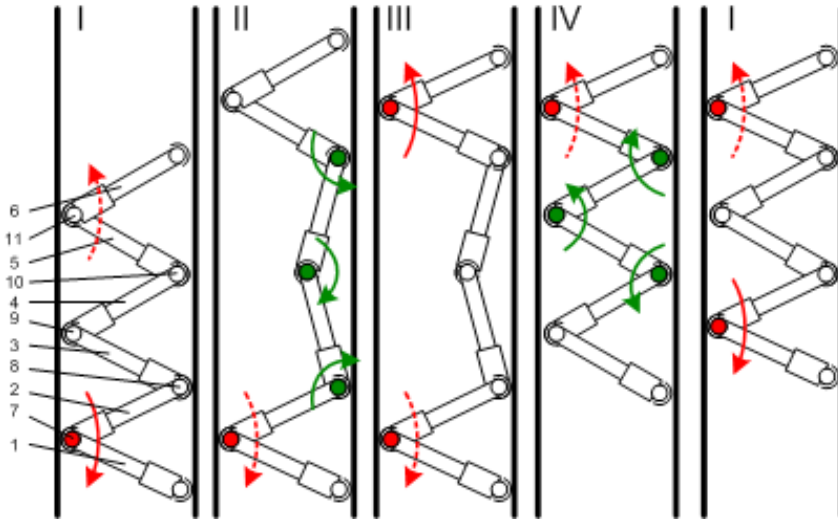


Рис. 1. Фазы движения внутритрубного робота

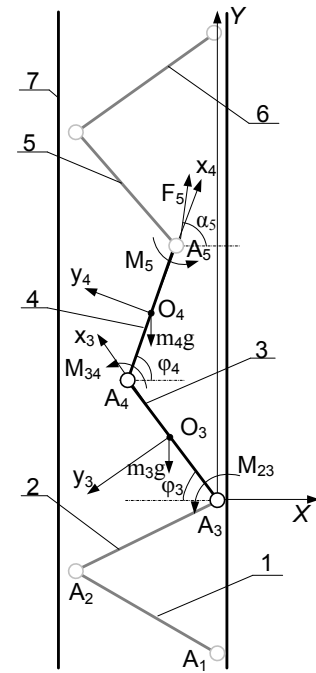


Рис. 2. Расчетная схема робота в режиме перемещения средних звеньев

токи $i_{я,3}$, $i_{я,4}$, электроприводов расположенных в местах соединений звеньев 2, 3 и 3, 4 соответственно. Для описания динамики движения звеньев запишем дифференциальные уравнения, основываясь на уравнениях Лагранжа 2-го рода. Для описания процессов происходящих в электроприводах запишем второй закон Кирхгофа для цепи якоря, а момент развиваемый приводом представим как произведение моментного коэффициента двигателя c_m на ток якоря [7].

Система дифференциальных уравнений, описывающая движения робота, будет иметь вид:

$$\begin{cases}
 \ddot{\phi}_4 \left(J_{A_4} + \frac{m_4 l_4^2}{4} \right) + \frac{1}{2} m_4 l_3 l_4 \ddot{\phi}_3 \cos(\phi_3 - \phi_4) - \frac{1}{2} m_4 l_3 l_4 \dot{\phi}_3^2 \sin(\phi_3 - \phi_4) = \\
 = M_{34} - M_{45} + F_5 l_4 \sin(\alpha_5 - \phi_4) + m_4 g \frac{l_4}{2} \cos(\phi_4) \\
 \ddot{\phi}_3 \left(J_{A_3} + m_4 l_3^2 \right) + \frac{1}{2} m_4 l_3 l_4 \ddot{\phi}_4 \cos(\phi_3 - \phi_4) + \frac{1}{2} m_4 l_3 l_4 \dot{\phi}_4^2 \sin(\phi_3 - \phi_4) = \\
 = M_{23} + F_5 l_4 \sin(\alpha_5 - \phi_3) + m_4 g l_4 \cos(\phi_3) + m_3 g \frac{l_3}{2} \cos(\phi_3) \\
 L_{я,3} \frac{di_{я,3}}{dt} + r_{я,3} i_{я,3} + c_{e,3} \dot{\phi}_3 k_{ред} = U_3 \\
 L_{я,4} \frac{di_{я,4}}{dt} + r_{я,4} i_{я,4} + c_{e,4} \dot{\phi}_4 k_{ред} = U_4 \\
 M_{23} = c_{m,3} i_{я,3} - \left(J_{дв} + \frac{J_{A_3}}{k_{ред}^2} \right) \frac{d\dot{\phi}_3}{dt} - \frac{M_3^{comp}}{k_{ред} \eta_{ред}} \\
 M_{34} = c_{m,4} i_{я,4} - \left(J_{дв} + \frac{J_{A_4}}{k_{ред}^2} \right) \frac{d\dot{\phi}_4}{dt} - \frac{M_4^{comp}}{k_{ред} \eta_{ред}}
 \end{cases} \quad (1)$$

В этих уравнениях: m_j – масса j -того звена; l_j – длина j -того звена; α_5 – угол приложения внешней силы (равен 0 – сила приложена вертикально вниз) J_{A_j} – момент инерции j -тых звеньев; $J_{дв}$ – момент инерции электродвигателя;

$L_{я,j}$ и $r_{я,j}$ — индуктивность и сопротивление цепи якоря; c_{ej} и c_{mj} — электрический и электромеханический коэффициенты пропорциональности для j -того двигателя; U_j — управляющее напряжение на j -том двигателе, $k_{ред}$ — передаточное отношение редуктора $\eta_{ред}$ — общий КПД электродвигателя.

Рассмотрим моменты $M_3^{сопр}$ и $M_4^{сопр}$. Представим момент сопротивления как:

$$M_j^{сопр} = \mu \cdot \dot{\phi}_j + M_j^{тр}, \quad (2)$$

где μ — коэффициент вязкого сопротивления, $M_j^{тр}$ — суммарный момент сил трения в j -том шарнире, определяемый следующим образом:

$$M_j^{тр} = \begin{cases} M_j^{тр.пред} \text{sign}(\dot{\phi}_j), & \text{если } \dot{\phi}_{j,j-1} \neq 0; \\ \sum M_j^{внеш}, & \text{если } \dot{\phi}_{j,j-1} = 0 \text{ и } \left| \sum M_j^{внеш} \right| \leq M_j^{тр.пред}; \\ M_j^{тр.пред} \text{sign}(\sum M_j^{внеш}), & \text{если } \dot{\phi}_{j,j-1} = 0 \text{ и } \left| \sum M_j^{внеш} \right| > M_j^{тр.пред}, \end{cases} \quad (3)$$

$j = 2, 3, 4$

где $\sum M_j^{внеш}$ — равнодействующая всех внешних моментов для j -того шарнира, кроме моментов сил сухого трения; $M_j^{тр.пред}$ — предельное значение силы трения, определяемая действующими силами в шарнире и коэффициентом силы трения, в данном случае, может быть определена экспериментально, для конкретно взятого привода; $\dot{\phi}_{j,j-1}$ — относительная скорость вращения между j -тым и $j-1$ звеньями. Для получения численного решения систем уравнений (1–3), был предложен оригинальный алгоритм интегрирования, позволяющий моделировать движение робота.

Согласно принятому алгоритму перемещения робота, существуют два этапа движения: удлинение корпуса робота (при этом $\varphi_2 = \varphi_4 = \alpha$, $\varphi_3 = -(180 - 2\alpha)$); и сжатие корпуса робота (при этом $\varphi_2 = \varphi_4 = -\alpha$, $\varphi_3 = 180 - 2\alpha$), где угол

α — определяется как: $\alpha = \arcsin\left(\frac{L}{d}\right)$,

где d — диаметр поперечного сечения трубы.

САУ формирует управляющее напряжение U_j для двигателей в зависимости от задающих значений угла поворота $\phi_{j,j-1}^{зад}$. Задающие значения формируются в САУ в зависимости от текущей конфигурации устройства и геометрии трубопровода. Фактическое относительное перемещение звеньев $\phi_{j,j-1}^{мек}$, фиксируется потенциометрическими датчиками угла поворота. Определяет уровень управляющего напряжения:

$$U_j = k_n (\phi_{j,j-1}^{мек} - \phi_{j,j-1}^{зад}), \quad (4)$$

где k_n — пропорциональный коэффициент регулятора.

3. Результаты моделирования движения робота. Моделирование проводилось при следующих исходных параметрах системы (табл. 1).

Таблица 1

Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
Массы звеньев	m_j	кг	0,05
Длины звеньев	l_j	м	0,1
Предельный момент силы трения в шарнире*	$M_j^{тр.пред}$	Нм	0,0005
Вязкое сопротивление в шарнире*	μ	-	0,1
Индуктивность цепи якоря**	$L_{я,j}$	Гн	0,0003
Активное сопротивление якоря*	$r_{я,j}$	Ом	5,4
Электрическая постоянная времени электродвигателя**	c_{ej}	-	0,005
Моментный коэффициент электродвигателя**	c_{mj}	-	1,5
Передаточное число редуктора	$k_{ред}$	-	50
КПД привода	$\eta_{ред}$	-	0,6
* — значения определялись экспериментально			
** — значения взяты из спецификации электродвигателя			

В процессе моделирования значения углов: $\varphi_3^{зад}$ и $\varphi_4^{зад}$ определялись следующим образом:

$$\varphi_3^{зад} = \begin{cases} 45^\circ & \text{если } t < 2c \\ 0^\circ & \text{если } t > 2c \end{cases}; \quad \varphi_4^{зад} = \begin{cases} -45^\circ & \text{если } t < 2c \\ 0^\circ & \text{если } t > 2c \end{cases}.$$

Результаты математического моделирования представлены в виде временных диаграмм (рис. 3–5).

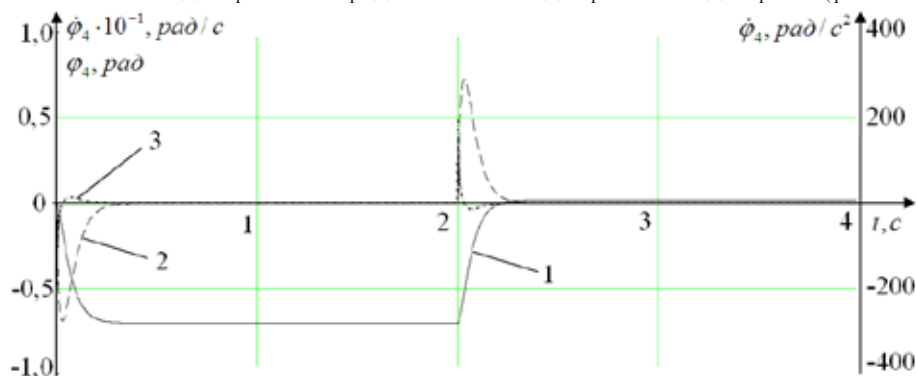


Рис. 3. Параметры перемещения 3-го звеньев робота. 1 – перемещение, 2 – угловая скорость, 3 – угловое ускорение

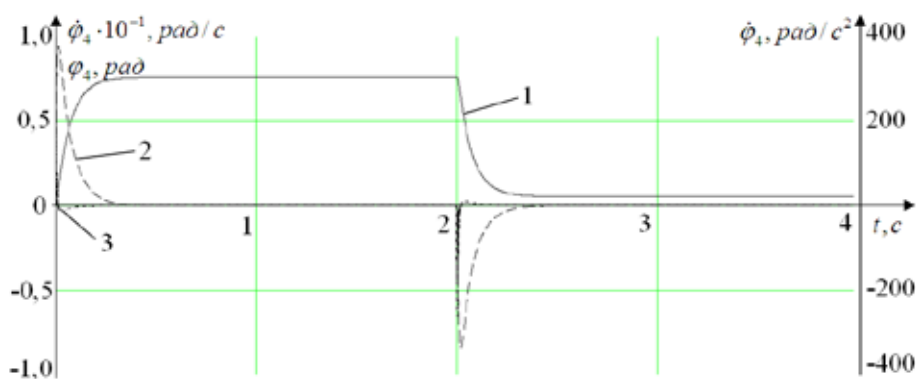


Рис. 4. Параметры перемещения 4-го звеньев робота. 1 – перемещение, 2 – угловая скорость, 3 – угловое ускорение

На рис. 5. показаны временные диаграммы, характеризующие изменение электрических параметров электродвигателей в процессе перемещения звеньев робота.

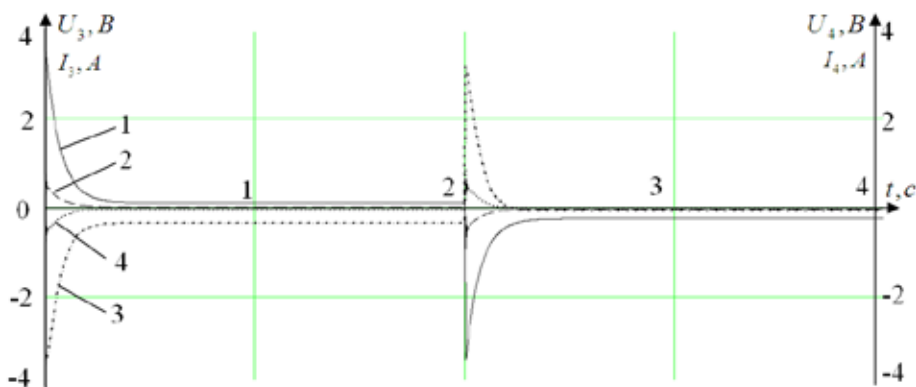


Рис. 5. Параметры энергопотребления приводов робота. 1 – напряжение на 3-ем приводе, 2 – ток на 3-ем приводе, 3 – напряжение на 4-ем приводе, 4 – ток на 4-ем приводе

Выводы. В работе представлена математическая модель движения мобильного робота. Предложен оригинальный алгоритм, численного решения системы для уравнений, описывающих механические и электромеханические эффекты,

возникающие в процессе движения звеньев. Математическое моделирование позволило получить закономерности изменения динамических параметров звеньев робота, для различных параметров САУ электроприводов. Установлено, что время перехода звена в заданное положение составляет в среднем 400 мс, при этом развиваемые угловые скорости достигают значений 8 с^{-1} , а угловые ускорения до 250 с^{-2} . Управляющее напряжение, в процессе перемещения, не превышает номинального значения, равного 4.8 В. Пиковое значение тока в обмотках электродвигателя кратковременно достигает значения 0.5 А, однако в среднем значение оценивается как 70 мА, что соответствует номинальному току для данного типа приводов.

Литература:

1. Veshnikov V., Gradetsky V., Chaschuhin V. Computer modeling of the crawling robot motion inside a pipeline. // Proceedings of the 4-th International Workshop on Computer Science and Information Technologies CSIT – 02, Patras, Greece, September 18–20, 2002.
2. E. Gambao, M. Hernando and A. Brunete, Multiconfigurable Inspection Robots for Low Diameter Canalizations, ISARC 2005 – September 11–14, 2005.
3. Болотник Н.Н., Костин Г.В., Черноусько Ф.Л. Движение шагающего аппарата в тороидальной трубе // Изв. РАН. Механика твердого тела, 1998, № 4, с. 86–101.
4. Jatsun S., Zimmerman K., Zeigis I., Jatsun A. «Vibration driven robots for in pipe inspection», Proceedings of International Conference on Mechatronics. Kumamoto, 2007, pp. 237–249.
5. Мальчиков А.В., Математическое моделирование адаптивного внутритрубного робота // XXIII Международная инновационно-ориентированная конф. молодых ученых и студентов: мат. конф. — Москва ИМАШ РАН, 2011. С. 117.
6. Мальчиков А.В., Адаптивный робот для перемещения по трубопроводам переменного диаметра, «Мехатроника, робототехника: современное состояние и тенденции развития» сб. науч. ст. Всерос. науч. школы для молодежи // ЮЗГУ, Курск, 2011, С. 110–118.
7. Мальчиков А.В., Автоматизированный мобильный комплекс для диагностики трубопроводов переменного диаметра, / А.В. Мальчиков, С.Ф. Яцун, Автоматизация и современные технологии, № 12. М, 2012. — С 3–8.
8. Мальчиков А.В. Динамические опорные элементы ползающих роботов для движения по наклонным поверхностям / А.В. Мальчиков, С.Ф. Яцун, А.И. Жакин / Известия Юго-Западного государственного университета, № 2 (41). Ч. 1. Курск, 2012. с. 89–95.

Исследование управляемого прыжка многозвенового робота

Яцун Сергей Федорович, доктор технических наук, профессор;
Волкова Людмила Юрьевна, аспирант;
Рублев Сергей Борисович, аспирант
Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

Введение

Среди большого многообразия конструкций прыгающих роботов широкое распространение получили устройства, использующие ногу в качестве модуля, посредством которого осуществляется отрыв от поверхности [1–3]. Целью работы является разработка математической модели объекта, относящегося к описанному виду прыгающих роботов, и системы управления высотой и длиной прыжка за счет вариации параметров разгона.

Математическая модель прыгающего робота

Прыгающий робот представляет собой четырехзвенную систему, конструктивно состоящую из стопы — звено 1, ноги — звенья 2 и 3, корпуса — звено 4 (рис. 1, а).

Приводы вращательного движения 5 и 6 соединяют звенья 4 и 3, 2 и 1, привод линейного перемещения 7 связывает звенья 2 и 3. В вертикальной плоскости Oxy звенья 1, 2 и 3 представляют собой стержни длинами l_1 , l_2 и l_3 , а звено

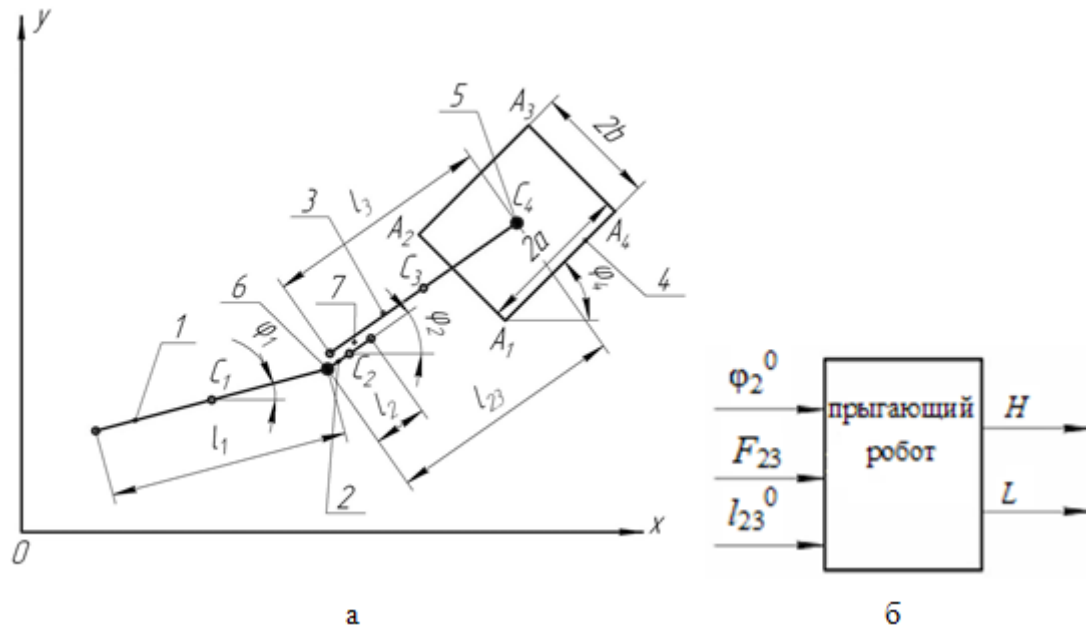


Рис. 1. а – расчетная схема четырехзвенного прыгающего робота,
б – система управления высотой и длиной прыжка

4 имеет вид прямоугольника с размерами $2a \times 2b$. Массы звеньев сосредоточены в центрах их симметрии – точках C_i , $i=1-4$. Будем рассматривать случай, когда звено 3 установлено в точке C_4 . Углы наклона звеньев робота к положительному направлению оси Ox равны φ_1 , φ_2 и φ_4 , в связи с тем, что звенья 2 и 3 не могут поворачиваться друг относительно друга, то углы наклона этих звеньев к оси Ox равны. Расстояние l_{23} относительного перемещения звеньев 2 и 3 является переменной величиной и может варьироваться в диапазоне от l_{23}^{\min} , когда звенья ноги и стопы полностью втянуты в корпус, до l_{23}^0 , при котором происходит отрыв звена 1 робота от поверхности.

Положение звеньев устройства описывается вектором координат

$$\bar{q} = (q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6 \ q_7 \ q_8)^T,$$

в котором $q_1=x_1$, $q_2=y_1$, $q_3=x_4$, $q_4=y_4$ – координаты центров масс звеньев 1 и 4 в системе Oxy , $q_5=\varphi_1$, $q_6=\varphi_2$ и $q_7=\varphi_4$ – углы поворота звеньев, $q_8=l_{23}$ – длина ноги робота.

Для записи системы дифференциальных уравнений движения робота используются уравнения Лагранжа второго рода, в которых кинетическая энергия системы определяется по формуле:

$$T = \sum_{i=1}^4 T_i = \sum_{i=1}^4 \left(\frac{m_i (\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2)}{2} + \frac{J_i \dot{\phi}_i^2}{2} \right), \quad i=1 \div 4,$$

где $J_{i,i=1+3} = \frac{m_i l_i^2}{12}$, $J_4 = m_4 (a^2 + b^2)$ – центральные моменты инерции звеньев,

\dot{x}_i , \dot{y}_i – проекции скоростей центров масс звеньев на оси Ox и Oy .

Прыжок робота состоит из последовательности этапов, во время каждого из которых звенья робота совершают определенные виды движения [4]. В матричном виде система дифференциальных уравнений движения объекта имеет вид:

$$A(q)\ddot{q} + B(q)\dot{q}^2 + C(q)\dot{\phi}_2 \dot{l}_{23} = F.$$

где $A(q)$, $B(q)$, $C(q)$ – матрицы коэффициентов, F – матрица обобщенных сил, определяемые на каждом этапе прыжка в отдельности.

В соответствии с предложенной последовательностью этапов движения прыгающего робота на геометрические размеры его звеньев наложены следующие ограничения:

$$l_{23}^{\min} + l_1 \leq b, \quad l_{23}^{\min} + l_1 \leq a, \quad l_2 \leq b, \quad l_2 \leq a, \quad l_3 \leq b, \quad l_3 \leq a, \quad l_{23}^0 > \frac{b}{\sin \varphi_2^0},$$

где φ_2^0 – угол наклона звена 2, при котором происходит разгон робота до его отрыва от поверхности.

Система управления параметрами полета

В работе предлагается система управления высотой и длиной прыжка устройства, в которой в качестве управляющих параметров выступают: φ_2^0 — угол наклона ноги, под которым осуществляется разгон робота, F_{23} — модуль силы, разгоняющей робота, l_{23}^0 — длина ноги робота, на которой происходит разгон (рис. 1, б). Высота и длина прыжка представляют собой расстояния вдоль осей Ox и Oy соответственно с момента отрыва звена 1 от поверхности до достижения наибольших значений вдоль указанных осей.

Моделирование прыжка устройства

Для осуществления моделирования движения устройства численным способом полученная математическая модель реализации одного прыжка была преобразована к безразмерному виду, масштабные коэффициенты равны $M=0.05$ кг, $T=0.1$ с, $L=0.1$ м. В качестве объекта моделирования рассматривается прыгающий робот, масса корпуса которого намного больше масс звеньев ноги и стопы: $m_1=1$, $m_2=1$, $m_3=1$, $m_4=7$. Геометрические размеры робота с учетом ограничений равны: $a=1$, $b=1$, $l_1=0.5$, $l_2=0.9$, $l_3=0.9$, $l_{23}^{\min}=0.4$, $l_{23}^0=1.8$. Будем рассматривать три варианта вытягивания звеньев 1–3 ноги и стопы в корпус робота во время его полета:

1. нога не вытягивается в корпус,
2. нога полностью вытягивается в корпус со скоростью v ,
3. нога полностью вытягивается в корпус под действием силы F .

На рис. 3 приведены графики высоты и длины прыжка от угла наклона ноги при разгоне робота под действием постоянной силы $F_{23}=160$. По рис. 3, а видно, что высота прыжка возрастает по криволинейному закону с увеличением угла φ_2^0 . Длина прыжка также увеличивается по некоторой кривой до достижения углом наклона ноги значения $\varphi_2^0=\pi/3$ при равномерном вытягивании ноги в корпус в полете или в случае, когда нога не вытягивается (кривые 1 и 2 соответственно), и $\varphi_2^0=5\pi/18$ при вытягивании ноги под действием силы F , а затем убывает. При $\varphi_2^0=\pi/2$ длина прыжка равна 0, робот совершает вертикальный прыжок.

