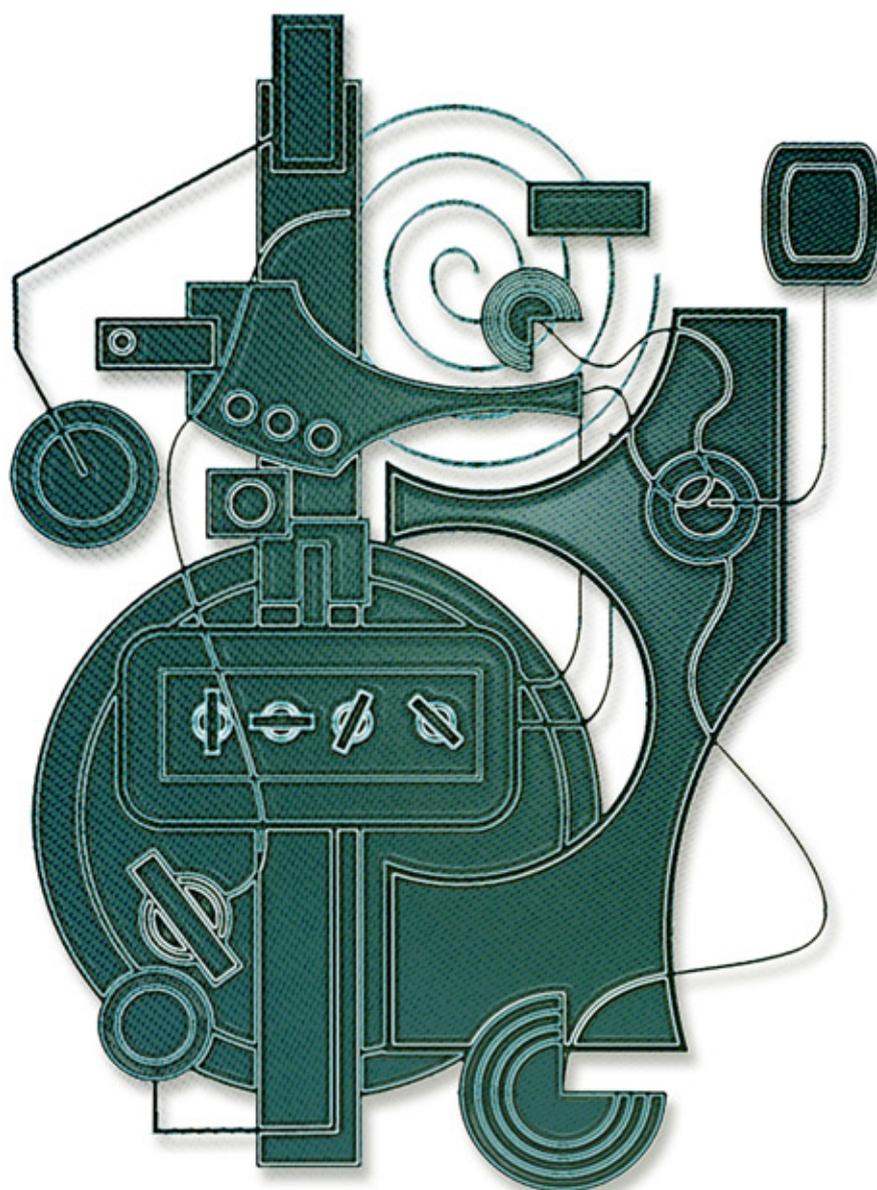


Международная заочная научная конференция

«Технические науки: традиции и инновации»



Челябинск

УДК 62(01)
ББК 30
Т38

Редакционная коллегия сборника:
*Г.Д. Ахметова, М.Н. Ахметова, О.А. Воложанина, С.Н. Драчева,
Ю.В. Иванова, М.Г. Комогорцев, К.С. Лактионов*

Ответственный редактор: *О.А. Шульга*

Т38 **Технические** науки: традиции и инновации: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. — Челябинск: Два комсомольца, 2012. — 168 с.

ISBN 978-5-903618-59-0

В сборнике представлены материалы международной заочной научной конференции «Технические науки: традиции и инновации».

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

Боршевников А.Е.

Надежность схем биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей 6

Шайбаков Р.А.

Использование нейросетевого аппарата для идентификации границ геологических объектов 8

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Кагановский Ю.Д.

Применение модели линейного предсказания для анализа стохастических сигналов 12

Клусов Д.В., Кругликов С.Ю.

Система синхронизации псевдослучайной последовательности для анализатора достоверности цифрового потока при быстром изменении фазы биимпульсного и биполярного сигналов 14

Коваль С.А., Горжий В.А., Пульнев А.С.

Анализ возможностей организации связи в полевом районе с помощью атмосферных оптических линий связи 17

Линович А.Ю.

Эквалайзер с настраиваемой структурой 20

Дмитриев С.С., Комиссаров А.Ю., Печаткин А.В.

Решение задачи повышения уровня пожарной безопасности помещений на основе активного интеллектуального управления индивидуальной сетевой нагрузкой 30

Смуров А.А., Шалимов И.Ю., Щеглов А.В., Печаткин А.В.

Обеспечение непрерывного оперативного мониторинга и раннего предупреждения лесных и торфяных пожаров на основе инвариантных многоэлементных кластерных структур 34

Кузнецов А.В., Свербеева Н.С., Сорокин А.А., Печаткин А.В.

Повышение точности измерения объемного сопротивления изоляции кабельно-жгутовых изделий радиоэлектронной аппаратуры с помощью линейного резистивного сенсора на основе интегрального аналогового вычислителя 39

Розумняк Н.Н.

Видеотрекинг спортсменов. Помехи и их особенности 45

Цебренько К.Н., Чегодаев Н.И.

Математическая модель формирования радиотелефонного канала для передачи аудиоинформации .. 49

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Бейбулатова С.И., Селивёртов Д.И.

Этапы повышения надежности конструкции датчиков УКСПС 56

| | |
|--|-----|
| Васильева Н.Г., Грачева Л.Н. К вопросу автоматизации технологического процесса нанесения гальванических покрытий на примере анодного оксидирования. | 58 |
| Козина А.М., Селивёров Д.И. Приборы контроля сопротивления изоляции электрических цепей железнодорожной автоматики и телемеханики | 62 |
| Козырев А.Ю., Клочков А.Я. История развития систем проектирования | 64 |
| Селивёров Д.И., Киякина Т.Е. Светодиодные светофоры для Российских железных дорог | 66 |
| Касалапова Т.А., Селиверов Д.И. Развитие релейной аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики | 69 |
| Сташков А.С., Селивёров Д.И. Развитие электроприводостроения для железнодорожных стрелочных переводов | 73 |
| Филипенков А.В., Шемелин В.К. Повышение качества обработки телеметрических данных по функционированию газотранспортной системы на основе использования методов сглаживания временных рядов и методов по фильтрации аномальных значений | 76 |
| Халиков И.А., Селивёров Д.И. Применение транспортных контейнеров в хозяйстве автоматики и телемеханики | 79 |
| 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА | |
| Кузьмина Е.К., Монахова В.А. Цуркин А.П. Полимерные транзисторы | 83 |
| 5. ЭНЕРГЕТИКА | |
| Бабенко О.А. Информационные модели теплофикационных турбоагрегатов ТЭЦ | 89 |
| Малеева Е.И. Анализ четырехфазных линий электропередач | 92 |
| 6. МЕТАЛЛУРГИЯ | |
| Бабец Н.В., Васильев Б.Н., Исмаилов М.А. Влияние химического состава легированных железоуглеродистых сплавов на триботехнические свойства антифрикционных материалов для подшипников скольжения | 98 |
| Белоусов М.В., Колесникова М.П., Шопперт Н.В., Никоненко Е.А., Ракипов Д.Ф. О возможности комплексного использования доломитов Бойцовского месторождения | 101 |
| Польщиков А.В., Тутарова В.Д. Анализ эффективности охлаждения непрерывнолитых заготовок круглого сечения на МНЛЗ №1 ОАО «Уральская сталь» | 105 |
| Сердюк А.И. Методика расчета направления отрезки угловых профилей в штампах при поступательном движении ножа | 109 |
| 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ | |
| Данатаров А., Ашыров С. Основные технологические параметры почвообрабатывающих машин нового поколения | 112 |
| Данатаров А., Ашыров С. Энергосберегающие рабочие органы для орудий основной обработки почвы | 113 |
| Иванов В.В., Чуприков А.О., Пряжникова А.А., Сметанин А.С. Увеличение эксплуатационного ресурса СМП при чистовой токарной обработке | 115 |
| Родимцев С.А., Канунников П.П. Обоснование расположения обмолачивающих элементов на цилиндре барабана шнеко-лопастного типа | 118 |

| | |
|--|-----|
| Князев С.А., Погребной Н.А. Разработка технологии упрочнения паротурбинного оборудования путем борирования с высокоскоростным нагревом ТВЧ | 125 |
| Кудрявцев И.В. Проблема моделирования напряженно-деформированного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов | 128 |
| Рубахин А.И. Комбинированный инструмент для обработки глубоких отверстий роликов машины непрерывного литья заготовок. | 132 |
| Обозов А.А., Старокожев М.А. Двухблочный роторно-поршневой двигатель. Конструкция и принцип работы | 136 |
| Twin Blocks Rotary Piston Engine. The Description and an operating principle. | 136 |

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

| | |
|--|-----|
| Дорохова Ж.В. Динамические матричные структуры управления в строительном производстве | 139 |
| Жуков А.Н. Схема проведения испытаний по восстановлению работоспособности консолей колонн с применением трубобетонных конструкций | 141 |
| Никитина Т.А. Особенности конструктивных решений зданий лесопильных заводов, возводившихся в 20–30-е гг. XX в. (на примере Мезенского лесопильного завода в посёлке Каменка Архангельской области) | 145 |
| Скоробогатов С.М., Радько А.А. Проблемы прочности и деформативности монолитных железобетонных безбалочных перекрытий с отверстиями. | 149 |

10. АРХИТЕКТУРА

| | |
|---|-----|
| Петерс Е.В. Градостроительные аспекты формирования малоэтажной застройки в Кузбассе | 153 |
|---|-----|

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

| | |
|---|-----|
| Карасева Л.М. Использование свободного программного обеспечения в техническом вузе | 160 |
| Николаев А.В. Оценка влияния работы калориферных установок на эффективность проветривания калийных рудников. | 162 |
| Семячкина Ю.А., Клочков А.Я. Нанотехнологии современности: пищевая промышленность | 166 |

1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

Надежность схем биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей

Боршевников Алексей Евгеньевич, студент
Дальневосточный федеральный университет

Данная работа описывает возможные схемы проведения биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей (ГКПНД), а также их надежность. Статья должна послужить выбору базовой схемы для практической реализации биометрической системы идентификации.

Введение

Вопросы надежной идентификации являются одними из ключевых вопросов в сфере безопасности. Конечно же, проектируя данные системы, специалисты стремятся приблизить их к подсознательному процессу узнавания одного человека другим. Максимально приближенным к этому распознаванию является процесс идентификации по биометрическим параметрам. Однако использование идентификации по эталонным замерам биометрических параметров имеет ряд недостатков [1,948–960]. Получение из нечетких биометрических данных уникальных фиксированных битовых строк решила бы эти проблемы. Для таких систем идентификации необходимо построить надежные схемы идентификации.

Генерация ключевых последовательностей из нечетких данных

Процедура генерации ключевых последовательностей из нечетких данных рассмотрена в работе [2].

Пусть $dis(a, b)$ – функция расстояния в пространстве M , l – длина уникальной фиксированной битовой строки U , которую необходимо получить. Пусть также предельное расстояние, при котором две точки a и a' пространства M будут рассматриваться как представители одного пользователя, равно t , т.е.

$$a \approx a' \Leftrightarrow dis(a, a') \leq t$$

Назовем (M, l, t) – ГКПНД объект, состоящий из двух функций $Gen()$ и $Rep()$.

$Gen(a)$ – генератор, возвращающий две строки: ключевую строку $U \in \{0,1\}^l$ и соответствующую ей «открытую» строку V , благодаря которой в дальнейшем будет существовать возможность получения U , имея подходящие биометрические данные.

$Rep(a', V)$ – процедура позволяющая восстановить U из соответствующей ей открытой строки V и любой точки

a' выбранного пространства M , достаточно близкой к a . При предоставлении несоответствующих биометрических данных, получение ключевой строки, разумеется, должно быть невозможным. Т.е.

$$\forall a, a' \in M : dis(a, a') \leq t,$$

$$Gen(a) = (U, V) \Rightarrow Rep(a', V) = U$$

Схемы идентификации

Исходя из описанного выше метода, можно выделить следующие схемы биометрической идентификации, с использованием ГКПНД:

1. Централизованная (рис. 1)
2. Распределенная (рис. 2)
3. Распределено-централизованная (рис. 3)

Введем определение ошибки второго рода.

Ошибка второго рода называется успешная аутентификация нелегитимного пользователя системы.

Введем следующие обозначения:

O (object) – объект, идентифицируемый человек.

ShKB (secure hash-key base) – защищенная база хешированных ключевых последовательностей.

MD (measuring device) – измерительное устройство.

CM (compute module) – вычислительный модуль, вычислительное устройство.

U – ключевая уникальная строка.

$h()$ – хеш-функция.

V – открытая строка, по которой вычисляется U .

a – точка пространства, принадлежащая человеку, по которой генерируются U и V .

a' – точка пространства, принадлежащая человеку, по которой вычисляется U .

$Rep()$ – процедура, позволяющая восстановить U из соответствующей ей «открытой» строки V и любой точки a' .

rights – права, которые выдаются пользователю системой (это может быть отказ или разрешение доступа).

id – уникальный идентификатор (применяется в моей схеме).

A — событие, состоящее в том, что противник подберет значение хеш-функции определенного пользователя.

β — вероятность ошибки второго рода.

B — событие, состоящее в том, что противник подберет значение id определенного пользователя.

C — событие, состоящее в том, что противник пройдет идентификацию.

N — размер интервала из которого берутся значения id .

$P()$ — вероятность какого-либо события.

Введем начальное условие — для всех схем сначала происходит предварительное вычисление U, V , затем, происходит вычисление $h(U)$, и значения $h(U)$ и V передаются на хранение в защищенную базу.

Рассмотрим каждую из схем в отдельности и укажем достоинства и недостатки.

Централизованная схема идентификации

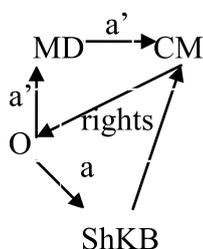


Рис. 1. Схема реализации централизованной биометрической системы идентификации

Опишем централизованную схему идентификации. Из защищенной базы объекту не выделяется никаких данных. Объект подходит к измерительному устройству. В этот момент измерительное устройство включается и производит замеры необходимых параметров, после чего данные передаются на вычислительное устройство. В то же самое время, все данные передаются из защищенной базы на вычислительное устройство. Вычислительное устройство поочередно начинает перебирать значения V , вычислять $h(\text{Rep}(a', V))$ и сравнивать с соответствующим $h(U)$. Если значения совпали, то объект прошел идентификацию.

Данная схема имеет следующие недостатки:

Приходится перебирать слишком большое количество данных при большом количестве пользователей, что может привести к значительным вычислительным затратам по времени.

Схема уязвима, если противником является администратор защищенной базы данных.

Преимуществом данной схемы является то, что противник извне не может получить доступа к ключевым данным и тем самым не может их использовать.

Надежность данной схемы определяется из вероятностей ошибки второго рода методов идентификации. Это возможно из-за того, что противник не может атаковать вне системы. Т.е.

$$P(C) = \beta$$

Распределенная схема идентификации

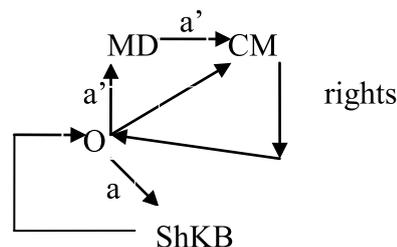


Рис. 2. Схема реализации распределенной биометрической системы идентификации

Опишем распределенную схему идентификации. Предварительно объекту выделяются значения $h(U), V$, записанные на смарт-карту. Объект подходит к измерительному устройству, предъявляет смарт-карту. В этот момент измерительное устройство включается и производит замеры необходимых параметров, после чего передает данные на вычислительное устройство. Значения $h(U), V$ передаются со смарт-карты на вычислительное устройство. Вычисляется значение $h(\text{Rep}(a', V))$ и сравнивается с полученным $h(U)$. Если значения совпали, то объект прошел идентификацию.

Недостатком данной системы является то, что в случае кражи смарт-карты если значения $h(U), V$ становятся известными противнику, то для обеспечения безопасности схемы приходится вычислять новые значения $h(U)$ для всех членов, входящих в систему.

Преимуществом данной схемы является малое количество обрабатываемых входных данных, что приводит к малым вычислительным затратам по времени.

Надежность данной схемы определяется сложностью подбора значения хеш-функции для определенного пользователя и вероятности ошибки 2 рода. Т.е.

$$P(C) = P(A) \cdot \beta$$

Распределенно-централизованная схема идентификация

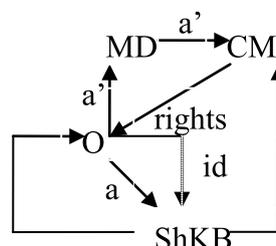


Рис. 3. Схема реализации распределенно-централизованной биометрической системы идентификации

Опишем распределенно-централизованную систему идентификации. Предварительно объекту присваивается значение id , записанное на смарт-карту и вносимое в защищенную базу данных. Объект подходит к измеритель-

ному устройству, предъявляет смарт-карту. В этот момент измерительное устройство включается и производит замеры необходимых параметров и после передает данные на вычислительное устройство. Значение id передается со смарт-карты в защищенную базу, где уже в соответствии с id пересылаются значения $h(U), V$ на вычислительное устройство. Вычисляется значение $h(Rep(a', V))$ и сравнивается с полученным $h(U)$. Если значения совпали, то объект прошел идентификацию.

Преимущества данной схемы идентификации:

1. В случае кражи смарт-карты если значение id становится известным противнику, то для обеспечения безопасности схемы достаточно поменять id пользователя, чей id был украден, не меняя значения $h(U)$ всех пользователей.

2. Малое количество обрабатываемых входных данных, что приводит к малым вычислительным затратам по времени.

Недостатки данной системы является:

1. Существует возможность подбора противником id . Однако если присваивать значение id случайным образом, то вероятность успеха данной атаки становится малой.

Литература:

1. U. Uludag, S. Pankanti, P.S., and A. Jain. Biometric cryptosystems: issues and challenges. // Proceedings of the IEEE 92. – 2004.
2. Burnett, F. Byrne, T. Dowling, A. Duffy. A Biometric Identity Based Signature Scheme. // Applied Cryptography and Network Security Conference, Columbia University, New York, USA, 2005.

Использование нейросетевого аппарата для идентификации границ геологических объектов

Шайбаков Равиль Артурович, аспирант
ОАО «НПФ Геофизика»

Статья посвящена возможностям использования аппарата искусственного интеллекта в геологии, а именно при автокорреляции разрезов скважин. Так же в статье описываются результаты работы модуля по автокорреляции скважин, основанной на самоорганизующихся картах Кохонена.

В настоящее время, когда повышается необходимость эксплуатации все более сложнопостроенных объектов, появляется необходимость обоснованного и правильного выделения пластов. В случае если продуктивные пласты не осложнены зонами выклинивания и замещения процесс корреляции занимает небольшое количество времени и носит формальный характер. Но когда месторождения многопластовые, вскрыты большим количеством скважин, осложнены зонами глинизации и выклинивания коллектора в таких случаях выделение подсчетных объектов бывает не однозначным и спорным, и вместе с тем, занимает большое количество затрат времени и трудовых ресурсов.

2. Большие временные затраты, на промежуточные операции, по сравнению с двумя предыдущими схемами (поиск соответствующих id значений $h(U)$ и V).

Надежность данной схемы определяется сложностью подбора значения id для определенного пользователя и вероятности ошибки 2 рода. Т.е.

$$P(B) = \frac{1}{N}$$

$$P(C) = P(B) \cdot \beta = \frac{\beta}{N}$$

Выводы

Изучение и построение систем биометрической идентификации, с использованием ГКПНД является перспективным направлением в области безопасности. Такие системы способны обеспечить требуемый уровень надежности идентификации. Построение схем подобных систем является важным шагом в их практической реализации. Выбор определенной схемы зависит от требований предъявляемых к системе идентификации.

Одним из важнейших проектных документов позволяющим недропользователю эксплуатировать месторождение является подсчет запасов (ПЗ) нефти и газа. В свою очередь одним из первых и важнейших этапов ПЗ является корреляция разрезов скважин.

Корреляцию при составлении проектного документа выполняют специалисты геологи вручную либо с помощью определенных программ, которые определяют одноименные пласты в скважинах. Данная статья посвящена таким программным комплексам (ПК), а точнее методам, с помощью которых это можно сделать наиболее эффективно в случае, когда необходимо коррелировать большое количество скважин.

Корреляция при подсчете запасов больших месторождений (таких как Приобское, Мамонтовское, Малобалыкское, Правдинское) занимает большое количество времени, поэтому применение ПК будет значительно упрощать процесс, геолог будет только корректировать результат (некоторый субъективизм всегда присутствует), либо процесс корреляции.

Одним из математических методов, с помощью которого можно обрабатывать большое количество данных являются нейронные сети. Аппарат нейронных сетей успешно используется для решения задач нефтяной геологии. Главный положительный эффект заключается в том, что нейронные сети могут решать сложные задачи с учетом большого количества разнородных исходных данных.

Искусственные нейронные сети представляют собой устройства параллельных вычислений, состоящие из множества взаимодействующих простых процессоров — нейронов. Эти процессоры исключительно просты и их вычислительная возможность ограничивается некоторым правилом комбинирования входных данных и правилом активации, позволяющие вычислить выходной сигнал по совокупности входных данных.

Один из самых главных аспектов использования нейронных сетей заключается в том, что хотя элементы такой сети имеют очень ограниченные вычислительные возможности, вся сеть в целом оказывается способной выполнять сверхсложные задачи.

Решение на основе нейронных сетей может выглядеть и вести себя как обычное программное обеспечение, но различие состоит в том, что реализации на основе нейронных сетей «обучается», а не программируется: сеть сама учится выполнять задачу, а не программируется непосредственно.

Для каждого элемента сети имеется правило суммирования поступающих сигналов и правило вычисления выходного сигнала, посылаемого затем другим элементам сети. Правило вычисления выходного сигнала называется функцией активности. Обучение нейрона заключается в измерении значений весовых коэффициентов. В ходе обучения величина, на которую должен измениться весовой коэффициент, вычисляется с помощью соответствующего правила.

Авторами была разработана методика, реализованная в программном комплексе «GeoGlobe», основанная на применении нейронных сетей, с помощью которой проводится автоматическая корреляция разрезов скважин. В качестве базового алгоритма предложенной методики были использованы самоорганизующиеся карты Кохонена. [1]

Самоорганизующиеся карты Кохонена отличаются от обычной нейронной сети тем, что при обучении «классической» многослойной нейросети на вход подаются данные или индикаторы, а выход нейросети сравнивается с эталонным значением. Разность этих значений называется ошибкой нейросети, которая и минимизируется

в процессе обучения. Таким образом, обычные нейросети выявляют закономерности между входными данными и прогнозируемой величиной.

В процессе обучения карт Кохонена на входы также подаются данные и индикаторы, но при этом сеть подстраивается под закономерности во входных данных, а не под эталонные значения выхода. Такое обучение называется обучением «без учителя». Обучение при этом заключается не в минимизации, а в подстройке внутренних параметров нейросети (весов) для большего совпадения с входными данными. После обучения такая нейросеть визуально отображает многомерные входные данные на плоскости нейронов. Имея такое представление данных, можно очень наглядно увидеть наличие или отсутствие взаимосвязи во входных данных.

Для большего удобства визуального представления нейроны карты Кохонена располагают в виде двумерной матрицы и раскрашивают эту матрицу в зависимости от анализируемых параметров нейронов.

Как и при работе с обычными нейросетями, оперирование картами Кохонена складывается из нескольких последовательных этапов. Первым из них является этап определения состава входов.

Для хорошего обучения нужно выбрать такое множество входов, которое наиболее сильно влияет на выходные (прогнозируемые) значения. Если мы угадали, и входы действительно влияют на выход, то нейросеть будет работать и давать отличные прогнозы. Однако подобрать правильные входы сложная задача. Обычно это делается методом проб и ошибок, т.е. простым перебором различных комбинаций индикаторов и данных [2].

Входы нейросети, обучаемой «без учителя», определяются другим образом, и перед такой нейросетью ставится иная цель — выявление закономерностей между любыми входными данными и индикаторами, которые и подаются на вход карты. Архитектура карт Кохонена в отличие от многослойной нейронной сети, очень проста и представляет собой один слой нейронов, который организован в виде двумерной матрицы. Пользователю необходимо определить лишь размер этой матрицы. Так как это двумерная матрица, то ее очень удобно отображать в виде «карты» с определенной заливкой, зависящей от анализируемого параметра нейрона.

В процессе обучения на вход такой нейросети последовательно подаются обучающие примеры. После подачи очередного примера определяется наиболее схожий нейрон, т.е. нейрон, у которого скалярное произведение весов и поданного на него вектора минимально. Такой нейрон считается победителем и призван быть центром при подстройке весов у соседних нейронов. Правило обучения, предложенное Кохоненом, предполагает соревновательное обучение с учетом расстояния нейронов от «нейрона-победителя» и записывается в виде:

$$\Delta W_i^{\tau} = \beta \Lambda(i - i^*) (X^{\tau} - W_i)$$

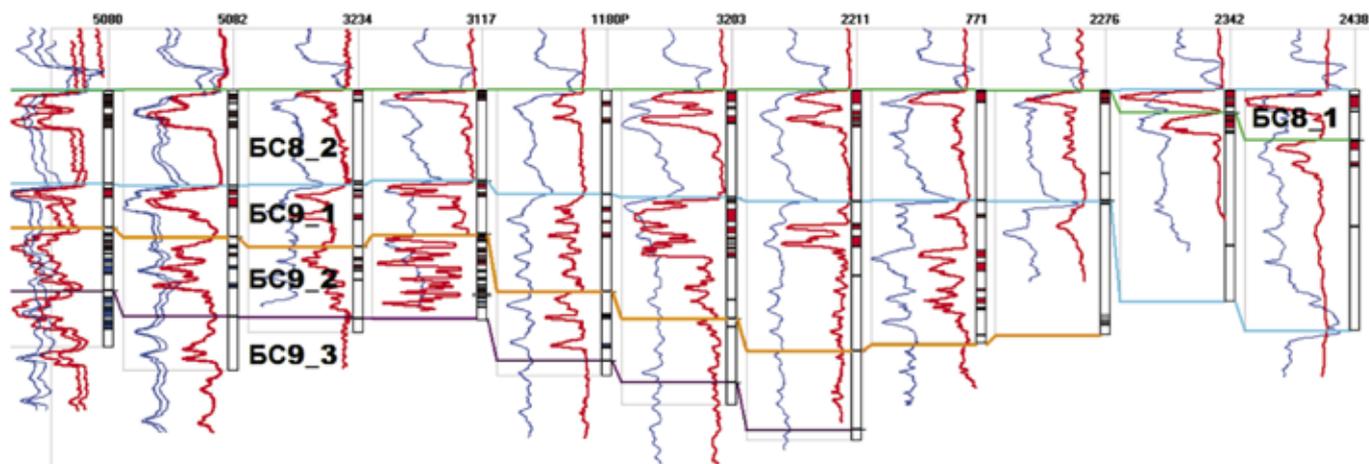


Рис. 1. Корреляционная схема залегания пластов BC8 и BC9 Правдинского месторождения (маркеры поставлены специалистом геологом)

где $\Lambda(|i-i^*|)$ – функция соседства, определяющая величину корректировки веса нейрона, W_i – вес i -ого нейрона, β – скорость обучения.

Для нейрона-победителя функция соседства равно 1 и затем плавно (по линейному или экспоненциальному закону) уменьшается при удалении от него. Таким образом, в процессе обучения подстройка весов происходит не только в одном нейроне, но и в его окрестностях.

После завершения процесса обучения карта Кохонена классифицирует входные примеры на группы схожих друг с другом. Вся совокупность нейронов в выходном слое точно моделирует структуру распределения обучающих примеров в многомерном пространстве. [3]

Для анализа работы нейросети использовалось Правдинское нефтяное месторождение, представленное 12 пластами. Нами были выбраны два пласта – BC₈ и BC₉ (рисунок 1), по причине того, что они залегают близко друг другу, и имеют примерно одинаковую фациальную обстановку осадконакопления, вследствие чего, коррели-

ровать данные разрезы пластов сложно, но это позволяет максимально использовать аппарат нейронных сетей.

Исходными данными для анализа являются следующие кривые ГИС: ПС (метод собственной поляризации), ИК (индукционный каротаж), ГК (гамма каротаж), а так же в роли ориентировки – абсолютная отметка глубины скважины. При корреляции каждая кривая имеет свой вес (задается пользователем), т.е. определенное влияние на результат.

В результате получены маркеры на скважинах отбивающие пласты BC₈ и BC₉ (рисунок 2). При сравнении в маркерами, поставленными геологом выяснилось, что они совпадают в 64 % случаях. Это расхождение объясняется наличием зон выклинивания и замещения, в которых на кривых ГИС практически нет аномалий. Поэтому при корреляции необходимо так же учитывать особенности осадконакопления, в частности карты трендов изменения общих толщин пластов.

В заключение необходимо добавить, что развитие ин-

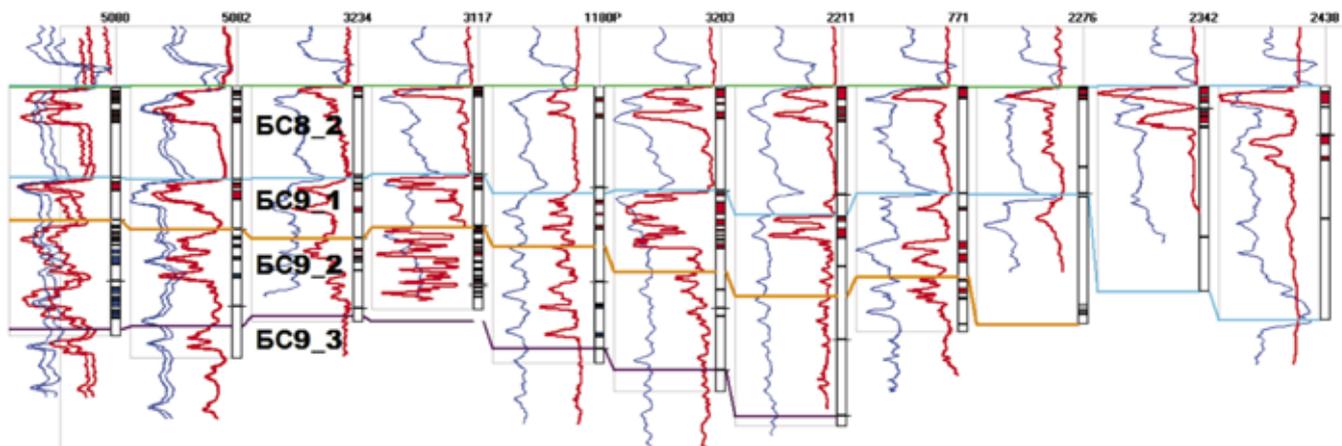


Рис. 2. Корреляционная схема залегания пластов BC8 и BC9 Правдинского месторождения (маркеры поставлены с помощью нейросетей)

формационных наук в настоящее время достигло такой степени, что ее активное применение в различных сферах науки позволит значительно автоматизировать многие

процессы и операции, что в свою очередь позволит сэкономить время и трудозатраты на выполнение той или иной работы.

Литература:

1. Методы нейроинформатики / Под. ред. А.Н. Горбаня; отв. за выпуск М.Г. Доррер. КГТУ, Красноярск, 1998. 205 с.
2. Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin/Artificial Neural Networks: A Tutorial, Computer, Vol.29, No.3, March/1996, pp. 31–44.
3. Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности/ Г.К. Вороновский, К.В. Махотило, С.Н. Петрашев, С.А. Сергеев. – Х.: ОСНОВА, 1997. – 112 с.

2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

Применение модели линейного предсказания для анализа стохастических сигналов

Кагановский Юрий Дмитриевич, магистрант
Дальневосточный федеральный университет

В начале нового тысячелетия в России начался активный переход на цифровые стандарты связи. Региональные и общегосударственные операторы отказываются от устаревшего аналогового оборудования АТС в пользу намного более производительного и компактного, цифрового. В это время для специалистов в области телекоммуникаций стоит первоочередная задача проектирования удобных, производительных и экономически выгодных систем связи. Ключевым моментом в реализации этой задачи является достижение как можно большего количества подключенных к сети абонентов при как можно меньшем количестве сложного оборудования и высоком качестве связи. Под качеством связи зачастую принято понимать качество речи, которую абонент слышит в трубке телефона. Для количественного описания процессов формирования и передачи речевых сигналов было предложено много различных моделей. Можно, однако, с уверенностью сказать, что ни одна из них не позволяет объяснить все характеристики человеческой речи. Такая модель, в силу своей большой сложности, вероятно, и не потребуется. Во всех практических случаях при выборе математической модели стремятся обеспечить ее минимальную сложность при максимальной точности. Одной из наиболее удачных моделей акустического речевого сигнала является линейная модель, разработанная Фантом. Эта модель далее будет называться моделью речеобразования.