По графикам рис. 4 установлено, что высота и длина прыжка робота возрастают пропорционально значению силы F_{23} , разгоняющей устройство для совершения прыжка, независимо от способа вытягивания ноги в полете.

При увеличении длины полностью выдвинутой ноги, на которой происходит разгон робота до его отрыва от поверхности, наблюдается возрастание высоты и длины прыжка практически пропорционально расстоянию l_{23}^0 (рис. 5).

Заключение

В работе описана математическая модель прыгающего робота, представляющего собой четырехзвенную систему, состоящую из корпуса, ноги, образованной двумя звеньями, и стопы. Разработана система управления высотой и длиной прыжка устройства, в которой в качестве управляющих величин выступают параметры разгона робота. По результатам математического моделирования установлены закономерности между управляемыми и управляющими параметрами для случаев равномерного и равноускоренного вытягивания ноги в полете и при отсутствии вытягивания ноги. Полученные зависимости могут использоваться при проектировании прыгающих роботов, использующих ногу в качестве модуля, за счет осуществляется отрыв от поверхности.

Литература:

1. Cherouvim E.P. N. Energy saving passive-dynamic gait for a one-legged hopping robot // Robotica. 2006. Vol. 24. No. 4. P. 491–498.
2. Ahmadi M., M. Buehler»Stable control of a simulated one-legged running robot with hip and leg compliance // IEEE Transactions on Robotics and Automation. 1997. Vol. 13. No. 1. P. 96–104.
3. Carl'esi N., Chemori A. Nonlinear Model Predictive Running Control of Kangaroo Robot: a One-Leg Planar Underactuated Hopping Robot // The 2010 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. 2010. P. 3634–3639.
4. Волкова, Л.Ю. Исследование различных режимов движения робота, перемещающегося с отрывом от поверхности / Л.Ю. Волкова, С.Ф. Яцун // Сборник научных трудов международной молодежной конференции «Мехатроника. Современное состояние и тенденции развития». г. Орехово-Зуево, 2012. С. — 66–71.

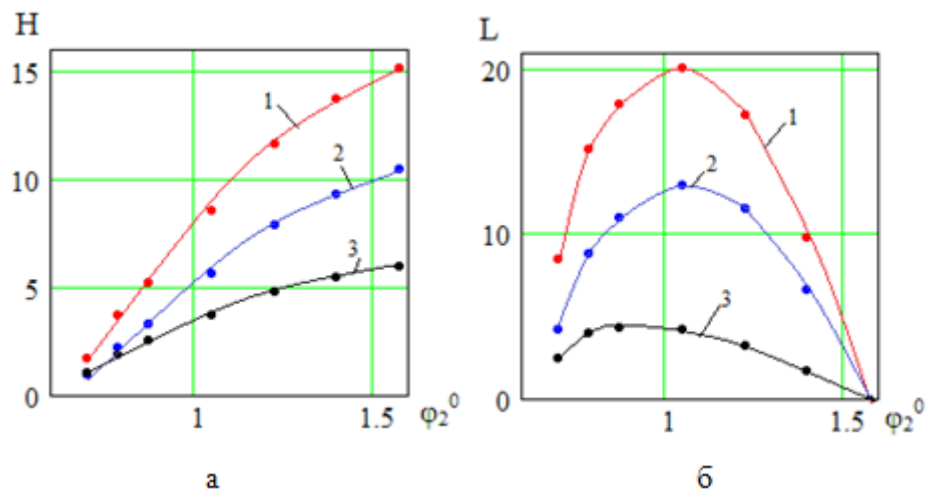


Рис. 3. Зависимости: а – $H(\varphi_2^0)$, б – $L(\varphi_2^0)$; 1 – нога не втягивается; 2 – нога втягивается со скоростью $v=5$; 3 – нога втягивается под действием силы $F=5$.

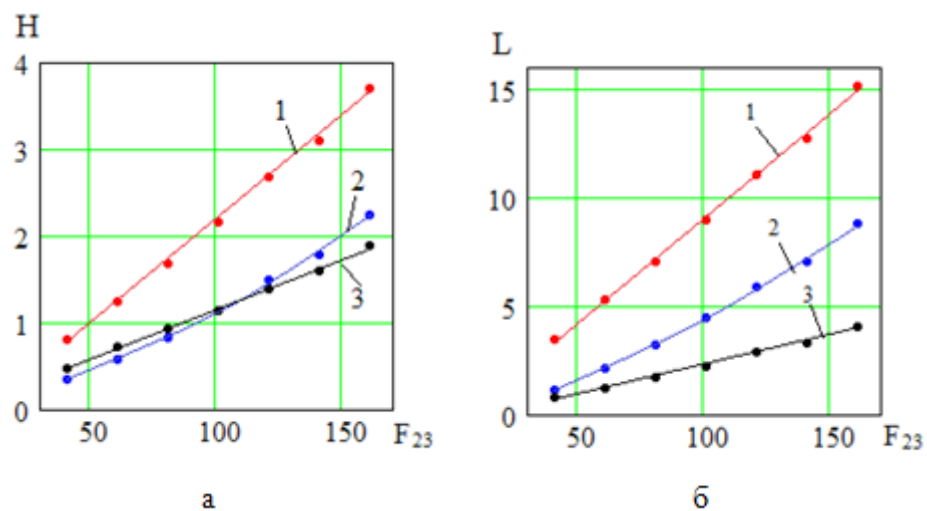


Рис. 4. Зависимости: а – $H(F_{23})$, б – $L(F_{23})$ при $\varphi_2^0 = \pi/4$; 1 – нога не втягивается; 2 – нога втягивается со скоростью $v=5$; 3 – нога втягивается под действием силы $F=5$.

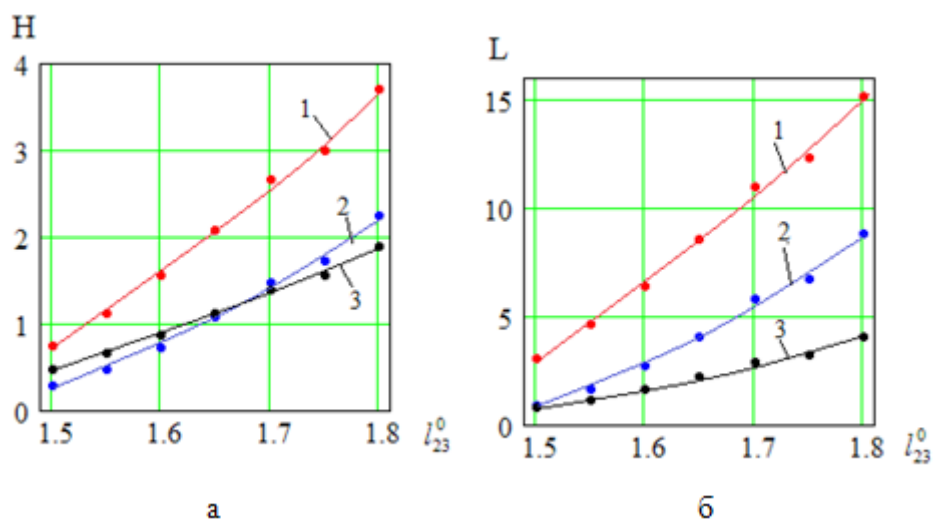


Рис. 5. Зависимости: а – $H(l_{23}^0)$, б – $L(l_{23}^0)$ при $\varphi_2^0 = \pi/4$; 1 – нога не втягивается; 2 – нога втягивается со скоростью $v=5$; 3 – нога втягивается под действием силы $F=5$.

Изучение движения квадрокоптера в вертикальной плоскости

Емельянова Оксана Викторовна, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Яцун Сергей Федорович, доктор технических наук, профессор;

Попов Николай Иванович, аспирант

Юго-Западный государственный университет (г. Курск)

Введение

В последние годы началось развитие нового класса небольших беспилотных квадрокоптеров, способных нести полезную нагрузку в виде контролируемых приборов, видеоаппаратуры. Квадрокоптеры, в отличие от беспилотных летательных аппаратов (БЛА) вертолетного типа традиционной продольной схемы с несущим и рулевым винтами и аппаратов соосной схемы, обладают рядом достоинств, таких, как простота и надежность конструкции. Вопросам расчета параметров квадрокоптера и систем управления уделено большое внимание в работах [1–6]. Такие устройства характеризуются малой взлетной массой компактностью и высокой маневренностью. Центральная часть квадрокоптера — «фюзеляж» служит для размещения оборудования, нагрузки и аккумуляторов. Радиально от центра на балках устанавливаются микроэлектродвигатели с несущими винтами, образуя звездообразную компоновку всего аппарата. Такая симметричная компоновка, предполагает наличие передней и задней частей, относительно которых сориентировано направление движения.

Общий вид квадрокоптера показан на рис. 1.

Математическая модель квадрокоптера

Для изучения основных закономерностей движения квадрокоптера рассмотрим математическую модель, описывающую пространственное движение летающего робота. Квадрокоптер — это электромеханическая система корпус которой можно моделировать твердым телом с 6-ю степенями свободы. Будем рассматривать движение корпуса робота в декартовой системе координат, связанной с землей $Oxyz$, тогда положение центра масс аппарата определяют координаты x, y, z , а ориентацию в пространстве задают углы Эйлера ψ, θ, φ (рис. 2).

Каждый из двигателей создает силу тяги F_i ($i = 1, 2, 3, 4$), величина которой регулируется изменением уровня напряжения на двигателях. В рассматриваемой конструкции векторы F_i имеют соответствующие проекции (F_{ix}, F_{iy}, F_{iz}) на систему координат связанную с корпусом. Правильная ориентация векторов F_i открывает широкие возможности для компенсации внешней ветровой нагрузки действующей на корпус робота.

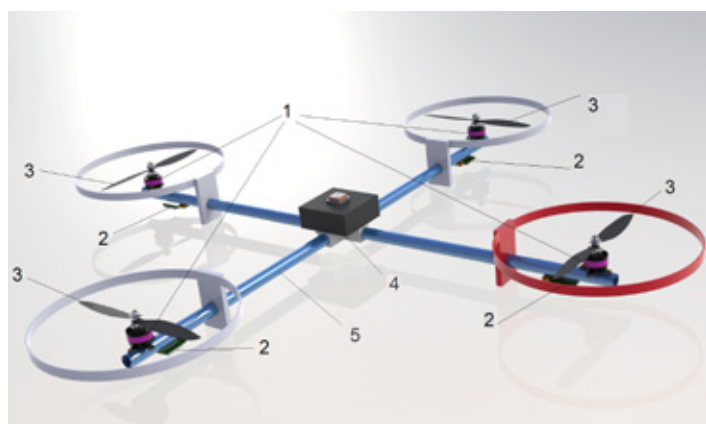


Рис. 1. Общий вид квадрокоптера: 1 – бесколлекторные двигатели; 2 – регуляторы оборотов; 3 – винты 10x45 разнонаправленного вращения; 4 – центральная плата управления; 5 – фюзеляж (корпус)

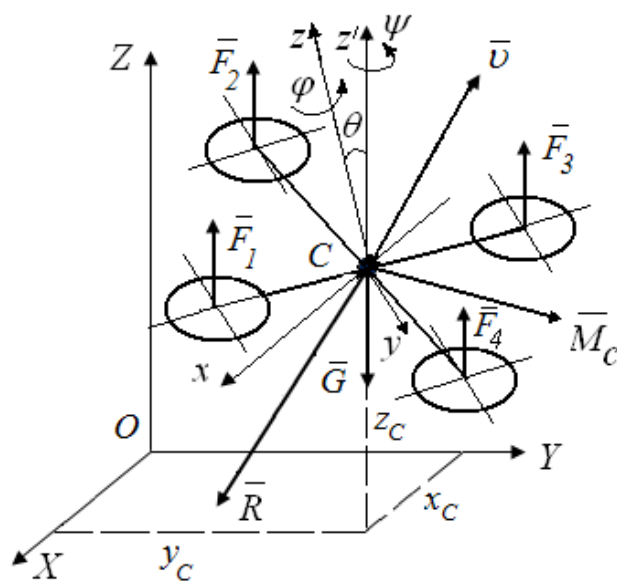


Рис. 2. Пространственная расчетная схема квадрокоптера

Моделирование управляемого движения квадрокоптера в вертикальной плоскости

Схема движения квадрокоптера в вертикальной плоскости приведена на рис. 3. Управление движением осуществляется изменением величин двух сил F_i , $i=1, 2$, а также углами наклона этих векторов к локальной системе координат. Ветровая нагрузка моделируется с помощью приведенной силы $P(t)$ и момента $M(t)$, параметры которых в общем случае изменяются по случайному закону. В данном примере представлены в виде:

$$P = P_0 \sin \Omega_P t \quad (1)$$

$$M = M_0 \sin(\Omega_M t + \beta) \quad (2)$$

где P_0 и M_0 – амплитуды ветровой нагрузки, Ω_P , Ω_M – частоты ветровой нагрузки, β – сдвиг фазы между моментом и силой.

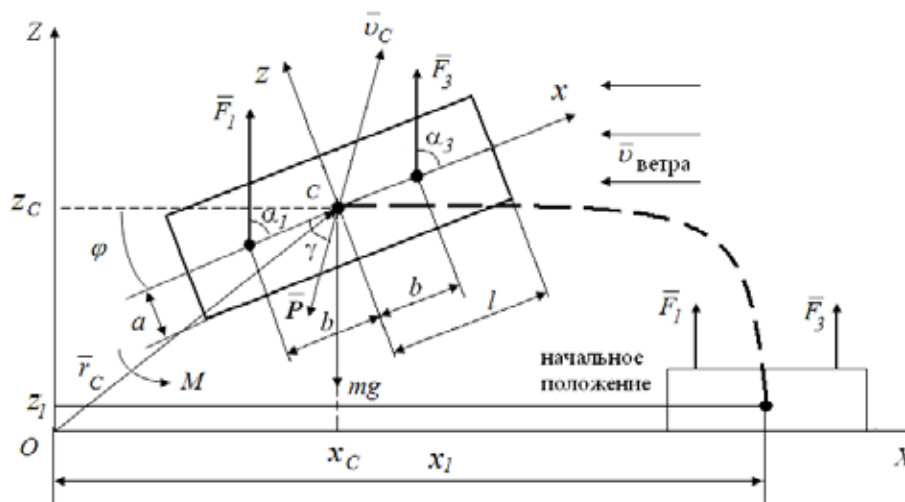


Рис. 3. Плоская расчетная схема квадрокоптера

Введем две системы координат: абсолютную неподвижную систему координат OXZ и относительную систему координат Oxz , которая жестко связана с корпусом робота так, что начало координат O совпадает с центром масс корпуса, ось Ox параллельна траекториям движения корпуса робота.

Угол φ определяет поворот системы координат Oxz относительно OXZ .

Управляемыми параметрами являются координаты x_C и z_C центра масс корпуса устройства, угол φ поворота корпуса робота относительно его центра масс. В общем случае управляющими величинами являются силы F_1 , F_3 , углы α_1 , α_3 , изменяя которые можно получить любую траекторию движения.

Определим радиус-вектор центра масс корпуса устройства:

$$\vec{r}_C = \begin{pmatrix} x_C \\ z_C \end{pmatrix} \quad (3)$$

Вектор скорости центра масс равен:

$$\dot{\vec{r}}_C = \begin{pmatrix} \dot{x}_C \\ \dot{z}_C \end{pmatrix} \quad (4)$$

Со стороны окружающей среды на корпус робота действует сила моделирующая ветровую нагрузку P , определяемая по формуле:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_z^2}, \quad (5)$$

где $P_x = \cos \gamma$, $P_z = \sin \gamma$ – проекции силы сопротивления на оси x , z соответственно.

Запишем систему дифференциальных уравнений, описываемых движение объекта в вертикальной плоскости:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_C = \sum \bar{F}_{ix}^e \\ m\ddot{z}_C = \sum \bar{F}_{iz}^e \\ I_C \dot{\omega}_y = \sum M_{Ci} \end{cases} \quad (6)$$

После соответствующих преобразований система (6) примет следующий вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_C = F_1 \cos(\alpha_1 + \varphi) + F_3 \cos(\alpha_3 + \varphi) - P \cos(\gamma + \varphi) \\ m\ddot{z}_C = F_1 \sin(\alpha_1 + \varphi) + F_3 \sin(\alpha_3 + \varphi) - P \sin(\gamma + \varphi) - mg \\ I_{Cy} \ddot{\varphi} = -F_1 b \sin \alpha_1 + F_3 b \sin \alpha_3 - \mu \dot{\varphi} + M \end{cases} \quad (7)$$

где $\mu \dot{\varphi}$ — момент сопротивления вращению корпуса квадрокоптера.

Пусть в начальный момент времени летающий робот имеет нулевую скорость: $\dot{x} = 0, \dot{z} = 0, \dot{\varphi} = 0$, а координаты центра масс заданы: $x = x_1, z = z_1, \varphi = 0$.

В дальнейшем рассмотрим случай взлета робота на заданную высоту и дальнейшее его движение вдоль оси, параллельной оси Oy по заданной траектории. При этом должно выполняться следующее условие:

$$z_0 - \delta z_0 < z < z_0 + \delta z_0, x_0 - \delta x_0 < x < x_0 + \delta x_0 \text{ а угол } \varphi: -\varphi_0 + \delta \varphi_0 < \varphi < \varphi_0 + \delta \varphi_0.$$

Величина $\delta z_0, \delta x_0$ — предельные величины отклонения летающего робота от заданной траектории, определяет погрешность $(\delta z_0/z_0), (\delta x_0/x_0)$ реальной траектории движения. При превышении которой включается управление в виде сил.

Траектория движения летающего робота формируется в виде периодических циклов движения, описываемых функциями с малым числом изменяемых параметров. Это позволяет проводить её формирование и оптимизацию с использованием математической модели, описываемой системой нелинейных дифференциальных уравнений (7).

Структурная схема трехканальной системы управления движением представлена на рисунке 4.

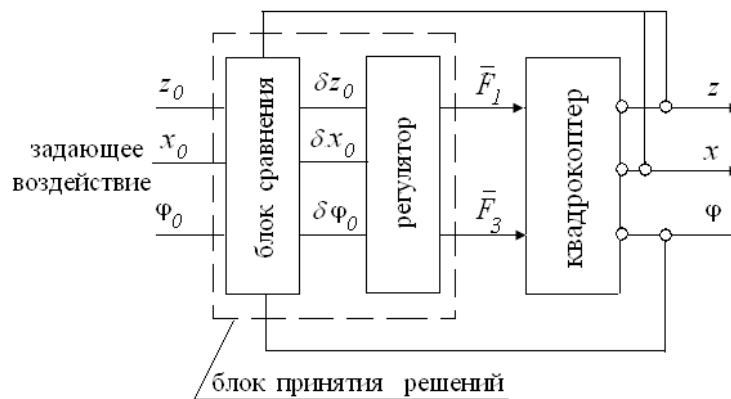


Рис. 4. Структурная схема управления движением летающего робота

Логический регулятор системы автоматического управления (САУ) реализует управляющие воздействия по следующему алгоритму:

$$F = \begin{cases} F_1 = F_2 - \frac{k \cdot \varphi}{b} \\ F_3 = a(z_0 - z) - \mu \dot{z} + \frac{mg + \varphi/b}{2} \end{cases} \quad (8)$$

где F_1, F_3 — управляющие воздействия, определяются блоком принятия решений; a, b, k, μ — параметры квадрокоптера.

Далее проводилось численное моделирование движения квадрокоптера в вертикальной плоскости, пример которого представлен на рис. 5.

Выводы: В результате математического моделирования удалось получить параметры САУ, обеспечивающие движение центра масс и ориентацию квадрокоптера в зависимости от углов поворота α_1, α_3 , управляющих параметров \bar{F}_1 и \bar{F}_3 . Так при $\alpha_1 = \alpha_3 = 90^\circ$ (рис. 5) наблюдается движение квадрокоптера в зоне отрицательных значений осей Ox , связанное с инерционными составляющими, стабильное поддержание заданной высоты (ось Oz), а также незначительный разворот корпуса квадрокоптера и дальнейшее его выравнивание.

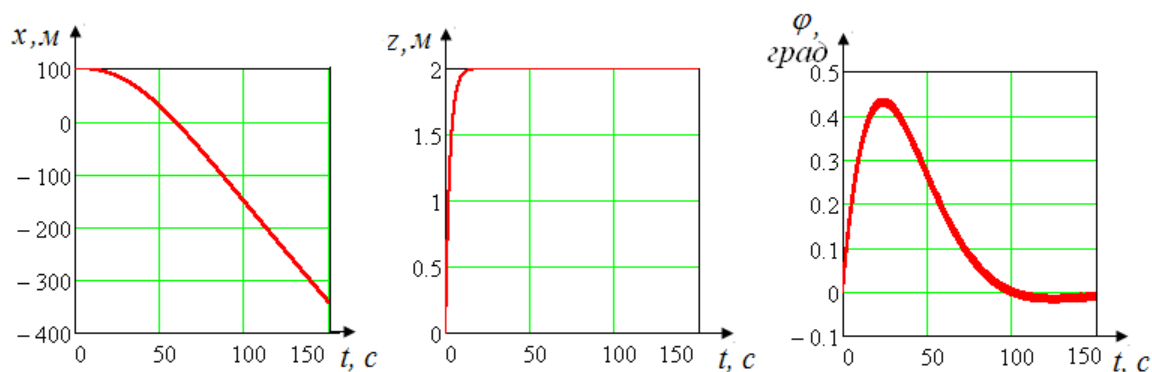


Рис. 5. Графики проекции перемещений и угла поворота квадрокоптера от времени

Литература:

1. T. Bresciani. Modeling, identification and control of a quadrotor helicopter. Master's thesis, Department of Automatic control, Lund University, October 2008, 170p.
2. Carlo Alberto Pascucci. Design, Construction and Model Predictive Control of a Quadcopter Autonomous Aerial Vehicle, September 2010. p. 30–33.
3. A. Bemporad, C.A. Pascucci, and C. Rocchi. Hierarchical and hybrid model predictive control of quadcopter air vehicles. In 3rd IFAC Conference on Analysis and Design of Hybrid Systems, Zaragoza, Spain, 2009, p.14–19.
4. G.V. Raffo, M.G. Ortega, and F.R. Rubio. An integral predictive/nonlinear control structure for a quadrotor helicopter. Automatica 46 (2010) p.29–39.
5. Bouabdallah S., Murrieri P., & Siegwart R. Design and control of an indoor micro quadrotor. In Proc. IEEE Int. conf. on rob. and automat., Vol. 5, New Orleans, USA (pp. 4393_4398), (2004).
6. Castillo P., Lozano R., & Dzul A. Stabilization of a mini rotorcraft with four rotors. IEEE Control Systems Magazine (2005a), 45–55.

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Процессы горения при обжиге пористых заполнителей на основе отходов горючих сланцев и продукта сепарации нефтешлама

Колпаков Александр Викторович, аспирант;

Денисов Денис Юрьевич, аспирант;

Абдрахимов Владимир Закирович, доктор технических наук, профессор

Самарская академия государственного и муниципального управления

Исследования показали, что при нагреве пористых заполнителей до 600°C углеводороды удаляются из гранул. В гранулах остается только высокотемпературная устойчивая форма углерода — графит. В интервале температур 1050–1100°C значительно ускоряется процесс восстановления железа. При температуре обжига 1100°C в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют.

Ключевые слова: нефтяной кек, межсланцевая глина, пористые заполнители, химический состав, физико-механические характеристики, гранулы, горение, твердое топливо, углерод, графит, углеводороды.

Ежегодно в различных отраслях промышленности накапливается огромное количество отходов. На их удаление затрачивается 8–10% стоимости производимой продукции [1, 2].

Производство строительных керамических материалов — одна из самых материалоемких отраслей народного хозяйства, поэтому рациональное использование топлива, сырья и других материальных ресурсов становится решающим фактором ее успешного развития в условиях проводимой экономической реформы. В связи с этим применение в керамических материалах отходов производств приобретает особую актуальность [3].

Задача настоящей работы — исследовать процессы горения при обжиге пористых заполнителей (керамзита) из техногенного сырья (отходов производств) энергетики и нефтесодержащего продукта сепарации нефтешлама (нефтяного кека) с повышенным содержанием углерода без применения природных традиционных материалов. Так как именно процессы горения при обжиге теплоизоляционного материала формируют основные физико-механические свойства изделий.

В работах [4, 5, 6] была показана принципиальная возможность использования твердого нефтесодержащего продукта сепарации нефтешлама (нефтяного кека) и отхода от сжигания горючих сланцев — межсланцевой глины в производстве теплоизоляционного материала (керамзита). Компонентный состав нефтяного шлама (кека) представлен в таблице 1, а химический состав межсланцевой глины в таблице 2.

В настоящей работе изложены вопросы кинетики выгорания угольных частиц при обжиге керамзита (теплоизоляционного материала) из оптимального состава,

мас. %: межсланцевая глина — 80, нефтяной кек — 20 [4, 5, 6]. Для исследования состава газов, выделяющихся при обжиге керамзита, был использован хроматограф ХЛ-4 (рисунок 1) [6, 7].

Хроматографический метод — это физико-химический метод разделения сложных смесей газов на составляющие компоненты. При этом происходит распределение компонентов смеси между двумя фазами, одна из которых неподвижная, а другая — подвижная. В газовой хроматографии, как известно, подвижной фазой является газ [7].

Процесс горения твердого топлива углерода принято разбить на пять этапов [8–10]:

1) доставка окислителя из атмосферы к поверхности раздела фаз путем молекулярной и конвективной диффузии;

2) адсорбция молекул окислителя на поверхности графита;

3) взаимодействие адсорбированного окислителя с атомами углерода и образование продуктов реакции, также адсорбированных на графите;

4) десорбция продуктов реакции;

5) удаление (редиффузия) продуктов в атмосферу. По мнению авторов работы [9] процесс горения включает в себя три категории стадий: диффузионную, адсорбционную и химическую.

Газовая среда, окружающая керамический материал в период термообработки при нагревании, как известно, является одним из движущих факторов интенсивности протекания физико-химических процессов.

С началом термической обработки до 180°C из образцов выделяется остаточная вода [6, 8, 9]. Изучение динамики газовыделения из исследуемого материала показывает,

Таблица 1

Компонентный состав нефтяной части нефтяного шлама (кека)

Наименование веществ	Содержание в % масс
Смолы	5,3
Асфальтены	5,3
Парафины	9,0
Тяжёлые масла	80,4
Вещества, растворимые в соляной кислоте, всего	74,75
в том числе:	
R_2O_3 (Al_2O_3 ; Fe_2O_3)	10,75
RO (CaO)	21,37
RO (MgO)	5,03
$CaSO_4$	4,79
$CaCO_3$	34,73
$MgCO_3$	7,32
$MgCaCO_3$	16,01
Вещества нерастворимые в соляной кислоте	25,25

Таблица 2

Усредненный химический состав межсланцевой глины

Содержание оксидов, мас. %						
SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	R_2O	п.п.п.
47,03	16,8	5,6	10,9	2,1	3,4	12,8

что в условиях нормального давления, начиная с $250^\circ C$ в результате разложения органических веществ наблюдается выделение H_2 , CO , SO_3 и CO_2 .

При термической обработке гранул в интервале температур $400-600^\circ C$ из керамзита удаляются летучие углеводороды, и в гранулах остаются частицы только одной (из четырех известных) аллотропических форм углерода – графита [6, 8, 9].

При температуре $400-500^\circ C$ физическая адсорбция диоксида углерода на поверхности графита уступает место хемосорбции без выделения CO [%, 8–10]. Такая хемосорбция приводит к возникновению на поверхности графита двух комплексов: кетенового $CH_2=C=O$ и кето $>C=O$ (карбонильная группа).

Авторы работы [8] полагают, что при нагреве пористых заполнителей до $600^\circ C$ в большинстве случаев углеводо-

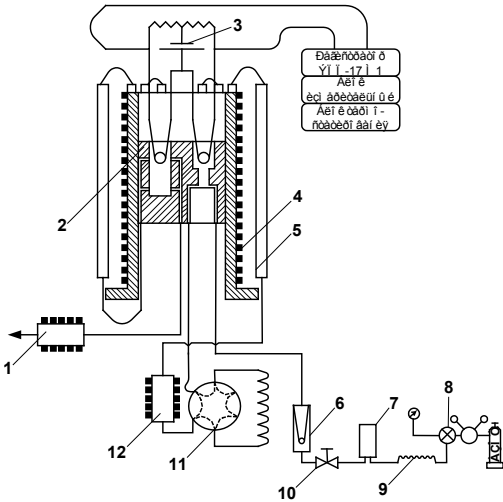


Рис. 1. Схема устройства хроматографа ХЛ-4: 1 и 4 – нагреватели; 2 – детектор; 3 – источник питания; 5 – колонка; 6 – ротаметр; 7 – осушитель газа; 8 – редуктор; 9 – капилляр; 10 – дроссель газов; 11 – кран-дозатор; 12 – испаритель жидкой пробы

Таблица 3

Состав газовой среды, выделяющейся при обжиге керамического материала, %

$t_{\text{обж}}, ^\circ\text{C}$	H_2	CO	O_2	CO_2	N_2	SO_3
250	3,03	27,03	6,44	27,94	34,36	1,04
350	4,82	35,72	5,83	24,0	28,80	1,78
550	7,88	40,30	2,07	28,82	19,84	2,83
950	8,02	51,03	1,98	21,89	17,08	—
1050	6,20	70,25	1,90	5,07	16,58	—

роды удаляются из гранул. В гранулах остается только высокотемпературная устойчивая форма углерода — графит.

С повышением температуры кетенные комплексы становятся неустойчивыми и при температуре 600–700°C покидают поверхность графита, а на их месте возникают новые кетенные комплексы [8–10].

Условия доставки окислителей и отвода продуктов реакций от поверхности графита во многом зависят от характера макropотоков дымовых газов. При этом авторы работы [8] различают два случая. Первый — ламинарное течение макropотока. У этого потока отсутствует составляющая, перпендикулярная границе раздела фаз, и поэтому ламинарный поток не увеличивает диффузию. Второй — турбулентное течение конвективного потока, которое характеризуется сложной траекторией движения струек газа.

В процессе нагрева органические примеси обугливаются (главным образом во внутренних слоях керамического материала, изолированных от доступа кислорода воздуха), распадаясь на летучие и углистые остатки, которые сгорают с трудом. Процесс этот аналогичен сухой перегонке топлива. Обугливание с образованием углистого остатка происходит в интервале температур 500–800°C [6, 8–10].

При термообработке керамических материалов выделяется газовая фаза, которая также является активным реагентом, влияющим на протекающие в этих материалах физико-химические процессы [6, 8–10].

Правильная оценка качественного состава и количественного соотношения компонентов газовой фазы будет способствовать выбору оптимальных режимов термообработки для получения керамического материала с заданными свойствами.

С началом термической обработки до 180°C из образцов выделяется остаточная вода. Изучение динамики газовыделения из исследуемого материала показывает, что в условиях нормального давления, начиная с 250°C, в результате разложения органических веществ наблюдается выделение H_2 , CO , SO_3 и CO_2 из керамических образцов. При этом суммарное содержание газов-восстановителей (водорода и угарного газа), как следует из таблицы 3, составляет более 30%, что свидетельствует о восстановительном характере газовой среды. В интервале температур 350–550°C в составе газовой среды отмечается

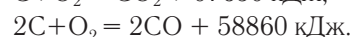
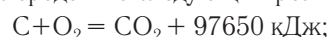
интенсивное уменьшение содержания окислителя (кислорода) и нейтрального газа (азота). В интервале температур 550–1050°C наблюдается незначительное снижение содержания кислорода и азота.

Исследования показали, что основными компонентами газовой фазы при обжиге керамических материалов при температуре 950°C являются: CO_2 , CO , O_2 , H_2 , N_2 и некоторые другие газы (таблица 3) [6, 8–10].

При выгорании образовавшегося углистого остатка происходят следующие процессы [6, 8–10]:

- а) диффузия кислорода через слой керамики;
- б) химические реакции горения с образованием внутри керамики оксида углерода;
- в) диффузия образовавшегося оксида углерода к поверхности керамики;
- г) сгорание оксида углерода за счет кислорода окружающей среды.

Скорость выгорания углистого остатка определяется самым медленным процессом — диффузией кислорода через слой керамики. Кислород вступает в соединение с углеродом по следующим реакциям [6–10]:



Наличие внутри керамического материала кокса при недостатке кислорода приводит к восстановлению CO_2 до оксида углерода по реакции:



При обжиге керамических изделий выгорание углерода усложняется процессом дегидратации, которая при скоростном обжиге происходит при температурах выше 500°C. Потеря химически связанной воды (дегидратация) в монтмориллоните происходит постепенно в широком интервале температур (от 200 до 800°C и выше, но основная масса воды выделяется при температуре выше 500°C) в зависимости от характера и степени изоморфного замещения одних атомов другими в кристаллической решетке. В связи с этим затрудняется диффузия кислорода и соответственно выгорание углистого остатка. Количество органических примесей в образцах, обожженных в парогазовой среде и в среде водяного пара в пределах температур 750–850°C, в 6–7 раз больше, чем в образцах, обожженных в окислительной среде [6–10].

Начиная с температуры 800°C, взаимодействие CO_2 с графитом происходит не только с поверхности [6–10].

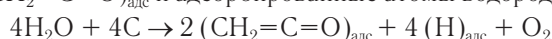
Таблица 4

Содержание органических соединений и оксидов железа в керамическом композиционном материале при обжиге 1100°C

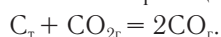
Содержание, %								
В исходной массе			В черной сердцевине керамики после обжига			На поверхности керамики		
Органики	Fe ₂ O ₃	FeO	Органики	Fe ₂ O ₃	FeO	Органики	Fe ₂ O ₃	FeO
9,54	6,32	1,02	следы	1,92	4,13	следы	4,02	2,15

Молекулы CO₂ внедряются в межбазисное пространство графита и ослабляют связи поверхности атомов углерода с массой кристалла графита, подготавливая их к взаимодействию с внешними молекулами CO₂.

Эксперименты, проведенные в работах [6–10] в условиях глубокого вакуума, показали, что в результате реакции H₂O с С образуются только СО и Н₂ и при том только в эквимолекулярных количествах. В интервале температуры 750–1050°C молекулы воды, ударяясь о поверхность графита, распадаются на кето-комплексы (CH₂=C=O)_{адс} и адсорбированные атомы водорода (H)_{адс}:



Адсорбционный комплекс (H)_{адс} является более прочным, чем кето-комплекс. При температуре 900°C и выше разлагается кето-комплекс, и, таким образом, на каждый моль израсходованной CO₂, образуется уже два моля СО, т.е. образование СО соответствует обычной стехиометрической записи реакции [6–10]:



Наличие в керамзите при спекании невыгоревшего углерода может явиться причиной не только вспучивания и образования черной сердцевины, но и появления трещины. Эти дефекты особенно характерны для масс с повышенным содержанием органики.

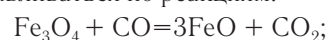
Дымовые газы [6–10], поступающие в зону подогрева гранул (температура материала 400–1000°C), содержат следующие компоненты, % по объему: H₂O=16,0; CO₂=7,0; O₂=8,0; N₂=69,0.

Совместное рассмотрение взаимодействия указанных окислителей с углеродом представляется крайне затруднительным, поскольку реакции проходят одновременно и тепловые эффекты накладываются друг на друга [6–10].

Углеводородные соединения, создавая восстановительную среду при низких температурах, способствуют переводу в расплав минеральной части при температурах 1100–1200°C [6–10]. По данным работы [8], на образование газовой фазы тратится графит, масса которого составляет всего 0,1 % от массы гранулы. Избыточное содержание углерода снижает вспучиваемость и прочность заполнителя [8].

Если в процессе спекания с участием жидкой фазы углеродистый материал будет изолирован от воздуха до того, как он полностью окислится, то при более высоких температурах он будет действовать как восстановитель. В

интервале температур 1050–1100°C значительно ускоряется процесс восстановления железа [6–10]. При этом в железосодержащих массах оксид железа может восстанавливаться по реакциям:



При температуре обжига 1100°C в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют (таблица 4).

При повышении температуры обжига до 1100°C происходят образования более сложных соединений (анортит, муллит), которые придают изделию высокую механическую прочность [6–10].

Середина и поверхность образца сильно различаются содержанием Fe₂O₃ и FeO. На поверхности керамического материала Fe₂O₃ преобладает над FeO, а в середине наоборот (таблица 4).

При поддержании окислительной среды в зоне обжига более темный цвет возникает только в середине обожженного керамзита. При наличии в зоне обжига СО керамзит имеет две зоны — более темный цвет в середине (рисунок 2 б) и более светлый цвет на поверхности (рисунок 2 а), а между ними располагается зона, имеющая нормальный для данной массы цвет.

В рассмотренном случае источником восстановления Fe₂O₃ в FeO и образования темноты в середине керамического материала является выгоревший углерод, а на поверхности — СО в газовой среде зоны обжига.

Выводы. С началом термической обработки до 180°C из образцов выделяется остаточная вода. Изучение динамики газовыделения из исследуемого материала показывает, что в условиях нормального давления, начиная с 250°C, в результате разложения органических веществ наблюдаются выделения H₂, СО, SO₃ и CO₂ из керамических образцов. При температуре 400–500°C физическая адсорбция диоксида углерода на поверхности графита уступает место хемосорбции без выделения СО. Такая хемосорбция приводит к возникновению на поверхности графита двух комплексов: кетенового CH₂=C=O и кето >C=O (карбонильная группа).

При нагреве пористых заполнителей до 600°C углеводороды удаляются из гранул. В гранулах остается только высокотемпературная устойчивая форма углерода — графит.

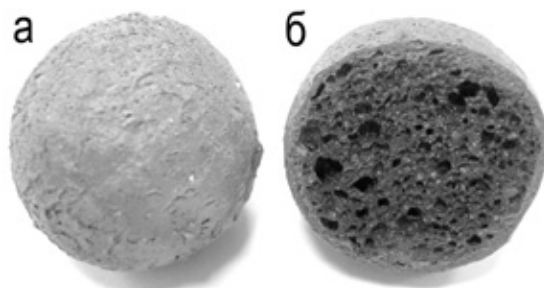


Рис. 2. Пористый наполнитель (керамзит): а) – поверхность; б) – середина

С повышением температуры кетенные комплексы становятся неустойчивыми и при температуре 600–700°C покидают поверхность графита, а на их месте возникают новые кетенные комплексы. При температуре 900°C и выше разлагается кето-комплекс, и, таким образом, на каждый моль израсходованной CO_2 , образуется уже два

моля CO , т.е. образование CO соответствует обычной стехиометрической записи реакции.

В интервале температур 1050–1100°C значительно ускоряется процесс восстановления железа. При температуре обжига 1100°C в обожженном керамическом материале органические соединения практически отсутствуют.

Литература:

1. Абдрахимов, В.З. Вопросы экологии и утилизации техногенных отложений в производстве керамических композиционных материалов. — Самара: Самарский государственный архитектурно-строительный университет. — 2010. — 160 с.
2. Абдрахимов, В.З. Использование отходов флотации углеобогащения в производстве керамзита / В.З. Абдрахимов, В.К. Семенычев, Е.С. Абдрахимова, И.В. Ковков, В.А. Куликов // Экология и промышленность России. — 2010. — №5. — С. 20–21.
3. Абдрахимова, Е.С. Использование отходов производства при получении керамического кирпича на основе бейделлитовой глины / Е.С. Абдрахимова, В.З. Абдрахимов // Экология и промышленность России. — 2010. — №11. — С. 56–59.
4. Колпаков, А.В. Исследование коэффициента вспучивания и фазового состава на различных этапах обжига керамзита из межсланцевой и бейделлитовой глин / А.В. Колпаков, В.З. Абдрахимов // Строительство и реконструкция. — 2012. — №5. — С. 50–58.
5. Куликов, В.А. Влияние твердого нефтесодержащего отхода сепарации нефтешлама на фазовый состав и физико-механические свойства керамзита / В.А. Куликов, В.З. Абдрахимов, И.В. Ковков // Известия вузов. Строительство. — 2010. — №6. — С. 28–34.
6. Абдрахимов, В.З. Теоретические и технологические аспекты использования техногенного сырья в производстве теплоизоляционных материалов / Абдрахимов В.З., Денисов Д.Ю. — Самара: Самарская академия государственного и муниципального управления. — 2010. — 72 с.
7. Абдрахимова, Е.С. Методика исследования состава газов, выделяющихся при обжиге керамического композиционного материала на основе бейделлитовой глины и продукта сгорания от базальтовой шихты / Е.С. Абдрахимова, Е.В. Вдовина // Известия вузов. Строительство. — 2008. — №9. — С. 25–29.
8. Петров, В.П. Механизм и кинетика горения угольных частиц в гранулах пористых наполнителей / В.П. Петров, Б.А. Максимов // Современное состояние и перспектива развития строительного материаловедения: материалы восьмых академических чтений РААСН. СГАСУ. — Самара. — 2004. — С. 407–410.
9. Есин, О.А. Физическая химия пирометаллургических процессов, часть 1. Реакции между газообразными и твердыми фазами / О.А. Есин, П.В. Гельд. — Свердловск: Metallurgy. — 1962. — 671 с.
10. Абдрахимов, В.З. Образование черной сердцевины при скоростном обжиге керамических материалов / В.З. Абдрахимов, Е.С. Абдрахимова // Строительные материалы, оборудование XXI века. — 2006. — №2. — С. 64–65.

Сравнительный анализ на основе метода конечных элементов работы балок с гофрированной стенкой в условиях стесненного кручения

Лукин Алексей Олегович, ассистент

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Известно, что нагрузки, действующие на балки, всегда прикладываются с каким-то смещением (эксцентриситетом), вследствие чего в балках может возникать стесненное кручение. Анализ работы ригелей и двутавровых балок со стенкой из плоского листа с учетом смещения нагрузки с оси и развитием стесненного кручения посвящено много работ [1, 2].

В настоящее время в строительстве все чаще находят применение стержни со стенкой в виде гофрированного листа [3]. Известно много примеров реализации стержней с гофрированной стенкой в качестве балок, ригелей и колонн стальных несущих рам металлических каркасов зданий. Не смотря на то, что балки двутаврового сечения с гофрированной стенкой имеют широкое применение в конструкциях зданий и сооружений напряженно-деформированное состояние таких конструкций в условиях стесненного кручения практически не изучено.

Из большого разнообразия форм гофров в мировой практике получили широкое распространение вертикальные гофры трех очертаний (рис. 1) [3]:

- Гофры треугольного очертания — применяются в Казахстане (рис. 1,а);
- Гофры трапецеидального очертания — широкое применение получили в США, Японии, Швеции, Голландии (рис. 1,б);

— Гофры волнистого очертания — применяются в Австрии, Украине, Польши, России (рис. 1,в).

Цель данного исследования заключалась в проведении сравнительного анализа работы балок с гофрированной стенкой различного очертания и балки со стенкой из плоского листа при нагрузке, приложенной с эксцентриситетом.

Работа балок сопоставлялась по показателям деформативности — прогибам и углам поворота. Для сравнения деформативности балок характеристики сечения (высота, длина и площадь поперечного сечения) приняты одинаковыми. Для балок с гофрированной стенкой одинаковыми принимались параметры гофра — длина полуволны a и высота гофра f (табл.1). Расчетная схема принята в виде двухпорной шарнирной балки (рис. 2). Пролет балки принят 6 м. Нагрузка прикладывалась в виде двух сосредоточенных сил по 100 кН (10 т) с шагом 2 м с целью создания в середине пролета участка с «чистым изгибом». Нагрузка прикладывалась с эксцентриситетом к оси балки равным 40 мм.

Расчет производился в упругой стадии с использованием вычислительного комплекса «Ли́ра». Создание расчетных моделей произведено с применением разработанной автором программы «Gofo» [4], а триангуляция сетки конечных элементов (КЭ) производилась в предпроцессоре GMSH [5]. Фрагменты разбивки КЭ модели приведены на рис. 3. При создании моделей применялся универсальный треугольный КЭ оболочечного типа.



а

б

в

Рис. 1. Наиболее распространенные гофрированные конструкции

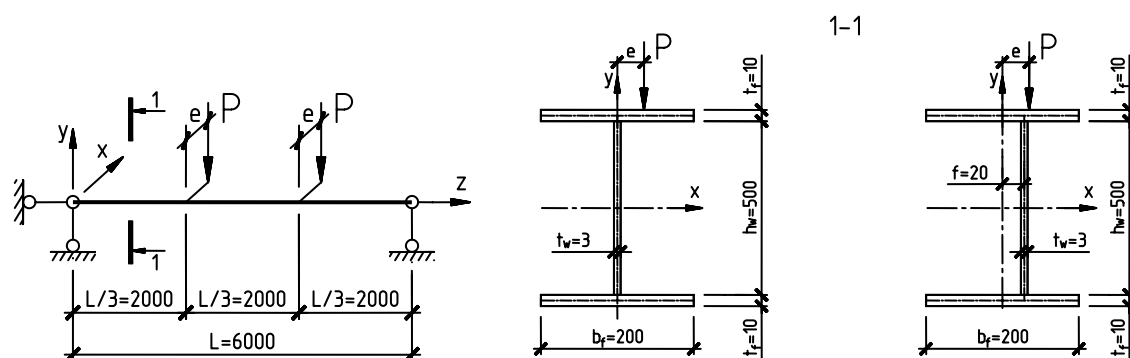
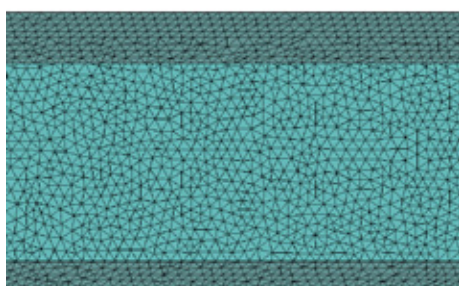


Рис. 2. Расчетная схема балки и поперечное сечение

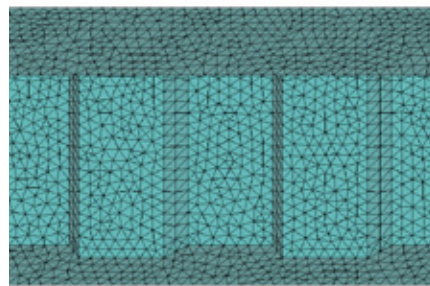
Таблица 1

Параметры балок

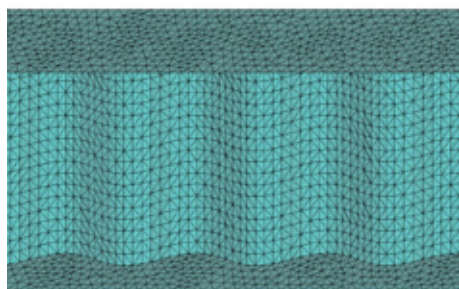
Балка	b_f мм	t_f мм	h_w мм	t_w мм	Основные параметры гофров стенки	Размеры гофра, мм			
						a	f	a_1	a_3
1. с плоской стенкой	220	10	500	3	-	-	-	-	-
2. с треугольным гофром	220	10	500	3		150	20	155	-
3. с трапецидальным гофром	220	10	500	3		150	20	56.6	40
4. с волнистым гофром	220	10	500	3		150	20	-	-



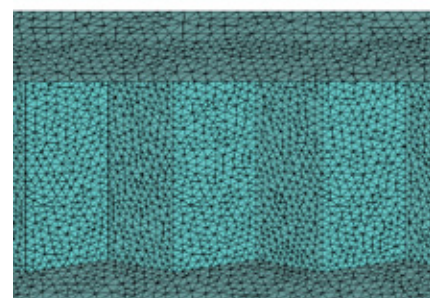
Плоская стенка



Трапецидальный гофр



Волнистый гофр



Треугольный гофр

Рис. 3. Фрагменты КЭ сетей расчетных моделей балок

Таблица 2

Результаты расчета

Балка	Прогиб, мм	Δ , %	Угол закручивания, град	Δ , %
1. с плоской стенкой	13,93	0	6,4	0
2. с треугольным гофром	14,77	6,1	5,88	-8,2
3. с трапецидальным гофром	15,21	9,2	5,76	-10
4. с волнистым гофром	15,09	8,4	5,95	-7,1

Сравнительный анализ проводился по прогибам и углам закручивания в середине пролета балки. Угол закручивания принимался по срединному сечению балки, также определялись перемещения основных точек в глобальных осях (табл. 2).