В последние годы в задачах моделирования речевых сигналов широко применялись математические методы линейного предсказания. Модель на основе линейного предсказания может быть легко преобразована в модель речеобразования. Важным ее достоинством является относительная простота оценки параметров, использующей линейные процедуры обработки сигнала. На основе данной модели строятся LPC-вокодеры, или т.н. липредеры. В подобных вокодерах используются алгоритмы линейного предсказания, с помощью которых при анализе в передающем устройстве определяются коэффициенты предсказания, а в приемном устройстве на основе этих коэффициентов с помощью рекурсивного цифрового фильтра синтезируется эквивалент голосового тракта. Эти системы получили наибольшее распространение в мире и являются одними из самых перспективно развива-

ющихся.

Основной проблемой, возникающей при анализе недетерминированных сигналов разнообразной природы (речевых, медицинских, сейсмических, геофизических при поиске и разработке месторождений полезных ископаемых) и динамических систем, является определение их временных и частотных характеристик, поскольку любой недетерминированный сигнал и динамическая система в принципе являются нелинейными объектами, что чрезвычайно усложняет их анализ.

Однако всегда можно выделить некоторый временной интервал $\Delta t = n_0 T$ (T — период дискретизации), на котором параметры объекта изменяются не слишком сильно. Такой интервал называют интервалом квазистационарности, а параметры объекта на этом интервале считаются постоянными. Отрезок сигнала $x(nT)$ на интервале Δt называется кадром.

Если построить достаточно точную параметрическую модель объекта для интервала квазистационарности, то ее можно использовать в самых различных случаях, в том числе, например, в системах управления и сжатия данных. Самыми простыми являются линейные модели, которые легко описываются в терминах передаточных функций [2, с. 125]. Наиболее полной в указанном смысле моделью представляется рекурсивная система порядка $K=M-1$, описываемая передаточной функцией:

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}}$$

или соответствующим разностным

$$\text{уравнением: } y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} b_i x(n-i) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k).$$

Наиболее широко в настоящее время применяется полюсная модель, числитель передаточной функции (левая сумма в разностном уравнении) которой содержит только один коэффициент b_0 .

Пусть на некоторую линейную модель системы с передаточной функцией $H(z)$ воздействует сигнал возбуждения $x(n)$, а на ее выходе формируется сигнал $y(n)$. Параметры системы, т.е. коэффициенты передаточной

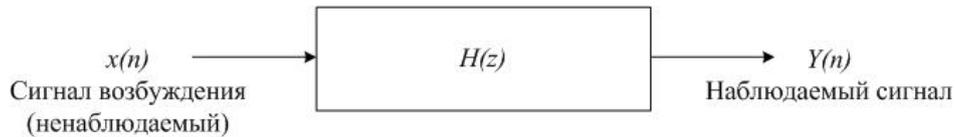


Рис. 1. Линейная модель системы

функции, неизвестны. Требуется найти коэффициенты $\{a_k\}$, такие, чтобы на интервале квазистационарности выполнялось равенство:

$$y(n) = b_0 x(n) - \sum_{k=1}^{M-1} a_k y(n-k)$$

при условии, что сигнал возбуждения $x(n)$ неизвестен. Фактически необходимо предсказать текущее значение сигнала $y(n)$ по его известным предыдущим отсчетам. Таким образом, можно сделать вывод, что линейное предсказание — это вычислительная процедура, позволяющая по некоторой линейной комбинации L предшествующих взвешенных отсчетов недетерминированного сигнала предсказать (с определенной точностью) будущее значение отсчета.

Практическая важность линейного предсказания состоит в оценке спектра исследуемого сигнала на его отрезке (кадре) длиной в L отсчетов, а с точки зрения фильтрации — в получении рекурсивного адаптивного фильтра порядка $K=M-1$ на участке квазистационарности, т.е. на том временном отрезке длительностью LT (T — период дискретизации), где коэффициенты фильтра остаются постоянными. Итогом решения задачи линейного предсказания будет являться получение коэффициентов адаптивного фильтра, АЧХ которого с хорошей степенью приближения совпадает с формой спектра сигнала в кадре [3, с. 46].

Задача линейного предсказания сформулируем следующим образом. На выходе некоторой системы наблюдается сигнал $y(n)$; известно, что эта система:

1. Поллюсного типа с передаточной функцией вида:

$$H(z) = \frac{b_0}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}},$$

2. Имеет порядок $K=M-1$,

3. Сигнал возбуждения не наблюдается.

Требуется найти коэффициенты $\{a_k\}$.

Подход к решению поставленной задачи состоит в следующем.

Согласно формуле передаточной функции, представленной выше, сигнал $y(n)$ определяется выражением:

$$y(n) = b_0 x(n) - \sum_{k=1}^K a_k y(n-k).$$

Включим последовательно с искомой системой КИХ-фильтр с передаточной функцией:

$$A(z) = 1 + \sum_{k=1}^K \tilde{a}_k z^{-k},$$

коэффициенты которой $\tilde{a}_k = a_k$. Передаточная функция образованной системы получит вид:

$$H_{\text{i\u0430\u0443}}(z) = \frac{b_0}{1 + \sum_{k=1}^K a_k z^{-k}} \left(1 + \sum_{k=1}^K \tilde{a}_k z^{-k} \right) = b_0 = \text{const}.$$

КИХ-фильтр с передаточной функцией $A(z)$ называется фильтром линейного предсказания, или фильтром-предсказателем, его порядок K — порядком предсказания, а его коэффициенты a_k — коэффициентами линейного

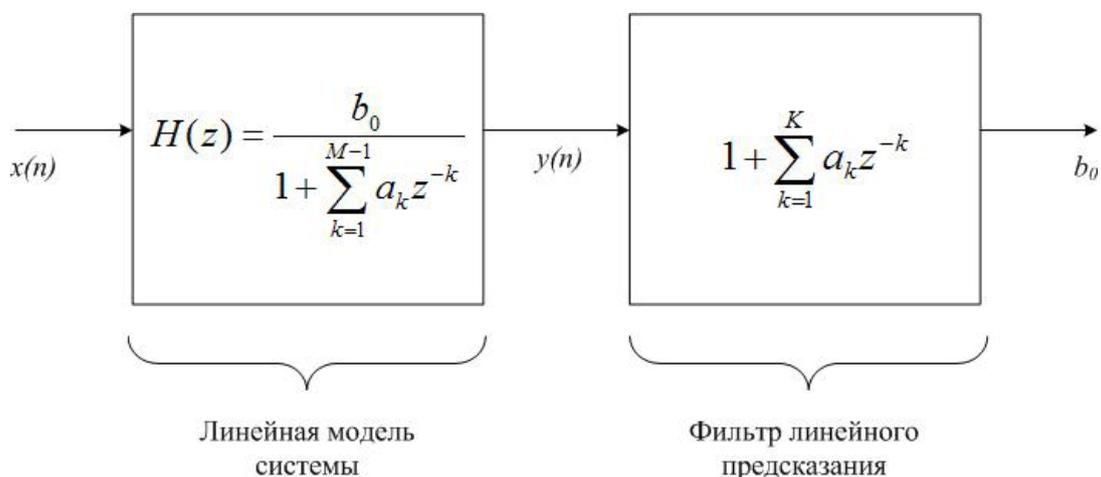


Рис. 2. Решение задачи линейного предсказания

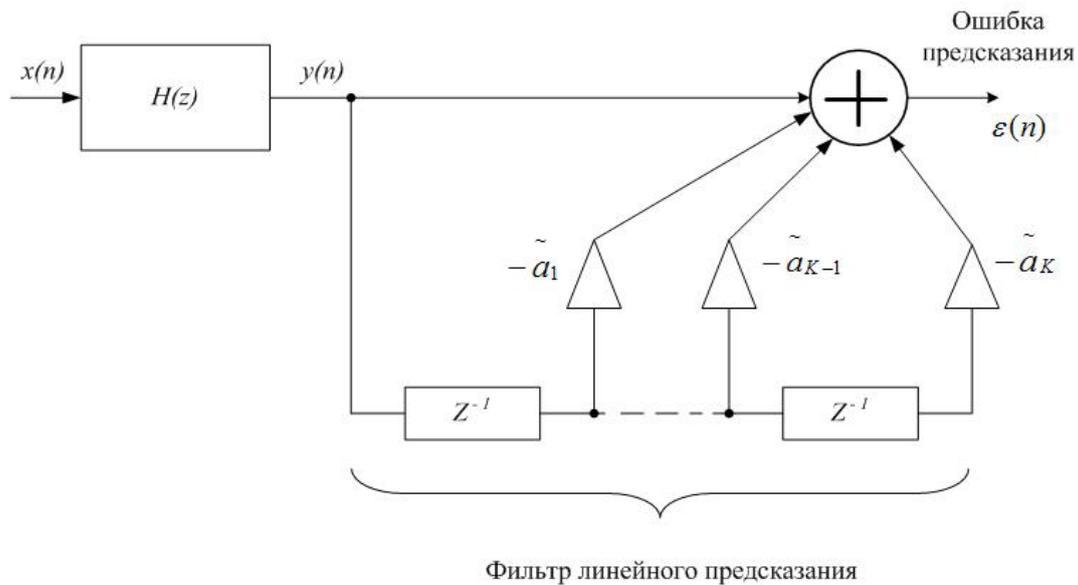


Рис. 3. Структурная схема системы с фильтром-предсказателем

предсказания [1, с. 84].

В действительности коэффициенты \tilde{a}_k будут отличаться от точных значений a_k , поэтому предсказываемое значение сигнала $y(n)$ будет отличаться от точного $y(n)$ на величину ошибки предсказания (при $n > 0$):

$$\varepsilon(n) = y(n) - \tilde{y}(n) = y(n) - \sum_{k=1}^K \tilde{a}_k y(n-k),$$

которую называют остатком.

Схема решения задачи линейного предсказания и формулы передаточной функции показывают, что передаточная функция построенной системы с точностью до

коэффициента b_0 представляет собой обратную передаточную функцию (а потому и частотную характеристику)

фильтра-предсказателя: $H(z) = \frac{b_0}{A(z)}$, откуда видно, что линейное предсказание — это способ оценки спектра сигнала на выходе линейного тракта с неизвестными параметрами.

Таким образом, данный алгоритм применения линейного предсказания можно применять к различного рода недетерминированным сигналам, в том числе и к речевым, что открывает широкие возможности применения данного предсказания в области компрессии речевых данных.

Литература:

1. Рабинер Л., Гоулд Б., Теория и применение цифровой обработки сигналов / Пер. с англ.; Под ред. Ю.И. Александрова. — М.: Мир, 1978. — 848 с.
2. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. 2 — изд. — СПб.: Питер, 2006. — 608 с.
3. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 2000. — 253 с.

Система синхронизации псевдослучайной последовательности для анализатора достоверности цифрового потока при быстром изменении фазы бимпульсного и биполярного сигналов

Клусов Дмитрий Владимирович, студент;

Кругликов Сергей Юрьевич, доцент

Рыбинский государственный авиационный технический университет им. П.А. Соловьева

Современные средства связи и управления имеют сложные многоэлементные каналы передачи информации [1]. В процессе производства радиоэлектронной

аппаратуры данного профиля встает естественная задача проверки работоспособности и настройки, как отдельных узлов, так и системы передачи информации в целом. По-

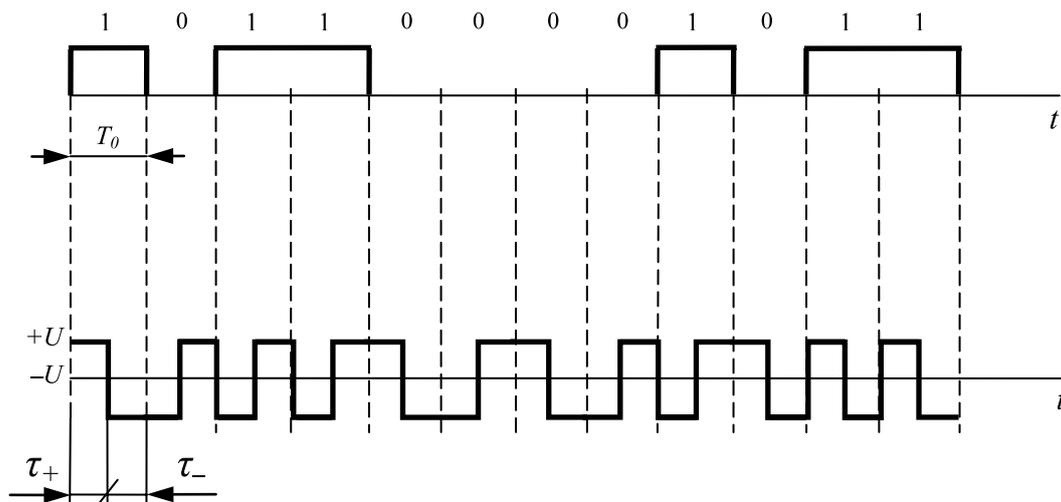


Рис. 1. Биимпульсный тестовый сигнал

сколькx большинство современных каналов цифровые, решение задачи сводится к передаче и приему тестового цифрового сигнала. Его прохождение через канал связи свидетельствует о работоспособности и качестве всех радиоэлектронных узлов.

Наиболее подходящим тестовым сигналом является псевдослучайная последовательность (ПСП) [2, 3, 4]. Она позволяет проверить цифровой тракт передачи в условиях действия трудно проверяемых неисправностей за счет четкой идентификации и хороших корреляционных свойств. Может быть измерена задержка сигнала, вероятность ошибочной передачи в условиях помех и др. На основе измерения данных параметров производится оценка таких важных характеристик каналов как чувствительность, информационная полоса пропускания, задержка сигнала и др.

Анализатор достоверности цифрового потока (АД) разработанный в секции специального приборостроения студенческого конструкторско-технологического бюро (СКТБ) кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем РГАТА, в рамках совместной работы с ОАО «Ярославский радиозавод» предназначен для измерения коэффициента ошибок по элементам в каналах передачи цифровых данных. Принцип работы этого устройства основывается на подсчете количества несовпадений элементов входной импульсной последовательности (ИП), подаваемой на вход канала передачи цифровых данных с элементами выходной ИП, подаваемой на анализатор с выхода канала.

В ходе разработки анализатора были приняты ряд оригинальных технических решений. Наиболее интересным из них является система синхронизации сигналов на входе и выходе тестируемого канала.

Анализатор достоверности имеет следующие технические характеристики:

Типы тестовых последовательностей:

| | |
|---------------------------------|----------------------------------|
| – ПСП, бит | $(2^5 - 1) \dots (2^{17} - 1)$; |
| Количество элементов теста, бит | $10^3 \dots 10^8$; |
| Скорость передачи, кбит/с | 0,05...256; |
| Типы тестовых сигналов: | |
| – биполярный (NRZ); | |
| – биимпульсный (С1-ФЛ) | ГОСТ 26532–85 (рис. 1); |
| – RS – 232, RS – 485 | ГОСТ 23675–79; |
| – телеграфный | ГОСТ 14662–83; |
| Амплитуда сигналов, В | 0.05...11; |

Сигнал тестовой ПСП генерируется анализатором и поступает в исследуемый канал связи. С выхода канала сигнал с определенной задержкой поступает в анализатор. В зависимости от типа сигнала, для сравнения переданной и принятой ПСП требуется индивидуальная система синхронизации. Практически для всех типов сигналов характерен «джиттер» фазы – отклонение среза импульсов от номинального значения. «Джиттер» фазы может быть небольшим, в этом случае, требуется: выделение срезов, стробирование и поиск по задержке при синхронизации опорного генератора ПСП приемника от тактового генератора передатчика. Большой «джиттер» фазы характерен для каналов с относительным кодированием информации, таким как для биимпульсного сигнала. Относительность принципиально не требует стабильности тактовой частоты, поэтому многие каналы имеют разность между тактами на входе и на выходе. Разность может изменяться медленно, тогда опорный генератор ПСП приемника следует тактировать от выделителя срезов импульсов или разность может изменяться быстро, тогда требуется изменить еще и алгоритм декодирования относительности.

Очевидно, что последний случай быстрого изменения фазы биимпульсного сигнала требует построения наиболее сложной и в то же время наиболее универсальной системы синхронизации, которая будет надежно работать

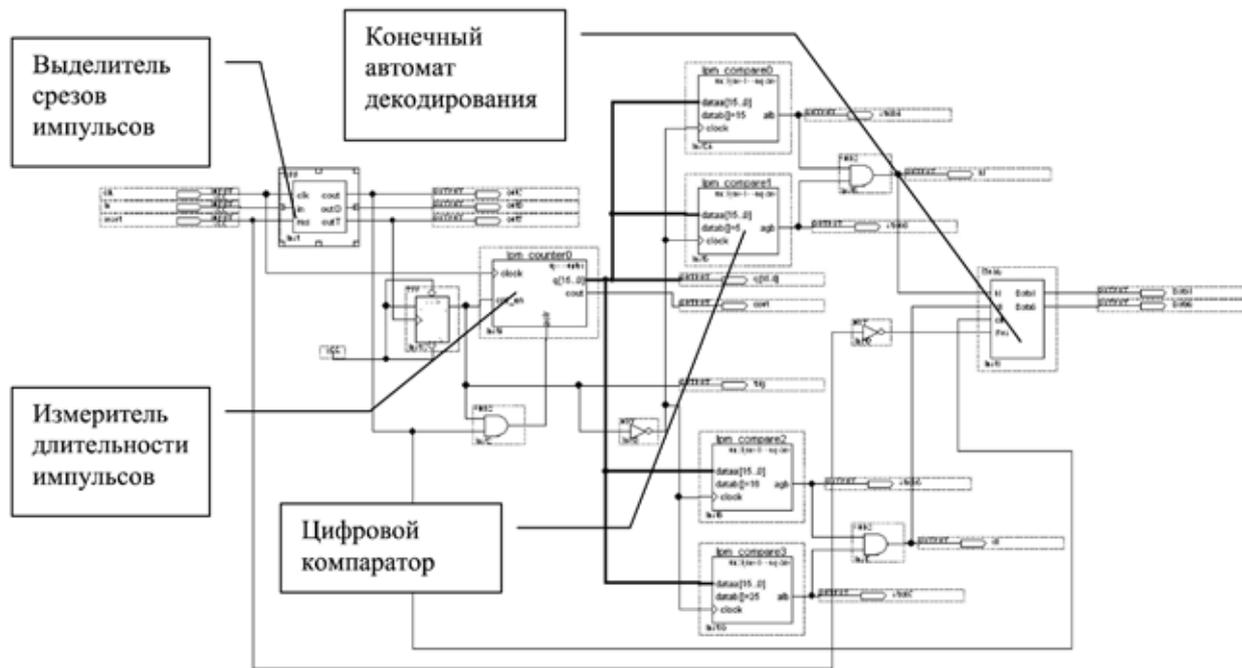


Рис. 2. Проект ПЛИС системы синхронизации

и в других случаях (медленные изменения фазы, биполярный сигнал и др.).

Такая система синхронизации (СС) может быть реализована по схеме на рисунке 2. Она была создана для использования в анализаторе достоверности и могла быть реализована как на основе микроконтроллера, так и на основе программируемой интегральной логической схемы (ПЛИС). СС содержит выделитель срезов импульсов, измеритель длительности импульсов и конечный автомат декодирования. Кроме того, требуются пороговые устройства, например, цифровые компараторы, для разделения сигнала на импульсы двух длительностей: длинные и короткие. Пороговые устройства в ручном или автоматическом режиме предварительно настраиваются на принимаемый анализатором сигнал. Конечный автомат работает по принципу декодирования комбинации коротких и длинных интервалов БИ сигнала в информацию, содержащуюся в сигнале. Алгоритм работы конечного автомата следующий:

1. Если первый короткий интервал (после длинного интервала или вообще первый при инициализации приема), ждать следующего интервала;
2. Если интервал длинный, то передавался 0;
3. Если 2 коротких интервала подряд, то передавалась 1;
4. После принятия решения и в начале приема — ожидание короткого или длинного интервала;
5. После каждого принятия решения генерировать тактовый сигнал на опорный генератор ПСП (импульс).
6. Если происходит выход за пределы ограничений короткого или длинного интервала, система переходит в режим ожидания возобновления этих интервалов, при

этом, опорный генератор приемника работает с заданной или средней текущей (возможна подстройка) тактовой частотой, что обеспечивает продолжение анализа сигнала при кратковременных и долговременных (длительность ПСП) перерывах.

При биполярном сигнале интервалы изменения знака элементов ПСП ограничены, что дает возможность декодировать временные интервалы в последовательность нулей или единиц. Однако, проблема возникает в случае ПСП с ошибками, которые могут увеличить интервалы знакопостоянства. Поэтому измеритель длительности импульсов должен работать вплоть до периода ПСП.

Второй особенностью, описанной системы синхронизации, является поведение при отсутствии сигнала. В этом случае система фиксирует один знак сигнала на протяжении длительности ПСП или изменение уровня в произвольные моменты времени. Два этих случая учтены в п. 6 алгоритма. По окончании ПСП следует перейти к процедуре поиска сигнала [5].

Третьей особенностью, описанной системы синхронизации, является размножение ошибок при помехах типа кратковременного нарушения соединения в элементах канала связи. Но эти нарушения тоже можно распознавать по существенно большей или меньшей длительности интервала между изменениями знака.

Особенностью СС или, иначе, ее новизной является устойчивость алгоритма приема к быстрым изменениям фазы, которая достигается за счет измерения иных, нежели в известных алгоритмах [4] параметров сигнала и преобразовании их в логические элементы ПСП. Опорная ПСП приемника генерируется по мере поступления этих логических элементов так, что поиск по задержке осу-

ществляется максимально быстро [5]. Возможны алгоритмы поиска по задержке на основе согласованных фильтров. Такие алгоритмы уменьшают время поиска,

но требуют больших аппаратных (программных) затрат и мало пригодны для ПСП с большим периодом (в анализаторе достоверности это $2^{15}-1$ и $2^{17}-1$).

Литература:

1. Маковеева М.Н. Системы связи с подвижными объектами [Текст] / М.Н. Маковеева, Ю.С. Шинаков, — М.: Радио и связь, 2002. — 440 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами [Текст] / Л.Е. Варакин, — М.: Радио и связь, 1985. — 384 с.
3. Канаков В.А. Новые технологии измерения в цифровых каналах передачи информации. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» [Текст] / В.А. Канаков, учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» — Нижний Новгород, ННГУ, 2006, 91 с.
4. Журавлев В.И. Поиск и синхронизация в широкополосных системах [Текст] / В.И. Журавлев, — М.: Радио и связь, 1986. — 240 с.
5. Беляева М. Синхронизация псевдослучайных последовательностей на практике: задача распознавания [Текст] / М. Беляева // Современная электроника. 2010. №9, с. 66–71.

Анализ возможностей организации связи в полевом районе с помощью атмосферных оптических линий связи

Коваль Станислав Андреевич, кандидат технических наук, ст.преподаватель;
Горжий Василий Александрович, начальник лаборатории;
Пульнев Александр Сергеевич, курсант
Филиал Военной академии РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов, Московская обл.)

Исторически связь зарождалась как средство общения между собой вначале лишь нескольких близко живущих абонентов. Со временем число абонентов увеличивалось, так же как и расстояние между ними. В наши дни на десятки-сотни километров связь осуществлялась по воздушным проводам в виде телеграфной, телефонной связи, по оптоволокну и другим каналам передачи данных.

Связь в полевом районе является важнейшим составляющим компонентом управления в современных условиях. Из всех способов организации связи в полевом районе помимо всех выше перечисленных технологий передачи данных особое внимание заслуживает технология «Беспроводной оптической связи». Технология беспроводной оптики (Free Space Optics — FSO) известна достаточно давно: первые эксперименты по передаче данных с помощью беспроводных оптических устройств были проведены более 30 лет назад. Однако ее быстрое развитие началось с начала 1990-х гг. с появлением широкополосных сетей передачи данных. Первые системы производства компаний A.T. Schindler, Jolt и SilCom обеспечивали передачу данных на расстояния до 500 м и использовали инфракрасные полупроводниковые диоды. Прогресс подобных систем сдерживался в основном из-за отсутствия надежных, мощных и «скорострельных» источников излучения.

В настоящее время такие источники появились. Современная технология FSO поддерживает соединения до

уровня OC-48 (2,5 Гбит/с) с максимальной дальностью до 10 км, а некоторые производители заявляют о скорости передачи данных до 10 Гбит/с и расстояниях до 50 км. При этом на показатель реальной максимальной дальности оказывает влияние доступности канала, то есть процента времени, когда канал работает [1].

Скорости передачи данных, обеспечиваемые системами FSO, примерно такие же, как и у волоконно-оптических сетей, поэтому они наиболее востребованы в широкополосных приложениях на участке «последней мили». Беспроводные оптические системы используют диапазон инфракрасного излучения от 400 до 1400 нм [1].

Можно говорить о следующих возможных областях применения беспроводных оптических систем:

- связь на участках, где между двумя точками в пределах прямой видимости имеются различные препятствия (водная преграда, железнодорожные пути, автострады, и т.п.);
- срочная организация резервного канала в случае аварий на основном канале связи, создание временных каналов;
- связь между двумя узлами внутри крупного комплекса при наличии больших объемов трафика;
- объединение сегментов высокоскоростных локальных сетей;

- передача трафика Интернета, IP-телефонии, видео-конференц-связи;
- видеонаблюдение [2].

Появление оборудования, поддерживающего связь на больших дистанциях, расширяет область его применения и на магистральные сети. Значительный рост числа абонентов сотовой связи приводит к необходимости расширения сети, уплотнению распределения базовых станций. Активно развиваются корпоративные сети, системы телеконференций, растет потребность в широкополосном доступе.

Цифровые атмосферные оптические линии связи (АОЛС) позволяют решить проблемы, препятствующие развитию местных и сельских телефонных сетей:

- полностью отказаться от кабелей, соответственно исключив расходы на строительство телефонной канализации и обслуживание кабелей;
- обеспечить одновременно создание дешевых линий связи;
- до минимума сократить сроки и затраты на проектирование [2].

Ввиду всех перечисленных особенностей оптических линий связи по атмосферному каналу, их применение для связи между объектами полевого района весьма обосновано: во-первых, если в пределах заданного района (около 1–1,5 км) необходимо срочно и без особых затрат организовать связь прямой видимости, то лучше способа просто не найти. Во-вторых простота монтажа аппаратуры не требует особых затрат и навыков, специального установочного оборудования и специально обученного персонала. В-третьих, атмосферный оптический канал – это превосходный резервный канал связи. Так же, нельзя не отметить то, что с помощью АОЛС легко можно преодолеть различные природные препятствия вызванные особенностями рельефа местности, будь то реки, каналы, лесные массивы и др. Простой пример: два пункта управления расположенные на двух концах года между которыми еще вдобавок протекает не большая речка. Разумеется, в данной ситуации прокладывать кабель канал

дорого и проблематично по техническим причинам, радиоканал требует бронирования отдельных радиочастот, да и к тому же радиоканал особо подвержен влиянию множества помех. А атмосферно-оптический канал является наиболее выгодным, дешевым, и простым в реализации способом решения этой проблемы.

Для проведения аналитических оценок и определения потенциальных возможностей различных вариантов построения АОЛС можно рассмотреть понятие эквивалентного ресурса терминала TER , определяемое следующим соотношением:

$$TER = \frac{P_{\text{прд}} \cdot D_{\text{прм}}^2}{\beta_{\text{прд}}^2 \cdot P_{\text{прм}}} \cdot \tau_{\text{прд}} \cdot \tau_{\text{прм}}, \quad (1)$$

где: $P_{\text{прд}}$ – выходная мощность лазерного передатчика в милливаттах; $D_{\text{прм}}$ – эквивалентный диаметр антенны лазерного приемника в метрах; $\beta_{\text{прд}}$ – угловая расходимость луча передатчика в миллирадианах; $P_{\text{прм}}$ – пороговая чувствительность приемника в пиковаттах/ (Гц)^{1/2}; $\tau_{\text{прд}}$, $\tau_{\text{прм}}$ – коэффициенты пропускания передающего и приемного тракта соответственно [1].

Можно показать, что с учетом введенного понятия уравнение передачи цифровой АОЛС в атмосфере примет вид:

$$TER = L^2 \cdot \exp\left(2.75 \cdot \frac{L}{S_k}\right) \cdot \sqrt{10} \cdot \ln\left(\frac{1}{k}\right) \cdot C \cdot 10^{-6}, \quad (2)$$

где S_k – метеорологическая дальность видимости (МДВ); L – дальность связи в километрах; C – скорость передачи информации в Мбит/с; k – вероятность ошибки на бит информации.

Основные параметры атмосферного канала представлены на рисунке 1.

Имея зависимость TER от дальности связи и S_k , можно найти вероятность связи. Значение S_k имеет случайный характер и существенно зависит от времени рассмотрения

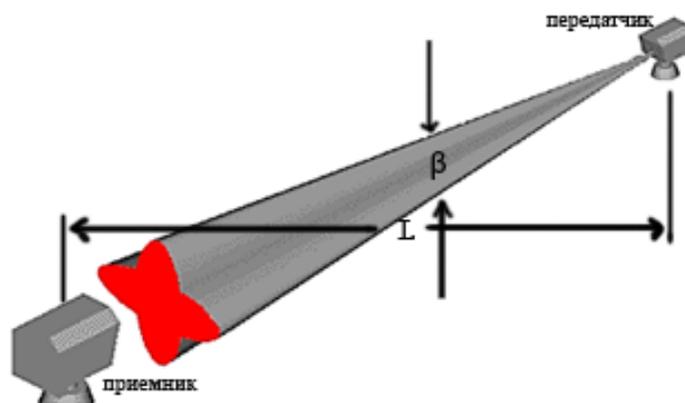


Рис. 1. Диаграмма направленности пучков лазерного излучения противоположного ППМ

(обычно это месяц). Как любая случайная величина S_k имеет функцию распределения вероятностей $F(S_k)$, зная которую можно найти зависимость вероятности связи $P_{св}$ от состояния атмосферы [2].

Из уравнения передачи следует, что каждому значению дальности связи L соответствует минимальная метеорологическая дальность видимости S_k^* . Тогда вероятность связи будет определяться условием:

$$P_{св} = P(S_k > S_k^*),$$

где S_k – произвольное значение МДВ; S_k^* – значение МДВ, вероятность превышения которого равна $F(S_k^*)$ [2].

При этом вероятность связи и функция распределения вероятностей МДВ связаны соотношением $P_{св} = 1 - F(S_k^*)$.

Таким образом, зная закон распределения вероятностей МДВ, можно определить вероятность связи. Одним из способов определения закона распределения S_k является измерение и статистическая обработка полученных значений.

Основные положительные особенности АОЛС

Во-первых существенным достоинством АОЛС является нечувствительность к помехам радиодиапазона. Это позволяет использовать оптические линии в местах с большой насыщенностью радиосистем.

С узкой диаграммой оптических антенн связано также второе значительное преимущество АОЛС – защищенность канала связи от несанкционированного доступа. По этому критерию данная технология является уникальной. Во всех остальных случаях (волоконные и медные кабели, радиолинии) для защиты информации требуется использование специальных кодов. В открытой оптической линии защита обеспечивается за счет узкой диаграммы направленности излучения. С помощью внешних ИК-приборов можно обнаружить наличие канала связи, но для перехвата информации необходимо установить приемник непосредственно в канал связи, что практически неосуществимо [3].

В-третьих, это практически неограниченные скоростные возможности. Физические ограничения АОЛС по скорости передачи определяются только собственной частотой несущей электромагнитной волны (10^{15} – 10^{16} Гц), т.к. в отличие от ВОЛС среда передачи (атмосфера) не вносит временной дисперсии сигналов. Этот фактор является во многих случаях определяющим при выборе средства передачи. Уже началось практическое освоение больших скоростей, в частности, фирма Lucent заявила в 2008 году о создании коммерческих устройств АОЛС со скоростью передачи 2,5 Гбит/с и в ближайшее время планирует выпускать аппаратуру на 10 Гбит/с.

Литература:

1. Тимофеев Ю.М., Васильев А.В. Теоретические основы атмосферной оптики. – С-Пб.: Наука, 2003 г. – 152 с.
2. Милютин Е.Р. Статистическая теория атмосферного канала оптической информационной системы. – М.: Радио связь, 2002. – 253 с.

Во многих случаях потребителей привлекает отсутствие необходимости согласования частотного диапазона, поскольку оптический диапазон не регламентирован. Достаточным условием отсутствия влияния двух близко расположенных линий является угловое или линейное расстояние между диаграммами направленности излучения передатчиков этих линий, при котором излучение одной линии не попадает на приемники другой линии. Это, как правило 1, 2⁰ или 5, 10 метров.

Многие производители отмечают в качестве достоинства АОЛС быстроту организации линии связи. Действительно, кроме общих временных затрат, связанных с оформлением аренды мест установки аппаратуры, например, крыши здания и подвода необходимых коммуникаций, время на инсталляцию канала при отработанной технологии исчисляется часами.

Возможные варианты использования АОЛС

1. Установка в полевых районах, где другими средствами либо невозможно, либо чрезвычайно дорого обеспечить передачу информации (такие участки могут располагаться в городе, где ограничены радиоканалы, а кабельную линию проложить дорого; в сельских районах проблема может быть связана с наличием поблизости мощных радиоизлучателей и трудностью отвода земли для прокладки кабельной линии);

2. Размещение этого оборудования в климатическом регионе, отличающимся стабильно хорошей погодой, где среднее значение $S_m > 10$ км, а дисперсия этого значения в разное время года невелика [2];

3. Установка таких линий связи на участках длиной не более 1–1,5 км. На этой дистанции при динамическом диапазоне 50–60 Дб можно обеспечить уровень доступности 99,9% даже в регионах с плохими климатическими условиями;

4. АОЛС остается единственным вариантом при необходимости обеспечения высокоскоростного канала связи в местах, где сложно или дорого построить оптоволоконную линию.

В заключении необходимо еще раз отметить, что технология обеспечения беспроводного доступа – атмосферные лазерные системы передачи информации, несмотря на принципиальный недостаток этой технологии – существенную зависимость работоспособности линии связи от состояния погоды и наличия преград, её преимущества остаются неоспоримы (высокие скорости передачи, отсутствие частотного лицензирования, быстрота организации канала и т.д.) и позволяют ей занять свое место в полевом районе.

3. Оптические системы передачи информации по атмосферному каналу / Под. ред. Р.А. Казаряна. — М.: Радио и связь, 1985. — 208 с.

Эквалайзер с настраиваемой структурой

Линович Александр Юрьевич, кандидат технических наук, доцент
Рязанский государственный радиотехнический университет

1. Введение

Наиболее известным подходом к решению задачи оценивания неизвестных параметров канала связи является метод наименьших квадратов (МНК). С целью сокращения вычислительных затрат часто предпочитают использовать более простые градиентные алгоритмы, такие как хорошо известный алгоритм НСКО. Главным недостатком НСКО является медленная скорость настройки. Этот недостаток становится особенно важным в тех случаях, когда отсчёты входного сигнала оказываются сильно коррелированными между собой, а также в присутствии аддитивной помехи с неравномерно распределённой спектральной плотностью мощности.

Одно из направлений решения указанных выше проблем связано с построением многоканальных адаптивных фильтров (МАФ), в которых каждый канал работает только с некоторой предоставленной ему частью спектра, вычлененной посредством подсистемы фильтров анализа из широкополосного входного сигнала. Преимущество такого субполосного подхода связано с декорреляцией обрабатываемого сигнала при разбиении его на узкополосные составляющие. Поэтому переход к многоканальной структуре адаптивного фильтра, с одной стороны, обеспечивает более высокую скорость настройки эквалайзера, но, с другой стороны, требует введения в структуру эквалайзера подсистем анализа и синтеза для разбиения широкополосного входного сигнала на компоненты и последующего объединения полученных в процессе адаптивной обработки компонентов выходного сигнала в результирующий широкополосный выходной сигнал.

В настоящей работе рассмотрен МАФ, отличающийся от классических структур наличием единого вектора весовых коэффициентов для всех каналов. При этом фильтрация входного сигнала может выполняться двумя способами, о которых говорится в теоретической части статьи. Результаты проведённого компьютерного моделирования подтверждают, что использование методов самоорганизации в алгоритмах настройки МАФ позволяет значительно снизить вычислительные затраты на их реализацию и создаёт возможность повышения эффективности работы эквалайзеров при ограничениях, накладываемых производительностью выбранной элементной базы.

В статье предложены структура и алгоритм настройки многоканального эквалайзера с адаптивной структурой системы анализа-синтеза и проведён подробный анализ его работы. Описаны правила построения и настройки данного эквалайзера. Выведены расчётные соотношения для определения объёма вычислительных затрат.

2. Теоретическая часть

В современных системах широкополосной цифровой связи одной из важнейших проблем является необходимость обработки значительных объёмов данных в реальном масштабе времени. При имеющихся ограничениях, накладываемых доступной элементной базой, разработчики систем передачи данных стремятся разными способами снизить вычислительные затраты.

Одним из наиболее распространённых подходов к оценке оптимальных параметров адаптивного фильтра в настоящее время является метод наименьших квадратов (МНК). Его особенность прежде всего проявляется в отсутствии каких-либо жёстких претензий к априорной информации об оцениваемых параметрах и экспериментальных ошибках, что очень важно для задач, которые не допускают экспериментального повторения и в этом смысле являются однократными. При организации вычислительного процесса в реальном времени применяют рекуррентный алгоритм МНК [1, 2]. Однако при высокой частоте дискретизации обрабатываемого сигнала реализация рекуррентного алгоритма МНК в его традиционной форме является очень трудоёмкой в вычислительном плане задачей.

Поиск упрощений алгоритма МНК ведётся в основном по трём направлениям. Первое направление связано с упрощением процедуры обновления матрицы или полным отказом от неё. Здесь следует упомянуть известный алгоритм МНК с нормированием мощности входного сигнала (НМНК) [3–5]. Второе направление представлено эквалайзерами с обратной связью по решению, в которых задача обратного моделирования заменяется задачей прямого моделирования [6, 7]. Третье направление связано с переносом обработки сигнала в частотную область и активно использует быстрое преобразование Фурье или его модификации [4, 5]. Эквалайзеры на основе многоканальных адаптивных филь-

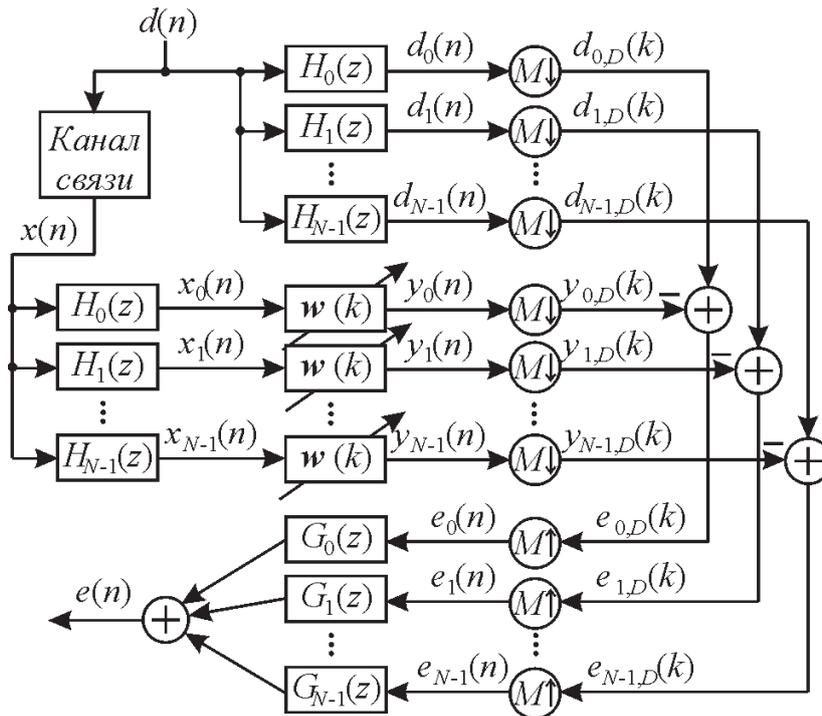


Рис. 1. Структурная схема МАФ

тров (МАФ), в которых каждый канал выполняет обработку входного сигнала в отдельной ограниченной полосе частот, часто относят к третьей из указанных выше групп эквалайзеров [8].

Классические МАФ, в каналах которых применяется алгоритм НМНК, подробно рассмотрены в [8, 9]. МАФ данного типа отличаются значительной экономией вычислительных затрат и одновременным улучшением качественных показателей процесса настройки. Сокращение объема вычислительных затрат достигается благодаря использованию многоскоростной обработки сигналов. Ускорение и повышение точности настройки связаны с декорреляцией сигнала при разбиении на отдельные частотные компоненты и независимой адаптацией в каналах МАФ.

В настоящей работе рассмотрен МАФ, отличающийся от классических структур наличием единого вектора весовых коэффициентов для всех каналов. При этом фильтрация входного сигнала может выполняться двумя способами. В первом случае свёртка вектора отсчётов входной последовательности с вектором весовых коэффициентов адаптивного фильтра осуществляется в отдельных каналах структуры МАФ, работающих на пониженной частоте дискретизации, с последующим объединением компонентов с помощью подсистемы синтеза в результирующий выходной сигнал. Во втором случае выходная последовательность формируется на исходной частоте дискретизации, а настройка весовых коэффициентов выполняется на пониженной частоте: такой подход позволяет, с одной стороны, полностью исключить подсистему синтеза из структуры МАФ, а с другой стороны, избежать временной задержки, связанной с обработкой полезного сигнала системой анализа-синтеза. Экономия вычислительных затрат в таких МАФ может достигаться только за счёт динамического исключения каналов по указанному ниже критерию. Улучшение качественных показателей связано, как и для упомянутых выше классических МАФ, с декорреляцией. МАФ с похожими структурой и алгоритмом настройки были рассмотрены в [10, 11], но использовались они для подавления акустического эха и имели вещественные коэффициенты.

Теоретические исследования. Предлагаемая структура в общем виде показана на рисунке 1. Процесс формирования выходной последовательности $y(n)$ на схеме не раскрыт, так как возможны два способа её формирования, о которых речь пойдёт ниже.

Предполагается, что на этапе настройки эквалайзера обучающий сигнал $d(n)$ известен на приёмной стороне и отличается от переданного обучающего сигнала только задержкой. Эквалайзер должен настроить вектор весовых коэффициентов $w(k)$ адаптивного КИХ-фильтра порядка L таким образом, чтобы минимизировать средний квадрат ошибки $e(n) = d(n) - y(n)$, где $y(n)$ – выходной сигнал эквалайзера. Если массив отсчётов, содержащихся в линии задержки адаптивного фильтра в момент времени n , обозначить как

$$\mathbf{x}(n) = [x(n) \quad x(n-1) \quad \dots \quad x(n-L+1)]^T,$$

то

$$y(n) = \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n)$$

или при переходе к многоканальной структуре и учёте операции децимации (обрабатывается только каждый M -й отсчёт)

$$y_{i,D}(k) = \mathbf{w}^T(k)\mathbf{x}_i(k),$$

где i – порядковый номер канала МАФ, k – индекс времени при обработке на пониженной частоте дискретизации.

Теперь получим правило обновления вектора весовых коэффициентов $\mathbf{w}(k)$. Критерием качества настройки эквалайзера целесообразно выбрать квадрат евклидовой нормы изменения вектора весовых коэффициентов, как это сделано, например, в [10]:

$$f[\mathbf{w}(k+1)] = \|\mathbf{w}(k+1) - \mathbf{w}(k)\|^2. \quad (1)$$

Аналогично [10], вводим N ограничений:

$$d_{i,D}(k) = \mathbf{w}^T(k+1)\mathbf{x}_i(k), \quad i = \overline{0, N-1}. \quad (2)$$

Методы решения задачи нахождения условного минимума (или максимума) функции нескольких переменных при наличии уравнений связи описаны во многих учебниках по высшей математике [12–15]. Тем не менее, в отличие от [10], в нашем случае сложность применения этих методов связана с необходимостью поиска минимума функции (1) комплексного аргумента. Не трудно проверить, что (1) не является аналитической функцией и для неё понятие производной не применимо.

Поэтому для того чтобы воспользоваться в дальнейшем методом неопределённых множителей Лагранжа, введём следующие обозначения:

$$\tilde{\mathbf{w}}(k) = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{\mathbf{w}(k)\} \\ \operatorname{Im}\{\mathbf{w}(k)\} \end{bmatrix},$$

$$\tilde{\mathbf{u}}_i(k) = \begin{bmatrix} \operatorname{Re}\{\mathbf{x}_i(k)\} \\ -\operatorname{Im}\{\mathbf{x}_i(k)\} \end{bmatrix}, \quad \tilde{\mathbf{v}}_i(k) = \begin{bmatrix} \operatorname{Im}\{\mathbf{x}_i(k)\} \\ \operatorname{Re}\{\mathbf{x}_i(k)\} \end{bmatrix},$$

где $\operatorname{Re}\{\}$ и $\operatorname{Im}\{\}$ – условные обозначения операций взятия вещественной и мнимой частей комплексной величины.

Введём $2N$ неопределённых вещественных коэффициентов (множителей Лагранжа), и на основе выражений (1) и (2) составим функцию

$$J(k) = f[\tilde{\mathbf{w}}(k+1)] + \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i [\operatorname{Re}\{d_{i,D}(k)\} - \tilde{\mathbf{w}}^T(k+1)\tilde{\mathbf{u}}_i(k)] + \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_{i+N} [\operatorname{Im}\{d_{i,D}(k)\} - \tilde{\mathbf{w}}^T(k+1)\tilde{\mathbf{v}}_i(k)] \quad (3)$$

Следует заметить, что данная функция является квадратичной. Для нахождения точки минимума достаточно вычислить первую производную по $\mathbf{w}(k+1)$, приравнять её к нулевому вектору и решить полученное уравнение.

Вычислив первую производную (3) по $\mathbf{w}(k+1)$ и приравняв её к нулевому вектору, получим следующее векторное уравнение первого порядка:

$$\tilde{\mathbf{w}}(k+1) = \tilde{\mathbf{w}}(k) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i \tilde{\mathbf{u}}_i(k) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_{i+N} \tilde{\mathbf{v}}_i(k).$$

Прежде, чем приступить к решению данного уравнения, упростим его. Введём N новых переменных $\lambda_{c,i}$ следующим образом:

$$\lambda_{c,i} = \lambda_i + j\lambda_{i+N}, \quad i = \overline{1, N},$$

где j – мнимая единица. С учётом введённых выше обозначений, получим комплексное уравнение:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_{c,i} \mathbf{x}_i^*(k). \quad (4)$$

Поскольку сигнал ошибки в i -м канале определяется как

$$e_{i,D}(k) = d_{i,D}(k) - \mathbf{w}^T(k)\mathbf{x}_i(k),$$

то с учётом (2) и (4) можно записать выражения для сигналов ошибки:

$$e_{i,D}(k) = \left[\mathbf{w}(k) + \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i \mathbf{x}_i^*(k) \right]^T \mathbf{x}_i(k) - \mathbf{w}^T(k) \mathbf{x}_i(k),$$

а упростив его, получить

$$e_{i,D}(k) = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \lambda_i \mathbf{x}_i^H(k) \mathbf{x}_i(k), \quad (5)$$

где i принимает значения от 0 до $N-1$. Символ H обозначает операцию комплексно-сопряжённого транспонирования матрицы или вектора.

Введём новые обозначения:

$$\begin{aligned} \boldsymbol{\lambda} &= [\lambda_0 \quad \lambda_1 \quad \dots \quad \lambda_{N-1}]^T, \\ \mathbf{e}_D(k) &= [e_{0,D}(k) \quad e_{1,D}(k) \quad \dots \quad e_{N-1,D}(k)]^T, \\ \mathbf{X}(k) &= [\mathbf{x}_0(k) \quad \mathbf{x}_1(k) \quad \dots \quad \mathbf{x}_{N-1}(k)]. \end{aligned}$$

Тогда система уравнений (5) запишется в матричном виде:

$$\mathbf{e}_D(k) = \frac{1}{2} \mathbf{X}^H(k) \mathbf{X}(k) \boldsymbol{\lambda},$$

откуда

$$\boldsymbol{\lambda} = 2 [\mathbf{X}^H(k) \mathbf{X}(k)]^{-1} \mathbf{e}_D(k), \quad (6)$$

В [10] показано, что при незначительном перекрытии спектров соседних каналов взаимной корреляцией можно пренебречь и считать матрицу $\mathbf{X}^H(k) \mathbf{X}(k)$ диагональной матрицей. Тогда выражение (6) можно упростить:

$$\lambda_i = 2 \frac{e_{i,D}(k)}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2}, \quad i = \overline{0, N-1}.$$

С учётом (4) получаем правило обновления вектора весовых коэффициентов предлагаемого МАФ:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu \sum_{i=0}^{N-1} \frac{\mathbf{x}_i^*(k)}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} e_{i,D}(k). \quad (7)$$

Получившееся соотношение напоминает по форме правило обновления весовых коэффициентов комплексного алгоритма НМНК [3–5]. Параметр μ представляет собой шаг адаптации алгоритма. Чем меньше μ , тем точнее выполняется настройка, но тем дольше продолжается переходной процесс.

Определим интервал значений параметра μ , при которых предлагаемый алгоритм проявляет устойчивую сходимость. Пусть \mathbf{w}_0 – вектор весовых коэффициентов, соответствующий оптимальной настройке адаптивного КИХ-фильтра. И пусть $\hat{\mathbf{w}}(k) = \mathbf{w}_0 - \mathbf{w}(k)$ – вектор невязки в определении весовых коэффициентов на k -й итерации. Тогда устойчивая сходимость алгоритма может быть выведена из условия [10]:

$$E \left[\|\hat{\mathbf{w}}(k+1)\|^2 \right] - E \left[\|\hat{\mathbf{w}}(k)\|^2 \right] < 0. \quad (8)$$

Воспользовавшись (7) и предполагая независимость процессов настройки в соседних каналах, как это было сделано ранее, получим

$$E \left[\|\hat{\mathbf{w}}(k+1)\|^2 \right] = E \left[\|\hat{\mathbf{w}}(k)\|^2 \right] + \mu^2 \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{|e_{i,D}(k)|^2}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] - 2\mu \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{\hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) e_{i,D}(k)}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] = E \left[\|\hat{\mathbf{w}}(k)\|^2 \right] - \Delta,$$

где для упрощения записи символом Δ обозначено выражение:

$$\Delta = 2\mu \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{\hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) e_{i,D}(k)}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] - \mu^2 \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{|e_{i,D}(k)|^2}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right]. \quad (9)$$

Подставляя полученный результат в соотношение (8), запишем

$$\mu^2 \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{|e_{i,D}(k)|^2}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] - 2\mu \sum_{i=0}^{N-1} E \left[\frac{\hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) e_{i,D}(k)}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] < 0.$$

Следовательно, параметр μ должен выбираться из условия:

$$0 < \mu < 2 \frac{\sum_{i=0}^{N-1} E [\hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) e_{i,D}(k)]}{\sum_{i=0}^{N-1} E [|e_{i,D}(k)|^2]}.$$

Если аддитивный шум, вносимый каналом связи, достаточно мал, что им можно пренебречь, по сравнению с шумом адаптивного процесса, возникающим в результате постоянной подстройки его весовых коэффициентов при выбранном шаге адаптации μ , то

$$\hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) = \mathbf{w}_0^T \mathbf{x}_i^*(k) - \mathbf{w}^T(k) \mathbf{x}_i^*(k) \approx e_{i,D}^*(k)$$

и

$$0 < \mu < 2 \frac{\sum_{i=0}^{N-1} E [e_{i,D}^*(k) e_{i,D}(k)]}{\sum_{i=0}^{N-1} E [|e_{i,D}(k)|^2]}.$$

Упрощая последнее неравенство, окончательно получим

$$0 < \mu < 2. \quad (10)$$

В завершение теоретического раздела статьи, выведем правило исключения каналов МАФ. Из (8) и дальнейших рассуждений следует, что алгоритм сходится, если при переходе к очередной итерации алгоритма убывает средний квадрат невязки, то есть если $\Delta > 0$. Причём увеличение Δ , приводит к ускорению процесса настройки алгоритма. Однако если раньше мы предположили, что аддитивный шум достаточно мал и пренебрегли его величиной, то теперь учтём дисперсию шума, обозначив её $|\sigma_{v_{i,D}}|^2$, где $v_{i,D}(k)$ – составляющая шума, попадающая в i -й канал МАФ.

С учётом того, что

$$e_{i,D}(k) = \hat{\mathbf{w}}^T(k) \mathbf{x}_i(k) + v_{i,D}(k),$$

выражение (9) примет следующий вид:

$$\Delta = \mu(2 - \mu) \sum_{i=0}^{N-1} \left(E \left[\frac{|e_{i,D}(k)|^2}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] - \frac{2|\sigma_{v_{i,D}}|^2}{2 - \mu} E \left[\frac{1}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] \right). \quad (11)$$

При этом предполагается, что составляющие аддитивного шума канала связи, поступающие в разные каналы МАФ, не зависят друг от друга и подчиняются гауссовскому закону распределения. Кроме того, аддитивный шум, вносимый каналом связи, считается независимым от передаваемого полезного сигнала $x(n)$, а невязка $\hat{\mathbf{w}}(k)$ считается независимой от величины аддитивного шума на предыдущей итерации (то есть, от $v_{i,D}(k-1)$, где $i = 0, N-1$ – порядковый номер канала МАФ).

В [16] показано, что разброс значений $\|\mathbf{x}_i(k)\|^2$, проявляющийся в процессе настройки адаптивного фильтра высокого порядка, на интервале нескольких последовательно взятых итераций в большинстве практических приложений оказывается настолько мал, что им можно пренебречь. Поэтому, следуя рассуждениям [16], будем считать, что

$$E \left[\frac{|e_{i,D}(k)|^2}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right] \approx \frac{E [|e_{i,D}(k)|^2]}{E [\|\mathbf{x}_i(k)\|^2]}$$

и

$$E\left[\frac{1}{\|\mathbf{x}_i(k)\|^2}\right] \approx \frac{1}{E\|\mathbf{x}_i(k)\|^2}.$$

Тогда выражение Δ , записанное ранее в форме (11), можно заменить его приближённой оценкой:

$$\hat{\Delta} = \mu(2 - \mu) \sum_{i=0}^{N-1} \left(\frac{E\left[|e_{i,D}(k)|^2\right] - \frac{2|\sigma_{v_{i,D}}|^2}{2 - \mu}}{E\|\mathbf{x}_i(k)\|^2} \right). \quad (12)$$

При выполнении (10) постоянный коэффициент $\mu(2 - \mu)$ всегда оказывается положительным. И как следует из (12), при выполнении условия $E\left[|e_{i,D}(k)|^2\right] > 2|\sigma_{v_{i,D}}|^2 / (2 - \mu)$ i -й канал МАФ способствует увеличению величины $\hat{\Delta}$, а при выполнении обратного ему условия $E\left[|e_{i,D}(k)|^2\right] < 2|\sigma_{v_{i,D}}|^2 / (2 - \mu)$ i -й канал МАФ способствует уменьшению величины $\hat{\Delta}$. Поэтому с целью ускорения процесса настройки адаптивного фильтра имеет смысл отключать каналы, влияние которых на k -й итерации не приводит к уменьшению среднего квадрата невязки $\hat{\mathbf{w}}(k)$, проводя настройку только в тех каналах структуры МАФ, для которых выполняется условие

$$E\left[|e_{i,D}(k)|^2\right] > 2|\sigma_{v_{i,D}}|^2 / (2 - \mu).$$

Поскольку величину математического ожидания невозможно определить по результату одного отдельного измерения, то в последнем неравенстве приходится ввести замену:

$$E\left[|e_{i,D}(k)|^2\right] \approx |e_{i,D}(k)|^2.$$

Величина аддитивного шума на выходе канала связи в большинстве практических приложений оценивается на интервале специально выделенных пауз, когда передача полезных сигналов прекращается, или в рабочем режиме на основе какой-либо из множества широко известных специальных методик.

Введём несколько обозначений. Пусть на k -й итерации выбрано $N(k)$ каналов МАФ. Обозначим всё множество выбранных каналов

$$\Xi_{N(k)} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{N(k)}\}$$

Элементами $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{N(k)}$ данного множества являются порядковые номера выбранных каналов МАФ на k -й итерации.

Теперь с учётом введённых обозначений предлагаемый алгоритм настройки вектора весовых коэффициентов комплексного эквалайзера с адаптивной системой анализа-синтеза запишется в следующей аналитической форме:

$$\mathbf{w}(k+1) = \begin{cases} \mathbf{w}(k) + \mu \sum_{i=0}^{N(k)} \frac{\mathbf{x}_{\xi_i}^*(k) e_{\xi_i,D}(k)}{\|\mathbf{x}_{\xi_i}(k)\|^2}, & N(k) > 0, \\ \mathbf{w}(k), & N(k) = 0, \end{cases}$$

где $\Xi_{N(k)} = \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_{N(k)}\}$ – множество каналов МАФ, для которых выполняется неравенство

$$|e_{\xi_i,D}(k)|^2 > \frac{2|\sigma_{v_{\xi_i,D}}|^2}{2 - \mu}.$$

На основе описанных выше теоретических исследований разработаны два алгоритма настройки эквалайзера (таблицы 1 и 2).

В таблицах 1 и 2 используются следующие обозначения. N – число каналов МАФ, L – число настраиваемых весовых коэффициентов (порядок МАФ), L_H – порядок фильтров подсистемы анализа, L_G – порядок фильтров подсистемы синтеза, M – коэффициент децимации, $N(k)$ – число каналов, для которых проводится настройка МАФ. V/T_s – объём вычислительных затрат, определяемый как среднее число операций комплексного умножения, выполняемых за время T_s , равное шагу дискретизации входного сигнала МАФ.

Малая положительная константа δ вводится для того, чтобы повысить устойчивость алгоритма в случае приёма сигнала малой мощности [1, 2, 10].

Несмотря на то, что система анализа-синтеза функционирует на частоте дискретизации входного сигнала, затраты на её реализацию удаётся сократить в M раз. Сокращение вычислительных затрат на обработку сигналов в системе анализа-синтеза достигается переходом к полифазной структуре, которая подробно рассмотрена в таких фундаментальных работах по теории многоскоростной обработки сигналов как [17–19]. Если входной сигнал является вещественным, то половину каналов МАФ можно исключить из рассмотрения, поскольку спектр вещественного сигнала симметричен относительно нулевой частоты (или относительно половины частоты дискретизации).

Таблица 1

Алгоритм МАФ, использующий подсистему синтеза (далее МАФ-1)

| Выполняемые действия | Затраты (V/T_s) |
|--|---------------------|
| Операции, выполняемые для отсчётов $n = 0, 1, 2, \dots$ на частоте дискретизации $1/T_s$ | |
| 1) Разделение входного и обучающего сигналов на компоненты подсистемой анализа: | |
| $x_i(n) = \mathbf{h}_i^T \mathbf{x}(n), \quad i = 0, \dots, N - 1,$ | $L_H N$ |
| $d_i(n) = \mathbf{h}_i^T \mathbf{d}(n), \quad i = 0, \dots, N - 1.$ | $\frac{L_H N}{M}$ |
| 2) Объединение компонентов выходного сигнала подсистемой синтеза: | |
| $y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \mathbf{g}_i^T \mathbf{y}_i(n).$ | $\frac{L_G N}{M}$ |
| Операции, выполняемые для отсчётов $k = 0, 1, 2, \dots$ на частоте дискретизации $1/(MT_s)$ | |
| 1) Вычисление компонентов выходного сигнала и оценка сигналов ошибки: | |
| $y_{i,D}(k) = \mathbf{w}^T(k) \mathbf{x}_i(k),$ | |
| $e_{i,D}(k) = d_{i,D}(k) - y_{i,D}(k),$ | $\frac{LN}{M}$ |
| $i = 0, \dots, N - 1.$ | |
| 2) Обновление вектора весовых коэффициентов для $N(k)$ каналов: | |
| $\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu \sum_{i=0}^{N(k)} \frac{\mathbf{x}_{\xi_i}^*(k) e_{\xi_i,D}(k)}{\delta + \ \mathbf{x}_{\xi_i}(k)\ ^2}.$ | $\frac{2LN(k)}{M}$ |

3. Экспериментальные исследования

Для эксперимента была выбрана модель, аналогичная предложенной в [20]: 4-позиционная относительная фазовая манипуляция (QPSK) с использованием кода Грея, скорость передачи равна 10 Мбит/с. Фильтрация импульсов осуществляется на приёмной и передающей сторонах цифровым фильтром с характеристикой типа «приподнятый косинус», нормированной на квадратный корень, и коэффициентом спада, равным 0,23. Как и в [20] при модуляции используется одна несущая частота, но обработка сигнала выполняется без перехода в частотную область при помощи алгоритма быстрого преобразования Фурье. Кроме того, предполагается, что настройка происходит по известному в приёмнике эталонному сигналу, поэтому пилот-сигналы в модели отсутствуют.

Таблица 2

Алгоритм МАФ, не использующий подсистему синтеза (далее МАФ-2)

| Выполняемые действия | Затраты (V/T_s) |
|--|---------------------|
| Операции, выполняемые для отсчётов $n = 0, 1, 2, \dots$ на частоте дискретизации $1/T_s$ | |
| 1) Вычисление очередного отсчёта выходного сигнала: | |
| $y(n) = \mathbf{w}^T(n)\mathbf{x}(n).$ | L |
| 2) Разделение входного и обучающего сигналов на компоненты подсистемой анализа: | |
| $x_i(n) = \mathbf{h}_i^T \mathbf{x}(n), \quad i = 0, \dots, N-1,$ | $L_H N$ |
| $d_i(n) = \mathbf{h}_i^T \mathbf{d}(n), \quad i = 0, \dots, N-1.$ | $\frac{L_H N}{M}$ |
| Операции, выполняемые для отсчётов $k = 0, 1, 2, \dots$ на частоте дискретизации $1/(MT_s)$ | |
| 1) Оценка сигналов ошибки: | |
| $e_{i,D}(k) = d_{i,D}(k) - \mathbf{w}^T(k)\mathbf{x}_i(k),$ | $\frac{LN}{M}$ |
| $i = 0, \dots, N-1.$ | M |
| 2) Обновление вектора весовых коэффициентов для $N(k)$ каналов: | |
| $\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu \sum_{i=0}^{N(k)} \frac{\mathbf{x}_{\xi_i}^*(k) e_{\xi_i,D}(k)}{\delta + \ \mathbf{x}_{\xi_i}(k)\ ^2}.$ | $\frac{2LN(k)}{M}$ |

В качестве модели канала связи выбран стационарный канал с многолучевым распространением сигнала в среде городского типа [20, 21]. Параметры такого канала приводятся ниже в табличной форме (таблица 3).

Сравнить результаты настройки эквалайзеров 512-го порядка на основе адаптивных алгоритмов МАФ-1 и МАФ-2 с известным алгоритмом НМНК позволяет рисунок 2.

Таблица 3

Параметры канала связи

| Номер луча | Задержка луча, мкс | Мощность луча, дБ |
|------------|--------------------|-------------------|
| 1 | 0 | 3,00 |
| 2 | 0,010 | 5,22 |
| 3 | 0,030 | 6,98 |
| 4 | 0,360 | 5,22 |
| 5 | 0,370 | 7,44 |
| 6 | 0,385 | 9,19 |
| 7 | 0,250 | 4,72 |
| 8 | 0,260 | 6,94 |
| 9 | 0,280 | 8,69 |
| 10 | 1,040 | 8,19 |
| 11 | 1,045 | 10,41 |
| 12 | 1,065 | 12,17 |
| 13 | 2,730 | 12,05 |
| 14 | 2,740 | 14,27 |
| 15 | 2,760 | 16,03 |
| 16 | 4,600 | 15,50 |
| 17 | 4,610 | 17,72 |
| 18 | 4,625 | 19,48 |

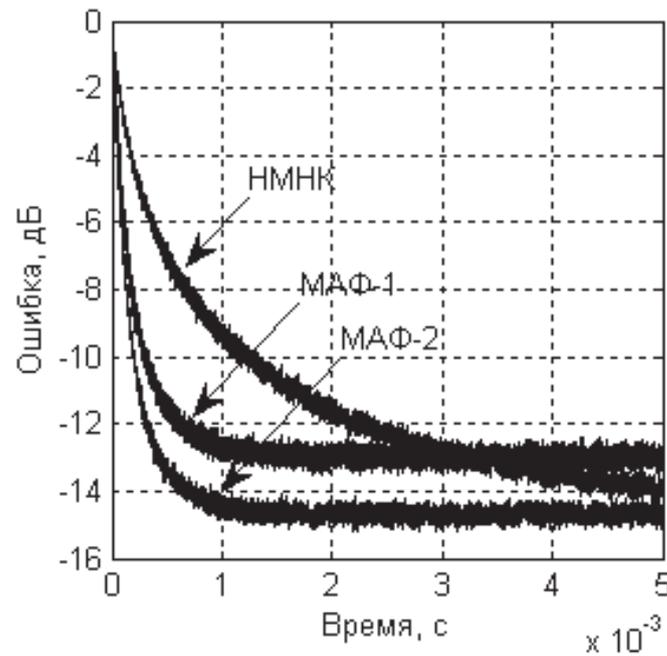


Рис. 2. Обучающие кривые для эквалайзеров на основе алгоритмов МАФ-1, МАФ-2 и НМНК

При моделировании на выходе канала связи к полезному сигналу добавлялся аддитивный белый гауссовский шум. Отношение сигнал-шум было выбрано равным 18 дБ. В результате число каналов $N(k)$ спадало в среднем до 7–8 в установившемся режиме (рисунок 3).

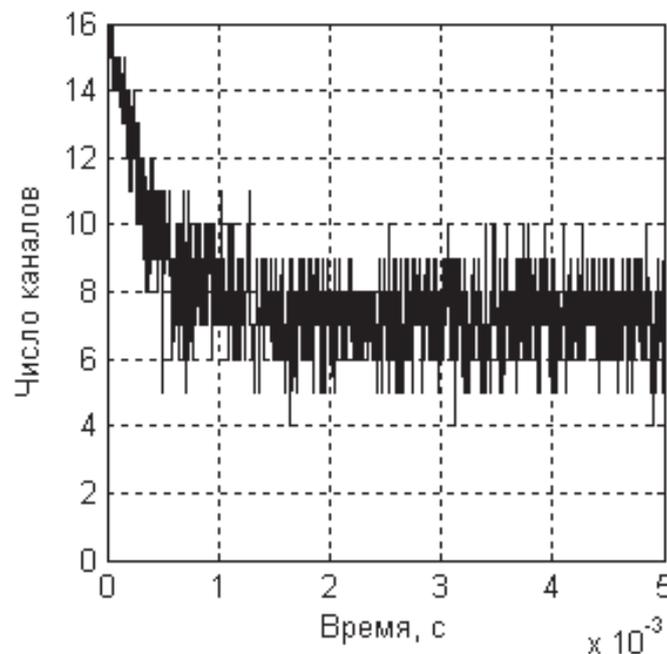


Рис. 3. Среднее число каналов, для которых проводится настройка МАФ

Судя по рисунку 2, при заданном порядке адаптивного фильтра многоканальный эквалайзер настраивается значительно быстрее, что объясняется декорреляцией входного сигнала при разбиении его на отдельные полосы частот подсистемой анализа. Кроме того, эквалайзер на основе алгоритма МАФ-2, не использующий подсистему синтеза, настраивается заметно быстрее и точнее своего аналога — эквалайзера на основе алгоритма МАФ-1. По точности настройки в установившемся режиме эквалайзер на основе алгоритма МАФ-2 ничем не уступает эквалайзеру на основе известного алгоритма НМНК, если не учитывать предела точности МАФ-2, определяемого ошибкой восстановления сигнала системой анализа-синтеза. В проведенных экспериментах система анализа-синтеза строилась по методике, предложенной в [22]. Порядок фильтра-прототипа был задан равным 80.