Основные выводы:

1. Прогибы у балок с гофрированной стенкой больше, чем у балки с плоской стенкой на 6–9%;

2. Угол закручивания срединного сечения у балок с гофрированной стенкой меньше, чем у балки с плоской стенкой на 7–10%;

3. Балка с гофром треугольного очертания имеет лучшую изгибную жесткость, а балка с гофром трапецидального очертания — лучшую жесткость на кручение, при одинаковых геометрических параметрах.

Литература:

1. Лужин О.В. Кручение тонкостенных стержней комбинированного поперечного сечения [Текст] / О.В. Лужин // Проблемы расчета пространственных конструкций. Вып. 2. — М., 1980. — с. 79–89.
2. Холопов И.С. Особенности напряженно-деформированного состояния стальных балок при стесненном кручении [Текст] / И.С. Холопов, А.В. Соловьев // Надежность строительных элементов и систем. Труды международной научно-технической конференции. — Самара, 1997.
3. Лукин А.О. Применение конструкций с гофрированными элементами в зданиях и сооружениях [Текст] / А.О. Лукин, А.В. Соловьев // Строительный вестник Российской инженерной академии. Труды секции «Строительство» Российской инженерной академии. Выпуск 11. Москва, 2010. — с. 196–206.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2012660270 Российская Федерация. Goigo / Лукин А.О.; заявитель и правообладатель Лукин А.О. — №2012618070; заявл. 26.09.2012; опубл. 14.11.2012.
5. Geuzaine C. Gmsh: a three-dimensional finite element mesh generator with built-in pre- and post-processing facilities / C. Geuzaine, J.-F. Remacle // International Journal for Numerical Methods in Engineering. — 2009. — Volume 79, — Issue 11. — p. 1309–1331.

Дискретный метод сил. Исследование деформированного состояния шарнирно опертой пластины, подкрепляемой балкой или системой перекрестных балок

Суворов Александр Анатольевич, студент

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Современные вычислительные комплексы позволяют решить на ЭВМ широчайший круг задач прочности и жесткости, как конструкции в целом, так и ее элементов.

В данной работе предлагается яркий пример сочетания «неограниченных» возможностей ЭВМ с классическим методом сил строительной механики, позволяющий исследовать деформированное состояние комбинированной системы.

Рассматривается нагруженная равномерно распределенной нагрузкой прямоугольная пластина, шарнирно опертая по четырем сторонам, которая также подкрепляется одной и более балками (рис. 1). Внедрение в работу пластины системы балок позволит снизить прогибы системы, уменьшить размеры сечения плиты, и соответственно снизить расход материала.

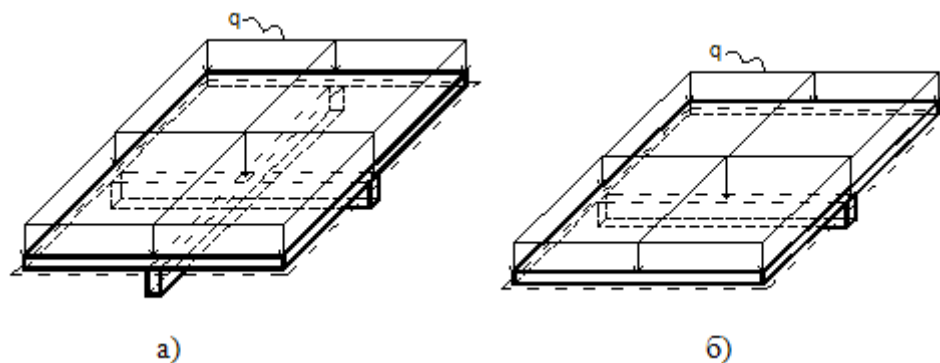


Рис. 1. Схемы подкрепления плиты. а – подкрепляется системой балок; б – подкрепляется одной балкой.

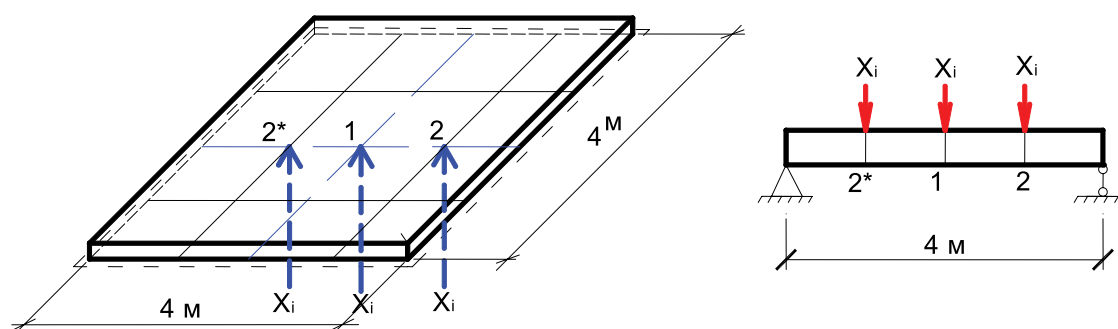


Рис. 2. К расчету конструкции 1-го этапа

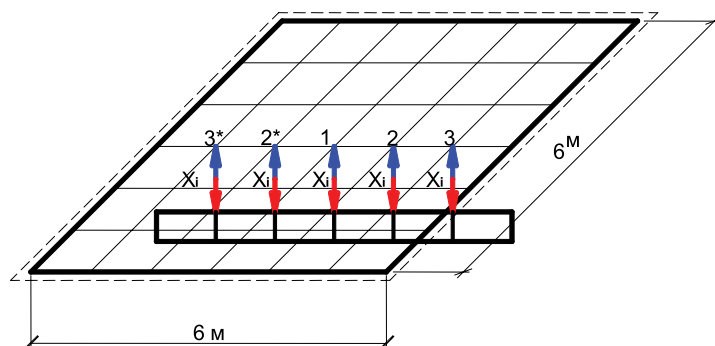


Рис. 3. Схема взаимодействия балки и пластины в задаче 2-го этапа. Вид снизу

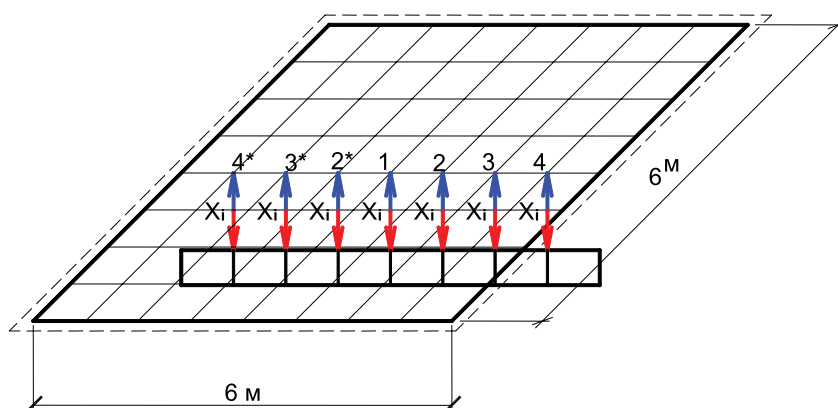


Рис. 4. Схема взаимодействия балки и пластины в задаче 3-го этапа. Вид снизу

Расчет ведется в три этапа. Первый этап предполагает расчет системы (рис. 2.), состоящей из прямоугольной пластины с постоянными по всей площади жесткостью и сечением, и балки, также имеющей постоянные по длине жесткость и сечение.

Размеры пластины: длина $a=4$ м; ширина $b=4$ м; толщина 200 мм; размеры балки: высота сечения $h=400$ мм; ширина сечения $d=200$ мм; длина $l=4$ м.

Для ведения расчета и обеспечения точек контакта элементов системы пластина условно разбивается на квадратные ячейки с размером стороны равным 1 м, балка разбивается на участки длиной 1 м.

Второй этап предполагает расчет квадратной пластины с длиной стороны 6 м, подкрепленной балкой длиной 6 метров (рис. 3.) с жесткостными характеристиками аналогичными предыдущему типу балки. Разбиение пластины и балок на участки соответствует разбиению на первом этапе.

Третий этап предполагает уточнение решения предыдущей задачи, и представляет собой расчет системы (рис. 4), состоящей из аналогичной прямоугольной пластины толщиной 200 мм, но имеющей ячейки разбивки размером 0,75х0,75 м и 0,75 м для пластины и балки соответственно. Жесткость пластины, а также жесткость и размеры сечения балки аналогичны типам балок и пластины на первом и втором этапах.

Основная расчетная схема (рис. 2.) этой конструкции получена разделением ее на две части: пластина, балка. Реальный континуальный контакт этих структур заменяется ограниченным числом связей, воспринимающих только вертикальные усилия, которые принимаются за «лишние» неизвестные X_i , где $i=1,2,3,\dots,n$ — число симметрично расположенных связей. Совместность прогибов пластины и балок в местах установленных связей представляется уравнениями метода сил в матричной форме:

$$\|\delta_{ij}\| \times \|\bar{X}_i\| + \|\bar{\Delta}_{iq}\| = 0 \quad (1)$$

где $\|\delta_{ij}\| = |L_1| + |L_2|$ — суммарная матрица коэффициентов при лишних неизвестных $|L_1| = |\omega_{ij}| \cdot \frac{\lambda^3}{D}$; $|L_2| = |f_{ij}| \cdot \frac{\lambda^4}{EI}$; $\|\bar{\Delta}_{iq}\|$ — вектор прогибов пластины от заданного вектора нагрузки, $|\omega_{ij}|$ и $|f_{ij}|$ — матрицы коэффициентов при лишних неизвестных, λ — расстояние между выбранными точками по линии контакта элементов; D — изгибная жесткость пластины; E — модуль упругости материала балки, I — момент инерции сечения балки.

С помощью данной зависимости мы в дальнейшем определим прогибы от совместной работы пластины и балок, перейдем к матричной форме определения моментов в характерных сечениях плиты и балок, и, в конце концов, сможем составить алгоритм подбора оптимального сечения и жесткости подкрепляющих балок в рамках данного исследования. Все математические операции выполнены в среде Mathcad. Подтверждение результатов и графическое дополнение данного исследования выполнено на конечно-элементных моделях в среде программного комплекса (ПК) «Лира».

На первом этапе была выполнена постановка задачи, а именно произведен расчет отдельных частей системы: пластины и балки. Пластина была смоделирована в ПК «Лира» из прямоугольных конечных элементов (КЭ) №41 с размером стороны 50 мм. Балка моделировалась с помощью стержневых КЭ №10 длиной 50 мм.

В первую очередь был произведен расчет в ПК «Лира» по определению прогибов пластины без балок, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой $q = 1$ т/м², откуда получены грузовые прогибы пластины Δ_{iq} . За счет дискретизации системы и упрощения расчета, рассматриваемые точки контакта плиты и балки были выбраны на расстоянии 1 м по линии контакта элементов конструкции. Далее в этих точках соответственно для пластины и балки прикладываются неизвестные силы взаимодействия элементов X_i , которые для их определения заменяются единичными силами, что позволяет нам определить единичные прогибы ω_{ij} и f_{ij} в этих точках. Таким образом, сумма полученных величин ω_{ij} и f_{ij} войдет в $\|\delta_{ij}\|$ — матрицу коэффициентов при лишних неизвестных, а величины Δ_{iq} войдут в матрицу грузовых перемещений $\|\Delta_{iq}\|$ и уравнение (1) примет вид:

$$\left[\begin{array}{c} \left\| \begin{array}{cccc} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1j} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{i1} & \omega_{i2} & \dots & \omega_{ij} \end{array} \right\| \cdot \frac{\lambda^3}{D} + \left\| \begin{array}{cccc} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1j} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ij} \end{array} \right\| \cdot \frac{\lambda^4}{EI} \end{array} \right] \cdot \left\| \begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_i \end{array} \right\| - \left\| \begin{array}{c} \Delta_{1q} \\ \Delta_{2q} \\ \dots \\ \Delta_{iq} \end{array} \right\| \cdot \frac{q \cdot \lambda^4}{D} = 0 \quad (2).$$

Для дальнейших операций с жесткостью элементов, введем в систему коэффициент $K = \frac{\lambda \cdot D}{EI}$, предварительно умножив все слагаемые уравнения на множитель $\frac{D}{\lambda^3}$. В итоге получим уравнение (2) в следующем виде:

$$\left[\begin{array}{cccc} \omega_{11} & \omega_{12} & \dots & \omega_{1j} \\ \omega_{21} & \omega_{22} & \dots & \omega_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_{i1} & \omega_{i2} & \dots & \omega_{ij} \end{array} \right] \cdot K + \left[\begin{array}{cccc} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1j} \\ f_{21} & f_{22} & \dots & f_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i1} & f_{i2} & \dots & f_{ij} \end{array} \right] \cdot \left[\begin{array}{c} X_1 \\ X_2 \\ \dots \\ X_i \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \Delta_{1q} \\ \Delta_{2q} \\ \dots \\ \Delta_{iq} \end{array} \right] \cdot q \cdot \lambda = 0 \quad (3)$$

Как видно из уравнения (3) матрицы $|\omega_{ij}|$, $|f_{ij}|$ и $|\Delta_{iq}|$, при большом количестве рассматриваемых точек могут приобретать большие размеры. В силу того, что прогибы будут одинаковыми в точках симметричных относительно осей симметрии пластины, при условии ее центрального опирания на балку или систему балок, данные кососимметричные матрицы можно упростить.

Для упрощения математических операций, т.е. уменьшения размеров матриц и для наглядности работы системы авторами был разработан алгоритм (табл. 1.) составления коэффициентов для матриц $|\omega_{ij}|$, $|f_{ij}|$ и $|\Delta_{iq}|$, позволяющий вести расчет по данному методу не только прямоугольных, но и любых других пластин, имеющих в плане одну и более осей симметрии.

Таблица 1

X_i	X_{i+1}	X_{i+k}
$\delta_{ii}=f_{ii}$ ($\delta_{ii}=\omega_{ii}$)	$\delta_{ij}=n f_{ij}$ ($\delta_{ij}=n \omega_{ij}$)	$\delta_{ik}=n f_{ik}$ ($\delta_{ik}=n \omega_{ik}$)
$\delta_{ji}=n f_{ji}$ ($\delta_{ji}=n \omega_{ji}$)	$\delta_{jj}=n (f_{jj}+f_{jj}^*)$ ($\delta_{jj}=n (\omega_{jj}+\omega_{jj}^*)$)	$\delta_{jk}=n (2f_{jk})$ ($\delta_{jk}=n (2\omega_{jk})$)
....
$\delta_{ki}=n f_{ki}$ ($\delta_{ki}=n \omega_{ki}$)	$\delta_{kj}=n (2f_{kj})$ ($\delta_{kj}=n (2\omega_{kj})$)	$\delta_{kk}=n (f_{kk}+f_{kk}^*)$ ($\delta_{kk}=n (\omega_{kk}+\omega_{kk}^*)$)

Примечание к таблице: n – «число симметрии», т.е. число, равное количеству симметрично-одинаковых точек. Главные коэффициенты матриц соответствуют прогибам в точках симметричной половины линий контакта элементов. Побочные коэффициенты – сумма прогибов в симметричных точках, умноженная на «число симметрии». Цветом выделены коэффициенты для составления матрицы $|f_{ij}|$; для матрицы $|\Delta_{iq}|$ используется аналогичный алгоритм.

Пример применения данного алгоритма вычисления коэффициентов для матриц $|\omega_{ij}|$, $|f_{ij}|$ при 5-ти неизвестных силах взаимодействия в точках контакта, согласно задаче второго (рис. 2). этапа приведен ниже:

$$L_1 = \begin{vmatrix} 0.412 & 0.626 & 0.642 & 0.51 & 0.28 \\ 0.626 & 1.053 & 1.136 & 0.922 & 0.51 \\ 0.642 & 1.136 & 1.333 & 1.136 & 0.642 \\ 0.51 & 0.922 & 1.136 & 1.053 & 0.626 \\ 0.28 & 0.51 & 0.642 & 0.626 & 0.412 \end{vmatrix} \xrightarrow{\text{через алгоритм}} L_{1*} = \begin{vmatrix} 1.333 & 2.272 & 1.284 \\ 2.272 & 3.951 & 2.272 \\ 1.284 & 2.272 & 1.383 \end{vmatrix}$$

Как видно по примеру исходная квадратная матрица $|5 \times 5|$ была сведена к матрице $|3 \times 3|$, и во всех других случаях, исходная квадратная матрица $|n \times m|$ по данному алгоритму будет сведена к матрице $|\frac{n+1}{2} \times \frac{m+1}{2}|$, что существенно облегчает расчет, и, позволяет более точно осуществлять визуальный контроль правильности заполнения матриц.

Внедрение в ход работы расчета задачи 2-го этапа позволило нам проследить закономерность изменения размеров матриц с применением данного алгоритма.

На третьем этапе, как говорилось ранее, было произведено уточнение результатов расчета задачи второго этапа, а именно установлена зависимость значения максимальных прогибов конструкции от степени дискретизации системы, т.е. произведено увеличение количества, и соответственно размеров ячеек разбивки элементов (размеры ячеек: 0,75x0,75м для пластины и 0,75м для балки) для задачи второго этапа и проведен перерасчет. Данная зависимость для квадратной пластины представлена на графике (рис. 5).

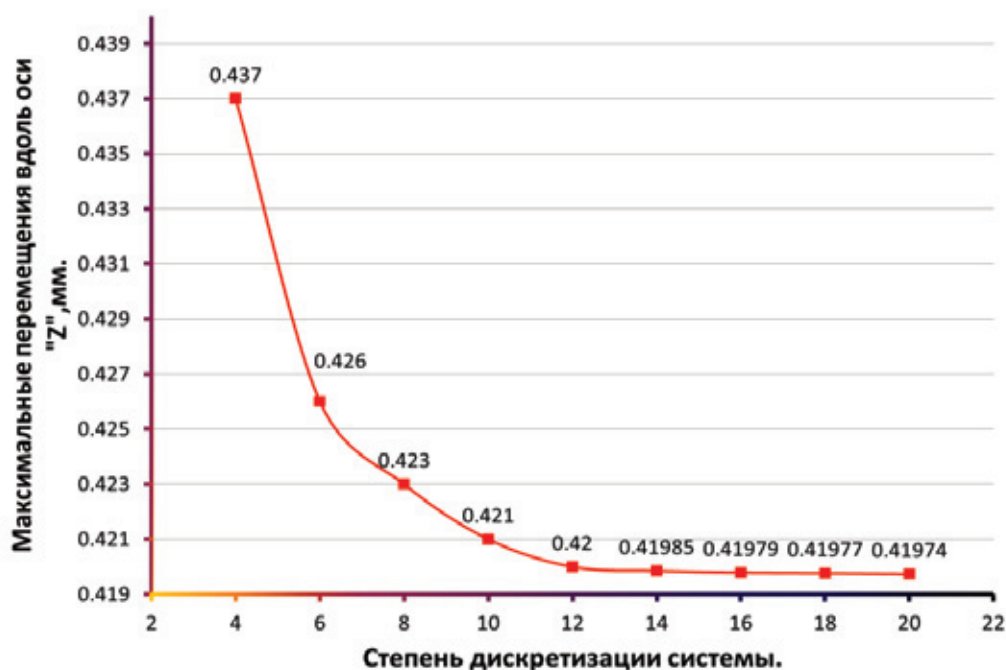


Рис. 5. Зависимость максимальных прогибов (вертикальных перемещений) конструкции от степени дискретизации системы.

Примечание к рисунку: степень дискретизации для данной задачи представлена количеством ячеек пластины в ряду; число ячеек балки соответствует числу ячеек в ряду пластины. Масштаб осей различный. Ось «Z» вертикальная глобальная ось при расчете конструкции.

После решения данных задач был проведен анализ системы задачи третьего этапа и определена зависимость прогибов от изменения коэффициента «K», введенного ранее, а именно от изменения размеров поперечного сечения балки.

Как видно из графика, значение максимального прогиба в зависимости от степени дискретизации уменьшается по экспоненциальному закону, и при ее увеличении значение прогиба начинает стремиться к конечному максимальному его значению, тем самым отражая приближение работы элементов системы к работе континуальной, с бесконечно большим числом степеней свободы системы. Данная зависимость для квадратной пластины представлена на графике (рис. 6).

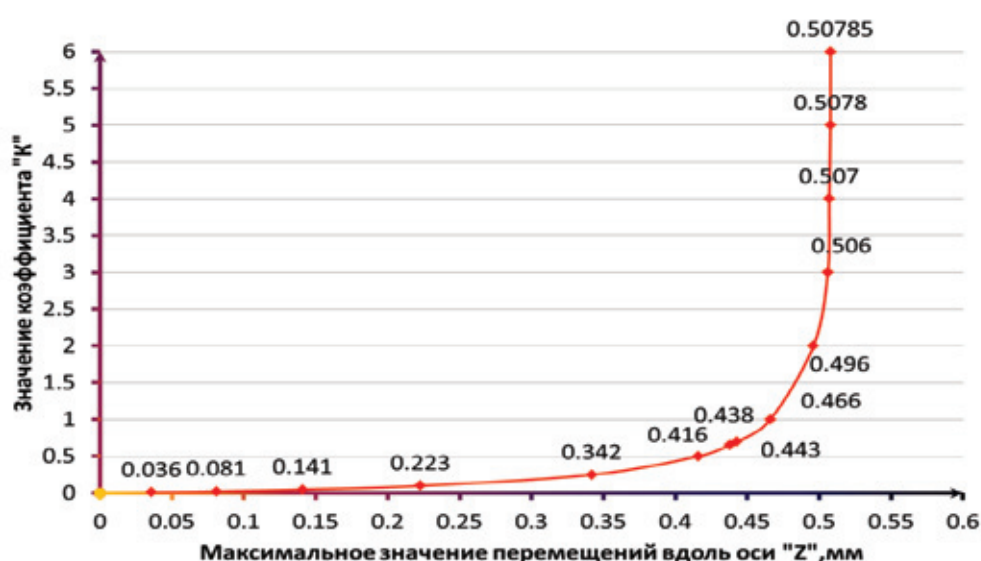


Рис. 6. Зависимость максимальных прогибов (вертикальных перемещений) конструкции от коэффициента «K».

Примечание к рисунку: $K = \frac{\lambda \cdot D}{EI}$

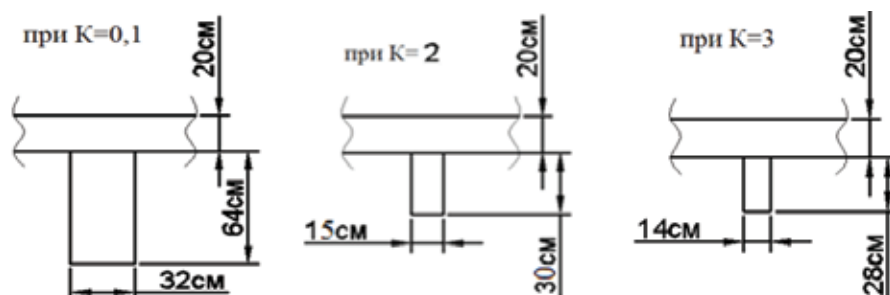


Рис. 7. Размеры сечения балки при различных значениях коэффициента «К».

По графику видно, что при увеличении коэффициента «К», т.е. при уменьшении сечения балки, происходит увеличение максимального прогиба конструкции по экспоненциальному закону. А на участке кривой между значениями прогиба 0,5 мм и 0,55 мм кривая начинает стремиться к значению конечного прогиба конструкции, при котором сечения балки не будет хватать для снижения прогибов системы. Тем самым балка постепенно начнет выключаться из работы до ее полного разрушения.

Что касается системы перекрестных балок, которая подкрепляет пластину, то алгоритм исследования деформированного состояния всей конструкции аналогичен предыдущим операциям. Отличие лишь в том, что расчет и поиск не-

известных сил взаимодействия X_i ведется по двум перпендикулярным линиям контакта элементов, а именно добавля-

ются соответствующие коэффициенты для матриц $|w_{ij}|$, $|f_{ij}|$ и $|\Delta_{iq}|$, уравнения (2).

Для определения моментов в характерных сечениях, соответствующих расположению точек контакта элементов, воспользуемся матричной формой записи уравнения метода сил для моментного усилия в элементе:

$$M = \|M_i\| \times \|X_i\| + \|M_{iq}\| \quad (4)$$

Операции нахождения значений моментов по ранее полученным значениям сил взаимодействия соответствуют матричным операциям предыдущих расчетов. Таким образом, получив значения сил взаимодействия и произведя вычисления по формуле (4) мы найдем значения изгибающих моментов действующих на балку и пластину в нужных нам сечениях, что в дальнейшем позволит произвести расчет прочности данных элементов. Зависимости значений изгибающих моментов от степени дискретизации и коэффициента «К» аналогичны зависимостям прогибов от этих величин.