При проведении компьютерного моделирования были выбраны следующие численные значения для перечисленных выше параметров. Использовался 16-канальный комплексный адаптивный фильтр ($N = 16$) с 14-кратным понижением частоты дискретизации ($M = 14$). Порядки фильтров анализа и синтеза были выбраны одинаковыми $L_H = L_G = 80$, порядки всех адаптивных фильтров L были равны 512.

Не трудно оценить затраты на реализацию адаптивных алгоритмов. Эквалайзер на основе алгоритма МАФ-1 требует $V/T_s = 2048 + 73 \cdot N(k) < 2121$ умножений на отсчёт, алгоритм МАФ-2 требует $V/T_s = 2469 + 73 \cdot N(k) < 2542$ умножений на отсчёт. Учитывая, что в установленном режиме (рисунок 3) число используемых каналов $N(k)$ спадает в среднем до 7–8, вычислительные затраты на реализацию МАФ можно оценить следующим образом: эквалайзер на основе алгоритма МАФ-1 требует в среднем

2080 умножений на отсчёт, эквалайзер на основе алгоритма МАФ-2 требует в среднем 2500 умножений на отсчёт. Для сравнения, при использовании стандартного алгоритма НМНК необходимо $3 \cdot 512 = 1536$ умножений.

Таким образом, алгоритм МАФ-2 позволяет существенно повысить скорость настройки эквалайзера по сравнению со стандартным алгоритмом НМНК при той же точности и сравнимых вычислительных затратах. Алгоритм МАФ-1 несколько уступает в точности, но превосходит МАФ-2 по экономии вычислительных затрат.

Заключение. В статье предложены структура и алгоритм настройки многоканального эквалайзера с адаптивной структурой системы анализа-синтеза и проведён подробный анализ его работы. Описаны правила построения и настройки данного эквалайзера. Выведены расчётные соотношения для определения объёма вычислительных затрат.

Литература:

1. Чураков Е.П. Математические методы обработки экспериментальных данных в экономике: Учеб. пособие. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 240 с.
2. Певзнер Л.Д., Чураков Е.П. Математические основы теории систем: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 2009. — 503 с.
3. Уидроу Б. и др. Комплексная форма алгоритма НСКО // ТИИЭР. 1975. — №3. — С. 49–51.
4. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов / Пер с англ. — М.: Радио и связь, 1989. — 440 с.
5. Коуэн К.Ф., Грант П.М. Адаптивные фильтры / Пер. с англ. — М.: Мир, 1988. — 392 с.
6. Прокис Д. Цифровая связь / Пер. с англ. — М.: Радио и связь, 2000. — 800 с.
7. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. 2-е изд. — М.: Вильямс, 2003. — 1104 с.
8. Haykin S., Adaptive filter theory, 4th ed. — NJ: Prentice-Hall, 2001. — 936 с.
9. Линович А.Ю. Применение методов частотно-временной декомпозиции при решении задачи обратного моделирования // Цифровая обработка сигналов. 2005. — №3. — С. 28–37.
10. Lee K.A., Gan W.S. Improving convergence of the NLMS algorithm using constrained subband updates // IEEE signal processing letters. 2004. — №9. — С. 736–739.
11. Kim S.E., Choi Y.S., Song M.K., Song W.J. A subband adaptive filtering algorithm employing dynamic selection of subband filters // IEEE signal processing letters. 2010. — №3. — С. 245–248.
12. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление для втузов. — М.: Физматгиз, 1963. — 856 с.
13. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 1986. — 319 с.
14. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие. — М.: Высш. шк., 2002. — 544 с.
15. Зорич В.А. Математический анализ. Часть I. 3-е изд., испр. и доп. — М.: МЦНМО, 2001. — XVI + 664 с.
16. Tandon A., Swamy M.N.S., Ahmad M.O. Partial-update L_∞ -norm based algorithms // IEEE transactions on circuits and systems I. 2007. — №2. — С. 411–419.
17. Crochiere R.E., Rabiner L.R. Multirate digital signal processing. — NJ: Prentice-Hall, 1983. — 411 с.
18. Витязев В.В. Цифровая частотная селекция сигналов. — М.: Радио и связь, 1993. — 240 с.
19. Вайдьянатхан П.П. Цифровые фильтры, блоки фильтров и полифазные цепи с многочастотной дискретизацией: Методический обзор // ТИИЭР. 1990. — №3. — С. 77–119.
20. Ng B., Lam C.T., Falconer D. Turbo frequency domain equalization for single-carrier broadband wireless systems // IEEE transactions on wireless communications. 2007. — №2. — С. 759–767.
21. Auer G., et al. Assessment of radio-link technologies // WINNER Deliverable D2.3 (section 3.1). Feb. 2005. — Available: <https://www.istwinner.org/Deliverable Documents/D2-3.pdf>.
22. Harteneck M., Weiss S., Stewart R.W. Design of near perfect reconstruction oversampled filter banks for subband adaptive filters // IEEE transactions on circuits and systems II. 1999. — №8. — С. 1081–1086.

Решение задачи повышения уровня пожарной безопасности помещений на основе активного интеллектуального управления индивидуальной сетевой нагрузкой

Дмитриев Станислав Сергеевич, студент;

Комиссаров Алексей Юрьевич, студент;

Печаткин Андрей Валентинович, кандидат технических наук

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

В настоящее время повышению уровня пожарной безопасности отводится особое место в связи с ростом чрезвычайных ситуаций и резкому увеличению человеческих и материальных потерь. Т.о. создание эффективной, востребованной модульной платформы для непрерывного сканирования (мониторинга) индивидуальных потребителей электроэнергии с целью интеллектуального управления электрической нагрузкой и ориентации на активную и пассивную пожарную безопасность и энергосбережение в настоящее время является актуальной задачей.

Мониторинг индивидуальных потребителей энергии в обязательном порядке должен осуществляться в детских дошкольных учреждениях, школах, интернатах, больницах, домах престарелых и т.п. Помещения в этих зданиях активно используются в течение суток, в них находится, как правило, постоянный, привыкший к местным условиям контингент людей определенного возраста и физического состояния. При этом, анализ корректности использования сетевой нагрузки должен осуществляться не на значительном удалении от объекта, как это делают автоматы защиты сети или предохранители, а непосредственно в сетевой розетке — в локальной области нахождения объекта потребления (сетевой нагрузки), т.к. причинами возникновения пожара, как правило, являются: нагрев и возгорание скрытой проводки; чрезмерный нагрев контактов сетевой розетки или вилки; недостаточное сечение сетевых проводов; использование предохранителей повышенной мощности, повышенная влажность проводов и колодцев (каналов) и т.п.

О необходимости использования подобных систем красноречиво говорит печальная статистика, а также многократные публикации в прессе о закрытии или приостановлении деятельности подобных учреждений. Так, например, в 2011 году пресс-службе Министерства по чрезвычайным ситуациям РФ опубликовала «чёрный список» социально-значимых объектов, на которых грубо нарушаются требования пожарной безопасности. Сотрудники государственного пожарного надзора МЧС России проверили в общей сложности 9 453 объекта. В ходе проверок было выявлено 66 297 нарушений требований правил и норм пожарной безопасности. Из них основными нарушениями требований пожарной безопасности по-прежнему являются:

— неудовлетворительное состояние путей эвакуации 1890 объектов (20 %);

— неисправность электросетей и электрооборудования 1318 объектов (14 %);

— отсутствие систем автоматической пожарной сигнализации 1372 объекта (14 %);

— отсутствие нормативного количества первичных средств пожаротушения и индивидуальных средств защиты органов дыхания на 1384 объектах (14 %);

— отсутствие систем оповещения людей при пожаре 1195 объектов (12 %).

По итогам комплексных проверок был подготовлен «чёрный список» из 199 социально-значимых объектов, на которых грубо нарушаются требования пожарной безопасности. Следует отметить, что в тоже время, основное требование к обеспечению пожарной безопасности в указанных учреждениях сводится к установке систем пожарного оповещения, т.е. формально к обеспечению пассивной безопасности, активизируемой лишь по уже случившемуся факту.

Между тем, концепция системы интеллектуального управления помещением может быть направлена на обеспечение активной безопасности, т.е. на формирование комплекса превентивных мероприятий. Для того, чтобы такие решения могли широко использоваться на практике, необходимо решить следующие задачи:

1) основные модули системы должны быть бюджетными, доступными для приобретения муниципальными и государственными учреждениями;

2) для монтажа модулей не привлекались высококвалифицированные специалисты (инсталляторы) с тем, чтобы не увеличивать фактическую стоимость готовой системы;

3) модули должны жестко встраиваться в типовые посадочные места, не требуя их доработки и повышая стойкость к вандализму;

4) должны использоваться простые схемные и конструктивные решения с целью массового тиражирования предприятиями радиопромышленности, а также малыми предприятиями, имеющими соответствующие сертификаты.

В настоящее время в технологиях и сетевых платформах систем автоматизации управления помещением широко применяется радиointерфейс. Использование электрических проводов для передачи сигналов управления (оповещения) ограничено низкой скоростью передачи информации, малой помехозащищенностью, проблемой ложного срабатывания и отсутствием обратной

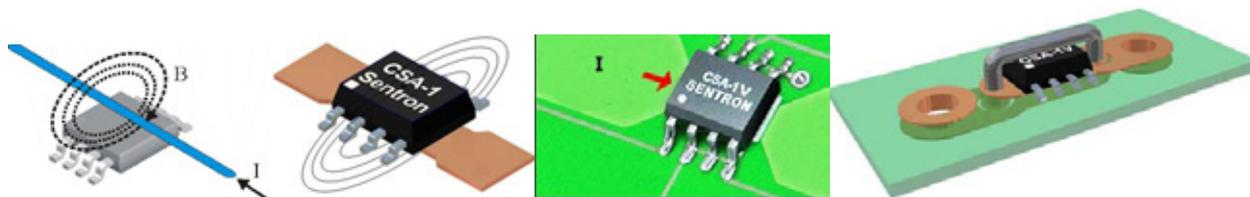


Рис. 1. Интегральный датчик тока на эффекте Холла CSA-1V-SO

связи приёмника с передатчиком. Однако следует отметить, что именно этот способ коммуникации для модульной бюджетной системы как раз и является наиболее предпочтительным и полностью отвечающим рассмотренным выше задачам, а для перечисленных ранее муниципальных учреждений, кроме того, и единственно возможным. Т.о., основной задачей является устранение указанных выше проблем, т.к. развитие данного вида систем, безусловно, окажет решающее влияние на уровень современной охранно-пожарной техники.

Для решения данной задачи целесообразно использовать новую линейку аналоговых микроконтроллеров. Подобные электронные компоненты – программируемые аналоговые интегральные схемы (ПАИС) или процессоры аналоговой обработки сигналов (dpASP) содержат: полностью дифференциальную архитектуру, конфигурируемые ячейки ввода/вывода, низкое напряжение смещения в режиме прецизионного входа, наличие буферных преобразователей несимметричных сигналов в дифференциальные, встроенные функции линейризации, широкую полосу пропускания, высокое отношение сигнал/шум, низкий коэффициент гармоник.

В соответствии с затронутой выше концепцией активной безопасности разработка должна осуществляться с модуля анализа и управления индивидуальным потребителем энергии (далее – МАиУИПЭ), размещаемого непосредственно в посадочном месте штатной розетки. Рассматриваемый модуль должен обеспечивать активный мониторинг нагрузки на основе непрерывного бесконтактного измерения тока потребления, температуры контактов и сетевого провода, влажности зоны окружения (полость подрозетника), формировать необходимые визуальные и аудиосигналы и взаимодействовать с другими подобными модулями и центральным контроллером системы автоматизации здания по сетевым проводам. МАиУИПЭ, интегрированный непосредственно в сетевую розетку (точнее – в стандартный подрозетник или установочную коробку), может быть выполнен как в базовом (бюджетном), так и в расширенном вариантах.

В базовом варианте исполнения МАиУИПЭ обеспечивает непрерывный контроль тока нагрузки, отключение нагрузки при длительном (не случайном) превышении допустимого значения (токовой уставки) и формирование звукового и светового сигналов для информирования пользователя – потребителя энергии.

В расширенном варианте исполнения МАиУИПЭ, помимо указанных выше функций, осуществляет:

- 1) контроль по одному или двум температурным каналам (контроль температуры силового провода и контроль температуры токораспределительных гнезд);
- 2) контроль по одному или двум каналам относительной влажности для предотвращения короткого замыкания и пожара при затоплении розетки и скрытых кабельных каналов, а также при наличии инея на силовых контактах и проводах;
- 3) формирование периодического сигнала опасности, передаваемого по силовым проводам к внешнему контроллеру сети.

Одна из причин особого внимания к сетевым помехам – размещение МАиУИПЭ непосредственно в месте локализации помех, а именно, в сетевой розетке. Учитывая выше сказанное целесообразно рассмотреть реализацию МАиУИПЭ на основе ПАИС и dpASP компании Anadigm, сочетающих преимущество аналоговых и цифровых (дискретных во времени) электронных многофункциональных компонентов обработки сигналов. Для серийного производства предполагается использование заказных микросхем на базе FPAА по технологии Freeze-Frame. Это позволяет снизить стоимость микросхем на 30..60%. Всё, что для этого требуется, – разработать и отладить проект на базе ПАИС, отправить файл прошивки региональному представителю, и через некоторое время будет изготовлено требуемое количество ASIC в тех же корпусах и полностью совместимое по выводам.

В качестве датчика тока наиболее предпочтительным вариантом с учетом аналоговой реализации является использование датчика тока, основанного на эффекте Холла, например, CSA-1V-SO – рис. 1.

В качестве датчика температуры возможен выбор как резистивных и полупроводниковых структур, при этом первые отличаются более низкой стоимостью, но обладают значительным временем реакции на снятие воздействия (до 10 сек.). Этот недостаток может быть превращен в преимущество, т.к. в случае короткой циклической импульсной перегрузки контроллер не будет включать нагрузку сразу же после исчезновения помехи, обеспечивая тем самым сохранность электронного подключенного оборудования (телевизионного приемника, аудиосистемы и т.п.)

Функциональная схема и компьютерная модель базового варианта реализации МАиУИПЭ на основе стати-

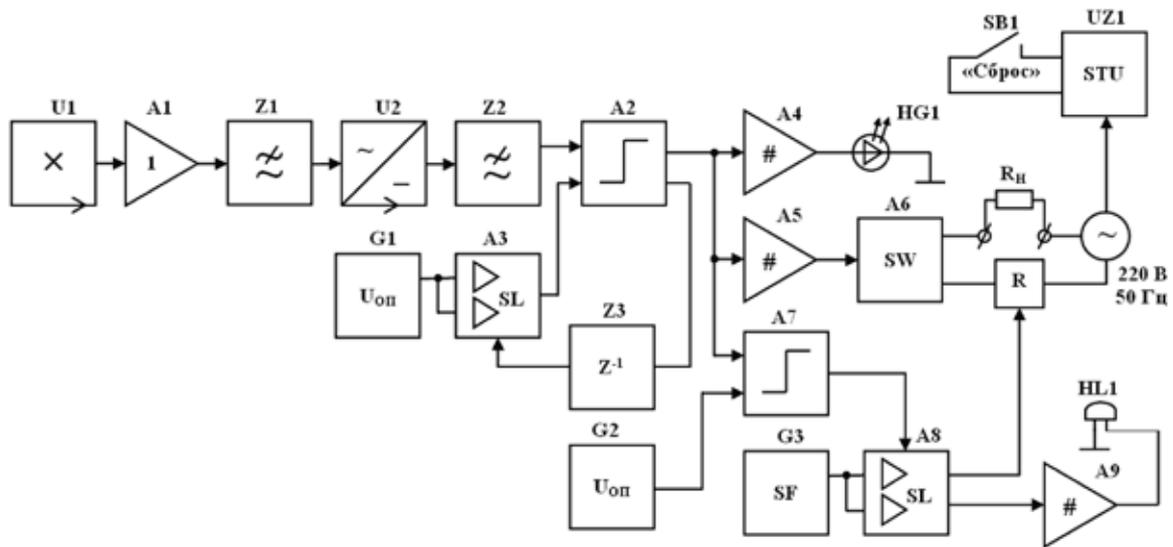


Рис. 2. Функциональная схема базового варианта МАиУИПЭ



Рис. 3. Модель и осциллограммы формирования управляющих воздействий при обнаружении перегрузки (1 – сигнал с датчика тока; 2 – сигнал на выходе детектора; 3 – сигнал на выходе дискриминатора; 4 – дребезг опорного напряжения на входе линии задержки)

чески конфигурируемого кристалла AN121E04 компании Anadigm, выполненная в отладочной среде программного симулятора Anadigm Designer®2, показаны на рис. 2...4.

Группа компонентов A1-Z1-U2-Z2-A2 (усилитель-ограничитель, активный ФНЧ двухполупериодный выпрямитель, активный ФНЧ и компаратор) образуют программируемый дискриминатор, обеспечивающий появление на выходе управляющего сигнала, заданной полярности только в случае длительной устойчивой перегрузки. Линия задержки предотвращает «дребезг» выходного сигнала, возникающий вследствие наличия колебаний при сравнении сигнального и опорного напряжений компаратора A2. Выходной сигнал компаратора подается на порт ПАИС для активизации оптоэлектронного реле, управляющего сетевой нагрузкой, а также транслируется на второй порт для управления индикацией перегрузки HG1 и на мультиплексор-селектор A7-A8, управляющий син-

тезатором сигнала ошибки G3. Силовые выходы ПАИС сконфигурированы в режиме цифрового вывода для повышения мощности, но могут быть сконфигурированы и в режиме выходного активного ФНЧ для подавления ВЧ коммутационных помех (помех дискретизации). Синтезатор сигнала ошибки G3 имеет собственный компаратор, обеспечивающий сброс устройства и корректное формирование частотного сигнала.e

Необходимость использования мультиплексора A3 вызвана малой инертностью отклика датчика тока, использующего эффект Холла, поэтому при снятии нагрузки после обнаружения длительной (неслучайной) перегрузки напряжение с датчика сбросит компаратор A2. В результате чего, нагрузка вновь будет включена, и этот процесс будет продолжаться циклически, что может привести к выходу из строя питаемой нагрузки, например, бытовой электроники.

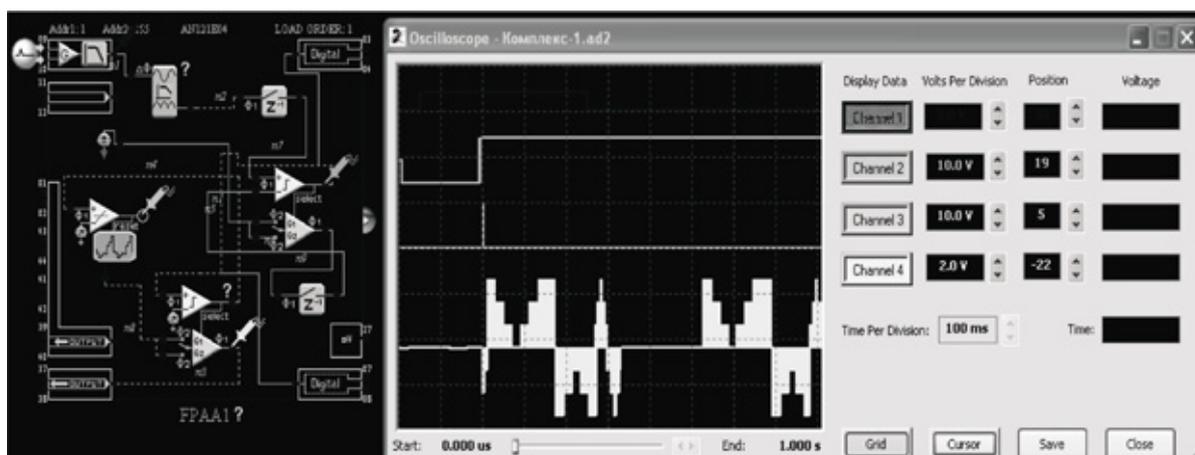


Рис. 4. Осциллограммы формирования управляющих воздействий при генерации отклика на токовую перегрузку (1 – сигнал с выхода входного ФНЧ; 2 – сигнал на выходе дискриминатора; 3 – сигнал сброса синтезатора частоты; 4 – сигнал на выходе синтезатора частоты)

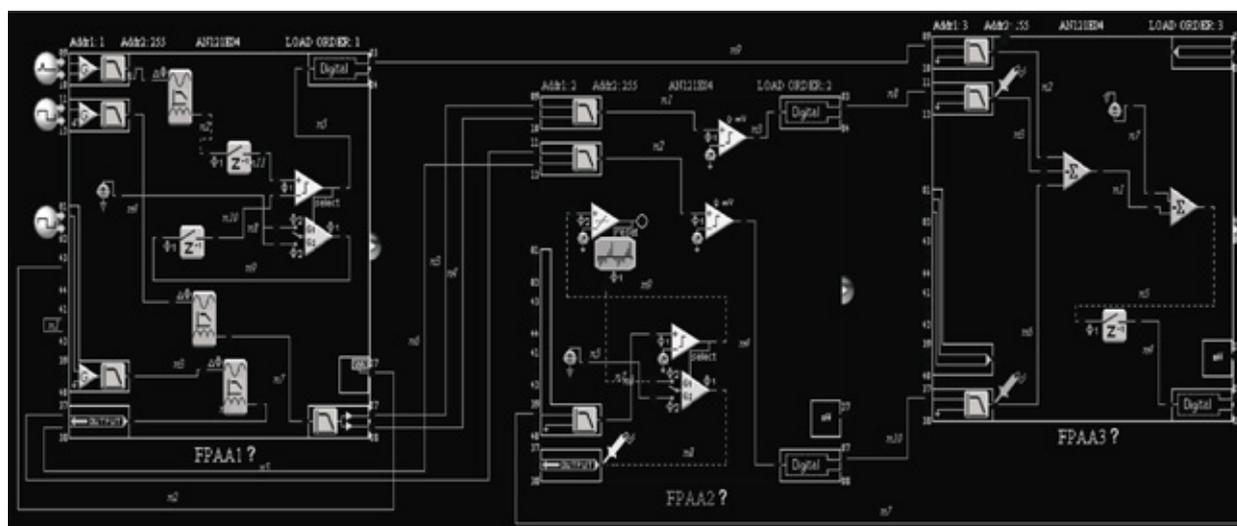


Рис. 5. Компьютерная модель проекта реализации на кристаллах ПАИС расширенного варианта МАиУИПЭ

Для предотвращения этого явления после активизации компаратора АЗ на его управляющий вход будет подан нулевой (или отрицательный) потенциал, и компаратор останется включенным до тех пор, пока не будет активизирован внешний сигнал сброса (кратковременное отключение питания), инициируемый пользователем.

Компьютерная модель расширенного варианта реализации МАиУИПЭ, включающая, помимо датчика тока, сенсоры температуры и влажности, и осциллограммы работы показана на рис. 5.

Компоненты контроллера равномерно размещены в двух кристаллах FPPA (или ASIC – в случае использования производственной программы Freeze-Frame). Передача сигнала перегрузки в сеть, в случае использования внешнего контроллера, осуществляется с помощью элек-

тронного ключа, выполненного на базе оптоэлектронного реле. Аналогичным образом, выполнено управление световой индикацией и звуковым сигнализатором. Объемные модели конструкторского исполнения МАиУИПЭ и варианты виртуальной компоновки и сборки, выполненные в САПР КОМПАС-3D, показаны на рис. 6.

В заключении следует отметить, что даже самый простой модуль анализа и управления индивидуальным потребителем энергии представляет собой совокупность современных инженерно-технических решений. Целью использования данных систем является обеспечение повышенного уровня безопасности для людей, находящихся в помещении. Модуль анализа и управления управляется посредством эргономичной и эффективной системы и главным её преимуществом является высокая эксплуатационная экономия.

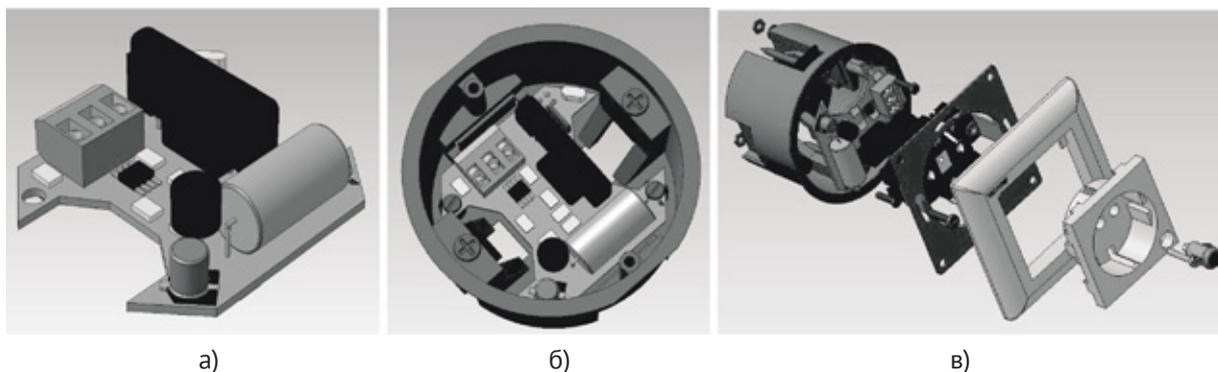


Рис. 6. а) Объёмный вид печатного узла; б) печатный узел, установленный в стандартную установочную коробку; в) разнесённый вид МАиУИПЭ и электрической розетки

Литература:

1. Заводчиков А.Е., Комиссаров А.Ю., Дмитриев С.С. Модульная система активного интеллектуального управления сетевой нагрузкой с функцией «update in situ». Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием «XI Королевские чтения», СГАУ, Самара, 2011, с. 217
2. Комиссаров А.Ю., Дмитриев С.С. Модульная система активного интеллектуального управления сетевой нагрузкой на основе программируемых аналоговых интегральных схем (ПАИС) с функцией «update in situ». Материалы молодежной научной конференции с международным участием «Проблемы фундаментальных и прикладных, естественных и технических наук в современном информационном обществе», МФТИ, Москва, 2011, с. 38–40

Обеспечение непрерывного оперативного мониторинга и раннего предупреждения лесных и торфяных пожаров на основе инвариантных многоэлементных кластерных структур

Смуров Александр Александрович, аспирант;
Шалимов Игорь Юрьевич, студент; Щеглов Аркадий Владимирович, студент;
Печаткин Андрей Валентинович, кандидат технических наук
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева
ОАО «Конструкторское бюро «ЛУЧ», ОАО «Рыбинский завод приборостроения»

Введение

Сложившаяся в России из-за аномальной жары и отсутствия осадков сложная пожарная обстановка вызвала резкое увеличение неконтролируемых торфяных и лесных пожаров. Пожары являются одной из серьезнейших нерешенных проблем российских лесов, нанося огромный ущерб. Усредненные за последние 10 лет данные говорят, что грозвыми разрядами вызвано не более 10% пожаров, остальные 90% являются результатом человеческой деятельности, причем около 10% пожаров вызвано сельскохозяйственными палами. По официальной статистике огнем охвачено до 2 миллионов гектаров леса в год, по неофициальной — до 14 миллионов. Разница в цифрах объясняется достаточно просто: примерно треть, то есть 200 из 600 миллионов гектаров российских лесов официально

находятся вне зоны охраны от пожаров, и по этой территории нет даже достоверной статистики о количестве и площади пожаров.

Основная причина сложившейся обстановки безусловно кроется в недостаточном уровне развития технологий непрерывного мониторинга, раннего предупреждения лесных пожаров. Остановить разбушевавшуюся стихию крайне непросто, а учетом труднодоступности очагов возгораний на огромных лесных территориях России — в ряде случаев невозможно, несмотря на героизм сотрудников МЧС.

Как показала практика, спутниковый мониторинг лесных пожаров в силу ряда объективных причин еще недостаточно эффективен и, прежде всего, вследствие затруднительной регистрации очагов возгораний на ранних стадиях их возникновения. Так, например, известная спут-

никовая пожарная информационная система FIRMS формирует достаточно условное расположение очагов возгорания, вследствие чего возникают затруднения для их оперативного поиска и устранения. Другая, используемая непосредственно в России, система мониторинга основана на применении малых беспилотных летательных аппаратов (МБПЛА) с установленной на борту тепловизионной камерой и передатчиком, также недостаточно эффективна. Это связано, во-первых, с ограниченным радиусом действия такого МБПЛА, во-вторых, с ограничением времени наблюдения контролируемой территории (дискретным), в-третьих, с необходимостью привлечения человеческих ресурсов и вездеходной техники для доставки оборудования к месту мониторинга и его непосредственного проведения.

Т.о., существует необходимость исследования возможности разработки альтернативных и дополняющих систем контроля, способных оперативно разворачиваться (инсталлироваться) в местах наиболее вероятного возгорания и осуществлять непрерывное сканирование местности на предмет задымления и/или роста температуры подстилающей поверхности, например, в местах залегания торфа.

Альтернативный способ обеспечения непрерывного мониторинга лесных пожаров

Концептуальная модель такой системы представляет собой радиотехнический комплекс способный:

- оперативно разворачиваться на больших труднодоступных площадях благодаря доставке по воздуху;
- осуществлять дискретную во времени (текущий мониторинг в отсутствие первичных и вторичных признаков возгорания) или непрерывную (во время развития и движения пожара) доставку достоверной информации в одну из административных служб наблюдения или оперативный штаб МЧС;
- формировать зону контроля на основе инверсной модели повторного использования частот и многоэлементных регулярных кластерных структур.

Радиотехнический комплекс состоит из четырех основных компонентов.

1) Мобильные анализаторы-ретрансляторы

Мобильные анализаторы-ретрансляторы (МАР) являются основными элементами радиотехнического комплекса, на основе которых формируется требуемая зона обслуживания, напоминающая по своей структуре соттовую организацию систем мобильных телекоммуникации. МАР содержат интегральные датчики задымления и температуры, бортовую приемо-передающую систему с угловой модуляцией (манипуляцией), приемник GPS/ГЛОНАС для определения и указания координат своего фактического местоположения, возобновляемый источник вторичного электропитания, микропроцессорную систему управления.

Конструктивно МАР представляет собой небольшой шар ярко-оранжевого цвета, выполненный из компо-



Рис. 1. Объемная модель МАР со сложенной и приведенной в рабочее состояние штыревой антенной

нитных материалов – рис. 1. Со сложенной штыревой антенной, обладающей равномерной круговой диаграммой направленности, МАР помещается в контейнеры, удобные для хранения и транспортировки к местам непосредственного использования. При активации модуля гибкая штыревая антенна освобождается, занимая свое рабочее положение, и включает источник питания, запуская, тем самым, процедуру инициализации оборудования, получения и передачи (ретрансляции) координат своего местоположения и формирования виртуального кластера. Активизация МАР происходит либо вручную, например, при установке лесничими, сотрудниками МЧС или волонтерами, либо автоматически после покидания контейнера при формировании зоны обслуживания (зоны активного мониторинга) при воздушной доставке (основной вариант). Для возможности планирования (парашютирования) шар МАР имеет специальный профиль вдоль центральной линии корпуса (экватора). Для этой же цели и обеспечения более точного места приземления на конце гибкой штыревой антенны имеется своеобразное оперение – упругая пластиковая полоса. Для повышения уровня живучести при падении МАР может быть дополнен парашютом и резиновыми ребрами жесткости (окантовкой).

2) Посты-регистраторы

Стационарные или передвижные, например, на платформе внедорожного легкого автотранспорта, посты-регистраторы выполняют функцию центрального коммутатора радиосети и предназначены, во-первых, для сбора и обработки оперативных данных, поступающих с МАР; во-вторых, для формирования визуализированной схемы очагов возгорания и направлений их распространения, изменяющейся в реальном масштабе времени; в-третьих, для дальнейшей ретрансляции комплексной информации в соответствующие подразделения МЧС для управления подразделениями пожаротушения и эвакуации населения. Основное оборудование постов-регистраторов состоит из комплекса сканирующих приемников, программно-аппаратного вычислительного комплекса, оборудования транковой связи.



Рис. 2. Формирование зоны обслуживания на основе МБПЛРК

3) Средства оперативной воздушной доставки МАР

Для оперативной доставки МАР в труднодоступные места и формирования на контролируемой территории зоны мониторинга (развертывания радиосети) используются малые беспилотные летательные роботизированные комплексы (МБПЛРК). МБПЛРК управляются с земли или действуют автономно на основании заложенных в навигационно-пилотажные бортовые системы программ и маршрута следования для доставки МАР в место назначения. Основой для построения таких малых беспилотных летательных аппаратов (МБЛА) служат разработанные и прошедшие испытания или находящиеся в стадии консервации отечественные общевойсковые и ударные комплексы («Типчак», «Проходчик», «Аист»). Звено МБЛА оперативно и точно «засеивает» зону обслуживания, благодаря возможности движения и маневрирования на малых высотах и скоростях — рис. 2.