В итоге данной работы было исследовано деформированное состояние пластины подкрепляемой балкой или системой перекрестных балок, а именно установлены зависимости изменения прогибов и моментов от степени дискретизации системы, от коэффициента «К». Варьируя коэффициентом, выражающим соотношение этих жесткостей, можно подобрать оптимальные геометрические характеристики элементов, тем самым обеспечить прочность и жесткость конструкции. Для выполнения данного подбора в среде программирования Mathcad был составлен элементарный программный код, позволяющий подбирать оптимальные сечения элементов, учитывая нужные нам начальные параметры и условия работы данной конструкции.

Литература:

1. Ильин В.П., Карпов В.В., Масленников А.М. Численные методы решения задач строительной механики. 1990. Минск. 349 с.
2. Суворов А.А. Дискретный метод сил. Статический расчет пластины, подкрепленной перекрестными балками [Текст] / А.А. Суворов // Студенческая наука. Исследование в области архитектуры, строительства и охраны окружающей среды. Тезисы докладов 31-й межвузовской студенческой научно-технической конференции по итогам НИР студентов в 2011 году. — Самара, 2012. — с. 105.

9. ТРАНСПОРТ

Подготовка водителя с учетом его индивидуально-психологических характеристик

Василенко Виктория Александровна, магистрант
Волгоградский государственный технический университет

В нашей стране подготовка водителей осуществляется различными государственными и негосударственными организациями на основе стандартизированных Программ, согласованных Министерством транспорта, Главным управлением Государственной инспекции безопасности дорожного движения МВД России и утвержденных Министерством образования и науки Российской Федерации. Основными целями и задачами такой подготовки является формирование у будущих водителей знаний, умений и навыков, обеспечивающих успешность выполнения деятельности по управлению автомобилем. Например, водитель транспортного средства категории «В», прошедший специальную подготовку, должен уметь:

- управлять легковым автомобилем в различных дорожных и метеорологических условиях;
- соблюдать Правила дорожного движения, уверенно действовать в сложной дорожной обстановке и не допускать дорожно-транспортных происшествий;
- проводить контрольный осмотр автомобиля перед выездом и ежедневное техническое обслуживание;
- оказывать самопомощь и первую помощь пострадавшим при дорожно-транспортных происшествиях и соблюдать требования по их транспортировке; и так далее» [1, с. 22]

Формирование таких знаний, умений и навыков обеспечивается в процессе специальной теоретической и практической подготовки будущих водителей. Она включает в себя следующие разделы: устройство и техническое обслуживание автомобиля (23 ч.); правила дорожного движения (90 ч.); основы управления транспортным средством и безопасность движения (38 ч.); оказание первой медицинской помощи (24 ч.); вождение автомобиля (32 ч.). Каждый из этих разделов включает в себя соответствующее названию содержание и имеет определенное (неодинаковое) значение в деятельности водителей различных категорий («В», «С» и т.д.).

Анализ программ подготовки водителей различных категорий показывает, что все они (с незначительными различиями в формулировках) включают в себя одни и те же разделы. Последовательность изучения разделов Правил дорожного движения имеет определенную логику, закономерность. Действительно, после освоения основных

положений и обязанностей участников дорожного движения, изучаются все виды дорожных знаков и дорожной разметки, сигналы светофора и регулировщика. А затем, значительно позже, — начинается освоение способов проезда перекрестков различного типа [2, с. 56].

В практике подготовки будущих водителей имеют место и ряд противоречий, которые декларируются в специальной научно-методической и популярной литературе, но не находят ни научного, ни практического решения. Например, между формами и методами обучения, ориентирующими будущих водителей на запоминание алгоритмов управления автомобилем в типичных ситуациях при дорожном движении с малой интенсивностью и приемами практической деятельности водителей в условиях современного интенсивного дорожного движения, требующего обобщенных способов мышления при решении постоянно меняющихся дорожно-транспортных задач. Или между статистически высокими показателями обученности будущих водителей в соответствующих образовательных учреждениях и значительным количеством ДТП, возникающих на основе незнания (и нарушения) освоенных Правил дорожного движения и т.д.

Подготовку будущих водителей, отвечающую современным требованиям организации дорожного движения, необходимо осуществлять, используя психологические теории обучения. Было проведено исследование учащихся автошкол. Всех кандидатов в водители разделили на две экспериментальные группы. Подготовка первой экспериментальной группы осуществлялась на основании стандартизированной программы. Она включала в себя все ранее перечисленные разделы необходимые для формирования знаний и навыков будущего водителя. Учащиеся второй экспериментальной группы прошли ряд тестирований, направленных на изучение их психологических характеристик, были определены такие параметры как: эмоциональность, predisposition к риску, скорости реакций, память и устойчивость к помехам. В итоге для каждого из студентов второй группы были внесены корректировки в программу обучения, таким образом, чтобы она была максимально эффективной и учитывала индивидуальные особенности студента. В зависимости от результатов исследования в программу были добавлены до-

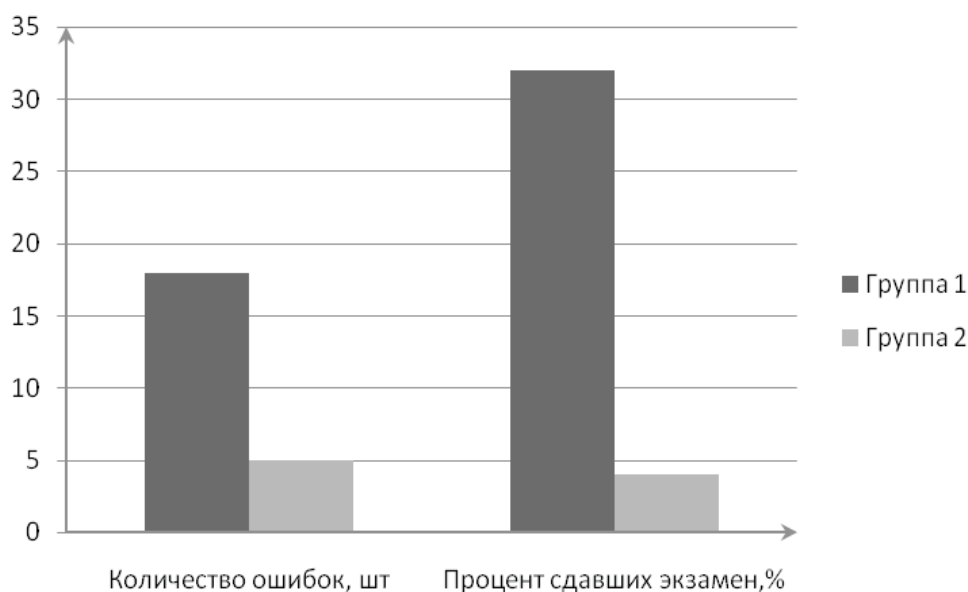


Рис. 1. Результаты экзамена

полнительные часы практических либо теоретических занятий, тренинги для улучшения памяти. Также были разработаны маршруты с учетом индивидуальных особенностей студента, с целью лучшего запоминания ПДД и усвоения механизма действия в сложных дорожных ситуациях. Была разработана учебная задача по проезду перекрестков различного вида. В экспериментальной группе осуществлялась специальная организация учебной деятельности (выполнение преобразующих, моделирующих учебных действий, различных видов контроля и оценки и др.) по формированию обобщенных способов проезда перекрестков различного вида. Результаты такого подхода подвели в конце курса обучения на экзамене. Общее число ошибок первой группы по теоретическому экзамену составило 18, второй 5. Количество не сдавших по группам: 16 и 2 соответственно. Результаты показаны на графике (рисунок 1). Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы: определяющим для успешности управления автомобилем выступают: хорошее знание Правил Дорожного Движения; способность прогнозировать развитие дорожной ситуации на основе возможного действия её участников; эмоционально-волевые особенности личности, осмысленность восприятия дорожной ситуации. Остальные качества составляют группы средние и малозначимые.

Водители, прошедшие подготовку в условиях подхода, основанного на индивидуальных психологических характеристиках обучающегося, допускали меньшее количество ошибок в теоретической части экзамена. В первой экспериментальной группе, проходившей подготовку в условиях традиционного обучения, наблюдался больший процент не сдавших экзамен. Любой процесс принятия решения не может быть осуществлен без участия памяти, как свойства нервной системы хранить информацию о событиях и реакциях организма на эти события. Поэтому

водителю важно обладать хорошей и, кроме того, долговременной памятью, которая хранит все навыки, приобретенные в процессе учебы и практики. Освоение Правил Дорожного Движения в условиях индивидуального подхода к обучению, способствует формированию рефлексивных компонентов мышления в соответствующей предметной области, проявляющейся в содержательном обосновании оценки профессиональных качеств, определяющих успешность управления автомобилем. Обучение будущих водителей Правилам Дорожного Движения может осуществляться в форме построения и решения учебных задач. Оно позволяет формировать у них общий способ решения дорожно-транспортных задач, связанных с проездом перекрестков различного вида.

Для успешной реализации разработанной программы обучения Правилам дорожного движения существенное значение имеет создание ряда психолого-педагогических условий: организация самостоятельной работы будущих водителей по обоснованию правильности выполнения предметных преобразований; использование наглядно-образных и знаково-символических моделей частных и общих способов действий; особые формы предъявления контрольных заданий (тесты и др.), требующие самостоятельного составления ответа на вопрос, в отличие от выбора его из нескольких предложенных вариантов. Выполнение преобразующих, моделирующих учебных действий, различных видов контроля и оценки в процессе постановки и решения учебной задачи привело к существенным изменениям в способах решения дорожно-транспортных задач значительного числа будущих водителей экспериментальных групп. Способ обучения будущих водителей влияет на оценку профессиональных качеств, определяющих успешность управления автомобилем. При постоянно высокой оценке знания ПДД, характерной для любого способа обучения, освоение предметного материала

в условиях специально организованной учебной деятельности статистически значимо повышает оценку способности прогнозирования развития дорожно-транспортных ситуаций. Учет психофизиологических характеристик в процессе обучения позволяет качественно повысить уровень подготовки водителя и его надежность.

Полученные данные свидетельствуют об эффективности разработанного подхода к обучению будущих водителей и открывают новое направление в проектировании содержания и методов освоения Правил дорожного движения в условиях дополнительной профессиональной подготовки взрослых.

Литература:

1. Романов А.Н. Автотранспортная психология: учеб. пособие для студ. Высш. учеб. заведений/А. Н. Романов. — М.: Академия, 2002. — 224 с.
2. Бадмаев Б.Ц. Психология и методика ускоренного обучения. — М.: Изд-во Владос-Пресс, 2002. — 272 с.

Применение системы «ГЛОНАСС» на автомобильном транспорте как один из способов обеспечения безопасности дорожного движения

Емельянова Вера Геннадиевна, магистрант
Волгоградский государственный технический университет

Навигационные технологии применяются очень широко — это картография, авиационный и водный транспорт, военная сфера. Однако более половины всего мирового рынка обеспечивается использованием этих технологий на наземном транспорте.

По мере увеличения объема пассажирских перевозок, грузоперевозок по транспортным коридорам и в пределах городов возрастают требования к скорости, надежности и безопасности движения. Наряду с этим, для уменьшения риска негативного воздействия чрезвычайных ситуаций (в том числе факторов террористического, техногенного и природного характера) на население и экономику региональным и муниципальным властям, ведомствам и службам необходимо иметь возможность оперативно получать информацию о местоположении и состоянии мобильных объектов и принимать решения на ее основе. Внедрение глобальной навигационной спутниковой системы (ГЛОНАСС) позволит повысить эффективность решения вышеперечисленных задач.

Само по себе оборудование спутниковой навигацией транспортных средств будет эффективно, если в мегаполисе будет создана так называемая интеллектуальная транспортная система с функцией не только мониторинга, но и диспетчеризации движения общественного транспорта, то есть предоставление операторских услуг на основе технологий спутниковой навигации, разработка и эксплуатация единой мультисервисной операторской платформы. Для этого потребуются либо выде-

Таким образом, проведение исследования индивидуально-психологических качеств кандидатов в водители с выдачей соответствующих рекомендаций и проведением коррекционных мероприятий, в полной мере способствует более качественной подготовке водителей, что в свою очередь ведет к снижению риска возникновения опасных ситуаций на дороге. Повышение надежности водителя может достигаться посредством улучшения его профессионального обучения и тренировки навыков, что является одной из задач организации профессионального отбора и обучения.

ленные сети, либо передача данных по каналам сотовых операторов. Все эти расходы неизбежно отразятся на цене проезда в общественном транспорте [1].

Основные задачи, решаемые интеллектуальной транспортной системой:

- Повышение качества выполнения государственных функций и предоставления государственных услуг в части транспортного комплекса региона;
- Расширение возможностей общегородской системы автоматизированного управления дорожным движением по удовлетворению возрастающего спроса на пассажирские и грузовые перевозки на всех видах транспорта;
- Обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок;
- Повышение качества транспортного обслуживания населения.

Интеллектуальная транспортная система — инновационный проект, направленный на модернизацию транспортного комплекса региона и повышения безопасности пассажирских перевозок, его схема представлена на рисунке 1.

Технологии спутникового позиционирования ГЛОНАСС позволяет решать часть задач интеллектуальных транспортных систем, таких как:

- ГЛОНАСС мониторинг транспорта и управление различными видами автотранспорта на уровнях предприятия, администраций муниципальных образований и субъектов РФ;

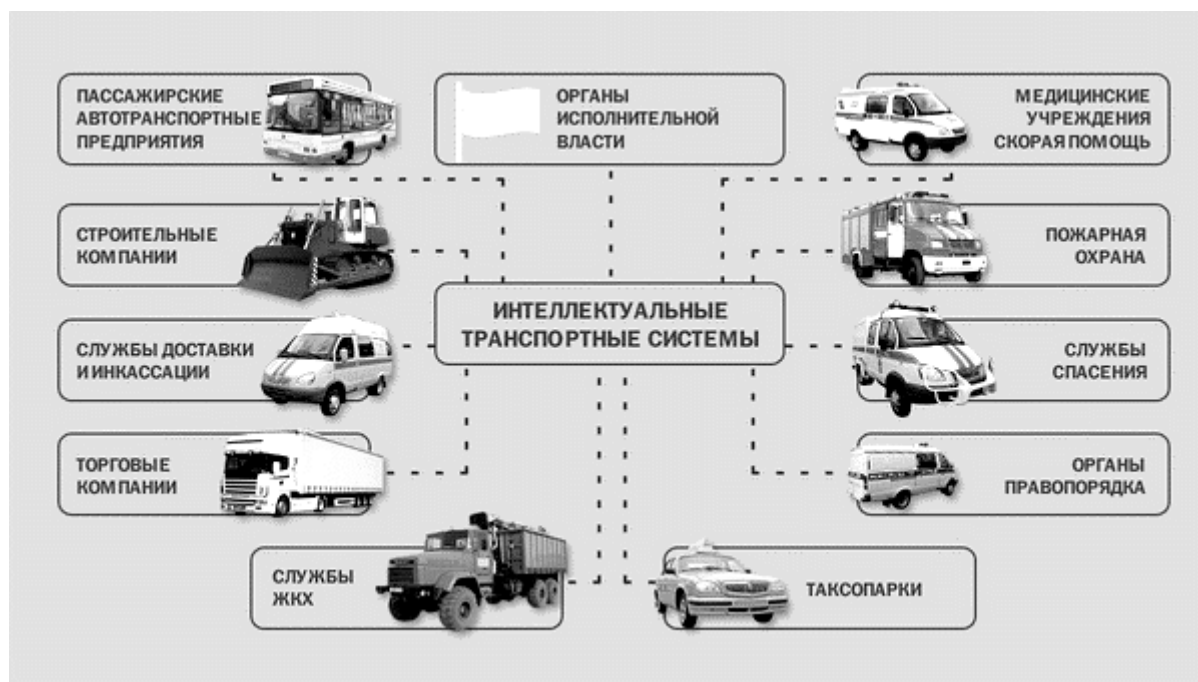


Рис. 1. Схема работы интеллектуальной транспортной системы

— Предоставление информации в режиме реального времени гражданам и организациям об организации транспортного обслуживания в регионе;

— Обеспечение сбора исходных данных для оценки транспортной ситуации и формирования дорожной транспортной информации;

— Оперативное предоставление информации в службы реагирования в случае возникновения криминальных и чрезвычайных ситуаций на автотранспорте.

— Интеллектуальная транспортная система позволяет обеспечить:

— сокращение смертности на дорогах Российской Федерации за счет повышения оперативности реагирования на ДТП;

— беспрепятственное движение спецтранспорта к месту ДТП или криминальной ситуации;

— оперативное, полное и достоверное доведение информации до специальных служб при возникновении криминальных или чрезвычайных ситуациях на транспорте;

— информирование водителей о нарушении ими правил дорожного движения и эксплуатации транспортного средства, а также о текущем и краткосрочном прогнозе состояния условий дорожного движения;

— автоматическую фиксацию фактов нарушения правил дорожного движения для выявления и наказания виновных лиц;

— повышение внимания водителей при управлении автомобилями в различных по напряженности условиях движения;

— создание условий для сокращения времени поездок пассажирами всеми видами наземного транспорта;

— увеличение пропускной способности дорог города за счет регулирования транспортных потоков и формирования предупредительной информации об условиях дорожного движения;

— возможность выбора пассажирами оптимального маршрута движения общественным транспортом от начальной до конечной точки с учетом маршрутов и расписаний движения общественного транспорта, а также дорожной ситуации и плотности транспортных потоков;

— оптимизацию маршрутов движения транспортных средств с учетом актуального состояния дорожного движения и миграции заторовых ситуаций;

— создание условий для своевременного и достоверного контроля выполнения заказов на осуществление транспортной работы предприятиями, осуществляющими пассажирские перевозки, эксплуатацию дорожно-уличной сети, вывоз твердых и жидких бытовых отходов, контроля расхода топлива, снижения страховых рисков, увеличения оборачиваемости ТС, снижения доли эксплуатационных издержек.

Также система ГЛОНАСС представляет большой интерес для социально-экономического развития и является одной из приоритетных задач.

С 1 января 2012 года аппаратура ГЛОНАСС постепенно появляется на всем пассажирском транспорте. А использование транспортных средств, не оснащенных аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS, является грубым нарушением лицензионных требований.

Данное обязательство касается не только пассажирских перевозчиков. Оно действует в отношении транспортных средств категории N (грузовики) для перевозки опа-

сных грузов и транспортных средств категорий М2, М3 (автобусы) — с 1 января 2013 года; в отношении транспортных средств категории М1 (такси) — вступит в силу с 1 января 2014 года. Документ вносит изменения в положение о лицензировании перевозок пассажиров автомобильным транспортом, оборудованным для перевозок более 8 человек (за исключением случая, если указанная деятельность осуществляется для обеспечения собственных нужд юридического лица или индивидуального предпринимателя). Отсутствие ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS на транспорте обойдется административным штрафом [2].

Очевидно, что масштабное внедрение спутниковых технологий ГЛОНАСС, способно уменьшить количество дорожно-транспортных происшествий, оперативно информировать экстренные службы о происшествиях. С этой целью в России принят к реализации масштабный проект «ЭРА — ГЛОНАСС».

Например, в случае аварии, когда сработал датчик столкновения (им станет контакт в подушке безопасности автомобиля), установленное устройство на автомобиле определяет место аварии с помощью спутников ГЛОНАСС и передает информацию по каналам сотовой связи оператору терминала экстренного приема информации с координатами автомобиля и что произошло с автомобилем. Оператор информационного центра голосом уточняет детали происшествия и в зависимости от ситуации (в случае подтверждения информации или при отсутствии ответа) отправляет службы экстренного реагирования, (МЧС, ГИБДД, машину скорой помощи). Водитель, пассажиры автомобиля могут также самостоятельно вручную включить устройство в автомобиле и передать данные или связаться с оператором [3].

В декабре 2013 года система должна быть принята в штатную эксплуатацию на всей территории России. Сегодня Россия опережает другие страны в этом технологическом направлении. За два года завершён этап проектирования системы: началось создание федерального и региональных центров.

С помощью системы ГЛОНАСС можно не только обеспечивать мониторинг пассажирского транспорта, но и влиять на активную безопасность, тем самым снижая

количество дорожно-транспортных происшествий и как следствие снижение социально-экономических потерь от ДТП [4].

Предлагается применять технологии для контроля скорости движения транспортного средства, что позволит практически исключить нарушения, связанные с превышением скорости. При превышении допустимой скорости движения не более чем на 10 км/ч — предупреждение водителя в виде раздражающего звукового сигнала; при превышении допустимой скорости движения на более чем 10 км/ч — данные отправляются в государственную инспекцию безопасности дорожного движения, выписывается штраф.

При помощи ГЛОНАСС можно вычислить координаты движущихся навстречу друг другу машин и при нахождении машины на полосе встречного движения выводить на экран расстояние до встречного автомобиля. Также возможно выводить на экран расстояние до автомобиля, находящегося спереди, особенно актуально это будет при междугородних перевозках и при движении в плотном транспортном потоке, где вероятность аварии наиболее велика.

Отслеживая количество автомобилей и заторы на участках улично-дорожной сети, возможно направлять транспортные потоки по объездным направлениям, что позволит повысить пропускную способность дороги и как следствие повысить скорость, качество и количество грузовых и пассажирских перевозок.

Только массовое производство комплектующих и оборудования на базе ГЛОНАСС с использованием специализированной доступной, дешевой, технологичной элементной базы позволит снизить стоимость систем, работающих с сигналом российской навигационной системы.

Внедрение навигационно-телематических систем, наряду с другими мерами, — важный шаг по формированию общей культуры дорожного движения. Предлагаемые сегодня компаниями-разработчиками решения, позволяют, как минимум, эффективно контролировать скоростной режим и состояние механизмов. Развития навигационной системы ГЛОНАСС позволит сократить количество дорожно-транспортных происшествий и огромный ущерб от них.

Литература:

1. Карлашук В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства/ В.И. Карлашук, С.В. Карлашук. — М.: СОЛОН-Пресс, 2006. — 176 с.
2. КоАП. Кодекс РФ об административ. правонаруш.: Официальный текст. — М.: Проспект, 2012. — 608 с.
3. Машины оборудуют кнопками «SOS» [Электронный ресурс]. — 2011. — Режим доступа: http://www.gudok.ru/transport/auto/?pub_id=384186
4. Иванов В.Н. Все об активной и пассивной безопасности автомобиля/ В.Н. Иванов. — М.: Издательство АС, 2003. — 175 с.

Анализ применения методов развертывания полевого магистрального трубопровода при тушении массовых очагов пожаров

Михайлов Владимир Владимирович, кандидат технических наук, старший преподаватель;

Тажиев Бауржан Тыныбекович, курсант;

Саржигитов Данияр Жоламанович, курсант

Вольский филиал Военной академии материально-технического обеспечения

В статье рассматриваются методы использования полевого магистрального трубопровода для тушения массовых очагов пожаров.

Трубопроводные части и подразделения неоднократно в прошлые годы привлекались для развертывания полевых магистральных трубопроводов с целью подачи большого количества воды для тушения пожаров больших массивов леса и торфяников.

По опыту, накопленному в ходе работ в очагах пожара, можно выделить три основных принципа их тушения:

- 1) защита жизненно важных объектов и населенных пунктов от наступающего фронта огня;
- 2) локализация очагов пожаров;
- 3) активное тушение пожаров после успешно проведенных работ по локализации очагов пожара.

Подразделения МЧС до прибытия в район трубопроводных частей успешно осуществляли первый и второй принципы тушения пожаров. Подачу огромного количества воды на большие расстояния для выполнения третьего принципа могут выполнить только трубопроводные части, тем более что удаление очагов пожара от источников воды достигало 20 км.

Для успешной борьбы с такими пожарами необходимо руководствоваться сложившейся обстановкой, наличием сил и средств, наличием водоисточников и выбора наиболее рационального сочетания принципов тушения пожаров и методов развертывания трубопровода.

Тактика тушения пожара — это выбор методов, способов и средств тушения в зависимости от Характеристики участков, охваченных пожаром и условий, существующих в момент тушения [1].