4) Средства обнаружения МАР

Для поиска и обнаружения отказавших или выработавших ресурс встроенного возобновляемого источника питания МАР, используются пеленгующие мобильные станции — сканеры, которые обеспечивают активацию схемы отклика МАР без использования источников питания, например, на основе высокочастотной RFID-технологии. Подобная технология обеспечивает в отсутствии питания дальность до 10 метров и более за счет индуцирования в антенне МАР электромагнитного поля, имеющего достаточную мощность для функционирования размещенного в МАР кремниевого CMOS-чипа и передачи ответного сообщения методом модуляции отраженного сигнала несущей частоты [1].

Выбор частотного диапазона. Формирование антенного комплекса МАР

Наиболее удобным частотным диапазоном функционирования подобной радиосети с учетом рельефа местности, подстилающей поверхности и большого количества пассивных естественных отражателей (деревьев, кустар-

ников, травы) является диапазон 300...400 МГц. Этот диапазон, при использовании антенн с круговой диаграммой направленности и низового расположения МАР, обеспечивает уверенную ретрансляцию данных на аналогичные МАР (т.е. имеющие ту же рабочую частоту), расположенные в зоне охвата радиосигнала.

На рис. 3 и рис. 4 показаны результаты компьютерного моделирования антенны МАР, представляющего собой несимметричный 25-ти сантиметровой вибратор ($\lambda/4$). Моделирование проводилось с помощью системы проектирования «FEKO».

Принципы функционирования

Как уже отмечалось ранее, функционирование радиосети схоже с сотовой связью за исключением того, что формирование и расчет кластерных групп осуществляется на основе многомерных кластерных структур, а ячейки (соты) с одинаковой рабочей частотой располагаются в зонах уверенного приема первого яруса, а не разносятся на максимально возможные расстояния. Таковую модель формирования зоны обслуживания удобно назвать инверсной моделью повторного использования частот (по отношению к сотовой связи). Также как и в сотовых сетях связи, ключевым принципом работы описываемого радиотехнического комплекса является многократное повторение одних и тех же частотных каналов в различных ячейках, расположенных соответствующим образом в зоне покрытия системы. Для прогнозирования распространения сигнала, формирования зоны обслуживания и управления радиосетью создаются кластеры — ячейки с разным набором частот, геометрия которых позволяет формировать регулярную зону обслуживания, в которой количество мешающих станций и их взаимное расположение, в т.ч. расстояние до «опорной» соты, определены однозначно [2,3].

Основные отличия системы мониторинга от классической системы сотовой связи заключаются в следующем:

- МАР использует только одну рабочую частоту;
- для возможности ретрансляции данных ячейки с оди-

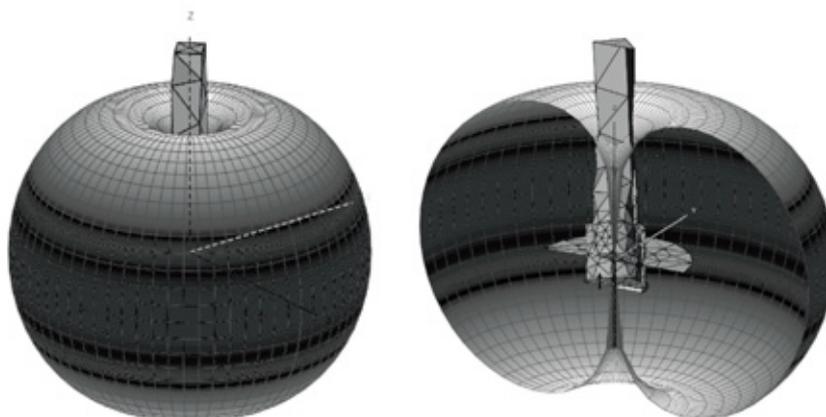


Рис. 3. Диаграмма направленности несимметричного вибратора в пространстве

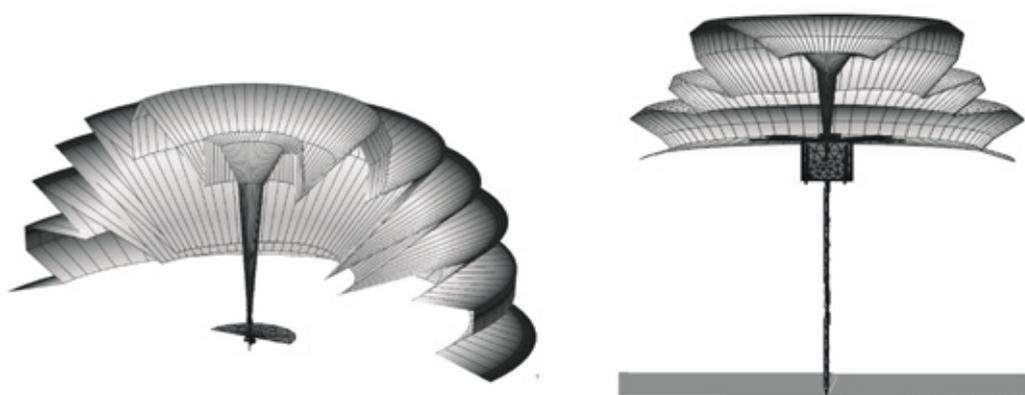


Рис. 4. Диаграммы направленности несимметричного вибратора с учётом влияния растительных ярусов и подстилающей поверхности (земли)

наковой частотой должны находиться в зоне уверенной радиовидимости;

— для снижения уровня радиопомех, мощности излучения, повышения электромагнитной совместимости и, главное, обеспечения возможности достоверного контроля территории обслуживания, радиус ячейки должен быть небольшим, а размерность кластера, т.е. количество ячеек с разным набором частот, значительной. Увеличение количества ячеек в кластере позволяет получить еще один значимый выигрыш, а именно, сформировать наиболее удобную геометрию зоны мониторинга без нарушения принципа регулярности.

В случае возгорания в зоне функционирующего МАР, последний, на основе имеющихся датчиков, активизируется и передает сигнал о возгорании (уровни повышения температуры, задымления), свой порядковый номер и координаты размещения. Сигнал принимается аналогичными МАР соседних кластеров и после анализа своей территории и добавления оперативных данных в информационный контейнер, ретранслируется далее. Подобная ретрансляция напоминает волны, разбегающиеся по поверхности воды при единичном возмущении.

Рассмотрим пример формирования зоны мониторинга на основе стандартного семиэлементного кластера. Пусть очаг возгорания находится в ячейке с частотой $F1$ — черная ячейка на рис. 5а. При обнаружении задымления МАР этой ячейки активизируется и сформирует информационный пакет, структура которого рассматривалась выше. Этот сигнал зафиксируют МАРы первого яруса, имеющие ту же частоту $F1$ — рис. 5б. Количество этих МАР для регулярной структуры заведомо известно [3]. В свою очередь, каждый МАР, принявший сигнал, дополнит его своей информацией и в заданном временном ритме для исключения сетевых коллизий ретранслирует дальше. Так будет продолжаться до тех пор, пока сигнал не достигнет стационарного поста — рис. 5в.

Аналогично будут вести себя МАР с другими рабочими частотами $F2...F7$ при обнаружении возгорания при распространении пожара и/или задымления.

Т.о., на постах-регистраторах будет сформирована точно привязанная к местности, оперативно обновляемая схема очагов возгорания, учитывающая направления и скорость распространения пожара — рис. 6.

Из рис. 4 видно, что при трансляции сигнала МАР, расположенные на втором и последующих ярусах види-

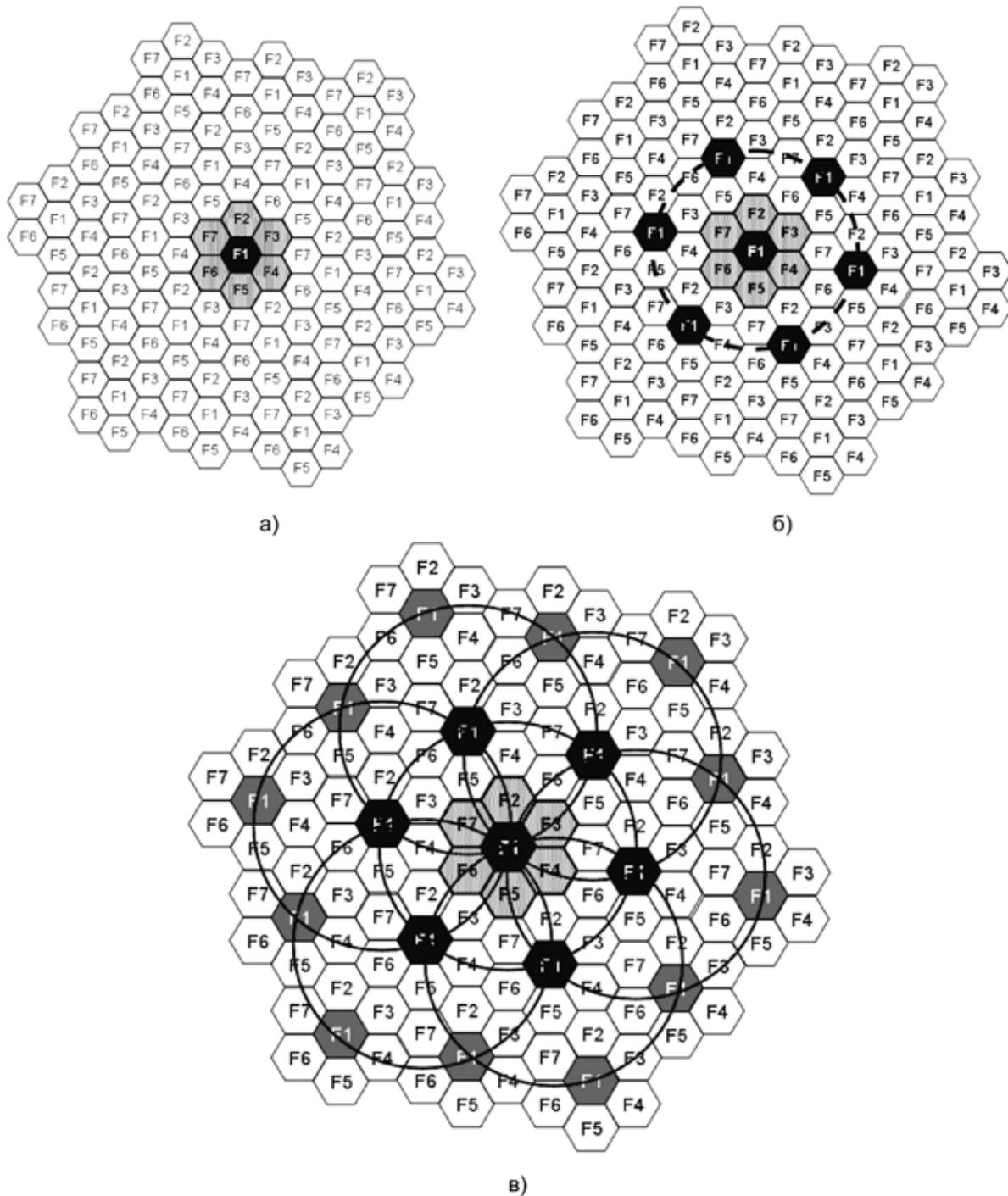


Рис. 5. Распространение информации о возгорании и очаге пожара

мости будут получать сигнал либо от одной, либо от двух станций совпадающей частоты. Однако, в любом случае, фигура, образованная активными МАР, будет соответствовать первичному шестиугольнику ячейки (соты).

При этом количество станций, охваченных сигналом только от одного передатчика, для любого яруса всегда

будет равно 6, а количество станций, охваченных сигналом от двух передатчиков нижнего яруса, может быть рассчитано следующим образом:

$$K_i = 6 \cdot (i - 1) \quad i > 1.$$

Литература:

1. Сорокин А.А., Смуров А.А. Синтез локальной двусторонней пейджинговой сетевой структуры на основе объединения традиционных систем персонального радиовызова и технологии полупассивной радиочастотной иден-

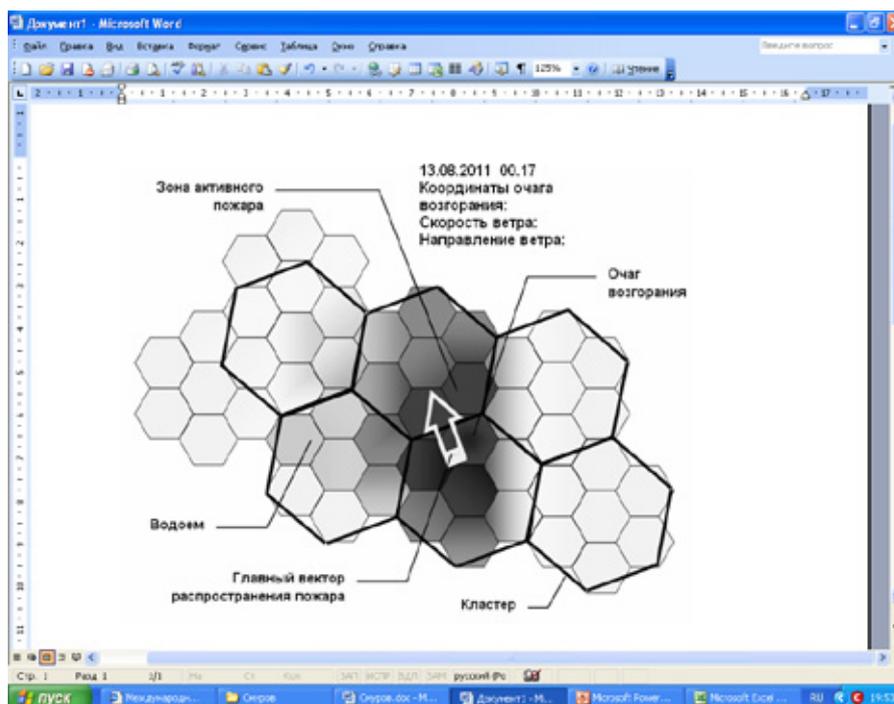


Рис. 6. Пример формирования схемы очагов возгорания и распространения лесного пожара на основе оперативных данных МАР

тификации (RFID-технологии). Сборник трудов XVII Международной НПК студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ-2011, Том 2, Томск, Россия, с. 249–250.

2. Сорокин А.А., Смуров А.А. Исследование вопросов проектирования многоэлементных регулярных микрокластерных структур для современных и перспективных мобильных телекоммуникационных сетей. Сборник трудов XVII Международной НПК студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ-2011, Том 2, Томск, Россия, с. 428–429.
3. Печаткин А.В. Системы мобильной связи. Ч. 1. Принципы организации, функционирования и частотного планирования систем мобильной связи: Учебное пособие – Рыбинск РГАТА имени П.А. Соловьева, 2009. – 122 с.

Повышение точности измерения объемного сопротивления изоляции кабельно-жгутовых изделий радиоэлектронной аппаратуры с помощью линейного резистивного сенсора на основе интегрального аналогового вычислителя

Кузнецов Александр Владимирович, студент;

Свербеева Наталия Станиславовна, студент;

Сорокин Артем Александрович, студент;

Печаткин Андрей Валентинович, кандидат технических наук

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА), устанавливаемая на борту воздушных летательных и космических аппаратов или использующаяся в составе систем автоматического управления ГТД и бортовыми механизмами, представляет собой сложный комплекс наукоемких изделий, функционирование которых, как правило, невозможно без взаимной связи друг с другом. Такая связь осуществляется на основе разнообразных

кабельно-жгутовых изделий (КЖИ), имеющих сложную структуру, значительную протяженность и большое количество проводных соединений, в т.ч. выполненных непосредственно на контактах разъемов.

Неисправность (отсутствие предусмотренных соединений, наличие непредусмотренных соединений) или выход за допустимые пределы параметров кабельного изделия (сопротивления проводов, сопротивления изо-

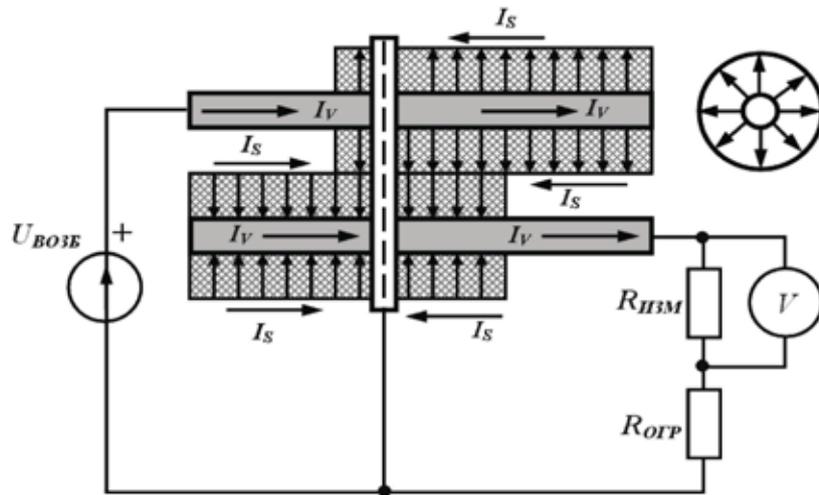


Рис. 1. Особенность измерения больших сопротивлений на основе резистивного токового сенсора

ляции, емкости, индуктивности проводника и т.п.) могут стать причиной неудовлетворительной работы бортового радиотехнического комплекса.

Сопротивление изоляции КЖИ РЭА, как правило, находится в диапазоне 50...200 МОм, и при его измерении необходимо учитывать целый комплекс влияющих факторов, искажающих достоверность получаемых результатов: наличие объемного и поверхностного сопротивлений, влияние температуры, влажности и других факторов.

Т.к. для измерения сопротивления изоляции КЖИ используются большие напряжения (100...1000 в), то приходится считаться с возможностью прохождения тока утечки по двум потенциальным путям: через объем испытуемого материала и по поверхности испытуемого материала. При измерении сопротивления изоляции кабеля могут возникнуть большие погрешности, вследствие того что прибор может измерять следующие токи утечки — рис. 1:

а) ток I_V , идущий от жилы КЖИ к его внешней оболочке через объем изоляции и обусловленный объемным сопротивлением изоляции КЖИ — характеризует сопротивление изоляции;

б) ток I_S , идущий от жилы кабеля к его оболочке по поверхности изолирующего слоя и обусловленный поверхностным сопротивлением — зависит не только от свойств изолирующего материала КЖИ, но и от состояния его поверхности.

Для устранения влияния поверхностей проводимости при измерении сопротивления изоляции на изолирующий слой накладывается охранный кольцо. В этом случае ток I_S будет проходить мимо измерительного прибора и не внесет погрешности в результаты измерения. При измерении больших сопротивлений следует также обращать серьезное внимание на изоляцию самой измерительной установки, так как в противном случае через измеритель будет проходить ток, обусловленный сопротивлением изоляции самой установки, что повлечет за собой соответствующую погрешность измерения, поэтому рекомендуется

применять экранирование или перед измерением производить проверку изоляции измерительной установки.

В настоящее время измерение сопротивления осуществляют на основе цифровых систем сбора и обработки информации, использующих в своем составе АЦП с 12-ю или 14-ю разрядами, при этом для линейаризации датчика используют различные программные способы. Вместе с тем, сопротивление изоляции КЖИ, как уже отмечалось выше, находится в значительном диапазоне, при этом нелинейность датчика будет настолько значительной, что использование программных методов линейаризации будет крайне затруднительным, независимо от количества разрешенных уровней АЦП — рис. 2.

Известный способ линейаризации характеристики резистивного датчика в широком диапазоне сопротивлений заключается в использовании усилителя, в т.ч. дифференциального в обратную связь которого включается измеряемое сопротивление $R_{ИЗМ}$, а на входе устанавливается компенсирующее сопротивление $R_{КОМП}$ — рис. 3.

Однако такой способ дает хорошие результаты только при измерениях единичных сопротивлений, т.е. отсутствии коммутации. В реальных условиях, автоматизация измерений сопротивлений изоляции КЖИ, содержащего до 60 и более проводных соединений, требует такого же количества коммутационного оборудования, а счетом необходимости анализа целостности изделия, реальное количество коммутационных элементов удваивается из-за необходимости контроля электрических соединений, выполненных непосредственно на контактах разъемов.

В автоматизированных системах контроля КЖИ в качестве коммутационных элементов возможно использование как электрических, так и оптоэлектронных реле. Использование последних предпочтительней в связи с отсутствием дребезга контактов, исключением их подгорания, большей надежностью и быстродействием, меньшим потреблением энергии, меньшими массогабаритными показателями. Однако любым оптоэлектронных

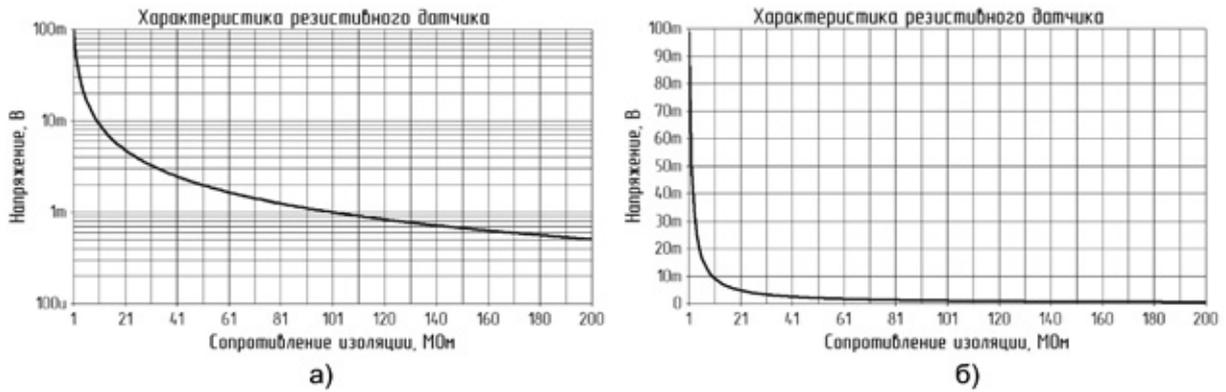


Рис. 2. Выходные характеристики резистивного датчика для измерения сопротивления изоляции в диапазоне от 1 до 200 МОм: а) в линейном масштабе; б) в логарифмическом масштабе

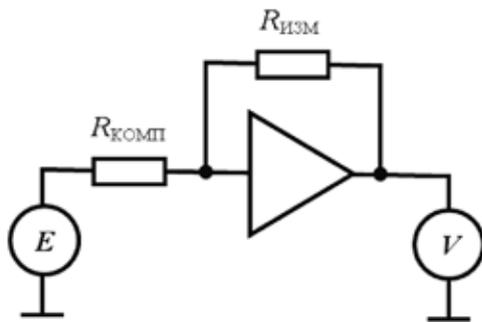


Рис. 3. Линеаризация датчика измерения больших сопротивлений

реле присущ существенный недостаток, а именно, наличие тока утечки, т.е. конечное значение сопротивления в закрытом состоянии R_{OFF} . Значение этого сопротивления колеблется в диапазоне от 100 МОм до 10 ГОм. При наличии нескольких десятков коммутационных каналов эти сопротивления образуют параллельное включение, в результате чего происходит резкое снижение линейности характеристики датчика и, как следствие, потеря точности измерения.

Для устранения этого недостатка, с учетом указанных выше требований к процессу измерения изоляции предлагается аппаратный способ линеаризации выходного сигнала с резистивного датчика на основе дифференциального усилителя и интегрального делителя с возможностью программного управления шкалой выходного ин-

формационного сигнала, подвергающегося дальнейшей оцифровке. Обобщенная структурная схема резистивного интегрального датчика показана на рис. 4.

Датчик представляет собой резистивный делитель с общим сопротивлением 10 кОм и соотношением $R/19R$, обеспечивающий при возбуждении датчика напряжением постоянным напряжением $U_{возб} = 100$ В получение информационного напряжения $\Delta U_{R_{изм}}$ от 250 мкВ до 5 В в диапазоне измеряемых сопротивлений от 0 до 200 МОм.

Компьютерная модель датчика представлена на рис. 5.

В качестве интегрального одноквадрантного делителя выбрана специализированная микросхема АСU АD538 (аналоговое вычислительное устройство) компании Analog Devices, осуществляющая вычисление ряда математических функций, в том числе операции деления, с точностью 0,25 % полной шкалы – рис. 6. Дополнительным преимуществом данного вычислительного устройства является возможность возведения в степень выходного напряжения. Показатель степени варьируется в диапазоне от 1 до 5.

Незначительное сопротивление резистивного датчика по отношению к измеряемому сопротивлению изоляции позволяет получить более точное значение тока утечки, участвующее в последующих расчетах сопротивления изоляции.

Использование дифференциального усилителя с входом на полевых транзисторах, коэффициентом $K_U = 2$, низким уровнем токов утечки и смещения и значительным коэффициентами усиления с разомкнутой обратной связью



Рис. 4. Обобщенная структурная схема резистивного интегрального датчика

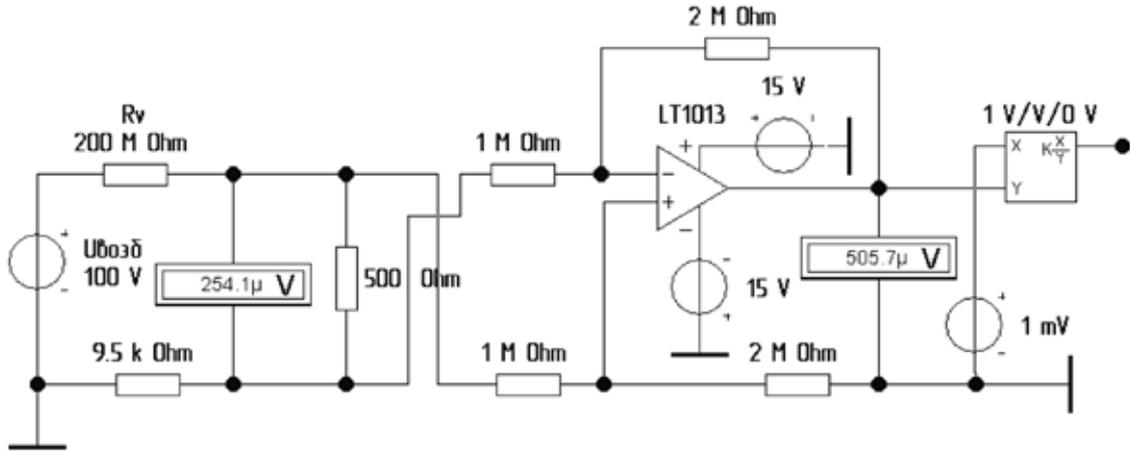


Рис. 5. Компьютерная модель резистивного интегрального датчика объемного сопротивления изоляции

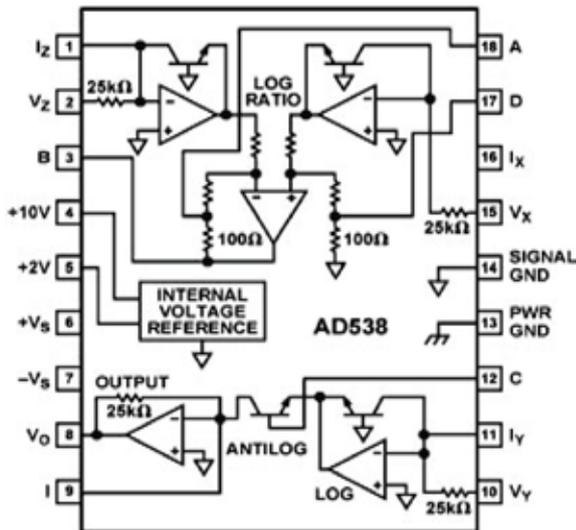


Рис. 6. Структурная схема аналогового вычислителя

позволяет получить существенное подавление синфазных помех и обеспечить необходимый уровень выходного напряжения U_y , подаваемого на вход Y интегрального делителя.

На второй вход делителя – вход X – подается напряжение $U_x = 10$ мВ. В результате на выходе датчика формируется линейно изменяющееся напряжение в диапазоне $0 \dots U_{\text{МАКС}}$, масштаб которого – от 1 до 10 – задается аналогичным напряжением, подаваемым на вход Z интегрального делителя – рис. 7.

$$U_{\text{вых лин}} = \left[U_z \frac{U_x}{K_U \times \Delta U_{R_{\text{изм}}}} \right]^n$$

При использовании коммутируемых каналов линейность сенсора нарушается, однако применению степенной

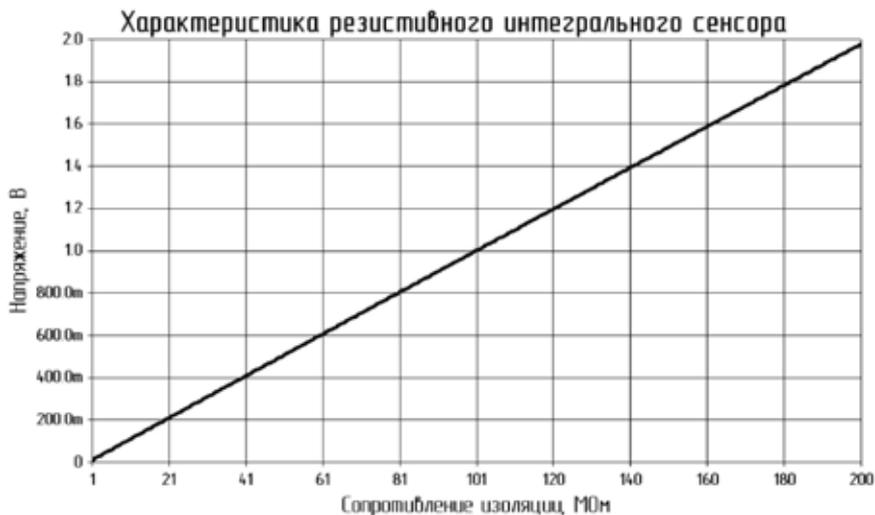


Рис. 7. Выходная характеристика резистивного интегрального сенсора для измерения объемного сопротивления изоляции в диапазоне от 1 до 200 МОм при отсутствии коммутационных каналов

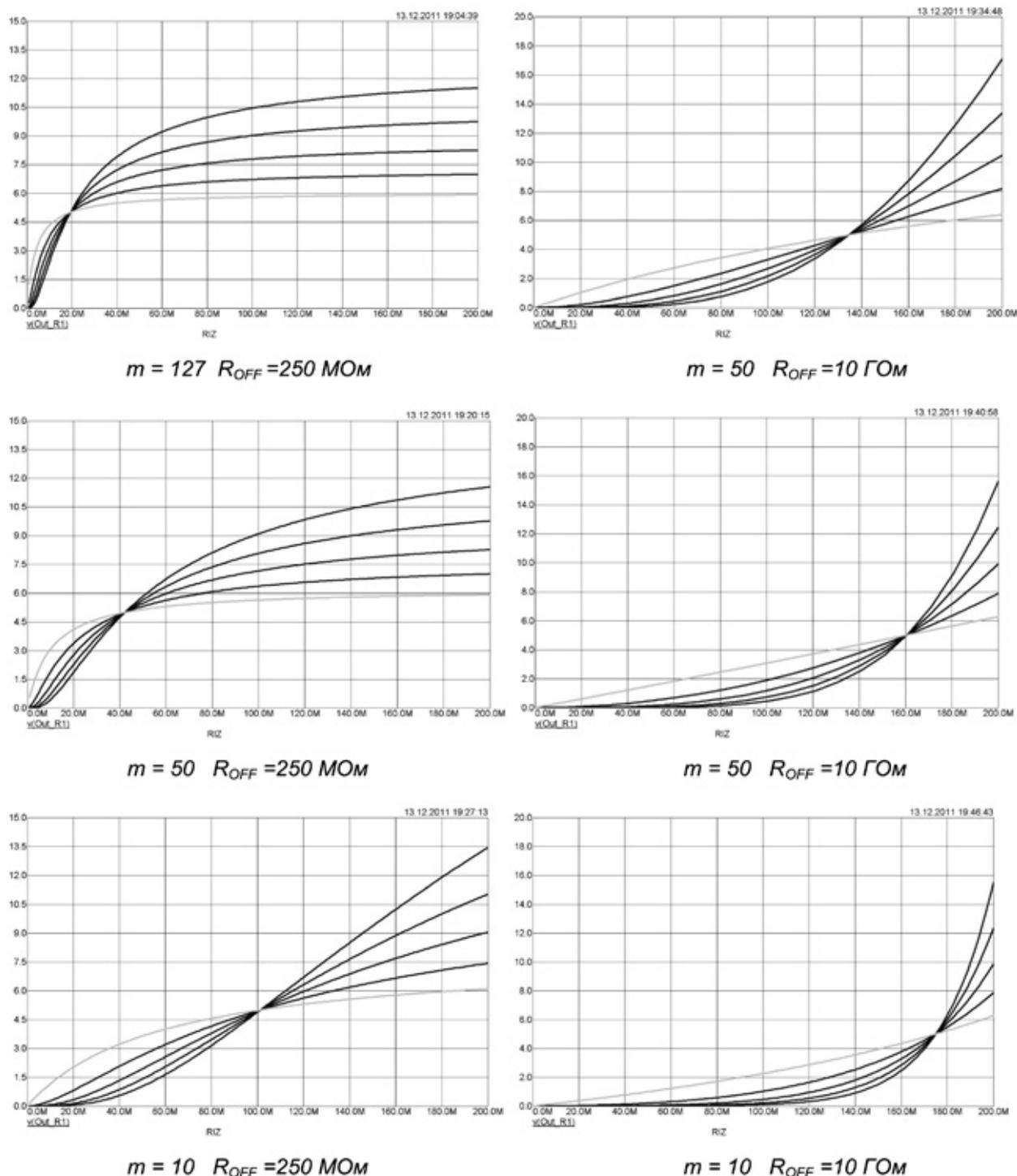


Рис. 8. Результаты моделирования выходной характеристики резистивного сенсора для двух видов оптоэлектронных ключей при вариации количества коммутационных каналов m в диапазоне измеряемых сопротивлений от 10 до 200 МОм

функции возвращает характеристику к линейному виду. Выбор показателя степени определяется количеством коммутационных каналов и значением сопротивления утечки используемых электронных ключей.

Результаты компьютерного моделирования различных количественных вариантов коммутационных каналов при вариации показателя степени в разрешенном диапазоне от 1 до 5 для двух видов оптоэлектронных ключей с сопро-

тивлениями утечки $R_{OFF} = 250 \text{ MOm}$ и $R_{OFF} = 250 \text{ ГОм}$ соответственно в диапазоне измеряемых сопротивлений от 10 до 200 МОм представлены на рис. 8.

Использование данного резистивного сенсора позволяет расширить границы измерения сопротивлений, сдвигая их в более низкоомную область. При этом результаты линейаризации «инверсны» по отношению к полученным ранее – рис. 9.

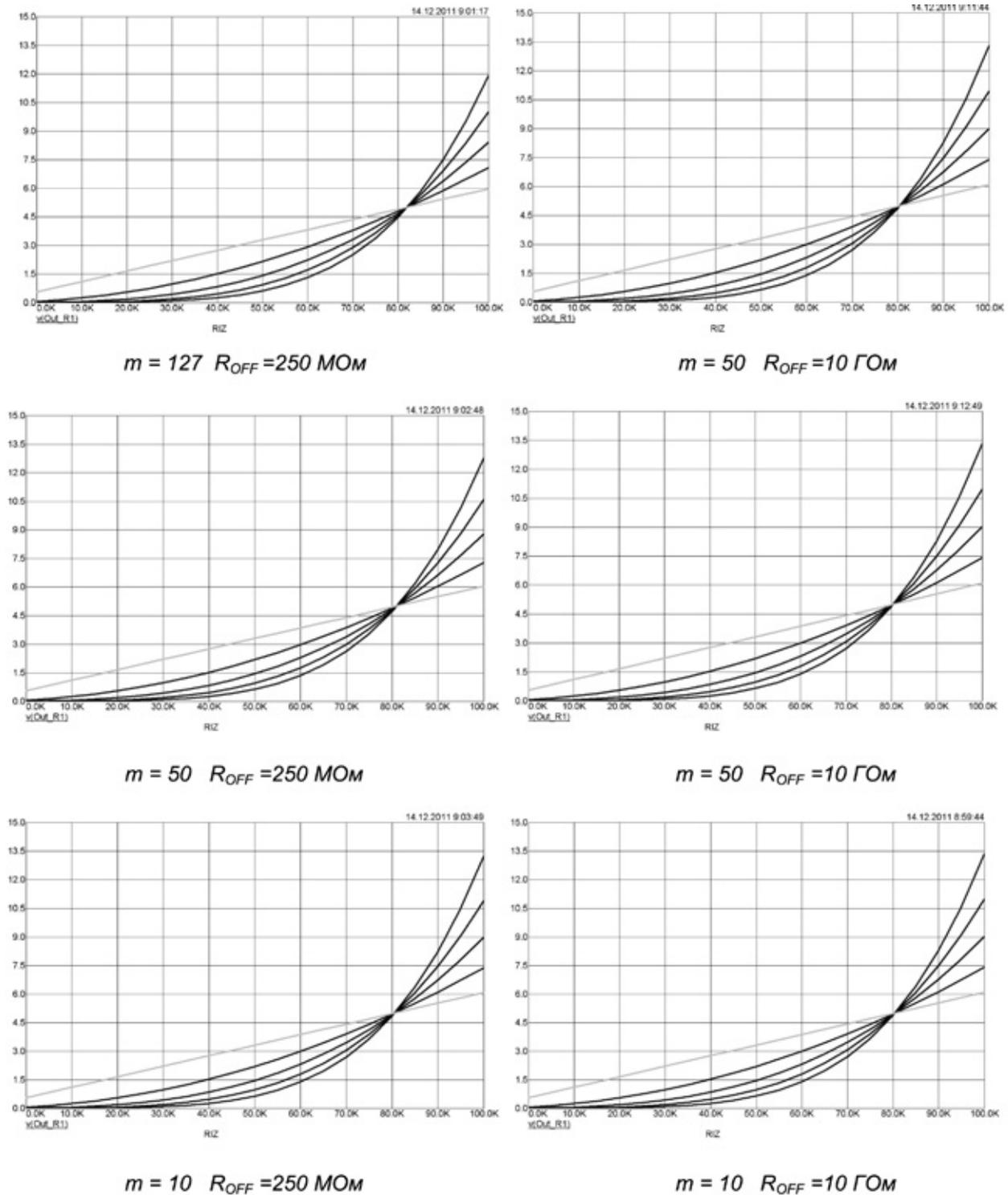


Рис. 9. Результаты моделирования выходной характеристики резистивного сенсора для двух видов оптоэлектронных ключей при вариации количества коммутационных каналов m в диапазоне измеряемых сопротивлений от 1 до 100 кОм

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) при измерении больших сопротивлений (выше 1 МОм) повышение показателя степени повышает линейность характеристики датчика и точность получаемых результатов независимо. Значение показателя степени зависит от количества коммутационных каналов;

2) при измерении относительно малых сопротивлений (менее 1 МОм) уменьшение показателя степени повышает линейность характеристики датчика и точность получаемых результатов независимо. Значение показателя степени практически не зависит от количества коммутационных каналов.

В заключении следует отметить, что использование оптоэлектронных реле со значением $R_{OFF} = 250$ МОм позволяет не только получить выигрыш в конструкторском ис-

полнении и плотности упаковки компонентов на печатной плате, но и существенно снизить стоимость коммутационных элементов, а именно, от 5 раз и более.

Литература:

1. Ануфрик М.С., Зеленцова О.А., Печаткин А.В. Автоматизация испытаний жгутовых соединений для аэрокосмического оборудования. Сборник материалов НТК «Решетневские чтения», Часть 1 СГАУ им. М.Ф. Решетнева, г. Красноярск, 2009, с. 241
2. Зеленцова О.А. Смирнов Д.А. Автоматизация и информатизация процессов испытаний жгутовых соединений бортового электронного оборудования. Сборник трудов XVI Международной НПК студентов и молодых ученых «Современные техника и технологии» СТТ-2010, Том 1, Томск, Россия, с. 200–202
3. Кузнецов А.В., Свербеева Н.С., Сорокин А.А. Линейный резистивный сенсор для измерения объемного сопротивления изоляции кабельно-жгутовых изделий радиоэлектронной аппаратуры на основе интегрального делителя. Материалы молодежной научной конференции с международным участием «Проблемы фундаментальных и прикладных, естественных и технических наук в современном информационном обществе», МФТИ, Москва, 2011, с. 81–82

Видеотрекинг спортсменов. Помехи и их особенности

Розумняк Николай Николаевич, аспирант
Уфимский государственный авиационный институт

Введение

Современная наука о физиологии и теле человека проявляет интерес к моторике и особенностям движения человеческого тела. Многие аспекты нашего здоровья и физического состояния зависят от того, как мы двигаемся. Ярким тому примером может быть любой спортсмен, ведь от того какие движения и как именно он совершает, зависит то, каких результатов он сможет добиться. То же можно сказать о тех, кто получил какую-либо травму и находится на лечении, то есть наблюдая за их моторикой можно сделать выводы о их физическом состоянии и в некоторой степени сделать выводы о том, что может их беспокоить.

Большое значение в исследованиях подобного рода играют системы видеотрекинга. Видеотрекинг – это способ определения положения одного или нескольких движущихся объектов по их видеоизображению. Применительно к медицине и спорту это определение положения и точной позы спортсмена в процессе выполнения им каких-либо упражнений.

Развитие методов трекинга

Важным событием в истории развития методов визуального трекинга стало создание в 1981 г. Дж. Лукасом и Т. Канаде алгоритма сопоставления (или регистрации) двух изображений [1]. Этот алгоритм по классификации, предложенной С. Бэкером и И. Мэтьюсом [2], также можно назвать прямым аддитивным алгоритмом. В данном методе используется градиент интенсивности

пикселей изображения, а параметры наилучшего совпадения изображений определяются алгоритмом минимизации Ньютона. Лукас и Канаде показали, каким образом можно обобщить этот алгоритм на случаи перемещения, вращения, масштабирования и других моделей движения. Алгоритм [1] стал фактическим стандартом для использования во многих задачах, например, таких как компрессия видео (MPEG и H.263) и трекинг лица и головы человека [3]. В дальнейшем появились многочисленные модификации и аналогичные ему методы, например [4].

Рассмотрим некоторые методы проведения трекинга на видео. По типу необходимого вмешательства извне выделим методы, требующие нанесения определенных маркеров на человека и методы, не требующие наличия маркеров. В качестве маркеров могут выступать специальные отражатели или излучатели (например, светодиоды). В целом подобные методы надежны и точны, однако использование маркеров неудобно и ограничивает движения. Стоит отметить, что методы применяющие маркеры могут быть недопустимы при отслеживании движений спортсмена, так как наличие на его теле датчика, либо метки могут повлиять на его моторику и помешают получить достоверные результаты.

Методы, не использующие маркеры, могут обходиться обычной камерой. По типу используемой камеры выделим методы, работающие с камерой инфракрасного диапазона (IR-камера) [4] и методы, работающие с камерой видимого диапазона. Использование инфракрасной камеры в настоящее время не находит широкого применения.

По количеству используемых камер можно выделить методы отслеживания головы, работающие: с одной (мо-



Рис. 1 Размытое движение спортсмена

нокулярные), с двумя (стерео) [5], с несколькими камерами [6].

Само по себе проведение трекинга объекта на видеозаписи, является сложной задачей и имеет свои проблемы и трудности. Стоит заострить внимание на нескольких из них, которые имеют особенно большое влияние на результаты слежения за спортсменами. Как правило, наилучшие результаты и наибольшая отдача у спортсменов бывают во время соревнований. Но так как такие мероприятия проходят обычно при большом стечении людей и на больших площадях, это накладывает ряд помех на анализируемый видеофрагмент. Таким образом, можно выделить три основные проблемы при анализе отснятых видеофрагментов.

1. Размытие. В процессе выполнения упражнения движения человека могут быть достаточно быстрые, и обычная камера не может запечатлеть их в подробности. В результате вместо четкого контура получается размытая нечеткая форма, как изображено на рис. 1. Так же размытые кадры в видеофрагменте могут получиться из-за движения самой камеры, например при резкой смене ракурса съемки.

2. Освещенность. Освещенность объекта динамична и меняется со временем. Особенно большое влияние имеет резкое изменение освещенности, что может вызвать срыв отслеживания, к таким резким изменениям можно отнести вспышки фотоаппаратов.

3. Движение в кадре. Двигается не только человек или камера, но и все вокруг них. В случае съемки спортсмена (передний план) это могут быть другие участники, тренеры, помощники, болельщики и так далее (задний план). Все это приводит к тому, что в процессе обработки данных могут возникнуть помехи в виде перекрытия объекта, либо появления в кадре объекта очень похожего на анализируемый, что в свою очередь приведет к нежелательным сбоям и к искажению данных.

Рассмотрим существующие решения этих проблем. Решения проблемы размытости может послужить алгоритм разработанный Рамеш Раскаром [7]. Основная идея алгоритма состоит в том, что объект записывается с разной PSF (point-spread function) частотой функцией и частотные провалы одного кадра заполняются другими кадрами. Комбинирование полученной последовательности и помогает устранить размытость. Так же эту



Рис. 2. Движение заднего фона



Рис. 3. Область поиска квадрат со стороной 10 пикселей.

проблему можно решить, используя высокоскоростную камеру.

Используя смесь нормальных распределений можно создать такой алгоритм, который создает попиксельную модель сцены и с поступлением каждого нового кадра обновляет модель и классифицирует каждый пиксель как принадлежащий к заднему или к переднему плану. Используя и обучая такую модель можно создать алгоритм способный решить проблему, связанную с освещенностью и с посторонним движением в кадре.

Отдельно стоит обсудить быстродействие алгоритмов отслеживания движений. Видео, даже самого плохого качества, представляет собой большой массив данных. В случае с видео плохого и среднего качества, это объем информации порядка сотен мегабайт, видео с хорошим качеством может иметь значительно больший объем, от одного гигабайта и выше. Однако большая часть этого массива не представляет для нас интереса и в получении данных не участвует. Как правило, предметом отслеживания становится группа пикселей, поиск которой на изображении производится в области определенной формы и размера: круг, квадрат, треугольник и т.д. Размер и форма этой области имеет значительное влияние на быстродействие алгоритма.

Рассмотрим схему работы на примере алгоритма, где область поиска представляет собой квадрат. Допустим, что область поиска это квадрат со сторонами 10 на 10 пикселей (рис 3) то, есть надо проанализировать 100 пикселей.

Это небольшой объем информации, однако если, искомая группа, пикселей не входит в анализируемую область, необходимо будет увеличить эту область. Например, вместо квадрата со стороной 10 пикселей, будет анализироваться квадрат со стороной 50 пикселей (рис 4), то объем информации увеличится со 100 пикселей до 2500, что представляет собой значительный массив данных.

Такую проблему можно решить следующим образом. В процессе отслеживания движений, можно предугадать, где на следующем кадре будет находиться, интересующая нас группа пикселей, так как движения спортсменов, выполняющих одно и то же упражнение, идут по одинаковым траекториям. Следовательно, если вычислить вектор движения, искомой группы, то в области поиска можно, выделить ту ее часть, в которой наиболее вероятно присутствие искомой группы пикселей. Таким образом, можно в значительной мере увеличить быстродействие алгоритмов анализа.



Рис. 4. Область поиска квадрат со стороной 50 пикселей

Литература:

1. Lucas B. An Iterative Image Registration Technique with an Application to StereoVision / B.D. Lucas, T. Kanade // Proc. 7th Intl. Joint Conf. on Artificial Intelligence. – Vancouver, British Columbia, 1981. – P. 674–679.
2. Baker S. Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework: Part 1 / S. Baker, I. Matthews // Tech. report CMU-RI-TR-02–16, Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Pittsburg, 2002. – 47 p.
3. Robust Full-Motion Recovery of Head by Dynamic Templates and Reregistration Techniques / J. Xiao, T. Moriyama, T. Kanade, J. Cohn // Intl. Journal of Imaging Systems and Technology – N.Y.: Wiley. 2003. – Vol. 13. – P. 85–94.
4. Hager G. Efficient Region Tracking With Parametric Models of Geometry and Illumination / G. Hager, P. Belhumeur // IEEE Tran. Pattern Analysis and Machine Intelligence. – Washington, DC: IEEE Computer Society, 1998. – Vol. 20. – P. 1025–1039.
5. Morency L. Stereo Based Head Pose Tracking Using Interactive Closest Point and Normal Flow Constraint // Master thesis, AI Tech. Report 2003-006. 2003. 60 P.
6. Ashdown M. Combining Head Tracking and Mouse Input for a GUI on Multiple Monitors / M. Ashdown, K. Oka, Y. Sato // Proc. of Conf. Human Factors in Computing Systems, Portland, OR, USA. 2005. P. 1188–1191.
7. Invertible motion blur in video / Amit Agrawal, Yi Xu, Ramesh Raskar / ACM Transactions on Graphics (2009)

Математическая модель формирования радиотелефонного канала для передачи аудиоинформации

Цебренок Константин Николаевич, кандидат технических наук, доцент;

Чегодаев Николай Игоревич, аспирант

Академия маркетинга и социально-информационных технологий ИМСИТ (г. Краснодар)

Согласно концепции устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 года, опубликованной центром экономической безопасности Российской Федерации [1, с. 30] необходимо обеспечить телефонизацию всех сельских населенных пунктов и объектов социальной сферы. Однако прокладка проводных линий связи невозможна в силу действующих экономических или технических ограничений [2].

В этой связи актуальна задача телефонизации объектов хозяйственной деятельности, расположенных в местности, где отсутствуют проводные телефонные линии связи абонентов. Передача аудио информации может быть основана на развёртывании на объекте систем абонентского радио доступа. Одним из вариантов решения задачи является интеллектуальный радиоудлинитель телефонной линии, математическая модель которого предлагается к рассмотрению.

Радиоудлинитель телефонной линии включает в себя абонентский и базовый блоки, которые находятся на значительном удалении друг от друга. К базовому блоку непосредственно подключаются, имеющиеся проводные телефонные линии. Абонентский блок подразумевает непосредственное подключение стандартных телефонных аппаратов. Базовый и абонентский блоки радиоудлинителя взаимодействуют через радио канал связи посредством стандартных серийно выпускаемых радиостанций, что позволяет не ограничивать частотный диапазон канала. Устройство работает в дуплексном радиоканале с разнесёнными частотами. Для предотвращения несанкционированного использования канала в устройстве предусмотрена взаимная аутентификация блоков устройства. Логика работы радиоудлинителя не подразумевает использование нестандартных сигналов для взаимодействия с телефонной линией. Радиоудлинитель ретранслирует стандартные сигналы от автоматических телефонных станции к абоненту и обратно. Радиоудлинитель телефонной линии позволяет работать с несколькими телефонными линиями одновременно. Интеллектуальный радиоудлинитель телефонной линии выполняет непосредственный перенос функций проводной телефонных линий посредством дуплексного радиоканала [2]. Необходимо построить математическую модель устройства, для того, чтобы получить представления о процессах, происходящих при передаче аналоговой информации описанным выше радиоудлинителем, посредством математического описания.

Общая цель моделирования может быть сформулирована, как расчёт значений передаваемого аудио информационного сигнала по времени в радиоканале с учётом влияния факторов внешней среды. Цель моделирования указанной системы состоит в теоретическом изучении процесса установления связи между блоками и передачи аудиоинформации при заданных условиях внешней среды, а также внутренних служебных процессов коммутации внутри блоков системы. Необходимо установить математические и аналитические зависимости между параметрами аудио информации, приближенно описывающими поведение системы. Установить последовательность применения уравнений и вычисления параметров их составляющих.

Данная модель актуальна, в связи с необходимостью показать общую структуру детерминированных сигналов, передача которых является непосредственной задачей радиоудлинителя, принцип действия которого заключается в перенесении свойств удалённой телефонной линии к телефонному аппарату абонента посредством дуплексного радио канала [2], установить законы их взаимодействия, влияния внешней среды для того, чтобы уточнить способы управления формированием и передачей таких сигналов при заданных условиях внешней среды. Для достижения последнего над математической моделью проводят численные эксперименты, то есть исследования характера изменения параметров объекта во времени при применении его модели, что в свою очередь позволяет наглядно представить результаты и установить между ними зависимости. Последние представляют собой расстояние между объектами, накладываемые на детектирование сигналов ограничивающие соотношения сигнал-шум, демонстрирующие, в свою очередь, влияние шума на полезный сигнал, а также условия ограничивающие поведения сигнала при его модулировании, нарушение которых может привести к его последующей перемодуляции. Также модель позволит спрогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов воздействия на объект, с учётом изменений отдельных параметров полезного сигнала и ограничивающих факторов передачи [4].

Авторами планируется поэтапное построение модели. Таким образом, составная модель системы должна включать в себя приведённую в статье аналитическую модель аналоговой части разработанного устройства, модель цифровой части, отвечающий за управление коммутацией частей устройства, а также имитационная модель системы в виде программы для электронной вычислительной машины на одном из распространённых языков программирования.

Построение данной модели соответствует процессу планирования построения модели, представленного с помощью функциональной схемы [3, с. 7], приведённой на рисунке 1.

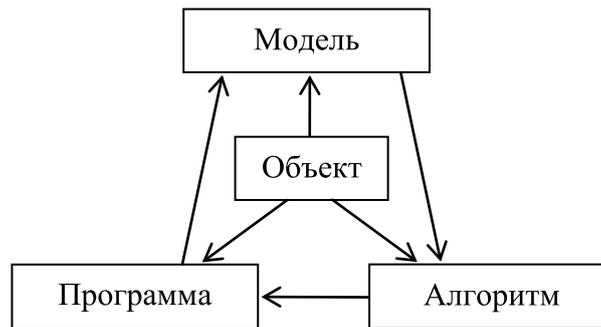


Рис. 1. функциональная схема планирования процессам моделирования

Как показано на рисунке 1, постановка вопроса о моделировании какого-либо объекта или процесса включает их формализацию, алгоритмизацию и непосредственное составление и отладку программы. Под формализацией понимается построение математической модели [4, с. 33].

Рассмотрим, как исследуемый объект взаимодействует с внешней средой. Объект имеет свойство непрерывно усложняться, то есть является сложной системой различных компонент, взаимосвязанных друг с другом. Примем системный подход к созданию модели, при котором необходимо выделить систему S и внешнюю среду E [4, с. 21]. При этом модель также является системой $S' = S'(M)$, рассматриваемой относительно внешней среды E [4, с. 22]. Структура системы приведена на рисунке 1.

В качестве внешней среды E в данном случае рассматривается физический уровень передачи данных, включающий среду передачи данных, а также элементы передачи данных, состоящие из радиопередающих устройств и антенн. Таким образом, внешняя среда E объективно находится вне исследуемой системы, а, следовательно, и модели данной системы, одновременно находится под воздействием системы и оказывает влияние на неё [4, с. 20].

На основании данных о внешней среде построена аналитическая модель и выявлены ограничения для построения системы [4, с. 24]. Влияние модели внешней среды E' , носит ограничивающий характер в виде рекомендуемых параметров элементов передачи данных, достаточных для функционирования системы с целью решения задач построения устройства радиоудлинения [2]. Также обратимся к натурному моделированию, когда данные полученные с помощью модели адекватны реальному объекту. Таким образом, в данном случае, кроме математического, имеет место также натурное моделирование, то есть проведение исследования на реальном объекте с последующей обработкой результатов эксперимента на основе теории подобия [4, с. 36], являющейся основанием теории моделирования [4, с. 31].

Элемент аналоговой коммутации предназначен для формирования аудио канала связи [2], что указывает на колебательный характер процессов, происходящих в последнем. Сказанное верно и для элемента аутентификации, с той разницей, что аутентификация производится с помощью двухтональных многочастотных сигналов (DTMF) [2]. Очевидно, что элементы аутентификации и аналоговой коммутации, в общем случае, представляют собой источники колебаний, в пределах модели для них могут быть определены сходные функции, поэтому в качестве основы для количественной и качественной описательной оценки происходящих в устройстве процессов, то есть в качестве модели, устройства, подходит колебательный LC-контур [3, с. 50]. В силу сложности описания сложных голосовых сигналов, ограничимся моделью через колебательный электрический процесс, который основан на фундаментальных законах природы. Отстроение моделей с использованием фундаментальных законов природы является распространённым методом построения моделей [3, с. 11]. В силу того, что таковые законы общепризнанны, подтверждены опытом, их обоснованность не вызывает сомнений, они актуальны для построения всех математических моделей [3, с. 11]. Составим функциональную схему математической модели. Функциональная схема модели аналоговых процессов системы приведена на рисунке 2.

Уравнение, описывающее колебательный процесс в одном из простейших электрических колебательных контуров через изменение значений тока и напряжения [3, с. 50], изображённых на рисунке 2, следующее (1):

$$u(t) = L \frac{di}{dt} \quad (1)$$

L — значение индуктивности контура,

$\frac{di}{dt}$ — дифференциал, описывающей значения силы тока в системе по времени,

$u(t)$ — функция изменения напряжения.

Уравнение (3) справедливо для каждого из электрических колебательных контуров модели, приведённой на рисунке 3, однако, каждый из колебательных контуров имеет собственную частоту колебаний, поэтому переменные равенств

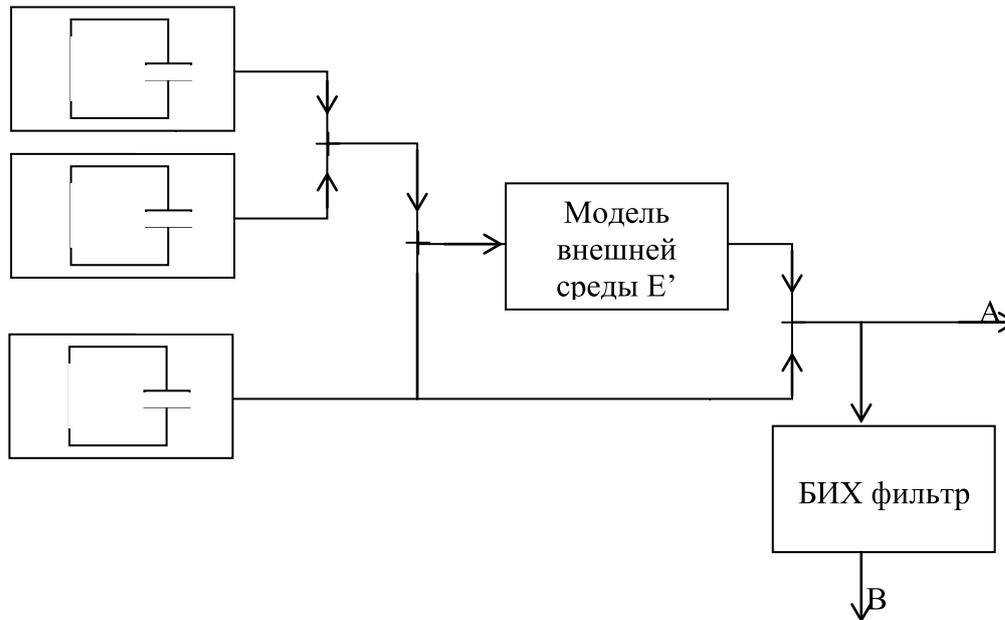


Рис. 2. Функциональная схема модели аналоговых процессов описываемой системы

Для математического моделирования сложного сигнала в системе, состоящего из нескольких частот необходимо сложить сигналы двух контуров модели, изображённой на рисунке 2, таким образом, получим равенство (2):

$$u_1(t) - L_1 \frac{di_1}{dt} + u_2(t) - L_2 \frac{di_2}{dt} = 0 \tag{2}$$

Таким образом, получим сложный сигнал, который для упрощения восприятия запишем в виде уравнения (3):

$$u_{осн}(t) = L_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} \tag{3}$$

Уравнение (9) представляет в модели сложный аналоговый сигнал, который должен быть промодулирован [5]. Промодулируем сложный основной сигнал, описанный в выражении (3), получим следующее уравнение для модулированного сигнала (4):

$$u_{ам}(t) = L_3 \frac{di_3}{dt} \left[1 + mL_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} \right] \tag{4}$$

Для детектирования сигнала необходимо учесть соотношение сигнал-шум [5, с. 175], по следующей формуле (5):

$$\frac{C}{Ш} = \frac{P}{2\eta W} \quad , \text{ где} \tag{5}$$

$$\frac{C}{Ш} \text{ — соотношение сигнал-шум}$$

P — мощность сигнала,

ηW — коэффициент, учитывающий амплитуду шумов и ширину полосы частот.

Для целей данной модели учитываем, что приёмо-передающий элемент, изображённый на рисунке 2, генерирует только гауссовы шумы с амплитудой $\eta/2$. Мощность сигнала является ограничением, накладываемым внешней средой и имеет квадратичную зависимость от расстояния [6, с. 178], запишем выражение для мощности передаваемого сигнала (6):

$$P = \frac{P_z D_{np} D_n \lambda^2}{4\pi^2 S^2} \quad , \text{ где} \tag{6}$$

P_e – мощность передатчика в момент приёма абонентом сигналов, для данной модели примем $P_e = const$,
 $D_{np}D_n$ – коэффициенты, определяющие усиление сигнала в направлении к приёмнику и от него, для целей данной модели примем равными единице, для данной модели считаем $D_{np}D_n = const$,

λ – длина волны, аналогично выше сказанному, $\lambda = const$

S – расстояние между приёмо-передающими элементами среды Е, изображёнными на рисунке 2, поскольку расстояние между приёмо-передающими подсистемами объекта в реальности не изменяется, то считаем $S = const$.

Уравнение (7) для определения соотношения сигнал-шум модели внешней среды Е' модели выглядит следующим образом:

$$\frac{C}{Ш} = \frac{P_e D_{np} D_n \lambda^2}{8\pi^2 S^2 \eta W} \tag{7}$$

БИХ фильтр или фильтр с бесконечной импульсной характеристикой в данной модели предназначен для имитации устройств, ответственных за распознавание двухтональных многочастотных сигналов набора номера, и работает по алгоритму Герцеля, подробно описанному в публикации [7], структурная схема описанного БИХ фильтра приведена на рисунке 3.

Значение (8) вещественного коэффициента α для схемы на рисунке 3 [7]:

$$\alpha = 2 \times \cos\left(2 \times \pi \times \frac{k}{N}\right), \text{ где} \tag{8}$$

k – номер спектрального отсчёта,

N – количество точек преобразования.

Для схемы изображённой на рисунке 3, значение $S(k)$ определяется уравнением (9):

$$S(k) = W_N^{-k} \times v(N-1) - v(N-2), \text{ где} \tag{9}$$

$S(k)$ – комплексные отсчёты спектра по Фурье,

$W_N^{n \times k}$ – поворотные коэффициенты, обладающие следующим свойством: $W_N^{-k \times N} = \exp(-j \frac{2\pi}{N} \times n \times k)$ при $k \in (0, N-1)$.

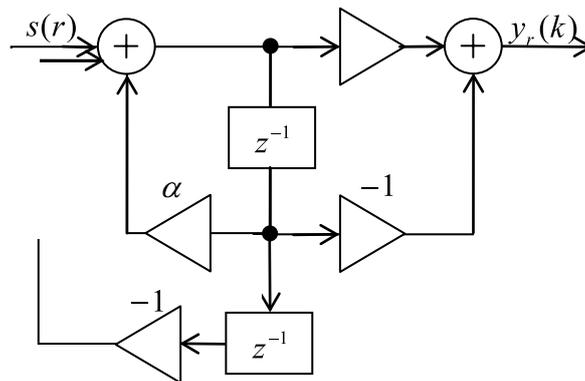


Рис. 3. структурная схема БИХ фильтра Герцеля

В уравнении (9) промежуточные значения $v(N-1)$ и $v(N-2)$ рассчитываются итерационно по формуле (10):

$$v(r) = s(r) + 2 \times \alpha \times v(r-1) - v(r-2) \tag{10}$$

Поворотные коэффициенты уравнения (9) имеют реальную часть $W_N^{-k} R = \cos(2 \times \pi \times \frac{k}{N})$ и мнимую

$W_N^{-k} I = \sin(2 \times \pi \times \frac{k}{N})$ части. С учётом последних исчисляются реальная $S_R = v(N-1) \times W_N^{-k} r - v(N-2)$ и мнимая $S_I = v(N-1) \times W_N^{-k} I$ части спектральных отсчётов.

Алгоритм Герцеля сводится к итерационному расчёту $\nu(r)$ по формуле (10), где последние итерационные значения помещаются формулу (9) для окончательного пересчёта спектрального отсчёта $S(k)$.

Очевидно, что реальные и мнимые части поворотного коэффициента уравнения (9), а также коэффициент α уравнения (10) опираются на характер сигнала. В связи этим необходимо для электромагнитного колебательного процесса конкретизировать форму колебательного сигнала.

Так уравнение (11) сложного колебательного процесса следующее:

$$u_{осн}(t) = U_{моос} \cos(\omega_{осн}t + \varphi_{осн}) \quad (11)$$

$u(t)$ – функция изменения величины напряжения,

U_m – максимальное (амплитудное) значение $u(t)$,

ω – угловая частота $\omega = 2\pi f$ или $\omega = \frac{2\pi}{T}$,

φ – сдвиг фаз.

Уравнение (12) модулированного сигнала следующее:

$$u_{ам}(t) = U_{m3} \cos(\omega_3 t + \varphi_3) [1 + m U_{моос} \cos(\omega_{осн} t + \varphi_{осн})] \quad (12)$$

Приведём ограничения для системы уравнений. Выше было замечено, что влияние модели внешней среды E' , носит ограничивающий характер. Приведём ограничение (13) распространения сигнала по формуле (7), обозначив максимальное значение полезного сигнала, как U_m , паразитного как U_n .

$$U_m \geq \frac{P_z D_{np} D_n \lambda^2 U_n}{8\pi^2 S^2 \eta W} \quad (13)$$

Отношение полезного сигнала к значению шумов должно быть достаточно велико [5, с. 178].

Выражение $1 + mL_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} > 0$, аналогично и выражение $1 + mU_{моос} \cos(\omega_{осн}t + \varphi_{осн}) > 0$, для чего необходимо выполнение условий $L_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} < 1$, $U_{моос} \cos(\omega_{осн}t + \varphi_{осн}) < 1$ и $1 < m \leq 1$, иначе возникнет перемодуляция сигнала, то есть избыточная модуляция, демодуляция такого сигнала приведёт к его искажениям [5, с. 136].

Коэффициент α для уравнения (10) должен изменяться по закону (8), также при моделировании по алгоритму Герцеля нужно учесть мнимые и реальные части. Таким образом, имеем системы аналогичных уравнений для сигнала с аналогичной системой ограничений.