Большому разнообразию пожаров должны соответствовать свои специфические принципы и способы тушения их очагов. Выбор в каждом конкретном случае зависит от характеристики самого очага пожара, наличия источников воды и их ресурсов, а также количества привлекаемых сил и средств для борьбы с пожарами [2].

Для подачи воды в очаги пожаров используются различные методы развертывания трубопровода.

1-й метод — к очагу пожара развертывается одна магистральная линия трубопровода. Этот метод используется при подаче воды для тушения сравнительно небольших и неопасных для других объектов очагов пожара. Так, например, в районе г. Ногинска на площади 160 га прошел верховой лесной пожар. Он был локализован благодаря развертыванию одной линии трубопро-

вода длиной 5 км и подаче около 20 тыс. т воды.

2-й метод — развертывание нескольких линий трубопровода с различных направлений к одному очагу пожара. Этот метод применяется для подачи в один очаг пожара больших количеств воды с нескольких направлений, в том числе когда распространение очага пожара представляет большую опасность. Так, например, на окраине г. Электросталь горела городская свалка и прилегающее высохшее торфяное болото с кустарником. Очаг пожара имел значительные размеры, его распространение представляло большую опасность для города. В соответствии с принятым решением было развернуто 4 линии трубопровода с различных направлений.

3-й метод — устройство отводов от одной магистральной линии трубопровода к нескольким очагам пожаров — Для подавления огня одновременно в нескольких очагах пожаров, удаленных друг от друга, развертывается одна общая линия трубопровода и от нее делаются ответвления к очагам пожаров.

Такой метод борьбы с пожарами характерен для действий на второстепенных направлениях борьбы с лесными пожарами, где не требуется подача больших количеств воды. В зависимости от обстановки можно обеспечить тушение всех очагов пожара одновременно или поочередно.

4-й метод — охват очага пожара линией трубопровода с фронта, тыла или фланга. Одна из наиболее важных характеристик пожара — это направление его перемещения и определение опасности для других объектов. При больших размерах очага пожара невозможно полностью окружить его трубопроводом. В большинстве случаев развернуть трубопровод возможно с одной стороны очага пожара, тем самым остановив его на наиболее опасном направлении.

5-й метод — окружение очага пожара линией трубопровода. Данный метод применяется при наличии достаточных сил и наличия трубопроводного оборудования для окружения опасных очагов пожаров.

6-й метод — развертывание одной магистральной линии трубопровода через очаг пожара. Этот метод развертывания трубопровода является для людей наиболее трудоемким, опасным и вместе с тем простым в борьбе с очагом пожара.

Метод можно применять, когда ширина очага пожара составляет 800...1000 метров. Примерно по оси очага пожара разворачивается магистральная линия трубопровода. По мере тушения трубопровод и пожарные рукава наращиваются. Такс метод используется для тушения всех видов пожаров.

По данному методу при тушении очага пожара в лесу приходится предвари-тельно проводить расчистку трассы для возможности прохода автомобил-трубовоза и ведения раскладки труб на трассу. В этом случае возможно использование механизированного разворачивания трубопровода. На торфяниках, по уже прогоревшей и' затушенной площади, разворачивание трубопровода возможен только командами ручного монтажа с переносом труб вручную на большие рас стояния.

При достаточном количестве противопожарного **оборудования тушить** по жар возможно на больших площадях, собирая пожарные **рукава «елочкой»**. Это метод тушения пожара удобен тем, что не нужно на всю глубину очага **пожар**, разворачивать линию ПМТ, а необходимо только наращивать рукавную **линию**.

7-й метод — разворачивание основной магистральной линии трубопровода через центры нескольких очагов пожаров. В целях экономии сил и средств и при благоприятном для. этого расположении очагов пожаров линия ПМТ может разворачиваться по направлению через центры нескольких очагов пожаров последовательно, с забором воды из одного источника. При этом вода подается сначала для тушения первого очага по направлению разворачивания трубопровода, затем второго и так далее. В то время, когда идет тушение пожара в первом очаге, производится наращивание трубопровода до второго очага пожара с тем чтобы немедленно начать подавать воду во второй очаг пожара, после ликвидации первого. Этот метод имеет свои преимущества. При повторном возгорании, в уже затушенном очаге (а такие случаи часто встречаются), можно опять возобновить его тушение, не разворачивая новой линии трубопровода.

8-й метод разворачивание нескольких линий трубопровода (гребенки) через очаг пожара. В обстановке, когда горит большой массив торфа с равномерным распределением очагов пожаров по всей площади, требуется вести их тушение по всему фронту одновременно. В противном случае возможен прорыв огня с фланга в тыл фронта борьбы с пожаром. На каждые **800...1000** метров фронта наступления необходимо развернуть одну линию трубопровода.

Наибольшую сложность для тушения представляет возгорание торфяников, требующее подачи наибольшего количества воды для залива всей площади, на которой происходит горение торфа, однако такой способ

не всегда применим. Так, юго-западнее г. Электросталь горело неразрабатываемое торфяное поле с весьма неровным рельефом. Вода по трубопроводу была подана на северо-западную окраину поля в 23.00. Перекачка воды по трубопроводу велась всю ночь. Утром, после проверки результатов работы, выяснилось, что ввиду неровности рельефа местности вода не заливает все поле, а собирается в канавки и по естественному уклону местности вытекает из очага пожара. Вода не доходила до центра очага пожара из-за того, что сухой пылевидный торф не обладает способностью фильтрации, не смачивается водой. Образующееся в месте контакта с водой торфяное тесто не пропускает воду вглубь торфяной массы. Залив водой площади пожара не давал нужного результата.

Для более эффективного тушения было принято решение, заключающееся в перемешивании горящей массы сильными струями воды с образованием пульпы. Этот способ себя оправдал, так как позволил гибко маневрировать подачей воды в разветвления трубопровода и перемешивать горящую массу с водой до состояния жидкой водяной кашицы, в которой горение уже не могло возобновиться. Вода распылялась круглосуточно через 8...10 стволов в течение нескольких суток [1].

Таким образом, в зависимости от характера распространения фронта огня, горения в очаге пожара, удаленности от местных источников воды и наличия технических средств пожаротушения, а также опасности, которую огонь представляет для важных объектов, требуется сочетание различных принципов тушения пожаров и методов разворачивания линий полевого магистрального трубопровода. Однако следует подчеркнуть, что во всех случаях от трубопроводных частей требовалась высокая оперативность в работе, быстрота в разворачивание новых линий ПМТ или ответвлений и максимально возможная подача воды в очаги пожаров.

Для подачи воды из естественных водоисточников на начальную передвижную насосную установку (ПНУ), которая не обладает самовсасывающей способностью, использовались перекачивающие станции горючего (ПСГ) из комплекта полевого магистрального трубопровода, что не всегда представляется возможным из-за различных причин, например: (горно-пустынные условия (операции в Афганистане); частый выход из строя ПСГ (в частности торцовые уплотнения, которые подвергаются воздействию абразивных частиц при заборе воды из открытых водоисточников). Исходя из этого возникает необходимость в разработке самовсасывающего устройства для центробежных насосов, устанавливаемых на ПНУ, что в дальнейшем приведет к созданию специальных мобильных комплектов, повышающих эффективность использования комплектов ПМТ для тушения массовых пожаров.

Литература:

1. Анализ использования трубопроводных соединений и частей в чрезвычайных ситуациях мирного и военного времени. / Михайлов В.В. — в/ч 72483 Нижегородская обл., п. Центральный, 2005. -79 с.

2. Лесные пожары на территории. Состояние и проблемы, Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.Н. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. — 156 с.
3. Каграманян Б.Р. Тактика трубопроводных соединений и частей: Учеб. пособие. — УВВТУ, 1993.

Закономерности теплообмена при кипении рабочего вещества R410A с маслом BSE32 в аппаратах судовых систем кондиционирования воздуха

Хо Вьет Хынг, аспирант

Астраханский государственный технический университет

Введение

Судовые системы кондиционирования воздуха предназначены для создания оптимальных климатических условий в жилых, общественных и других обитаемых помещениях судна. Их задача также обеспечить наиболее благоприятный режим для эксплуатации судового оборудования, трюмов и танков для обеспечения сохранности продукта при хранении и транспортировке.

Как известно, системы кондиционирования воздуха на судах являются одними из наиболее энергоемких объектов. Задача о необходимости экономного и рационального расходования топливного-энергетических ресурсов — одна из важных задач энергетики России и Вьетнама. Для уменьшения расхода топлива и энергетических затрат на системы кондиционирования воздуха на судах необходимо внедрение при производстве холода новых холодильных машин, рабочих веществ и более эффективной теплообменной аппаратуры.

На судах испарители затопленного типа, в которых рассол охлаждается при движении внутри трубок, а хладагент кипит в межтрубном пространстве, получили широкое распространение благодаря высокой энергетической эффективности. Это связано с тем, что коэффициент теплоотдачи к кипящей жидкости значительно выше, чем к пару, которым частично заполнены трубы испарителя с внутритрубной подачей хладагента.

Различные типы теплообменной поверхности используются в затопленных испарителях. В настоящее время все шире используются трубы с развитой поверхностью [1–2]. Анализ литературных данных позволяет отметить следующее: работ, посвященные вопросам исследования процесса кипения хладагента R410A на трубе с развитой поверхностью теплообмена, в настоящее время крайне мало; влияние масла на коэффициент теплоотдачи при кипении в большем объеме не решен до сих пор. Это исключает возможность рационального проектирования кожухотрубных испарителей затопленного типа с озонобезопасными хладагентами, что в значительной степени определяет энергетическую эффективность и безопасность эксплуатации испарительно-компрессорных узлов системы кондиционирования воздуха на судах.

Все вышесказанное обосновывает актуальность и

важность исследования процесса теплообмена при кипении чистого хладагента R410A и смеси R410A с маслом BSE32 на развитых теплообменных поверхностях судовых кожухотрубных испарителях затопленного типа.

Трубы с развитыми поверхностями теплообмена получены способами, запатентованными авторами. Трубы Г-профиля выполнены путем пропускания исходной трубы со спирально-накатными ребрами через протяжку, диаметр которой меньше диаметра исходной трубы [3]. Трубы Y-профиля выполнены путем прокатки режущим диском по середине верхней кромки ребра прямоугольного профиля [4].

Эксперименты

Настоящая работа посвящена экспериментальному исследованию теплообмена при пузырьковом кипении хладагента R410A с разными концентрациями масла BSE32 на стандартно-оребренной трубе и трубах с развитой поверхностью [3–4].

Для изучения вопроса интенсификации кипения на трубах с развитыми поверхностями теплообмена были проведены эксперименты на стенде и по методике, описанной ранее [5].

Характеристики труб

Оребренная труба: диаметр наружный 21,0 мм, диаметр внутренний 13,2 мм, высота ребра 2,25 мм, шаг между осями ребер 2,0 мм, коэффициент оребрения 3,64. (Труба №1)

Труба Г-профиля: диаметр наружный 20,5 мм, диаметр внутренний 13,2 мм, высота ребра 2,0 мм, величина щелевого зазора 0,25 мм, коэффициент оребрения 3,82. (Труба №2)

Труба Y-профиля: диаметр наружный 21,0 мм, диаметр внутренний 13,2 мм, высота ребра 2,25 мм, величина щелевого зазора 0,25 мм, коэффициент оребрения 4,2. (Труба №3)

Труба Г-профиля: диаметр наружный 20,5 мм, диаметр внутренний 13,2 мм, высота ребра 2,0 мм, величина щелевого зазора 0,50 мм, коэффициент оребрения 3,82. (Труба №4)

Труба Y-профиля: диаметр наружный 21,0 мм, диаметр внутренний 13,2 мм, высота ребра 2,25 мм, вели-

чина щелевого зазора 0,50 мм, коэффициент оребрения 4,2. (Труба №5)

В опытах температура насыщения смеси устанавливалась от -20 °С до +5 °С, соответственно $p_n = 400$ кПа – 931 кПа, плотность теплового потока q изменялась от 1 до 20 кВт/м². Использован хладагент R410A с концентрациями масла ξ_m 0 %, 2 %, 5 % и 10 %.

Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований представлены на рис. 1–4.

В результате проведения экспериментов установлено, что в опытах с чистым хладагентом R410A ($\xi_m = 0\%$) интенсивность кипения на трубах с развитыми поверхностями теплообмена больше, чем на стандартной оребренной трубе, за счет более высокой плотности активных

центров зарождения паровых пузырей и, возможно, более интенсивного движения потока в каналах

Влияние концентрации масла на коэффициент теплоотдачи при кипении хладагента представлены на рис 2. Результаты экспериментов показали, что ухудшение характеристик на трубах с развитой поверхностью больше, чем на оребренных при кипении R410A с маслом. Отсюда можно сделать вывод, что масло аккумулируется в частично замкнутом объеме (ЧЗО), что ухудшает процесс теплообмена.

Рис. 3. показывает, что с ростом концентрации масла ξ_m интенсивность теплообмена уменьшается, так как высокая концентрация масла приводит к повышению силы поверхностного натяжения. Пузырьки растут медленнее, и интенсивность передачи тепла, которая зависит от скорости, с которой пузырьки растут и отходят от нагретой поверхности, уменьшается.

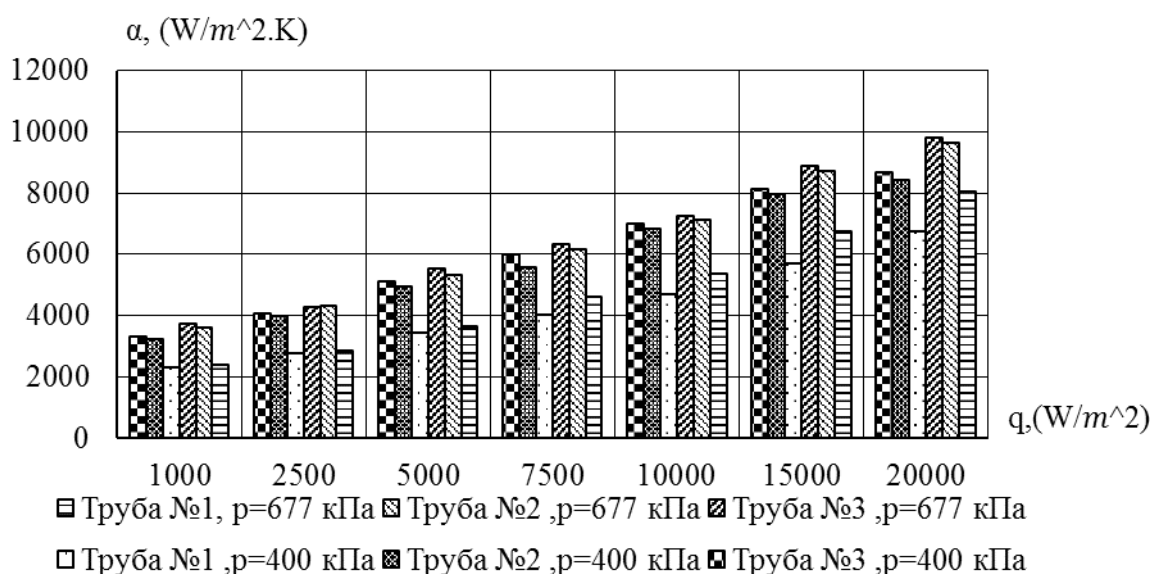


Рис. 1. Коэффициент теплоотдачи α в зависимости от плотности теплового потока q при температуре насыщения -20 °С, -5 °С, соответственно $p_n = 400$ кПа, 677 кПа при $\xi_m = 0\%$

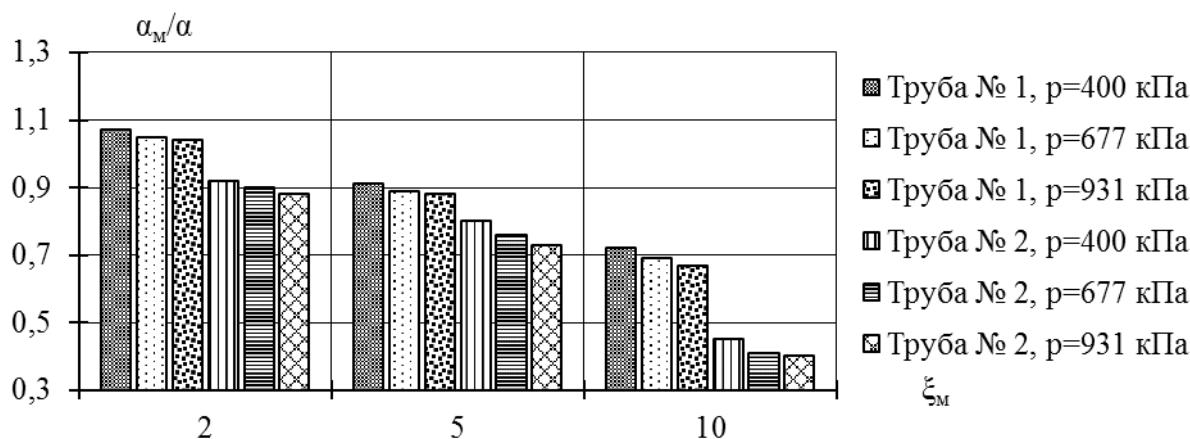


Рис. 2. График $\alpha_m/\alpha = f(\xi_m)$ при кипении на трубах №1 и №2 ($q_{вн} = 7,5$ кВт/м²) при разных давлениях.
 α_m – коэффициент теплоотдачи при кипении хладагента с маслом

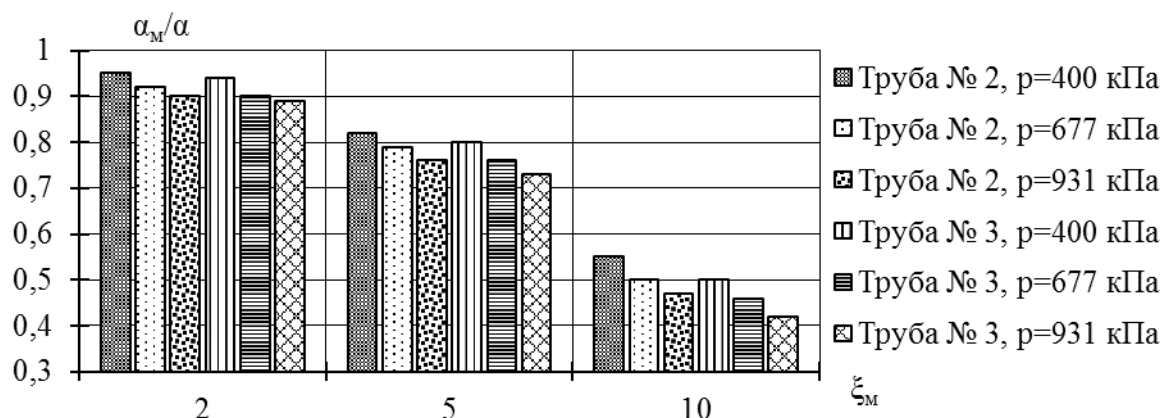


Рис. 3. График $\alpha_M/\alpha = f(\xi_M)$ при кипении на трубах №2 и №3 ($q_{\text{вн}} = 20 \text{ кВт/м}^2$) при разных давлениях

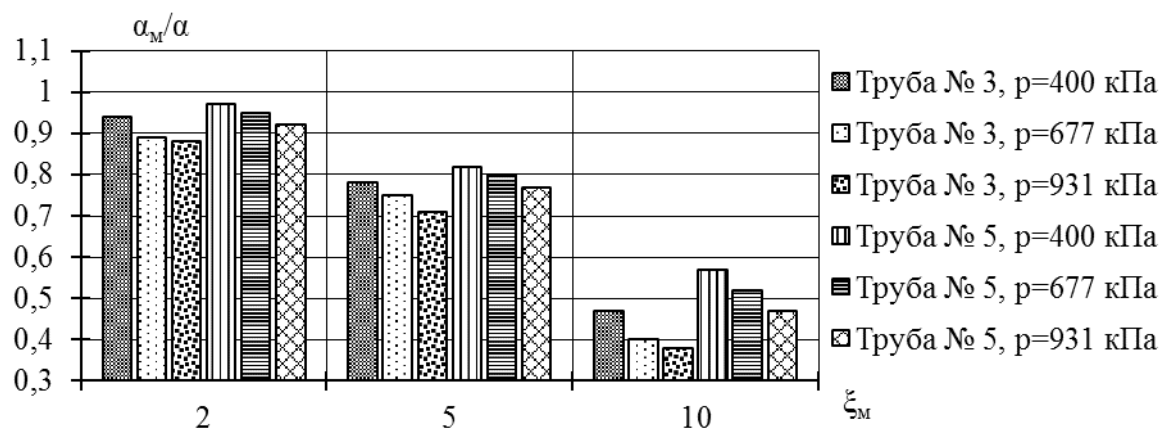


Рис. 4. График $\alpha_M/\alpha = f(\xi_M)$ при кипении на трубах №3 и №5 при $q_{\text{вн}} = 15 \text{ кВт/м}^2$ и разных давлениях

На рис. 3 видно, что при одинаковом размере зазора, труба №2 имеет значение α_M/α выше, чем у трубы №3. Возможно, это связано с тем, что масло-хладоновая смесь аккумулируется в ЧЗО на трубах с Y-профилем, ее трудно удалить из канала, вследствие чего ухудшается теплообмен.

Как видно из рис. 4, с увеличением давления, величина α_M/α уменьшается. Это значит, что с понижением температуры насыщения уменьшается влияние масла на степень ухудшения теплообмена. Причины связаны со снижением поверхностного натяжения и интенсивности пенообразования при меньших давлениях.

Уменьшение размера зазора на трубах с ЧЗО от 0,5 до 0,25 мм приводит к некоторому уменьшению значения α_M/α . Это может быть связано с накоплением большого количества масла внутри каналов с меньшим зазором и трудностями, связанными с его удалением.

Литература:

1. Bukin V.G., Ho Viet Hung. Effects of geometrical parametric heat transfer surface and oil concentration on nucleate boiling heat transfer of refrigerant R410A //Альтернативная энергетика и экология — 2013. — №1
2. Bukin V.G., Ho Viet Hung. Nucleate Pool Boiling Of R410A And R410A/oil Mixtures On Heat-Exchange Enhanced Surfaces //Альтернативная энергетика и экология — 2013. — №1

Заключение

Результаты исследования позволяют сделать вывод о том, что использование труб с развитой поверхностью обеспечивает повышение коэффициента теплоотдачи. Целесообразно заменять в судовых кожухотрубных испарителях затопленного типа теплообменные трубы со стандартным оребрением на трубы с развитыми поверхностями. С понижением температуры насыщения уменьшается влияние масла на степень ухудшения теплообмена. Результаты эксперимента показывают, что эффект масла на коэффициент теплоотдачи слабее для оребренных труб, чем для труб с развитыми поверхностями.

3. Патент РФ №89680. Испаритель // Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Васильев В.Н., Бирюлин И.В. Оpubл. 10.12.2009.
4. Патент РФ №123910. Теплообменная труба // Букин В.Г., Букин А.В., Хо Вьет Хынг. Оpubл. 10.01.2013, Бюл. №1.
5. Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Васильев В.Н. Экспериментальное исследование интенсификации теплоотдачи при кипении многокомпонентного хладагента R407C. // Известия Калининградского государственного технического университета. — 2004. — №.6. — С. 177—185.

10. АРХИТЕКТУРА

Первые велотреки времен Российской империи на территории современной Украины, России, Латвии и Грузии

Окатая Ирина Александровна, аспирант

Киевский национальный университет строительства и архитектуры (Украина)

Велосипедный спорт начал свое развитие в конце XIX века чему способствовало появление усовершенствованных моделей велосипедов.

Первые модификации велосипедов появились в начале XIX века. В 1817 году немецкий профессор барон Карл фон Дрез создал и запатентовал двухколесный самокат. Слово «велосипед» (*vélocipède*) впервые употребил французский изобретатель Жозефом Нисефором Ньепсом для обозначения усовершенствованного самоката Дреза, снабжённого седлом с изменяемой высотой [32]. В 1863 году Пьер Лалман (англ.) сконструировал велосипед в какой-то мере соответствующий современному. В 1867 году Каупером были изобретены колеса со спицами. В 1878 году англичанином Лоусоном к конструкции добавлена цепная передача. В 70х годах XIX века был изобретен велосипед «паук» или «пенни-фартинг», который имел большое переднее и маленькое заднее колеса. В 1888 году шотландец Джон Бойд Данлоп изобрёл надувные шины из каучука [20, с. 159]. В 1898 были изобретены педальные тормоза и механизм свободного хода, позволявший не вращать педали, когда велосипед катится сам [20, с. 72–77].