Система уравнений (14), описывающая характеристики колебательного сигнала модели во времени выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{осн}(t) = u_1(t) + u_2(t), \\ L_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} = L_1 \frac{di_1}{dt} + L_2 \frac{di_2}{dt}, \\ u_{осн}(t) = L_{осн} \frac{di_{осн}}{dt}, \\ u_{ам}(t) = L_3 \frac{di_3}{dt} \left[1 + mL_{осн} \frac{di_{осн}}{dt} \right]; \end{array} \right. \quad (14)$$

Приведём систему ограничений для системы уравнений (14), ограничения вызваны присутствием материальных объектов, составляющих внешнюю среду E системы, непосредственно не входящих в модель [5, с. 99]. Соответствующая системе уравнений (14) система ограничений (15) выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} L_{очн} \frac{di_{очн}}{dt} < 1, \\ 1 + mL_{очн} \frac{di_{очн}}{dt} > 0, \\ 1 < m \leq 1; \end{array} \right. \quad (15)$$

Для конкретизации описания формы колебательного сигнала LC-контура модели приведём следующую систему уравнений (16), описывающих гармоническую составляющую сигнала:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{очн}(t) = u_1(t) + u_2(t), \\ U_{моос} \cos(\omega_{очн}t + \varphi_{очн}) = U_{m1} \cos(\omega_1t + \varphi_1) + U_{m2} \cos(\omega_2t + \varphi_2), \\ u_{очн}(t) = U_{моос} \cos(\omega_{очн}t + \varphi_{очн}), \\ u_{ам}(t) = U_{m3} \cos(\omega_3t + \varphi_3) [1 + mU_{моос} \cos(\omega_{очн}t + \varphi_{очн})]; \end{array} \right. \quad (16)$$

Соответствующая ей система ограничений (17) выглядит следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{моос} \cos(\omega_{очн}t + \varphi_{очн}) < 1, \\ 1 + mU_{моос} \cos(\omega_{очн}t + \varphi_{очн}) > 0, \\ 1 < m \leq 1, \\ U_m \geq \frac{P_\varepsilon D_{np} D_n \lambda^2 U_n}{8\pi^2 S^2 \eta W}; \end{array} \right. \quad (17)$$

Приведём систему уравнений (18) для описания подсистемы, моделирующего обработку сигнала на принимающей стороне:

$$\left\{ \begin{array}{l} v(r) = s(r) + 2 \times \alpha \times v(r-1) - v(r-2), \\ S(k) = W_N^{-k} \times v(N-1) - v(N-2); \end{array} \right. \quad (18)$$

Система ограничивающих условий (19) для данной системы следующая:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = 2 \times \cos(2 \times \pi \times \frac{k}{N}), \\ W_N^{-k} R = \cos(2 \times \pi \times \frac{k}{N}), \\ W_N^{-k} I = \sin(2 \times \pi \times \frac{k}{N}), \\ S_R = v(N-1) \times W_N^{-k} r - v(N-2), \\ S_I = v(N-1) \times W_N^{-k} I; \end{array} \right. \quad (19)$$

Приведённая математическая модель приближенно описывает процессы передачи информации для устройства интеллектуального радиодлинителя телефонной линии [2]. Модель адекватна реализации полезной модели радиодлинителя телефонной линии [2] с некоторой степенью приближения, что позволяет оценить параметры передаваемых

сложных сигналов по времени и по форме и вычислить их при различных начальных условиях. Аналитическая модель учитывает с некоторой степенью приближения помехи внешней среды (соотношение сигнал-шум) [6, с. 175], влияющие на распространение сигнала, расстояние между подсистемами. Вышесказанное позволяет проводить с использованием модели эксперименты с целью прогнозирования возможных условий передачи, оценки параметров генерации и анализа сигналов. Модель позволяет вести расчёт по параметрам передаваемых сигналов, даёт возможность рассчитывать показатели по комплексным отсчётам спектра сигнала при анализе, прогнозировать прямые и косвенные последствия реализации заданных способов воздействия на объект, с учётом изменений отдельных параметров полезного сигнала и ограничивающих факторов передачи. Модель адекватна реальному объекту и с определённой степенью приближения процесс его функционирования во внешней среде E [4, с. 88]. Основой модели служат фундаментальные законы природы [3, с. 11]. В приведённой математической модели, при заданных условиях внешней среды, установлены математические и аналитические зависимости между параметрами аудио информации, приближенно описывающими поведение описанной выше системы, установлена последовательность применения уравнений и вычисления параметров их составляющих в виде систем уравнений (14)–(18).

Литература:

1. Концепция устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации на период до 2020 года // Центр экономической безопасности [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://econsec.ru/files/28.pdf>
2. Чегодаев, Н.И. Проблематика научных исследований в области телефонизации удалённых объектов хозяйственной деятельности [Текст] / Н.И.Чегодаев // Молодой учёный – 2011. – №9 – с. 61–64.
3. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры [Текст] / А.А.Самарский, А.П.Михайлов – Физматлит, 2009–320 с.
4. Советов, Б.Я. Моделирование систем [Текст] / Б.Я.Советов, С.А.Яковлев – М.: Высшая школа, 2010–343 с.
5. Рид, Р. Основы теории передачи информации [Текст] / Р.Рид – Вильямс, 2007–304 с.
6. Мельник, Ю.А. Основы радиотехники и радио-технические устройства [Текст] / Ю.А.Мельник, Г.В.Стогов – М.: «Радио», 1978– 368 с.
7. Алгоритм Герцеля // Теория и практика обработки сигналов [Электронный источник] – режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/goertzel/goertzel.html>

3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Этапы повышения надежности конструкции датчиков УКСПС

Бейбулатова Светлана Ивановна, студент;

Селивёртов Денис Иванович, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Более десяти лет на сети железных дорог России активно внедряются устройства контроля схода подвижного состава УКСПС различных модификаций. Впервые приступить к разработке систем контроля схода подвижного состава в 90-х годах заставила череда крушений, вызванных входом на станцию сошедшего с рельсов подвижного состава. Этим тяжёлым последствием крушений можно было избежать, вовремя остановив на перегоне поезд, имеющий в составе сошедшие с рельс вагоны. Таким первым дополнительным устройством обеспечения безопасности движения с датчиками разрушающегося типа и стало УКСПС, предназначенное для фиксации всех случаев схода подвижного состава с последующим перекрытием ограждающих светофоров.



Основными составными частями УКСПС являются контактные датчики, стальные токопроводящие планки и переключки. Датчики УКСПС крепятся на деревянной шпале. Устройство имеет пять датчиков: три расположены внутри колеи, два снаружи. Сама конструкция создавалась в сжатые сроки без проведения полноценных исследований и испытаний для определения требуемых и фактических параметров срабатывания (разрушения) датчиков. Этим объясняются многие конструктивные и технологические просчёты конструкции УКСПС. Тем не менее, своевременность и оперативность внедрения этих устройств внесла неоценимый вклад в стабилизацию ситуации – были предотвращены десятки случаев проследования на станцию поездов, имеющих сход колесных пар вагонов, и выявлены сотни случаев волочения деталей или посторонних предметов. В настоящее время на

сети дорог ОАО «РЖД» эксплуатируются около 15 тысяч комплектов устройств контроля схода и волочения производства ЗАО «Термотрон – завод» и ЗАО «Дальневосточные технологии». [1]

Большинство недостатков датчиков выявлялось и устранялось уже в процессе текущей эксплуатации. У всех первых вариантов УКСПС есть один и тот же принципиальный недостаток – образование микротрещин в металлических планках, сварных соединениях, а также потеря электрического контакта в разных болтовых соединениях вследствие незащищенности электрической цепи от климатических и динамических воздействий. По данным анализа Управления автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» именно по этим причинам допускается до 90% ложных срабатываний устройств УКСПС и как следствие необоснованные задержки поездов. А это уже реальные убытки компании ОАО «РЖД». [4]

Эксплуатационниками принимались различные меры, чтобы повысить надёжность работы несовершенных датчиков. Это и дублирование болтовых соединений приваркой на основания рельсовых стыковых соединителей и напайка проводов для усиления электрического контакта между планкой и основанием. Полости оснований датчиков для стабилизации контакта заполняются графитовой и медно-графитовой смазкой, которые в условиях низких температур неработоспособны.

Неэффективность применения таких смазок вынуждает линейный штат устанавливать второй винт крепления планки в основании и постоянно их подтягивать. В конечном итоге в нём срывается резьба со всеми вытекающими последствиями. Нередко происходит излом самого винта, в результате чего оставшаяся его часть в основании не позволяет изъять планку.

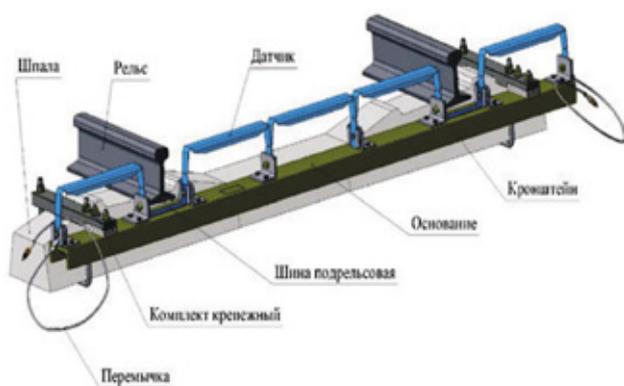
Следует заметить, что усовершенствование первой конструкции продолжалось и следующим шагом стало создание устройства контроля схода подвижного состава УКСПС-У. К недостаткам конструкции УКСПС-У следует отнести наличие изолирующих соединений и фактическое удвоение болтовых электрических соединений, делающих конструкцию менее надёжной. В этой разработке стало ошибочным техническое решение по креплению несущей металлической балки УКСПС-У к рельсам. Из-за неравномерного угона рельсов она деформируется и про-

давливают изоляцию. Замена металлической конструкции балки на полимерную ничего принципиального не изменило.

Дублирование всех элементов электрической цепи (связей, перемычек) существенно повысило надежность конструкции УКСПС-У-1 производства ЗАО «Завод твёрдых сплавов», которая и стала следующим усовершенствованием ответственного устройства. УКСПС-У-1 представляет собой единую конструкцию. Основой является прямоугольная стеклотекстолитовая балка с закрепленными на ней датчиками. Датчики, перемычки и связи образуют единую электрическую цепь. Все контактные поверхности деталей электрической цепи покрыты оловом. В конструкции применены самостопорящиеся гайки, детали УКСПС-У-1 имеют защитное цинковое покрытие. Датчики имеют одну конструкцию и полностью взаимозаменяемы. Устройство крепится в междушпальном ящике с помощью универсального крепежного комплекта к любому типу железобетонных или деревянных шпал. [5]

Самым слабым звеном существующих устройств УКСПС, создающим основные проблемы, по настоящее время остаётся все-таки сам датчик. В связи с этим задача номер один — разработка и оперативное внедрение их модернизированных и более надёжных вариантов.

Таким новшеством на данном этапе стало устройство контроля схода подвижного состава на полимерном основании — УКСПС-П разработки ООО «Научно — технический центр информационные технологии», которое уже во второй половине 2011 года появится на железных дорогах. Основными преимуществами такой разработки является высокая надежность устройства достигающаяся, благодаря минимальному количеству элементов изделия включаемых в контрольную электрическую цепь.

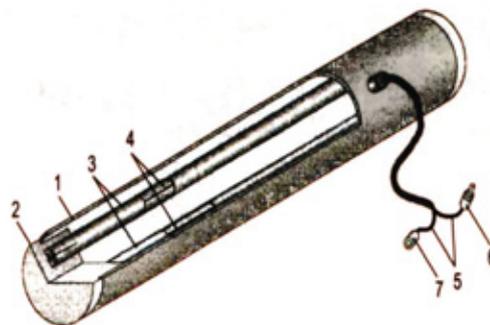


Соединение датчиков между собой, а также с подрельсовыми шинами и перемычками осуществляется в новой конструкции резьбовыми виброустойчивыми соединениями. Отсутствие составляющих деталей датчика и дополнительных элементов связей датчиков, находящихся внутри рельсовой колеи, обеспечено цельнометаллической конструкцией датчиков, что сокращает количество источников переходного сопротивления. Контактные поверхности элементов электрической цепи УКСПС-П лужены и обладают повышенной коррозионной защищенностью обеспечивающей надежный электрический контакт.

Несущей частью УКСПС-П является основание, выполненное из диэлектрического высокопрочного композиционного материала (пултрузионный армированный стеклопластик), на котором смонтированы все элементы устройства.

Контрольная электрическая цепь отличается от предыдущих типов и включает в себя — датчики, изготовленные из стальной полосы методом штамповки с последующей термообработкой. Устройство УКСПС-П крепится хомутами к шпале и механического, как и электрического контакта, с рельсами не имеет, как следствие не воспринимает колебания рельса. Устройство не требует (противопоказано разработчиком) периодической подтяжки резьбовых соединений т.к. все имеющиеся резьбовые соединения повышенного класса прочности, гайки применены самостопорящиеся с неметаллической вставкой. [3]

Усилия инженерной мысли, и накопившийся опыт эксплуатационников дают положительные результаты. Количество ложных срабатываний устройства УКСПС снижается с каждым годом приблизительно на 20%. Однако резервы повышения надёжности работы датчиков УКСПС ещё имеются.



Так в настоящее время на Северной дороге проходит испытание датчик нового поколения на основе композитных и полимерных материалов — УКСПСк. Это современное устройство совместная разработка ООО «Спектр» и ПКТЬ ЦШ. УКСПСк крепится к железобетонным и деревянным шпалам посредством собственной фундаментной балки или оснований и не имеет всех упомянутых недостатков. Корпус датчиков УКСПСк выполнен из стеклопластиковой трубы (1) с внутренней электрической цепью на основе эмалированного провода (3,4) сечением 0.75—0.9 мм² расположенного по их центру, фиксируется в защитной трубе торцевыми крышками (2). Выводы датчиков (5) имеют разъёмы — штепсель (6) и розетку (7). Резервированная электрическая цепь не подвергается прямым динамическим и климатическим воздействиям. Конструкция УКСПСк исключает возникновение обходных электрических цепей в процессе его эксплуатации и необходимость применения специальных технологий. При внедрении УКСПСк увеличение периодичности обслуживания и уменьшения количества внеплановых отвлечений специалистов за счет значительного повышения надежности снизят эксплуатационные расходы не менее чем в 4—5 раз. При отсутствии сильных механических воздействий расчётный срок службы датчика составляет не менее 25 лет.

Ещё одним серьезным недостатком существующих УКСПС последних версий является то, что вся конструкция вместе с датчиками монолитна, что крайне затрудняет её установку с соблюдением требуемых габаритов, а при дефектах литья на концах железобетонных шпал может сделать невозможной. Кроме того подобные конструкции исключают возможность регулировки габаритов датчиков с учетом бокового износа рельсов и

очень затрудняют при вертикальном. Следует отметить, что устройство УКСПСк надежно крепится на любых шпалах. Положение его датчиков легко регулируется во всех плоскостях. В комплект УКСПСк входит защитное устройство для ограждения его от незначительных динамических ударов, что позволило разработчикам отказаться от искусственного завышения прочностных характеристик датчиков. [2. с24]

Литература:

1. Резервы повышения надёжности УКСПС. Журнал Автоматика, связь, информатика. №4 2008 г.
2. УКСПСк гарантирует повышение надёжности. Журнал Автоматика, связь, информатика. №2 2011 г.
3. info@ntc-infotech.ru Устройство контроля схода подвижного состава УКСПС-П
4. scbist.com. Анализ работы устройств УКСПС Департамента автоматике и телемеханики.
5. <http://www.pulscen.ru/go?to=http%3A%2F%2Fwww.zts.wmsite.ru> ЗАО «Завод твёрдых сплавов» Устройство УКСПС-У-1.

К вопросу автоматизации технологического процесса нанесения гальванических покрытий на примере анодного оксидирования

Васильева Наталья Геннадьевна, ассистент;

Грачева Любовь Николаевна, кандидат технических наук, доцент

Кумертауский филиал Уфимского государственного авиационного технического университета

Процессы нанесения гальванических покрытий находят самое широкое применение в современной промышленности, в том числе и машиностроительном производстве. Гальванические покрытия являются одним из эффективных методов защиты от коррозии, так же широко применяются для придания поверхности деталей ценных специальных свойств.

Предприятиям, на которых существуют гальванические цеха, в целом необходимо решить две противоположные проблемы:

— с одной стороны — качество обработки деталей различной сложности при стохастическом характере их поступлений на обработку и ограничениям, как по времени обработки, так и по используемым энергоресурсам, химическим веществам и материалам, а так же повышенным требованиям к концентрации вредных выделений гальванических ванн в атмосфере цеха. Проблема экономии производственных затрат связана с высокой стоимостью энергетических и сырьевых ресурсов.

— с другой стороны — разработка и внедрение малоотходных, бессточных и высокопроизводительных автоматических линий гальванопокрытий и технологий, обеспечивающих частное или полное улавливание токсичных компонентов и возврат их в производство. Решение данной проблемы особенно актуально, так как связано с уменьшением расходов на воду, реагенты и снижением ставки налога на загрязнение окружающей среды [1].

Анодное оксидирование — один из основных методов защиты алюминия и его сплавов от коррозии. Наряду с

высокими защитными свойствами анодная пленка обладает так же высокими адгезионными свойствами, благодаря чему она является хорошей основой для лакокрасочных покрытий.

Физико-механические свойства анодных покрытий зависят от большого количества технологических параметров: катодная плотность тока, температура и уровень электролита, pH раствора, длительность процесса, концентрация посторонних ионов в электролите, характер кристаллизации металла и т.д., которые необходимо измерять и регулировать в процессе нанесения гальванопокрытий [2].

Представив объект исследования — технологический процесс анодного оксидирования — как параметрическую модель (рис. 1) получим, что на него оказывают влияние внешние возмущения — концентрация посторонних ионов в электролите (Z), состояние поверхности покрываемого металла (K), вынос электролита в процессе промывки (Y), испарение электролита (I), опыт оператора (O). Несмотря на то, что перечисленные параметры изменяются стохастически их влияние нужно учитывать при управлении процессом нанесения гальванопокрытий.

Входными воздействиями, обеспечивающими желаемое поведение технологического процесса нанесения гальванопокрытия анодной пленки, являются, прежде всего, мощность, подаваемая на тэны (P), концентрация компонентов электролита (C), длительность технологического процесса (τ), площадь покрываемых деталей (S),



Рис. 1. Представление ТП нанесения гальванопокрытий как параметрической модели

уровень электролита (L), качество предварительной обработки металла (H).

Выходными управляемыми воздействиями являются температура (T) и уровень электролита (L), кислотность электролита (pH), длительность технологического процесса (t), плотность тока (j).

Температура электролита. Для получения покрытий высокого качества требуется соблюдение предельного температурного режима. Повышение температуры приводит к повышению выхода по току, осадки становятся более пластичными, уменьшается наводороживание, снижаются внутренние напряжения. Однако слишком высокая температура электролита и завышенная плотность тока могут служить причиной образования рыхлой сползающей пленки. Предотвращение перегрева электролита является одним из основных условий получения качественного покрытия. К тому же температура электролита влияет на стоимость работы и на условия труда, так как чем выше температура, тем больше теплотери ванны и испарения. Это вынуждает стремиться к предельному снижению температуры электролита и повышать ее только в тех случаях, когда это требуется для снижения твердости осадка.

Длительность технологического процесса. Качество гальванических покрытий в большей степени зависит от точной регламентации длительности экспозиции деталей в гальванических ваннах, обусловленной требованиями конкретной технологии их обработки определяемой скоростью осаждения металла до заданной толщины. Она является одним из основных параметров, контроль которых необходим почти всегда.

Для каждой температуры существует оптимальная длительность процесса анодного оксидирования, уменьшающаяся с повышением температуры. Более длительное анодное оксидирование по сравнению с оптимальным (по времени) не приводит к утолщению анодной

пленки, т.к. в этих условиях преобладающую роль начинает играть процесс растворения пленки, в результате чего, она разрыхляется и защитные свойства ее снижаются.

Уровень электролита. Уровень электролитов и растворов является важным параметром характеризующим состояние гальванических ванн. Его изменения вызваны испарением электролитов и растворов в окружающую среду и их выносом из ванн деталями. Учитывать изменение уровня электролитов и растворов особенно важно при длительном времени обработки деталей в гальванических ваннах, так как возможны случаи неполного погружения деталей, в результате чего ухудшается качество их обработки.

Кроме того, уровень электролита обуславливает электрический режим ванны, поскольку его изменения сказываются на величине ее сопротивления [3].

pH раствора. Обеспечение заданного по технологии состава электролита является необходимым условием нормального функционирования любого гальванического процесса. В этой связи большое значение приобретают вопросы регулирования кислотности и концентрации электролита. Регулирование концентрации, как правило, ограничивают стабилизацией значения pH электролита, величина которого играет существенную роль при электроосаждении металлов, обладающих более электроотрицательными потенциалами, чем водород. Так, при низком значении pH уменьшается твердость покрытия, сокращается выход по току, увеличивается пластичность. Высокие значения pH, наоборот, снижают пластичность, увеличивают твердость и выход по току [4].

Толщина электрохимических покрытий. Толщина покрытия является величиной связывающей три важных параметра процесса гальванопокрытия: длительность технологического процесса, температуру электролита и плотность тока.

Толщина электрохимических покрытий (δ) согласно закону Фарадея зависит от плотности тока (i_k) и продолжительности электролиза (τ) и может быть вычислена с учетом выхода по току и электрохимического эквивалента (\mathcal{E}) по формуле:

$$\delta = \frac{i_k \cdot \tau \cdot \mathcal{E}}{\rho}$$

где ρ — плотность осаждаемого металла [2].

Концентрация посторонних ионов в электролите.

Гальванопокрытия захватывают некоторое количество примесей их содержащихся в электролите компонентов. Фактически все, что имеется в растворе, может попасть в покрытие — как специально вводимые добавки, так и неконтролируемые загрязнения. К таким примесям относятся, продукты разложения органических добавок; катионы металлов, содержащихся в промывной воде; катионы металлов, переходящие в электролит с поверхности обрабатываемых деталей, в начальные моменты электролиза за счет химического взаимодействия; механические примеси (пыль из воздуха рабочей зоны, анодный шлам). В результате влияния посторонних примесей могут ухудшиться механические свойства покрытий: охрупчивание, появление темного налета в виде точек и пятен, и т.д. [5].

Для контроля, измерения и регистрации вышеперечисленных параметров могут быть использованы автоматические линии, автоматические участки стационарных ванн, модернизированные системы управления линиями нанесения покрытий (рис. 2).

В зависимости от возможности оперативного изменения алгоритма функционирования автоматических линий гальванопокрытий, принято различать два типа систем управления: с самонастраиванием и без самонастраивания.

Применение автоматических линий гальванопокрытий автооператорного типа с системой управления без самонастраивания оправдано в условиях мелкосерийного производства. Преимуществом их является возможность агрегатирования и использования блочного или модульного принципа сборки с применением унифицированных или нормализованных узлов. Однако уже в условиях многономенклатурного производства, когда количество технологических программ, реализуемых на автоматических линиях гальванопокрытий, может достигать нескольких десятков, и возможна любая их последовательность и разное количество приспособлений с деталями по каждой программе, использование линий автооператорного типа с системой управления без самонастраивания становится неэффективным.

Другим недостатком автоматизированных линий автооператорного типа без самонастраивания является отсутствие возможности оптимизации технологических процессов, что в свою очередь снижает эффективность их функционирования и качество покрытия обрабатываемых на таких линиях деталей.

От этих недостатков свободны автоматические линии с самонастраивающимися системами управления, в основе построения алгоритмов которых лежат математические методы. По сравнению с линиями гальванопокрытий автооператорного типа с системой управления без самонастраивания они обладают рядом преимуществ: обеспечивают наиболее полное использование технологического оборудования; обеспечивают возможность централизованного контроля и регулирования необходимого числа технологических параметров внутриванных процессов; работают в оптимальных режимах управления; их технические средства способны обрабатывать большие массивы информации от датчиков; позволяют связать управление процессом гальванопокрытий с автоматизированной системой управления гальваническим производством в целом [1].

В последнее время одной из основных особенностей модернизируемых систем управления как у нас в стране, так и за рубежом стало использование в контуре управления технологическими процессами обработки изделий специализированных микро-ЭВМ и микропроцессорной техники. Модернизированные системы управления линиями нанесения гальванопокрытий с использованием технических средств автоматизации и управления по функциональным возможностям не уступают автоматическим линиям с самонастраиванием. Они обеспечивают автоматическое поддержание рационального режима работы оборудования в пределах, не допускающих его разрушение и износ при нормальных технологических режимах работы; оперативное представление текущей информации о режиме работы участка обслуживающему персоналу; возможность оператору при необходимости вмешиваться в процесс автоматического регулирования параметров; формирование отчетных документов и т.д. Одним из важнейших преимуществ таких систем является возможность интеграции с АСУ предприятия, к тому же они в разы дешевле (в среднем их стоимость составляет от 250000 до 1000000 руб.) по сравнению с автоматическими линиями (от 10000000 и выше).

Рассмотрим, модернизированную систему управления линией нанесения гальванопокрытий на примере анодного оксидирования (рис. 2).

Подобная структура системы управления технологическим процессом нанесения гальванопокрытий позволит выполнять ряд функций. К ним можно отнести: жесткий контроль за параметрами технологического процесса, сбор и обработку информации о параметрах технологического процесса; выявлять причины брака и настраивать регулируемые параметры, вести базы данных технологических процессов; протоколировать процессы принятых решений; вести отчеты тревог. Такая система может быть легко интегрирована в автоматизированную систему управления предприятия.

Последнее обстоятельство является особенно важным для решения такой актуальной задачи как комплексная автоматизация гальванического производства.

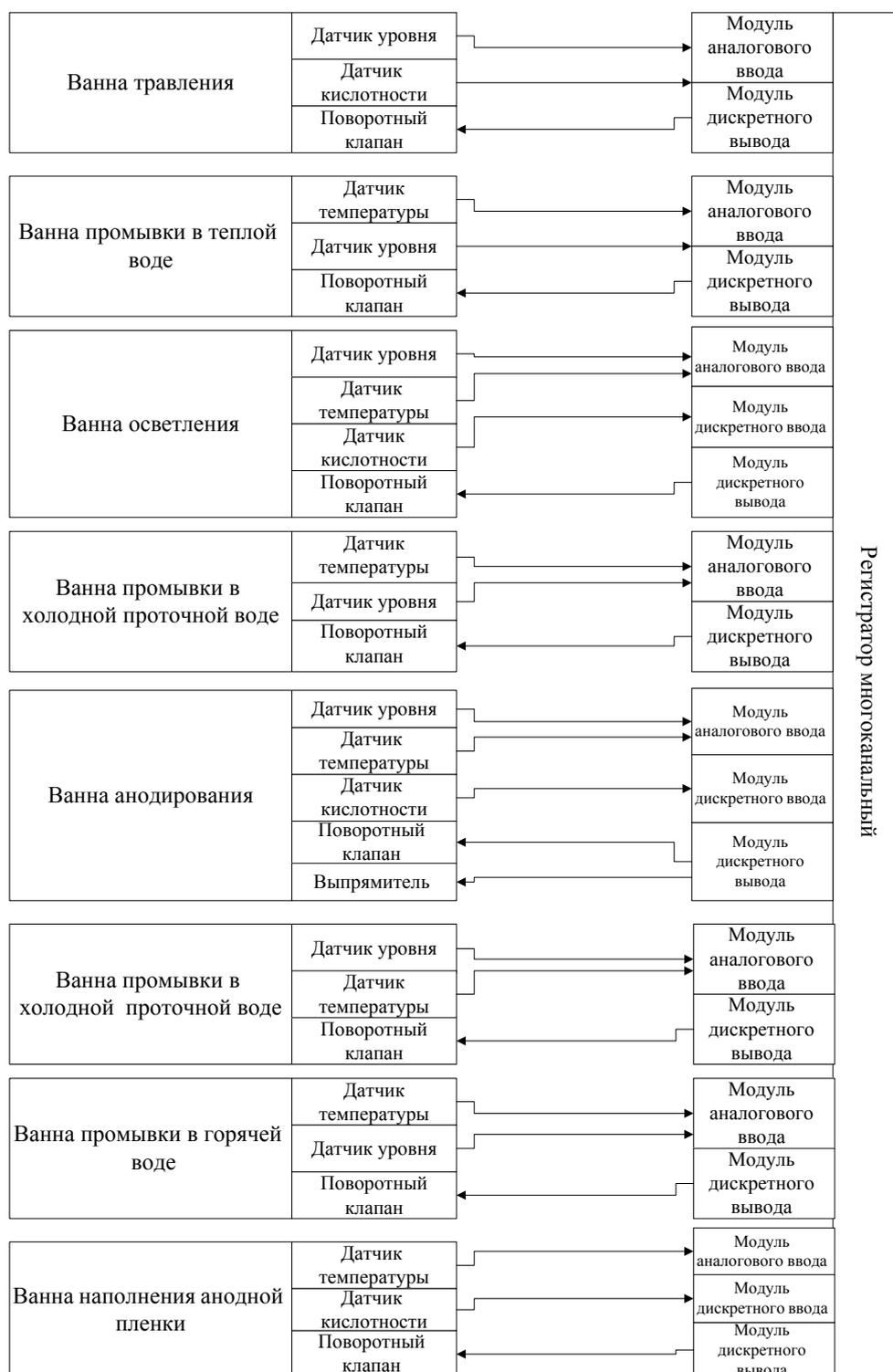


Рис 2. Структура АСУ ТП нанесения гальванопокрытий (анодное окисление)

Литература:

1. Алексеев А.Н. Повышение эффективности технологических операций и функционирования оборудования гальванохимической обработки в условиях автоматизированного гальванического производства. М.: Изд-во журнала «Новые промышленные технологии» Минатом РФ, 1997.
2. Гамбург Ю.Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению. Москва: Техносфера, 2006. — 216 с.
3. Стекольников Ю.А., Стекольников Н.М. Физико-химические процессы в технологии машиностроения: Учеб. пособие. — Елец: Издательство Елецкого государственного университета имени И.А. Бунина, 2008.

4. Максимчук В.П., Половников С.П. Водородное растрескивание высокопрочных сталей после нанесения гальванических покрытий. — М.: Энергоатомиздат, 2002. 320 с. : ил.
5. Анодное окислирование алюминия и его сплавов. Хенли В.Ф. Пер. с англ./ под ред. Синявского В.С. — М. : Металлургия, 1986. 152 с.

Приборы контроля сопротивления изоляции электрических цепей железнодорожной автоматики и телемеханики

Козина Анастасия Михайловна, студент;

Селивёртов Денис Иванович, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Электрическая централизация это станционная система централизованного контроля и управления стрелками и сигналами с обеспечением установленных требований безопасности движения железнодорожных поездов и заданной пропускной способности [1]. В электрических схемах управления станционными объектами будь то стрелка, светофор, рельсовая цепь используются разные полюса питания, отличающиеся друг от друга по величине напряжения и роду тока. Связь между аппаратурой автоматики и устройствами, находящимися в горловинах станции и на перегонах осуществляется по подземным кабелям. Нарушение изоляции между жилами в кабеле и монтажными проводами может привести к подпиткам одних устройств от полюсов питания других, что в свою очередь может повлечь за собой появление разрешающего показания на светофоре вместо запрещающего, вызвать перевод стрелки под составом, а это уже прямая угроза безопасности движения поездов.

В системах железнодорожной автоматики и телемеханики для непрерывного контроля сопротивления изоляции относительно «земли» источников питания постоянного и переменного тока постовых и напольных устройств электрической централизации на станциях используется сигнализаторы заземления. При понижении сопротивления изоляции контролируемой сети меньше установленной нормы автоматически включается световая и звуковая сигнализация. Срабатывание сигнализатора означает, что контролируемая электрическая цепь имеет или имела в какой-то момент сопротивление изоляции ниже нормы. Приведение сигнализатора в исходное состояние после срабатывания осуществляется специальной кнопкой «сброс». С начала производства первых типов сигнализаторов и по настоящее время их конструкция, и электрическая схема модернизируется, становясь всё более надёжной и многофункциональной. [2, с. 325]

До 1981 года в зависимости от напряжения контролируемой сети рабочей батареи (160 или 220 В) выпускались сигнализаторы заземления двух типов. Сигнализатор типа 1 позволял контролировать изоляцию электрических сетей постоянного и переменного тока 220В, 24В, а сигнализатор типа 2 — изоляцию электрических сетей посто-

янного тока 160 В, 24В и переменного тока 220В, 24В. Кроме автоматического контроля такой сигнализатор давал возможность производить измерения сопротивления изоляции контролируемых сетей как относительно «земли», так и относительно друг друга.

Затем было налажено производство сигнализаторов заземления на магнитных усилителях сетей переменного и постоянного тока устройств СЦБ. Такие сигнализаторы заземления так же предназначены для непрерывного контроля за сопротивлением изоляции действующих устройств сигнализации, централизации и блокировки СЦБ. Они также давали возможность производить измерение сопротивления изоляции каждой контролируемой сети относительно земли. Выпускались трех типов СЗ1, СЗ2, СЗ3 каждый из которых позволял одновременно контролировать изоляцию шести электрических сетей, не имеющих гальванической связи. Сигнализаторы имели крупные габаритные размеры, а масса их составляла 18 кг.

Начиная с 1981 года по 1994 год выпускались сигнализаторы заземления СЗИ1 и СЗИ2. Сигнализаторы заземления СЗИ1 и СЗИ2 в отличие от своих предшественников имеют несколько конструктивных особенностей. Конструктивно они оформлены в корпусе нейтрального малогабаритного реле типа НМШ и имеют аналогичную нумерацию контактов с монтажной стороны.



Сигнализаторы заземления СЗИ1 и СЗИ2 являются индивидуальными и каждый прибор контролирует свой источник электропитания. Индивидуальные сигнализаторы рассчитаны для эксплуатации в диапазоне рабочих температур от минус 45 до плюс 60 градусов. Это позволяет устанавливать их в панелях питания, на релейных ста-

тивах в помещении постов электрической централизации, а также в релейных шкафах автоблокировки на перегонах и переездной сигнализации. Сигнализаторы располагают в таком месте, чтобы было хорошо видно свечение светодиодов, которые сигнализируют о неисправности изоляции, и удобно было пользоваться кнопкой выключения.