Массовое производство велосипедов на территории Российской империи началось в 1895 году на Московском заводе, а также в Риге, где открылась Первая велосипедная фабрика, выпускавшая около 2 тыс. машин в год [21].

Первые велотреки на Украине

Первые велосипеды на территорию Украины привезли представители английской элиты, которые открывали металлургические заводы Донбасса и в последствии работали на них.

Развитию велосипедного спорта способствовало появление Обществ самокатчиков (совр. велосипедистов) или велосипедистов-любителей. Так в конце 19 века на Украине были организованы следующие общества:

- Харьковское Общество велосипедистов-любителей (ОВЛ), основано 6 марта 1887 году;
- Одесское ОВЛ, основано в 1887 году;
- Киевское ОВЛ, основано 9 сентября 1891 года;

- Симферопольское ОВЛ, основано в 1895 году;
- Кружок славянских самокатчиков города Славянск, утвердивший устав 16 июля 1896 года [22];
- Новороссийское общество города Юзовка (ныне город Донецк), существует с 1900 года;
- Екатеринославское (ныне город Днепропетровск) ОВЛ;
- Севастопольское ОВЛ.

Целью обществ было всевозможное содействие использованию велосипеда как удобного и полезного средства передвижения. Общества и клубы устраивали загородные велопробежки и соревнования велосипедистов на циклодромах (велотреках), которые сами и строили (табл. №1). Членами клубов были дворяне, купцы и богатые служащие [21].

В Одессе до строительства трека в 1894 году соревнования 1892–1893 годов проходили на ипподроме. На велотреке проводили международные соревнования 1896 года.

На циклодроме в Юзовке, который на тот момент соответствовал европейскому уровню, проводились всероссийские и международные соревнования. Он был снесен в 1912 году и на его месте построили футбольную площадку — стадион [2]. Сейчас на этом месте стадион «Металлург» [17, ст.64].

Циклодром в Мариуполе в конце 19 века находился в центре города, недалеко от Городского Сада, на месте нынешнего стадиона «Азовец». Он имел деревянные трибуны. Английские матросы, корабли которых стояли под погрузкой донбасского угля в мариупольском морском порту, арендовали его для игр в футбол [27]. В 1918 году была проведена реставрация велотрека спортивно-гимнастическим обществом «Атлант» [23].

Внутри велотрека в Дружковке было оборудовано футбольное поле, также как и на велотреке в Мариуполе. Первая футбольная встреча местной команды и команды иностранных специалистов состоялась в 1910 году.

В 1912 году в Константиновке (Донецкая обл.) был сооружен довольно внушительный по тем временам стадион с трибуной для зрителей и обязательным велотреком [3].

Таблица 1

Характеристики велодромов, построенных до 1916 года на Украине

Город	Дата открытия	Года проведения соревнований	Закрытие	Длина трека	Материал покрытия трека
Одесса	26.07.1894	1894–1903	1912	1/3 версты = 360 м	Асфальт
Екатеринославль (Днепропетровск)	1894	1894–1903			
Симферополь	1895				
Симферополь	1899			333,33 м	Бетон
Харьков		1895–1904			
Севастополь	1899				
Киев	1899	1900–1902			
Юзовка (Донецк)	1900	1900–1905	1912	1/2 версты	Бетон
Луганск		1902–1903			
Керчь		1901			
Дружковка (Донецкая обл.)	1910			0,25 версты	
Краматорск (Донецкая обл.)				0,25 версты	
Мариуполь (Донецкая обл.)		1911–1913		0,25 версты	
Константиновка (Донецкая обл.)	1912				
Киев – второй велотрек	1913		2009	286 м	бетон

Таблица 2

Характеристики велодромов, построенных до 1916 года в Российской империи

Город	Дата открытия	Года проведения соревнований	Закрытие	Длина	Материал покрытия трека
Москва (в здании манежа)	1892 г.				
Москва (Царскосельский кружок)	13.08. 1894 г.		1900 г.	1/3 версты	Цемент
Тула	1896 г.	1896–1898 гг. 1910–1913 гг.			бетон
Петербург на Каменноостровском проспекте	1895 г.	1895–1899 гг.	1910 г.	1/3 версты	Цемент
Петербург (разборной трек)				250 м	Дерево
Стрельна (под Петербургом)	1895 г.	90-е годы XIX века	1910 г.	340 м	Асфальт
Кострома [4]	1892 г.				
Озерки (север Петербурга)					
Рига в Царском саду [8]	1895 г.				
Рига	1895 г.				
Тифлис (Тбилиси)	1895 г.			100 саженей	
Астрахань				1/3 версты	Земля
Иркутск на Кайской горе	1893 или 1898 г.			7 1/2 версты	Земля
Сокольники (Москва)	1898 г.				
Саратов – освещен электричеством	1894 г. [26]				
Екатеринбург	3.09.1900 г.		1925 г.		
Богородск (ныне Ногинск) – освещен электричеством	1908 г.				
Ростов, Курск, Орел					

Первые велотреки на территории современной России, Латвии и Грузии

Первые соревнования в Российской империи были проведены в 1883 году в городе Москва. Там же в 1892 году был построен первый велотрек (в здании манежа, на

Манежной площади). В 1894 году велотрек появился в городе Тула [21].

Первое русское общество велосипедистов возникает в Петербурге в 1882 году. Также велосипедные общества появились и в других городах Российской империи, а именно:



Рис. 1. Циклодром в Саратове [29]



Рис. 2. Циклодром в Стрельне [30]

- в Петербурге — устав утверждён 5 декабря 1884 г.;
- в Москве — клуб велосипедистов возник в 1888 году [21];
- в Риге — в 1886 году организовано Первое Рижское общество велосипедистов-любителей (ОВЛ) [21];
- Царскосельский кружок велосипедистов утвердил устав 4 марта 1883 года [16];
- Общество стрельнинских велосипедистов-любителей (Стрельня — сейчас район на севере Петербурга);
- Тифлисское (Тбилиси) ОВЛ;
- Екатеринбургское ОВЛ утвердило устав в декабре 1885 года;
- Богородское общественное собрание велосипедистов упоминается с 1897 год [15];
- Саратовское ОВЛ зарегистрировано 11 июня 1893 года [26].

В большинстве городов езда по улицам на велосипедах запрещалась или частично ограничивалась [21, ст. 19].

Спортивные организации вели борьбу за право свободного передвижения по улицам города [21, ст. 19].

В 1893 году в различных городах России насчитывалось 40 велосипедных обществ с утвержденным уставом [12].

В 1895 году в Риге насчитывалось около 2 тыс. велосипедистов.

В Екатеринбурге в 1886 году после предварительной подготовки и ремонта военного манежа состоялось открытие зимнего помещения, где в зимнее время проходило обучение и катание на велосипедах [25]. Тренировочные катания проходились в манеже 2 раза в неделю [25]. Общество организовывало гонки на ипподроме, а также коллективные загородные прогулки [25]. Велодром в Екатеринбурге размещался на месте современного Центрального стадиона.

Циклодром в Стрельне находился на пересечении Новонарвского и Волхонского шоссе [7].

Здание циклодрома в Саратове располагалось на улице Аткарской (угол Кутякова) около железнодорожного вокзала. Через несколько месяцев после создания Саратовского ОВЛ в 1894 году было построено красивое деревянное здание циклодрома (велотрека), ставшее главным местом проведения мероприятий общества. Циклодром имел овальную трассу с односторонним поперечным уклоном, а также залы для игры в кегельбан, бильярд, лаун-теннис, крокет и для занятий гимнастикой. Для посетителей работал буфет, велосипеды выдавались напрокат, в фойе проводились танцевальные вечера. Все помещения были снабжены электрическим освещением [11]. Упоминания о циклодроме исчезают из справочников Саратова в начале 1900-х годов. Само общество велосипедистов было в эти годы реорганизовано в спортивный клуб, пере-

базировавшийся в современный центр города. Сегодня на месте циклодрома находится привокзальный рынок [11].

О том, что в Курске был велотрек, упоминается в архивной газете «Курский листок» 1886—1902 гг. [19].

Соревнования также проходили на ипподромах, в манежах, на разборных треках, на шоссейных дорогах по всей России [21].

Примерно к 1910 году велосипедные гонки теряют спортивное значение, велоспорт приходит в упадок [21]. В 1910 году в Петербурге нельзя было отыскать ни одного велодрома [13].

Следующий этап развития начинается с середины 20-х годов.

После Октябрьского переворота 1917 года Тульский трек оставался единственным действующим в стране [24].

Литература:

1. Алексеев А.А. Проектирование и строительство велотреков / А.А. Алексеев. — М.: Стройиздат, 1967. — 171 с.
2. Бабешко А. Футбол в Донбассе: как все начиналось. [Электронный ресурс]. 2008. Режим доступа: <http://terrikon.com/posts/12386>.
3. Бабешко А., Бабешко А. Футбол Донецкого края. Часть первая. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://terrikon.com/posts/34142>.
4. Бочков В.Н. Старая Кострома. Рассказы об улицах, домах и людях. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kostromka.ru/bochkov/97.php>
5. Быков Михаил При дворе — песок, на песке — «Паук», интернет издание газеты «Московский спорт», [Электронный ресурс], 2011. Режим доступа: <http://www.m-sport.ru/doc>
6. Горбатенко С. «Архитектура Стрельны», — Европейский дом, 2008. — 376 с.
7. Горбатенко С.Б. «Петергофская Дорога. Историко-архитектурный путе-водитель». Достопримечательные места большой Петергофской дороги. Стрельна. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://al-spbphoto.narod.ru/prig/strelna.html>
8. Гурин А. Параллели истории Утраченная Рига. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pctvl.lv>
9. Засосов Д.А. Пызин В.И. Из жизни Петербурга 1890—1910-х годов. Записки очевидцев. СПб., 1999.
10. Ипполитов И.В. Велосипедные гонки на треке. М.: «Физкультура и спорт», 1953. — 168 с.
11. Козловский И. Циклодром. Большая Саратовская энциклопедия. 2010. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://saratovregion.ucoz.ru/saratov/sport/tsiklodrom.htm>
12. Коршак Ю.Ф. Мяч на циклодроме. Журнал «Велосипед», 1893 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs/index-125217.html>
13. Коршак Ю.Ф. Приезд «Коринтианса». Газета «Новое время», 1910 год. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://rudocs.exdat.com/docs>
14. Кузнецов В. К истории Богородского циклодрома / Альманах «Богородский край» N 2 (96). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bogorodsk-noginsk.ru/arhiv>
15. Маслов Е.Н. Богородский уезд: 1905—1917 годы. Краеведческие заметки. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bogorodsk-noginsk.ru/vlasty>
16. Мятнев А. Велосипедные клубы и общества России. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.old-velo.ru/klubs.shtml>
17. Поберий И.А. Велоспорт в Донбассе / Игорь Поберий. — Донецк: ЭПОС, 2008. — 231 с.
18. Резников Н.М. Проектирование и строительство велотреков. М.: «Физкультура и спорт», 1956—164 с.
19. Склярчук В. Архив газеты «Курский листок». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://old-kursk.ru/book/sklyaruk>
20. Современный велосипед. Выбор его и применение. СПб.: издание Ф.В. Щепанского, 1895. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://archive.org/texts/flipbook>
21. Степанов П.И. Велосипедный спорт. Справочник за 1882—1958гг. — М, 1958.
22. «Социалистический Донбасс», 22 ноября 1990 года <http://ins.dn.ua/~slavclubs/vhist.html>
23. Тарасова Н.А. Из истории физкультурно-спортивного движения в Мариуполе. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.promariupol.com>

24. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.worldvelosport.com/2012/08/istoria-velosporta.html>
25. Екатеринбургское общество велосипедистов-любителей. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://sportufo.ru/sportivnoe-obshchestvo>
26. История Саратовского края: С древнейших времен до 1917 года. Саратов: Регион. Приволж. изд-во «Детская книга», 2000. 416 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elsso.ru/cont/his/240.html>
27. Мариуполь спортивный. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vse-grani.com>
28. Очерки истории Саратовского Поволжья. Т.1: С древнейших времен до отмены крепостного права. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1993. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elsso.ru/cont/his/240.html>
29. Фото циклодрома в Саратове. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://postcards.sgu.ru/ShowCard.php?picture=928>
30. St Petersburg in Focus: Photographers of the Turn of the Century, СПб.: Palace Editions, 2003. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.oldsp.ru/photo/view/9511>
31. История: 112 лет назад в Екатеринбурге открылся первый велодром. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.ekburg.ru/news>
32. Nicéphore Niépce House. — «But he could not resist improving it by different means: the adjustable saddle among them».

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

К вопросу развития добычи нерудного строительного сырья в России

Малиновский Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент;

Курчин Георгий Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Волков Евгений Павлович, старший преподаватель;

Зайцева Екатерина Васильевна, аспирант;

Кирсанов Александр Константинович, студент

Сибирский федеральный университет (г. Красноярск)

На территории Российской Федерации расположено большое количество месторождений нерудного минерального строительного сырья со значительным объемом запасов. Развитие добычи этих полезных ископаемых является одной из приоритетных задач горной промышленности, поскольку нерудные полезные ископаемые широко используются в строительстве, горном деле и металлургии: в качестве сырья для производства вяжущих и добавок в различные виды цемента, для производства высокообжигового, формовочного и медицинского гипсов, серной кислоты, сульфата аммония, бумаги и для гипсования почв.

Неметаллические полезные ископаемые, как их еще называют, играют значительную роль в экономике страны, определяемую широкомасштабным многоцелевым использованием в производстве промышленной и сельскохозяйственной продукции, при создании наукоемких технологий и получении конструкционных материалов, композитов, специальной керамики.

Анализ горно-геологических и горнотехнических условий залегания показал, что главным геолого-промышленным типом месторождений гипса и ангидрита являются линзовидные и пластовые залежи мощностью от первых метров до десятков метров и протяженностью от сотен метров до десятков километров, залегающие в толщах карбонатных и терригенных пород, представленных известняками, доломитами, глинами и мергелями. К этому типу принадлежат крупнейшие месторождения США, Канады, Франции, ФРГ, Великобритании и других стран. В России он представлен многочисленными месторождениями Европейского центра, Севера и Поволжья, Восточной Сибири, включая такие крупные, как Залаирское кембрийского возраста в Иркутской области, Новомосковское девонского возраста в Тульской области, Звонское нижнепермского возраста в Архангельской области [1].

Месторождения гипса и ангидрита встречаются в большинстве геологических систем — от кембрийской до четвертичной. В России промышленные гипсоносные ме-

сторождения приурочены к кембрийской, девонской, каменноугольной, пермской, юрской и четвертичной системам. Свыше половины запасов (около 55 %) связаны с каменноугольной системой, примерно третья часть (около 32 %) с пермской, и примерно 10 % с девонской системой. К юрской и кембрийской системам относят лишь около 3 % запасов гипсоносных пород и к отложениям четвертичной системы менее 0,3 %.

Проведенный анализ конъюнктуры рынка нерудных строительных материалов показывает, что интерес к ним возрастает с каждым годом, спрос и потребление будут неуклонно расти. Конъюнктура рынка в РФ благоприятна для освоения новых месторождений (рис. 1,2) [1].

Цены на нерудное строительное сырье постоянно растут. Это объясняется рядом причин: завышенная себестоимость добычи, неизменный рост спроса, увеличение энергетических и транспортных тарифов, низкая производительность труда. За период 1997–2012 г. цена на нерудные строительные материалы выросла в 9,1 раза. Однако, следует выделить небольшое падение цены в 2009 году, связанное со снижением объемов производства и спроса в период мирового финансового кризиса, который затронул все отрасли производства, в том числе строительство и горнодобывающую промышленность. Согласно данным Росстата, в это время было замечено снижение производства нерудных строительных материалов на 20 %. В условиях массового замораживания строительных проектов, строительные фирмы больше не нуждались в том количестве сырья, которое они потребляли до кризиса. Также после отмены таможенных пошлин на ввоз импортного сырья, на склады Российских строительных фирм хлынул поток дешевого китайского и импортного сырья из дальнего и ближнего зарубежья [1,2]. Однако это падение постепенно замедлилось, и на сегодняшний день рынок восстановился.

Мировые разведанные запасы гипса составляют более 7500 млн. т. Российская Федерация располагает уникальной по мировым масштабам минерально-сырьевой базой производства гипса, разведанные запасы которой

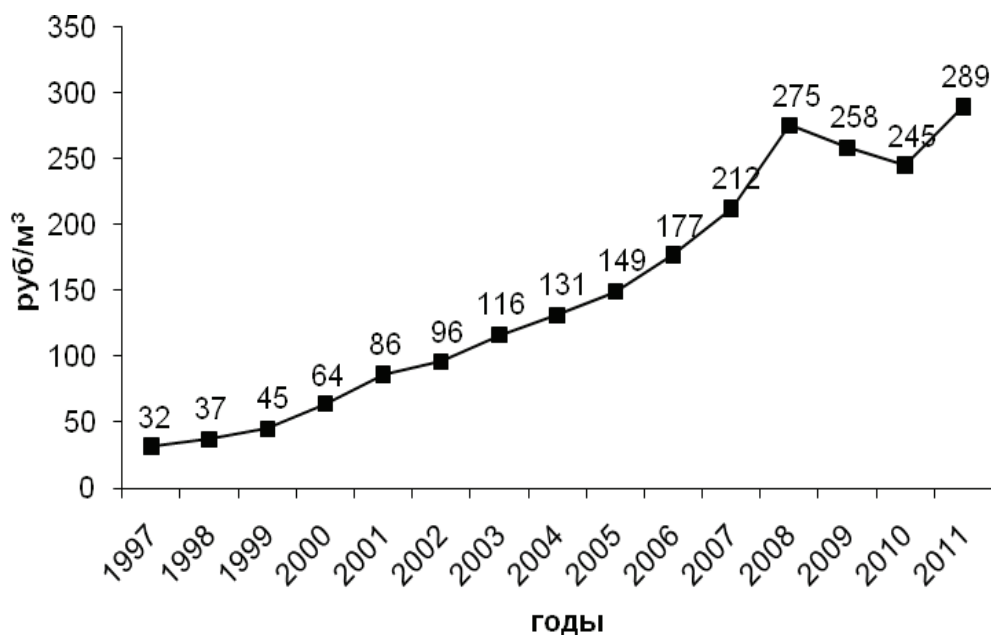


Рис. 1. Средняя цена нерудных строительных материалов в 1997–2011 гг., руб/м³
(цена производителя без НДС и доставки)

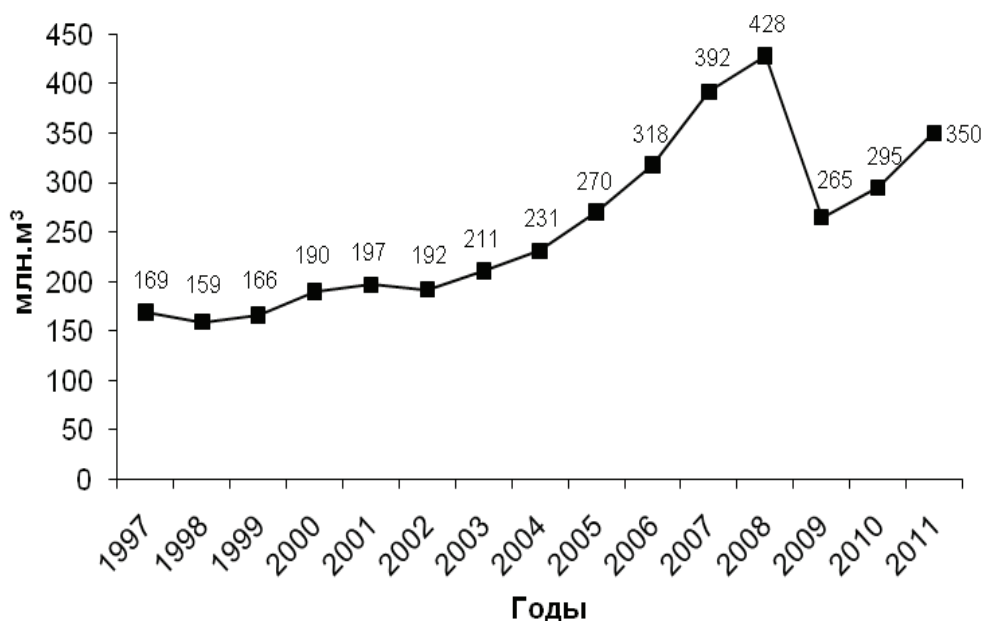


Рис. 2. Производство нерудных материалов в 1997–2011, млн. м³

(без учёта запасов, разведанных по категории C_2) составляют около половины мировых разведанных запасов. Запасы гипса стран СНГ (без учета России) составляют около 1000 млн. т (около 14% мировых запасов). Наиболее крупными запасами из них обладают Украина (около 450 млн. т) и Казахстан (около 250 млн. т) [3].

Большинство месторождений имеют относительно небольшие запасы. Крупными, с запасами свыше 25 млн.т., являются только 19 месторождений, на их долю приходится 90% запасов гипсового сырья России, при этом

большая часть всех запасов (75%) заключена в 9-ти крупнейших месторождения, с запасами более 100 млн. т. каждое (Новомосковское, Павловское, Скуратовское, Болоховское, Плетневское, Баскунчакское, Лазинское, Порецкое и Оболенское).

Анализ условий залегания показал, что месторождения нерудного сырья, как правило, осадочного происхождения. Природная ценность нерудного сырья преимущественно невысока, глубина залегания полезного ископаемого изменяется в диапазоне от 50 до 400 м., мощность пластов

Таблица 1

Распределение месторождений и запасов гипсового сырья по федеральным округам РФ [1]

Федеральный округ	Количество месторождений, шт		Запасы	
	всего	эксплуатируемые	млн. т	доля от запасов России, %
Центральный	6	1	1850,7	56,5
Северо-Западный	3	-	47,1	1,4
Южный	20	6	308,6	9,4
Приволжский	38	12	851,8	26,0
Уральский	4	1	35,3	1,1
Сибирский	11	3	163,4	5,0
Дальневосточный	4	1	19,0	0,6
Россия	86	24	3275,9	100

находится в диапазоне от 5 до 20 м. Такие горно-геологические и горнотехнические характеристики обусловили предпосылки развития добычи нерудных полезных ископаемых открытым способом.

Однако при таком способе отработки месторождений воздействие на окружающую среду характеризуется значительным нарушением поверхности, связанным с работой карьера и формированием большого количества отвалов вскрышных пород. При этом, чем глубже залегает пласт, тем сильнее проявляется это негативное влияние. Нарушениям, преобразованиям и негативному воздействию подвергаются не только земли и воды непосредственно в пределах карьерного поля, но и территории, занимаемые под внешние отвальные массивы, транспортные и энергетические коммуникации, здания и сооружения горного предприятия. Кроме этого, изменяются режимы и уровни подземных вод, происходит загрязнение почв и поверхностных вод пылью стоками на расстояниях в десятки километров от границ земельного отвода. Происходит изменение рельефа местности, а в районах крупных ГОКов преобразовывается ландшафт, утрачивая свои природные качества под воздействием техногенеза [1,4].

Альтернативой открытому способу добычи является подземная отработка месторождений нерудного строительного сырья, но недропользователи отказываются от ее использования ввиду необходимости больших первоначальных капитальных вложений. Мотивируется это, как правило, экономическим сравнением в пользу открытой добычи. Сами же расчеты проводятся по опыту предприятий-аналогов, который не только не всегда положительный, но и нередко просто не применим.

Тем не менее, разработка месторождений нерудного

сырья подземным способом может осуществляться со сравнительно низкой себестоимостью добычи. Поэтому необходимо было провести анализ существующих систем разработки при подземной добыче и выделить подходящие под требования подземной разработки нерудных строительных материалов. В свою очередь для выявления этих требований необходимо было провести исследования горно-геологических горнотехнических условий залегания месторождений нерудных строительных материалов в Российской Федерации.

Комплексный анализ показал, что экологически безопасной технологией добычи нерудных строительных материалов является камерно-столбовая система разработки, основные достоинства которой заключаются в простоте производства, широком фронте работ, возможности применения высокопроизводительного оборудования, низкой себестоимости добычи руды и сохранения района ведения горных работ [1].

Недостатки этой системы — это повышенная опасность ведения работ в камере под обнаженной кровлей и значительные потери руды в различного рода целиках. Поэтому на сегодняшний день актуальной является задача по разработке инструкции для расчета конструктивных элементов системы разработки и показателей извлечения для экологически безопасной технологии отработки нерудных полезных ископаемых подземным способом [5].

Поставленные задачи решаются коллективом авторов кафедр «Шахтное подземное строительство» и «Подземная разработка месторождений» в рамках гранта президента РФ молодым кандидатам наук МК 3749.2012.5. Разработка выше упомянутой инструкции запланирована на 2 этап, который будет выполнен в 2013 году.

Литература:

1. Повышение эффективности подземной отработки месторождений нерудного строительного сырья. Ч.1: Отчет о НИР (промежуточ.) / Сибирский федеральный университет; Руководитель Г.С. Курчин. — МК 3749.2012.5 — Красноярск, 2012. — 50 с. Соисполн.: Е.В. Зайцева, А.К. Кирсанов.
2. Хелая И.Т. Анализ тенденции развития цементной промышленности в условиях кризиса: Материалы конференции / И.Т. Хелая, И.В. Петров // Москва, 2010. — с 95–100.

3. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). Справочник. Под общей ред. А.В. Ферронской. — М.: Издательство АСВ, 488 с.
4. Сеченко Д.С. Инженерно-геоэкологическое обоснование нарушенности земель горнопромышленной деятельностью для восстановления экологического равновесия / Сеченко Д.С. // Научный вестник Московского государственного горного университета. - 2011. - №8 — С. 83—85.
5. Агошков М.И. Разработка рудных и нерудных месторождений / М.И. Агошков, С.С. Борисов, В.А. Боярский // М.: НЕДРА, 1983. С 133.

Современные электродвигатели для стрелочных приводов

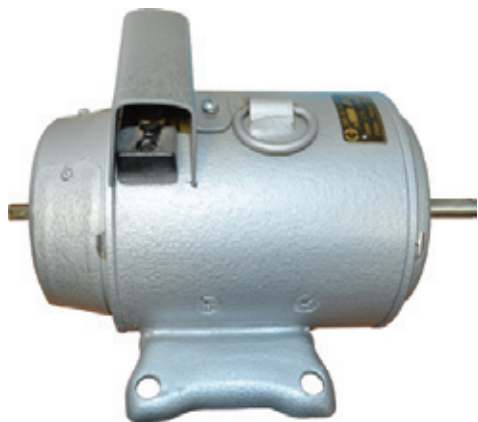
Матвеева Ольга Леонидовна, студент;

Селиверов Денис Иванович, заместитель директора по учебно-производственной работе, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Электродвигатель — это устройство, в котором электрическая энергия преобразуется в механическую. На железных дорогах России электрические двигатели применяются в электроприводах, которые перемещают острия стрелочного перевода из одного положения в другое, запирают острия и крайнем положении, с их помощью получают непрерывный контроль фактического положения стрелки.

В настоящий момент при новом строительстве и модернизации существующих станций используют приводы с электродвигателями переменного тока. Их преимуществом являются высокая надежность и удобство в эксплуатации. Не смотря на это, большая часть переводов на сети железных дорог до сих пор оснащена двигателями постоянного тока. Также следует отметить, что на сортировочных горках в силу условий технологии работы внедрение двигателей переменного тока не возможно. В стрелочных электроприводах используются следующие виды электродвигателей постоянного тока: МСП-0,1, МСП-0,15, МСП-0,25. [1]



Электродвигатель типа МСП-0,1 предназначен для установки в электроприводах для перевода стрелок легких типов, но в новых разработках электродвигатели МСП-0,1 не применяются. Электродвигатели постоянного тока типа МСП-0,1 мощностью 0,1 кВт имеют последовательное соединение обмоток, являются двухполюсными,

реверсивными, с горизонтальным валом на подшипниках качения, изготавливаются на номинальное напряжение 30, 100 и 160В; имеют две обмотки возбуждения.

Электродвигатель типа МСП-0,15 мощностью 0,15 кВт предназначен для установки в электроприводах для перевода стрелок тяжелых, а также обычных типов. С 1982 года электродвигатели выпускаются только на напряжение 160 В. [2]

Электродвигатель МСП-0,25 является неотъемлемой частью усовершенствований железнодорожного оснащения. Стрелочный электродвигатель постоянного тока типа МСП-0,25 представляет собой двухполюсной, реверсивный электродвигатель с горизонтальным валом на подшипниках. Его мощность составляет 0,25 кВт. [3]

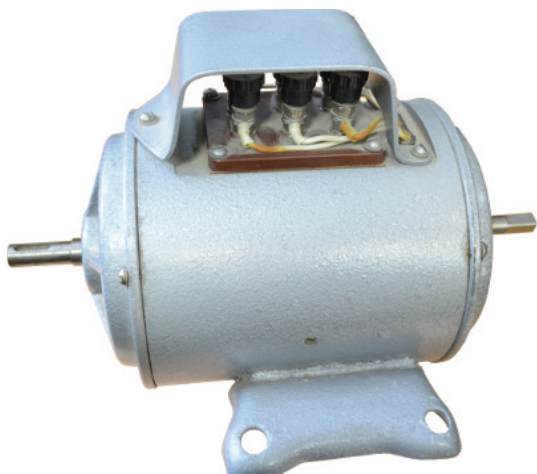
Первый опыт применения на отечественных железных дорогах электроприводов переменного тока в схеме управления стрелкой относится к 1952 году. Но в то время на станциях отсутствовали надежные источники переменного тока, возникали сложности с резервированием питания. Кроме того, не были решены вопросы последовательного перевода стрелок, связанные с увеличением числа жил кабеля. Все это обусловило широкое распространение двухпроводной схемы управления стрелкой с двигателями постоянного тока в системах электрической централизации с центральным питанием.

Дальнейшее развитие железнодорожного транспорта, увеличение массы поездов и рост скоростей их движения привели к необходимости удлинения станционных путей и укладке тяжелых типов рельсов, в том числе и на стрелках. Возросшие тяговые усилия по переводу остриев требовали применения более мощных электродвигателей стрелочных приводов, что связано с увеличением рабочего тока и необходимостью иметь в каждом проводе линейной цепи по две, три и более жил кабеля.

Улучшение условий энергоснабжения, недостатки двухпроводной схемы управления стрелкой с двигателями постоянного тока, современные методы и технологии обслуживания, положительный опыт эксплуатации приводов с двигателями переменного тока, особенно в су-

ровых климатических условиях, позволили рекомендовать их к широкому внедрению на всей сети Российских железных дорог.

Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока имеют ряд преимуществ по сравнению электродвигателями постоянного тока с последовательным возбуждением, которые применяются в стрелочных приводах. Прежде всего, это отсутствие в асинхронных электродвигателях такого сложного и малонадежного узла, как коллектор, что значительно сокращает эксплуатационные расходы на текущее обслуживание и ремонт, а также исключает получение ложного контроля положения стрелки за счет выпрямительного эффекта дуги при искрении коллектора. [4]



Межремонтный срок службы электродвигателей переменного тока в 3–4 раза больше по сравнению с двигателями постоянного тока. В настоящее время на железной дороге применяются электродвигатели переменного тока типа МСТ. К ним относятся такие электродвигатели, как МСТ-0,3; МСТ-0,3А; МСТ-0,3Б; МСТ-0,3В и МСТ-0,6; МСТ-0,6А.

Асинхронные трехфазные электродвигатели типов МСТ-0,3, МСТ-0,3А, МСТ-0,3Б, МСТ-0,3В устанавливаются в электроприводах типа СП для перевода острия тяжелых и обычных стрелок электрической централизации; типов МСТ-0,6, МСТ-0,6А устанавливаются в электроприводах типа СП для перевода острия стрелок в маневровых районах. [2,5]



Новая модификация — это электродвигатели переменного тока типа МСА, асинхронные, реверсивные, трёхфазные с улучшенными эргономическими свойствами (наличие ручки для переноса и уменьшение массы). Выпускаемые заводом электродвигатели имеют встроенное соединение обмоток «звездой». МСА полностью взаимозаменяемые с электродвигателями типа МСТ. МСА применяются и в новых шпальных электроприводах типа УПС. [6]

Следует отметить, что коллекторные двигатели изобретены более 170 лет назад. По управляемости и энергоэкономичности они считаются лучшими, в особенности для электроприводов с регулированием скорости или положения. Их основной недостаток — ненадежный и быстро изнашивающийся щеточноколлекторный узел, вызывающий искрение и помехи, а в стрелочных электроприводах и ложный контроль положения острия. Спустя 50 лет, как альтернатива коллекторному двигателю, появились асинхронные двигатели переменного тока, по сути бесконтактные, лишённые данного недостатка, но существенно ниже по энергетической эффективности и управляемости.

Наилучшими областями их применения являются длительно работающие нерегулируемые электроприводы с одной или двумя скоростями вращения, стабильность которых не имеет решающего значения (обычные вентиляторы, насосы, транспортеры и др.). Развитие электроники привело к появлению весьма сложных и дорогих асинхронных двигателей с частотным управлением, регулируемых по скорости. Но их динамические показатели, такие, как точность регулирования и быстродействие, не могут конкурировать с более простыми электроприводами постоянного тока аналогичного класса и стоимости. Общим недостатком коллекторных и асинхронных двигателей классической конструкции является то, что основная доля тепла в них выделяется в роторе, откуда, весьма затруднен теплоотвод. Это существенно снижает надежность, срок службы и увеличивает габариты этих двигателей.

Примером бесколлекторного электродвигателя является ДБУ — это перспективный электродвигатель для компактных, надежных, регулируемых приводов любого назначения с наибольшим сроком службы, в особенности в тяжелых условиях эксплуатации (мороз, тепло, влажность, вибрации и др.). Они не требуют обслуживания и регламентных работ. [7, стр.10]

Электродвигатель ДБУ предназначен для применения в электроприводах стрелочных переводов СП-6, СП-6М, СП-6К и других электроприводах стрелочных переводов железных дорог.

Он разработан и изготовлен с использованием новейших материалов и современных технологий. ДБУ обладает рядом преимуществ по отношению к применяющимся в настоящее время коллекторным двигателям постоянного тока МСП-0,15, МСП-0,25, а именно:

- повышенная надежность двигателя за счет отсутствия коллекторного узла гарантия — 4 года;



- исключение возможности пробоя обмоток при климатических и механических воздействиях за счет оригинального конструктивного решения двигателя;
- защита двигателя при перегрузках посредством блока электронного управления двигателем; повышенная надежность стрелочного электропривода за счет исключения механического фрикциона, функции которого обеспечивает электронный блок управления двигателем;
- автоматическое выключение двигателя через (10 ± 2) с после включения; двукратное уменьшение массогабаритных характеристик (в сравнении с коллекторными двигателями);
- возможность планового пуска двигателя, исключение удара остряка о рамный рельс; двигатель может быть изготовлен как для работы в сетях как постоянного, так и переменного тока;
- блок управления двигателя обеспечивает самодиагностику и диагностику электропривода (без прокладки дополнительных проводов). [8]

В настоящее время проходит испытания «интеллектуальный» стрелочный электродвигатель ЭМСУ, имеющий электронное управление и работающий как от постоянного, так и от переменного тока. Он сможет заменить практически все типы стрелочных электродвигателей, выпущенных ранее.

На заводе изготовителе производится около 20 модификаций электродвигателей, что является невыгодным, так как под каждый нужна специфическая оснастка, ко-

торую должно поддерживать в работоспособном состоянии, даже если она используется всего несколько раз в год. Поэтому специалисты придумали универсальный двигатель, который, благодаря использованию электронной платы, может быть запрограммирован на разное число оборотов и разный вид напряжения. При этом сама механика для всех типов двигателей осталась единой. [9]



Двигатель ЭМСУ разработан на базе вентильно — индукторного двигателя. ЭМСУ предназначен для эксплуатации на железнодорожном транспорте в составе стрелочных электроприводов. мощностью 0,1 кВт Двигатель оснащён микропроцессорной системой управления, позволяющей ему быть универсальным по питающему напряжению и частоте вращения ротора.

Еще одно удобство при эксплуатации электродвигателя ЭМСУ — это настройка номинальной частоты вращения ротора, в зависимости от типа стрелочного перевода, которая может производиться как на заводе-изготовителе, так и в условиях эксплуатации от переносного пульта или ноутбука.

Работа ЭМСУ в стрелочных переводах осуществляется от серийных схем управления ЭЦ и не требует перерасчёта кабельных сетей. ЭМСУ важен для скоростных поездов. Он имеет стабильную скорость вращения и стабильное потребление тока, легко перепрограммируется.

Система управления двигателем предусматривает возможность обеспечения синхронной работы двух и более электроприводов, что делает его перспективным для применения в стрелочных переводах скоростных дорог. [10]

Литература:

1. Повышение надежности двигателей постоянного тока стрелочных электроприводов. <http://jurnal.org>
2. Электродвигатели для стрелочных электроприводов и приводов автостопа. <http://scbist.com/>
3. Электродвигатель МСП-0,25. <http://speztrade.ru>
4. Принцип построения и особенности работы контрольной, управляющей и рабочей цепей пятипроводной схемы управления стрелочным электроприводом с двигателем переменного тока. <http://edu.dvgups.ru>
5. Асинхронные электродвигатели трехфазного переменного тока. <http://edu.dvgups.ru>
6. Электродвигатели переменного тока типа МСА (17529—00—00) ТУ 32 ЦШ 2093—2001. <http://geksar.ru>
7. Схема управления стрелкой с бесколлекторным управляемым электродвигателем. Автоматика, связь, информатика 6—2007.
8. Электродвигатели для привода стрелочных переводов. <http://www.etm.ru/>
9. Инновации ЭТЗ «Гэксар». <http://www.saratovnews.ru>
10. Электродвигатель малогабаритный стрелочный универсальный (ЭМСУ). ТУ32 ЦШ 162.22—2009 (черт. 22381—00—00) <http://geksar.ru/>

Расчет производительности концентратора солнечной энергии

Мусаев Гасан Магомедрасулович, старший преподаватель
Дагестанский государственный технический университет

Основное функциональное назначение концентраторов солнечной энергии — повышение относительно низкой плотности солнечного излучения, пиковое значение которого на поверхности Земли принимается равным 1000 Вт/м, до уровня, обеспечивающего эффективное и экономическое преобразование. Концентраторы солнечного излучения необходимы для увеличения КПД прямого преобразования энергии с помощью солнечных элементов, а при создании солнечных станций с тепловыми циклами преобразования — для повышения рабочих температур теплоносителя. Тип концентратора, величина концентрации солнечного излучения, а также конструкции концентратора и приемника солнечного излучения определяются поставленными задачами и методами их выполнения.

Важной характеристикой концентраторов является их оптический КПД — отношение энергии, приходящей на приемник солнечного излучения, к энергии, падающей на воспринимающую поверхность концентратора.

Интегральным показателем является коэффициент концентрации K , который определяется как отношение среднего значения плотности сконцентрированного лучистого потока к плотности солнечного излучения в плоскости, перпендикулярной его распространению.

При концентрировании изменяется не только плотность излучения, характеризуемая коэффициентом концентрации K , но и его распределение в пространстве. Поэтому поверхностная облученность I_e является одной из основных энергетических характеристик концентрирующей системы. Для концентрирующих систем требование равномерности облученности поверхности является первостепенным.

Наиболее распространены отражающие (зеркала с образующими различной формы) и преломляющие (линзы и линзы Френеля) концентраторы солнечного излучения. Классом, совмещающим в себе свойства тех и других, являются призматические концентраторы. Для расчета годовой выработки тепловой энергии коллектором необходимо оценить приход солнечной радиации на плоскость солнечного коллектора (СК) за этот период. Солнечные энергетические установки чаще всего расположены под некоторым углом к направлению распространения солнечных лучей. Угол наклона солнечных коллекторов к горизонту для установки, работающей круглый год, рекомендуется принимать равным широте местности, а для установки, работающей только в летний период — широте местности минус 15° [6]. Оптимальной ориентацией СК считается направление на юг с возможными отклонениями на восток до 20° и на запад — до 30° . Для измерения прямой, составляющей солнечной радиации из-за суточного хода Солнца актинометры, на метеостанциях всегда ориентируются на его положение, в то время как, при эксплуатации плоского солнечного коллектора его поглощающая поверхность в большинстве случаев зафиксирована, и не имеет системы ориентации. Используя зависимость интенсивности солнечной радиации в течение светового дня [2], выражение для прихода энергии солнечного излучения за этот период можно записать в виде:

$$Q_{\text{приход}}^{\text{день}} = q_m \int_{\tau_{\text{восх}}}^{\tau_{\text{зак}}} \exp \left[-18,6 \left(\frac{\tau_m}{T_c} \right)^2 * \left(1 - \frac{\tau}{\tau_m} \right)^2 \right] d\tau \quad (1)$$

где τ — фактическое местное декретное время (остальные обозначения в тексте),

q_m — максимальной интенсивности солнечной радиации, приходящей на поверхность коллектора за день,

τ_m — время (в часах), когда интенсивность солнечной радиации максимальна,

T_c — продолжительность солнечного сияния.

При проведении расчетов в качестве значения q_m берется сумма значений прямой и рассеянной радиации за «срок» 12 ч. 30 мин. по истинному солнечному времени по данным [4], обработанных по методике [6] учитывающей склонение солнца, часовой угол, географическое положение и наклон поверхности СК. Этот выбор обусловлен тем, что данный «срок» наиболее близок к полудню по истинному солнечному времени, когда интенсивность солнечной радиации максимальна (время τ_m), а коллектор наиболее эффективно сориентирован на солнце. Продолжительность солнечного сияния T_c , время восхода $\tau_{\text{восх}}$ и время заката $\tau_{\text{зак}}$ Солнца рассчитывается по методике предложенной в [5] для любого дня года.

При выборе τ/τ_m от 0,5 до 1,5, что отвечает граничным значениям эффективности работы СК при $q \geq 0,05$ кВт/м², приход солнечной радиации определяется:

$$Q_{\text{приход}}^{\text{день}} = 0,987 * q_m \sqrt{\frac{\pi}{18,6}} * T_c \quad (2)$$

В справочниках по климату [3] обычно приводятся годовые и месячные суммарные значения радиации для условий ясного неба и средней облачности, а также количество дней с различными условиями облачности для каждого месяца. С учетом этих данных и зависимости (1) суммарная энергия солнечного излучения, приходящая на единицу поверхности солнечного коллектора за месяц находится как:

$$Q_{\text{прих}}^{\text{месяц}} = Q_{\text{прих}}^{\text{ясный}} (N_{\text{мес}} - N_{\text{обл}}) + Q_{\text{прих}}^{\text{обл}} N_{\text{обл}} \quad (3)$$

где $Q_{\text{прих}}^{\text{ясный}}$ и $Q_{\text{прих}}^{\text{обл}}$ — значения суммарной радиации приходящей на поверхность солнечного коллектора за средний день месяца рассчитанные по (1) для условий ясного неба и средних условий облачности, $N_{\text{мес}}$ — количество дней в месяце, $N_{\text{обл}}$ — среднее число пасмурных дне по общей облачности за данный месяц [3]. Расчет по среднему дню месяца, обеспечивает достаточную точность расчетов (с погрешностью менее 10 %).

Для оценки энергетической производительности солнечного коллектора в расчетах помимо суточного изменения прихода радиации необходимо учитывать и суточное изменение КПД солнечного коллектора. С учетом полученных в ходе проведения экспериментов соотношений [2], энергетическая производительность солнечного коллектора за сутки в режиме естественной циркуляции можно определить по формуле:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{день}} = q_m \eta_m F_k \int_{t_{\text{восх}}}^{t_{\text{зак}}} \exp \left[-18,6 \left(\frac{\tau_m}{T_c} \right)^2 * \left(1 - \frac{\tau}{\tau_m} \right)^2 - 2,2 \left(1,2 - \frac{\tau}{\tau_m} \right)^2 \right] d\tau \quad (4)$$

где F_k — площадь солнечного коллектора; η_m — максимальный КПД, достигаемый СК за день. Выражение (4) можно проинтегрировать с использованием интеграла вероятности и теоремы о среднем значении η/η_m при $\tau/\tau_m = 1,2$, в результате чего получим:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{день}} = 0,903 \sqrt{\frac{\pi}{18,6}} * q_m * \eta_m * F_k * T_c \quad (5)$$

Расчет производительности солнечного коллектора за месяц осуществляется с учетом количества пасмурных дней $N_{\text{обл}}$ по формуле:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{месяц}} = Q_{\text{СК}}^{\text{ясный}} (N_{\text{мес}} - N_{\text{обл}}) + Q_{\text{СК}}^{\text{обл}} N_{\text{обл}} \quad (6)$$

где $Q_{\text{СК}}^{\text{ясный}}$ и $Q_{\text{СК}}^{\text{обл}}$ — производительность солнечного коллектора за средний день месяца для условий ясного неба и условий облачности.

При расчете гелиоустановок, особенно работающих по одноконтурной схеме, когда теплоносителем является вода, необходимо учитывать климатические особенности местности. Проблема использования солнечных коллекторов в зимний период связана с резким уменьшением прихода солнечной радиации, вследствие чего для обеспечения требуемой тепловой нагрузки необходимы большие площади СК, что экономически не оправдано. Кроме того, зимний период может сопровождаться выпадением осадков в виде снега и образованием наледи на прозрачном покрытии и корпусе СК, что ухудшает его работу и может привести к поломке. По этим причинам, на большей части территории России солнечные коллекторы могут эксплуатироваться ограниченный период в течение года. Выработку солнечного коллектора за период эффективной эксплуатации в течение года можно рассчитать по формуле:

$$Q_{\text{СК}}^{\text{период}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{СК}}^{\text{месяц}} i \quad (7)$$

где n — число месяцев эксплуатации солнечного коллектора.

Пользуясь математической моделью работы солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции теплоносителя и справочными данными [3] можно выполнить расчет энергетической производительности для территории Дагестана

Приведенная схема расчета энергетической производительности одноконтурной водонагревательной установки позволяет рассчитывать основные энергетические параметры СК за различные периоды времени (день, месяц, год) в зависимости от географического положения установки. В расчетах используются достаточно простые выражения для суточных изменений интенсивности солнечного излучения и КПД коллектора, а также общедоступные справочные данные по климату РФ.

На практике наиболее распространены плоские коллекторы, имеющие однослойное остекление, так как стоимость изготовления и тепловая производительность таких коллекторов имеют наиболее приемлемое соотношение.

К.п.д. современных коллекторов выражают характеристикой

$$\eta = \eta_0 - k_1 \frac{\Delta T}{E_g} - k_2 \frac{\Delta T^2}{E_g} \quad (8)$$

где E_g — плотность суммарного падающего на коллектор солнечного излучения (Вт/м²), а ΔT — разность между средней температурой теплоносителя в коллекторе и температурой окружающей среды.

Современные производители коллекторов измеряют к.п.д. в эксперименте для каждой конкретной конструкции коллектора. По результатам испытаний с помощью приведенного выше уравнения (8) делается корреляция, учитывающая нелинейность к.п.д. В расчетах необходимо учитывать, что к.п.д. изменяет свое значение в течение дня и в течение года, в зависимости от температуры коллектора и температуры окружающей среды, а также от величины падающего излучения.

Литература:

1. Матвеев А.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Применение искусственного освещения при теплотехнических испытаниях солнечных коллекторов // Энергосбережение: состояние и перспективы: Труды VIII Всероссийского совещания-выставки по энергосбережению, Екатеринбург, 20–21 марта 2007 г., ООО «РИА «Энерго-Пресс», Екатеринбург, 2007 г. 110–112 с.
2. Матвеев А.В., Пахалуев В.М., Щеклеин С.Е. Модель расхода теплоносителя солнечного коллектора в режиме естественной циркуляции // Энергосбережение: состояние и перспективы: Труды VIII Всероссийского совещания-выставки по энергосбережению, Екатеринбург, 20–21 марта 2007 г., ООО «РИА «Энерго-Пресс», Екатеринбург, 2007 г. 112–113 с.
3. Справочник по климату СССР // выпуск 1–34, Гидрометиздат, Ленинград.
4. Безруких П.П., Арбузов Ю.Д., Борисов Г.А., Виссарионов В.А., Евдокимов В.М., Малинин Н.К., Огородов Н.В., Пузаков В.Н., Сидоренко Г.И., Шпак А.А. Ресурсы и эффективность использования возобновляемых источников энергии в России // СПб, Наука, 2002. 314 с.

Научное издание

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК (II)

Международная заочная научная конференция
г. Пермь, февраль 2013 г.

Материалы печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.02.2013. Формат 60х90 ¹/₈.
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 12,86. Уч.-изд. л. 9,28. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Меркурий»
614010, г. Пермь, Комсомольский пр., 80