С 1995 года по настоящее время выпускаются усовершенствованные сигнализаторы заземления СЗИ1У и СЗИ2У. По своим входным и выходным параметрам эти сигнализаторы заземления и ранее выпускавшиеся СЗИ1 и СЗИ2 одинаковы, за исключением того, что несколько изменена схема и комплектующие изделия. Область применения сигнализаторов заземления СЗИ1У и СЗИ2У аналогична СЗИ1 и СЗИ2. [3, с. 951]



Последняя промышленная разработка индивидуальных сигнализаторов заземления это модернизированные приборы типа СЗИ-1М и СЗИ-2М. По принципу действия они также не отличаются от индивидуальных сигнализаторов выпускаемых ранее и нашли широкое применение в системах автоматики и телемеханики вместо морально устаревших сигнализаторов типов СЗИ1 и СЗИ2, СЗИ1У и СЗИ2У. Единственное отличие новых типов сигнализаторов заключалось в применении закрытого металлического корпуса [4]

В тоже время с 1991 года начало производство модернизированного принципиально нового сигнализационного типа СЗМ.



Сигнализатор заземления СЗМ, конструктивно выполнен в виде моноблока в корпусе реле типа ДСШ и может устанавливаться в панелях питания, на релейных станивах постов электрической централизации и в релейных металлических шкафах наружной установки. Современный сигнализатор заземления СЗМ позволяет од-

новременно контролировать изоляцию и измерение токов утечки восьми электрических сетей, не имеющих гальванической связи обеспечивая световую сигнализацию срабатывания по каждому из контролируемых источников. Он также позволяет производить измерения сопротивления изоляции контролируемых сетей как относительно земли, так и относительно друг друга. Такие измерения токов утечки позволяет производить амперметр, встроенный в конструкцию сигнализатора СЗМ с лицевой стороны [5]

Технический процесс не стоит на месте, повсеместно внедряется микропроцессорное оборудование, вместе с тем в настоящее время появляются новые цифровые типы сигнализаторов заземления.

Первым таким прибором стал сигнализатор заземления индивидуальный цифровой типа СЗИЦ. В его состав входят микропроцессор со встроенным АЦП и элементы токовой и тепловой защиты, благодаря которым обеспечивается пожаробезопасность прибора. Он предназначен для оценки уровня изоляции с помощью цифрового индикатора и контроля критического сопротивления изоляции электрической сети, питаемой от одного источника электропитания.



Современный сигнализатор СЗИЦ рассчитан на применение в действующих взамен сигнализаторов СЗИ, СЗИУ, СЗИ-М и вновь строящихся устройствах автоматики и телемеханики. В нём с помощью переключателей обеспечивается настройка на различные напряжения и характер тока контролируемого источника электропитания цепей. Схема исключает ложное срабатывание СЗИЦ и сброс памяти о срабатывании при переключении фидеров питания и запуске дизель-генератора ДГА.

Следующими разработками цифровых сигнализаторов заземления стали приборы: индивидуальный цифровой с дополнительным диапазоном и диспетчерским контролем СЗИЦ-Д и линейный сигнализатор СЗИЦ-Д-Л.

Отличительными особенностями сигнализатора СЗИЦ-Д от СЗИЦ является наличие дополнительного диапазона напряжений контролируемого источника питания постоянного тока в пределах 280+40В, возможность передачи информации, о состоянии сопротивления

изоляции контролируемой сети в систему автоматизированного диспетчерского контроля.

Сигнализаторы СЗИЦ-Д-Л предназначены для контроля сопротивления изоляции электрической сети, питаемой от одного источника электропитания. СЗИЦ-Д-Л обладают повышенной помехоустойчивостью и, вследствие этого, могут применяться для контроля сопротивления изоляции линейных цепей и контроля цепей управления огнями светофоров автоблокировки при централизованном размещении аппаратуры, наиболее подверженных воздействию разного рода помех. В конструкции сигнализатора СЗИЦ-Д-Л изменены номера контактов для подачи напряжения питания, контролируемого напряжения и временем срабатывания. Данные меры приняты для исключения возможности работы сигнализатора СЗИЦ-Д-Л в посадочном месте сигнализатора СЗИЦ-Д. [6]

Все рассмотренные типы находящихся в эксплуатации сигнализаторов заземления устройств железнодорожной автоматики и телемеханики надёжно фиксируют факт за-



низения сопротивления изоляции контролируемой сети меньше установленной нормы, тем самым давая возможность обслуживающему персоналу принять своевременные меры по устранению неисправностей угрожающих безопасности движения поездов.

Литература:

1. Электрическая централизация стрелок и сигналов. wikipedia.org
2. Устройства СЦБ. Технология обслуживания. Москва. Транспорт 1999 год.
3. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. В.И. Сороко, Е.Н. Розенберг, 3-е издание, том 2
4. Модернизированные сигнализаторы заземления СЗИ-1М, СЗИ-2М. universalgroupe.com
5. Сигнализатор заземления СЗМ. zhelsat.ru
6. Цифровые сигнализаторы заземления типа СЗИЦ. ooo-rfbor.ru

История развития систем проектирования

Козырев Алексей Юрьевич, аспирант;

Клочков Анатолий Яковлевич, кандидат технических наук, доцент
Рязанский государственный радиотехнический университет

В настоящее время на основе современных вычислительных комплексов и средств автоматизации созданы и находятся в промышленной эксплуатации системы автоматизированного проектирования, позволяющие в значительной степени освободить конструктора-проектировщика от однообразной, трудоемкой и утомительной умственной работы и повысить его интеллектуальные возможности на этапах принятия решений. [1]

По сравнению с историей развития вычислительной техники история развития автоматизированных систем очень коротка, она не насчитывает и пятидесяти лет. Однако без этих систем компьютеры никогда бы не стали тем, чем они являются сейчас — орудием труда миллионов специалистов, занятых проектированием в самых разных областях.

История развития САПР достаточно условно можно разбить на 3 этапа:

- 70-е годы — были получены отдельные результаты, показавшие, что область проектирования в прин-

ципе поддается компьютеризации; в этот период основное внимание уделялось системам автоматизированного черчения. Многие программные продукты того времени назывались системами автоматизированного черчения — САЧ.

- 80-е годы — характеризуются активным применением микрокомпьютеров и супермикрокомпьютеров, появлением массовых систем и базовых программных продуктов для них. Этот период характерен использованием различного ПО различными подразделениями одного предприятия (период основной автоматизации). Однако в эти же годы наряду с 2D черчением появились системы 3D моделирования. Теперь стала желательной возможность передавать данные с одного этапа на другой этап ЖЦ. Кроме того, появилось понятие твердотельное моделирование.

- 90-е года — период «зрелости» — некоторые ошибки были исправлены (например, убраны барьеры

несовместимости между системами). Сначала стали появляться — третьи сторонние фирмы — разработчики ПО для конвертации данных из системы в систему. Потом крупные системы стали сами предоставлять возможность импорта и экспорта данных с другими распространенными системами. [2]

Первые программы автоматизированного проектирования были созданы для нужд электронной и радиотехнической промышленности. Они появились в конце 50-х — начале 60-х годов прошлого века. В качестве примера можно назвать программы анализа электронных схем Net-1, ЕСАР или программу логического моделирования цифровой аппаратуры С.Крея — Р.Киша, созданные в США. В СССР в 60-е годы появляются программы проектирования печатных плат, оформления конструкторской документации, логического и схемотехнического моделирования радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) и интегральных схем. Развитие систем автоматизированного проектирования в машиностроении тесно связано с аппаратно-программными средствами машинной графики и геометрического моделирования, так как проектирование механических изделий заключается прежде всего в конструировании, т.е. в определении геометрических форм тел и их взаимного расположения. Поэтому отправной точкой истории автоматизации проектирования в машиностроении обычно считают создание графической станции Sketchpad на основе дисплея и светового пера И.Сазерлендом в 1963 г., хотя еще в 1946 г. И.Шоенбергом была представлена теория В-сплайнов. В 70-е годы в геометрическом моделировании стали использовать неравномерные рациональные В-сплайны (NURBS), а также модели кривых и поверхностей любой формы, разработанные П.Безье. К 1982 г. твердотельное моделирование начинают применять в своих программных продуктах компании Computervision, IBM, Prime и др. В 1986 г. компания Autodesk выпускает свой первый CAD-продукт Autocad. В 1988 г. создается аппаратура для прототипирования изделий с помощью лазерной стереолитографии по данным, получаемым в САПР. Также в 1988 г. компания РТС впервые реализует параметризацию моделей. Развитие компьютерной графики определялось не только возможностями аппаратных средств, но и характеристиками программного обеспечения. Оно должно было быть инвариантным по отношению к используемым аппаратным средствам ввода и вывода графической информации. Поэтому значительное внимание с 70-х годов уделяется вопросам стандартизации графических программ. Стандарт на базисную графическую систему включает в себя функциональное описание и спецификации графических функций для различных языков программирования. В 1977 г. АСМ публикует документ Core, описывающий требования к аппаратно-независимым программным средствам. А в начале 1982 г. появляется система Graphical Kernel System (GKS), задающая примитивы, сегменты и преобразования графических данных и ставшая стандартом ISO в 1985 г. В 1987 г.

разработан вариант GKS-3D с ориентацией на 3D графику. В 1986 г. утверждается ряд новых стандартов в области компьютерной графики. Среди них CGI (Computer Graphics Interface) и PHIGS P (Programmer's Hierarchical Interactive Graphics System) — стандарт ANSI, ставший стандартом ISO в 1989 г. В 1993 году компанией Silicon Graphics предложен стандарт OpenGL (SGI Graphical Language), широко используемый в настоящее время. В этих системах используются графические форматы для обмена данными, представляющие собой описание изображения в функциях виртуального графического устройства (в терминах примитивов и атрибутов). Графический формат (метафайл) обеспечивает возможность запоминать графическую информацию единым образом, передавать ее между различными системами и интерпретировать для вывода на различные устройства. Такими форматами стали CGM — Computer Graphics Metafile, PostScript — Adobe Systems' Language, GEM — GEM Draw File Format и др. Работы по стандартизации были направлены на расширение функциональности графических языков и систем, включение в них средств описания не только данных чертежей и 3D-моделей, но и других свойств и характеристик изделий. В области автоматизации проектирования унификация основных операций геометрического моделирования привела к созданию инвариантных геометрических ядер, предназначенных для применения в разных САПР. Наибольшее распространение получили два геометрических ядра Parasolid (продукт фирмы Unigraphics Solutions) и ACIS (компания Spatial Technology). Ядро Parasolid разработано в 1988 г. и в следующем году становится ядром твердотельного моделирования для CAD/CAM Unigraphics, а с 1996 г. — промышленным стандартом.

В 1993 г. в США создается компания Solidworks Corporation и уже через два года она представила свой первый пакет твердотельного параметрического моделирования Solidworks на базе геометрического ядра Parasolid. Система Solidworks вошла в число ведущих систем среднего уровня. Ряд CAD/CAM систем среднего и нижнего уровней разработан в СССР и России. Наибольшее распространение среди них получили Компас (компания Аскон), Кредо (НИЦ АСК), T-Flex CAD (Топ Системы) и некоторые другие системы. Компания Аскон основана в 1989 г. В нее вошел коллектив разработчиков, который до этого в Коломенском конструкторском бюро машиностроения проектировал систему Каскад. Первая версия Компас для 2D проектирования на персональных компьютерах появилась в том же 1989 г. В 2000 г. САПР Компас распространена на 3D проектирование. В 2003 г. выпущена 6-я версия Компас и PDM система Лоцман. PLM. Автоматизация технологической подготовки производства в системах САМ не была столь жестко привязана к аппаратным средствам машинной графики, как автоматизация конструирования в системах CAD. [3]

В СССР для ЭВМ «Минск-22» был реализован компилятор с языка ЛЯПАС, который мог быть использован и для отработки алгоритмов автотрассировки. В

конце 1970 — начале 1980 годов в СССР были разработаны системы автоматического проектирования печатных плат такие, как «Аврора», ЕСАП, «Граф 2Д», «Рапира», «Киев-1052», имеющие функции автоматической трассировки соединений. В это же на Западе появляются пакеты LPKF, Sprint, OmniBoards и другие. Все они были реа-

лизованы на малых и средних ЭВМ, таких как IBM 370 (ЕС ЭВМ), VAX и PDP (СМ ЭВМ). С появлением персональных ЭВМ алгоритмы автотрассировки перекочевали на них. Предшественник САПР ACCEL EDA — P-CAD — имеет собственную программу автотрассировки печатных плат PC-Route. [4]

Литература:

1. Дендобренько Б. Автоматизация конструирования РЭА 1980 г.
2. «Информационные консультации» [Электронный ресурс] Режим доступа : http://www.ik.3dscorpion.com.ua/IK_sapr_history.php
3. Электронное учебное пособие по дисциплине «Международные стандарты обмена данными» « [Электронный ресурс] Режим доступа : http://www.salogistics.ru/students/suai_2011/page5.html
4. Стешенко В. «Алгоритмы и программы автоматической трассировки печатных плат»

Светодиодные светофоры для Российских железных дорог

Селивёртов Денис Иванович, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Киякина Татьяна Евгеньевна, студент

Поволжский филиал Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)

Железнодорожные светофоры предназначены для регулирования движения поездов, маневровых составов, а также регулирования скорости роспуска с сортировочной горки. Также светофоры или дополнительные световые указатели могут информировать машиниста о маршруте или как-либо ещё конкретизировать показание. Отсюда и высокие требования к надёжности их работы и качеству передаваемых сигнальных показаний.

Длительный опыт эксплуатации железнодорожных светофоров, где в качестве источников света используются лампы накаливания, позволяет сделать вывод, что их технико-экономические показатели невысоки. Срок службы светофорных ламп не превышает 2000 часов, они имеют низкую надёжность, более того до 0,2% из них отказывают ранее установленного срока службы.

Цветные линзы-светофильтры создают опасность неправильного восприятия показания сигнала из-за отраженных или проходящих через открытую крышку головки светофора солнечных лучей.

Применение в качестве линз светофоров обычного стекла приводит к массовому их повреждению в результате случаев вандализма. Ежегодно по этой причине приходится менять до 10% линз. Использование защитных металлических решеток или полимерного стекла не в полной мере гарантирует их защиту и, кроме того, снижает дальность видимости огней светофоров.

За прошедшие 50 лет светофоры не претерпели существенных качественных изменений. Большие надежды были связаны с применением двухнитевых ламп, однако это не дало стопроцентного резервирования источника света. Так, при разгерметизации колбы лампы, что проис-

ходит довольно часто, одновременно перегорают обе нити. Кроме того, за последние годы качество светофорных ламп заметно ухудшилось.

Например, по анализу службы автоматики и телемеханики Приволжской железной дороги в 2010 году произошло 44 отказа в работе светофоров, что составляет 41% от общего количества отказов по вине эксплуатационного штата хозяйства автоматики и телемеханики. Основными причинами нарушения нормальной работы светофоров это потеря электрического контакта в ламподержателе — 20 случаев, перегорание ламп светофоров — 23 случая. Поэтому перспектива замены ламповых светофоров на альтернативные высоконадёжные источники света сейчас действительно актуальна.

Светодиоды — это слаботочные приборы, способные излучать световую энергию при низких напряжениях и малых токах. С одной стороны, это несомненное преимущество: можно получить источники световых сигналов с малым потреблением электроэнергии и обеспечить регулировку силы света изменением скважности импульсов питающего напряжения. При этом видимость сигналов будет обеспечиваться благодаря быстрой реакции светодиодов и инерционности зрения человека. Светодиод механически прочен и исключительно надёжен, его срок службы может достигать 100 тысяч часов, что почти в 100 раз больше, чем у лампочки накаливания. Наконец, светодиод — низковольтный электроприбор, а стало быть, безопасный. В целом светодиод, долговечный прибор срок службы светодиодов составляет в настоящее время 20–50 тысяч часов. [1. с 4]

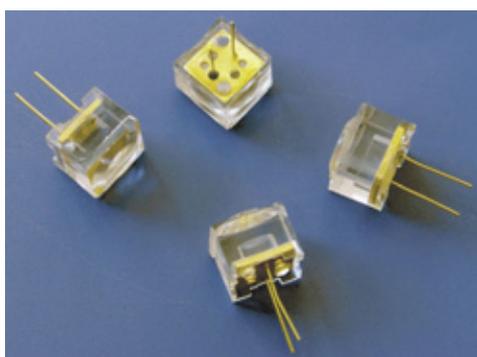
В целом внедрение светодиодных устройств световой сигнализации для железных дорог России ведётся, на-

чиная уже с 1998 года. В рамках реализации Программы безопасности движения налажено производство светодиодных светофорных головок для железнодорожных переездов и светодиодных светофоров оповестительной пешеходной сигнализации, предназначенных для организации движения автомобильного транспорта и пешеходов. Срок службы таких светосигнальных устройств не менее 20 лет, при средней наработке на отказ 50 000 часов.



Современные светодиодные светофорные головки, заменившие на железнодорожных переездах ламповые светофоры, имеют дополнительные достоинства. Дальность видимости сигналов увеличена от 200 до 300 метров, угол обзора увеличен от 200 до 500 метров, повреждение защитного стекла или светодиодов не приводит к изменению цвета сигнала. [2]

В 2001 году на Горьковской железной дороге начались эксплуатационные испытания первых светодиодных комплектов для карликовых и мачтовых светофоров. Они конструктивно взаимозаменяемы с ламповыми комплектами для мачтовых и для карликовых светофоров.



Такой светодиодный линзовый комплект состоял из платы со светодиодами, которая крепится к типовому профильному кольцу — основанию, платы питания с выпрямительными диодами и элементами защиты от перенапряжений, защитного колпака из высокопрочного полимерного стекла и задней крышки с клеммами подключения. Конструктивно светодиоды выполнены в корпусах с линзами Френеля, поэтому светодиодные светооптические системы не нуждаются в фокусирующих линзах.

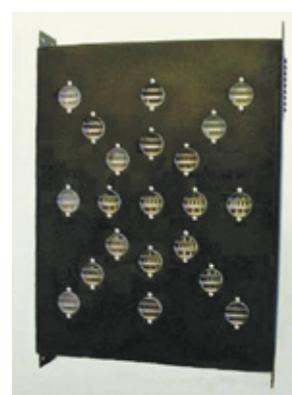
Для получения необходимой силы света в комплектах карликовых светофоров красного и желтого цветов использовалось по 96 светодиодов, зеленого, синего и бе-

лого цветов — по 68, а в комплектах мачтовых светофоров — по 168 и 130 светодиодов соответственно.

Тогда эксплуатационные испытания подтвердили высокие светооптические характеристики светодиодных светофоров: видимость огней даже карликовых светофоров обеспечивалась на расстоянии не менее 800 метров. Особенно контрастное увеличение видимости дали светодиодные комплекты синего огня.

Однако наряду с достоинствами одновременно проявились себя и недостатки. Серьёзным препятствием на пути внедрения светодиодных систем стало наличие емкостных связей между жилами кабеля в схемах с центральным питанием светофоров. Например, удаленный от поста электрической централизации светодиодный светофор с центральным питанием в значительной степени был подвержен подсветке от наведенного в кабельной линии напряжения помехи или подпитки. Такой же емкостной эффект наблюдался и при установке светофоров в схемах централизованной автоблокировки. К тому же обеспечить контроль неисправности сигнала при малых токах типовыми огневыми реле не представляется возможным. Трудности доставляет и реализация режима мигания сигнала светофора, так как для светодиода не существует понятия «холодной нити накала» и в паузах мигания его нужно выключать полностью. Поэтому до разработки и принятия оптимальных решений по устранению недостатков было предложено начать внедрение светодиодных светофоров на перегонах с децентрализованной автоблокировкой. В ней огни светофоров питаются напряжением 12В, а протяжённость кабеля управления не превышает 100 метров. В этих условиях ёмкостные связи не оказывают влияние на работу светодиодных светофоров. [1, с 5]

Ещё одним серьёзным недостатком, угрожающим безопасности движения поездов стало проявление так называемого фантомного эффекта, когда прямое солнечное излучение по оси сигнала вызывает искажение его цветности. Эти проблемы и приостановили тогда процесс массового внедрения поездных светодиодных светофоров на Российских железных дорогах. [3, с 60]



Вместе с тем в 2007—2009 году в рамках Программы ресурсосбережения в компании ОАО «РЖД» было развёрнуто внедрение одноцветных светодиодных маршрутных указателей — буквенного, цифрового и положения, предназначенных для указания пути приема,

отправления или направления следования поездов и маневровых составов.

В 2006 году была изготовлена установочная партия, проведены квалификационные испытания, подтверждена готовность производства к серийному выпуску. Если провести сравнение, то применяемые в настоящее время маршрутные указатели на лампах накаливания имеют следующие и достаточно существенные недостатки:

- высокое энергопотребление — 1400 Вт, за счет применения в своем составе до 35 ламп накаливания мощностью 40 Вт;
- низкую надежность ламп накаливания, недостаточную пыле и влаго защищенность. Всё это приводит к окислению контактов ламп накаливания, загрязнению внутренних поверхностей линз, загрязнению защитного стекла, снижению видимости и различимости сигнального показания. А также проникновение влаги влечёт за собой занижение изоляции источника питания по отношению к земле;
- небольшой нормативный срок службы — 10 лет.

Современные светодиодные маршрутные указатели имеют гораздо более высокие технико-экономические показатели:

- энергопотребление снижено в 4 раза в дневном режиме и в 10 раз в ночном за счет снижения потребляемой мощности светодиодных ячеек до 10 Вт;
- эксплуатационные расходы снижены в 10 раз за счет исключения ряда технических операций периодического обслуживания, таких как проверка внутреннего состояния указателя, измерение напряжения на лампах и их замена, чистка переднего стекла и внутренних поверхностей линз, ликвидация последствий проявления вандализма;
- срок службы увеличен в 2 раза — до 20 лет, за счет применения современных высокопрочных полимерных материалов и покрытий, высоконадежных светодиодов со сроком службы на весь период эксплуатации, повышенной защиты от проявлений вандализма;
- обеспечена взаимозаменяемость с существующими ламповыми конструкциями.

Срок окупаемости таких светодиодных маршрутных указателей составляет 2,6 года, светодиодных маршрутных указателей положения — 3,3 года.

В настоящее время с 2006 года на железных дорогах России применяются головки светодиодные красного цвета заградительного светофора для железнодорожных поездов.

Светодиодная головка заградительного светофора является малообслуживаемым устройством и обеспечивает снижение эксплуатационных расходов в 10 раз, снижение затрат на периодическую регулировку за счет широкой диаграммы направленности, улучшение светотехнических параметров видимости заградительного огня, монтаж на существующие несущие конструкции. [2]

Энергетическая эффективность в современных условиях — это важнейший фактор повышения конкурентоспособности ОАО «РЖД» на внутреннем и междуна-

родном рынках транспортных услуг. Компания ОАО РЖД является крупнейшим потребителем энергоресурсом в стране, расход электроэнергии которой составляет около 5% от общего потребления электроэнергии в стране. Учитывая неблагоприятные долгосрочные тенденции развития рынка энергоресурсов в компании, была принята и актуализирована Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2020 года. При формировании стратегии впервые был выделен отдельный проект «Внедрение светодиодной техники в ОАО РЖД». Одно из направлений в проекте отводится внедрению светодиодных систем сигнализации в хозяйстве автоматики и телемеханики.

В настоящее время в программу ресурсосбережения включено внедрение головки светодиодной мачтового светофора с токовым контролем — предназначенной для управления движением поездов, обеспечивает включение световых сигналов, контроль исправности в рабочем режиме. Головка является также малообслуживаемым устройством и обеспечивает:

- снижение эксплуатационных расходов в 12 раз;
- снижение энергопотребления в 1,5 раза за счет снижения потребляемой мощности до 9–10 Вт вместо 15 Вт, потребляемых светофорной лампой накаливания;
- улучшение светотехнических параметров, таких как дальность видимости и различимость сигнального показания светофоров, что ведет к повышению безопасности движения, улучшению условий труда машинистов;
- монтаж на существующие несущие конструкции. [2]



Первый пилотный проект ОАО «РЖД» 2010 года — это внедрение на девяти железных дорогах Октябрьской, Московской, Горьковской, Северной, Северо-Кавказской, Приволжской, Свердловской, Восточно-Сибирской, Дальневосточной 740 мачтовых светофорных головок с модулями светодиодных систем для светофоров числовой кодовой автоблокировки. Для оборудования перегонов применены светодиодные светофоры модульного типа компании ЗАО НПО «РосАТ» со светодиодными оптическими системами типа ССМ — 200, красного, жёлтого и зелёного цветов. Продукция компании сертифицирована на федеральном железнодорожном транспорте

Российской Федерации и утверждена главным инженером Департамента автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» Г.Д. Казиевым 5.02.2010 года.

Установленные светодиодные светофорные головки получили положительные отклики с дорог. Машинистам нравятся яркие огни светодиодных светофоров, хорошо различимые при любых погодных условиях.

В 2010 году в Ростове — на — Дону на пятой научно — практической конференции «Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте — Транс ЖАТ 2010» была организована выставка, на которой была представлена светофорная головка с антикоррозийным нанопокрывтием — газотермическое металлонапыление. Это покрытие имеет несравнимо лучшие показатели антикоррозийности, чем применяемое сейчас цинкование. Головка с нанопокрывтием вызвала большой интерес как руководства департамента автоматики и телемеханики, так и представителей служб железных дорог. [5, с. 21]

Подводя итог можно утверждать, что использование в железнодорожных светофорах светодиодных систем вместо традиционных линзовых комплектов с лампами накаливания обеспечивает снижение энергопотребления и затрат на обслуживание. В связи с внедрением светодиодных светофоров исключается ряд периодических работ по техническому обслуживанию светофоров:

- смена ламп светофоров (согласно п.1.4 Инструкции от 22.10.2009 г. ЦШ-720—09 смена производится один раз в квартал);
- чистка внутренней части светофорных головок (согласно п.1.14 ЦШ-720—09 проверка и чистка производится при смене ламп);
- покраска светофоров (согласно п.1.17 ЦШ-720—09 покраска производится при обнаружении следов коррозии металла, но не реже одного раза в два года. Мачты

и кронштейны светодиодных светофоров имеют цинковое покрытие, а козырьки и фоновые щиты покрыты порошковой эмалью, что обеспечивает необслуживаемый режим эксплуатации в течение не менее 10 лет);

- количество проверок с пути видимости сигнальных огней светофоров при внедрении светодиодных светофоров сокращается с 4 проверок до 2 проверок в год согласно п. 1.1 инструкции ЦШ-720—09. [6]



Более высокие светотехнические параметры светодиодов увеличивают дальность видимости, и различимость сигнального показания, в результате чего обеспечивается улучшение условий труда машинистов, что в свою очередь способствует повышению уровня безопасности движения поездов.

В 2011 году продолжилась подготовка к внедрению еще нескольких типов светофоров на основе светодиодов, в том числе и для карликовых станционных светофоров. Так что большой путь светодиодов только начинается.

Литература:

1. Светодиодные железнодорожные светофоры. Миф или реальность. Журнал АСИ №1, 2005год.
2. Светодиодные сигнальные устройства как ресурсосберегающие технические средства. scbist.com
3. Новые разработки. Журнал АСИ №12, 2005 года.
4. Ресурсосберегающие технологии в ОАО «РЖД». www.int.su/press
5. Внедрение светодиодных светофоров на сети железных дорог. Газета «Евразия вести» 2010 год.
6. Инструкция по техническому обслуживанию устройств сигнализации, централизации и блокировки. ЦШ-720—09.

Развитие релейной аппаратуры железнодорожной автоматики и телемеханики

Касалапова Татьяна Александровна, студент;

Селиверов Денис Иванович, преподаватель

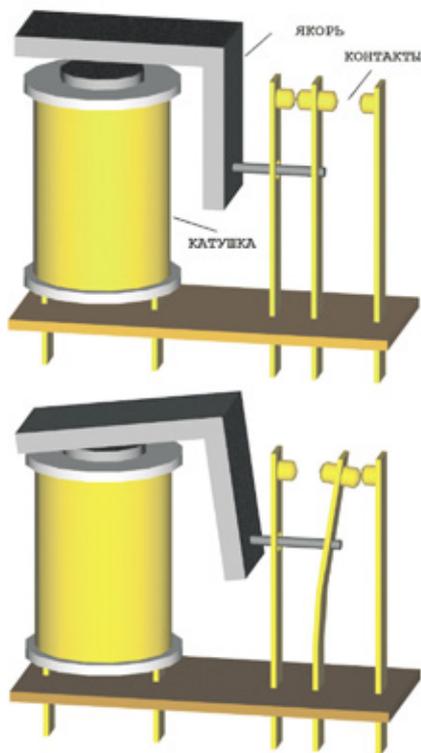
Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Релé от французского слова relais — электромеханическое устройство (переключатель), предназначенное для коммутации электрических цепей при заданных из-

менениях электрических или неэлектрических входных величин. Созданию первого реле предшествовало изобретение 1824 года. Англичанин В.Старджен разработал

электромагнитное устройство, преобразующее входной электрический ток проволочной катушки, намотанной на железный сердечник, в магнитное поле, образующееся внутри и вне этого сердечника. Магнитное поле фиксировалось своим воздействием на ферромагнитный материал, расположенный вблизи сердечника. Этот материал притягивался к сердечнику электромагнита. В 1825 году в Лондоне за это изобретатель получил серебряную медаль Британского Королевского общества искусств. [2]

Впоследствии эффект преобразования энергии электрического тока в механическую энергию лег в основу различных электромеханических устройств электросвязи, телеграфии и телефонии, электротехники, электроэнергетики. Одним из первых таких устройств было электромагнитное реле, изобретенное американцем Джоозефом Генри в 1831 году. Следует отметить, что первое реле было не коммутационным, а первое коммутационное реле изобретено американцем Бризом Морзе в 1837 году которое впоследствии он использовал в телеграфном аппарате.



Движение поездов на железных дорогах России в 20-е годы прошлого столетия осуществлялось по средствам телефонной связи и электрожелезной системы. Эти устройства не могли в полной мере обеспечить нужную пропускную способность на железных дорогах. Нужны были принципиально новые устройства. Используя важное свойство реле, возможность дистанционного управления различными объектами с помощью достаточно небольших токов и напряжений с середины тридцатых годов в России начинается массовое строительство систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) управляющих движением поездов на основе реле. [1]

Наиболее распространенными приборами в системах железнодорожной автоматики и телемеханики по насто-

ящее время являются именно реле, при помощи которых осуществляются процессы автоматического управления, регулирования и контроля движения поездов, выполняются зависимости, необходимые для обеспечения безопасности движения поездов. На железных дорогах нашей страны находятся в эксплуатации десятки миллионов реле.

Реле железнодорожной автоматики и телемеханики, выпускаемые электротехническими заводами, по надежности действия являются приборами первого класса. Основные части современного электромагнитного реле это электромагнит, якорь и переключатель. Электромагнит представляет собой электрический провод, намотанный на катушку с сердечником из магнитного материала. Якорь — пластина из магнитного материала, через толкатель управляющая контактами. При пропускании электрического тока через обмотку электромагнита возникающее магнитное поле притягивает к сердечнику якорь, который через толкатель смещает, и тем самым переключает контакты. Переключатели могут быть замыкающими, размыкающими, переключающими. [3, с. 4]

К реле I класса надежности относятся реле, для которых не требуется дополнительный схемный контроль отпускания якоря или дублирование в электрических схемах, у которых возврат якоря при выключении тока в обмотках обеспечивается с максимальной гарантией и осуществляется под действием собственного веса якоря.



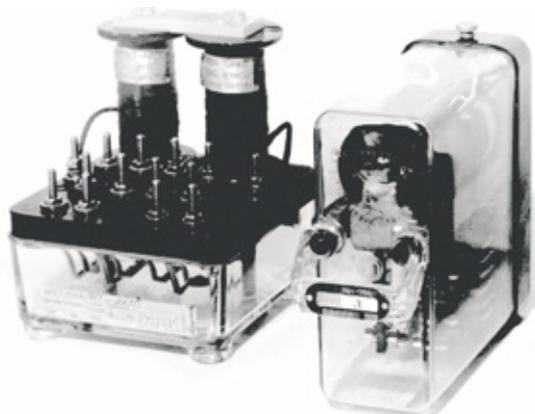
Реле I класса надежности обладают такими дополнительными свойствами, обеспечивающими высокую надежность их действия как несвариваемость фронтных контактов, замыкающих наиболее ответственные цепи при включенном состоянии реле. Для этого фронтные контакты изготавливают из графита с примесью серебра, а остальные контакты — из серебра. Исключение залипания якоря при выключении тока в обмотках реле обеспечивается наличием антимагнитных штифтов на якоре.

Реле I класса надежности применяют в аппаратуре СЦБ, обеспечивающей безопасность движения поездов, поэтому предъявляются особые требования к выполнению ремонта реле и тщательному соблюдению при этом технических условий.

В настоящее время на железных дорогах находятся в эксплуатации реле I класса надежности четырех поколений: реле группы НР, НШ, НМШ и РЭЛ. Все эти реле

предназначены для установки как на стативах, так и в релейных шкафах. На их основе строятся рабочие и контрольные цепи управления светофорами и стрелками, рельсовые цепи, а также логические схемы, непосредственно обеспечивающие безопасность движения поездов. [3, с. 5]

Реле группы НР первого поколения нештепсельные. Реле имеют стеклянный кожух, предохраняющий его от механических повреждений и проникновения пыли и влаги. Для включения в электрические схемы контакты реле выводятся на наружные болты с гайками, расположенные на верхней бакелитовой плате. Реле имеет две крупные наружные катушки. Каждая обмотка реле намотана на шпулю, изготовленную из пластмассы, пропитана битумом и сверху покрыта хлопчатобумажной лентой. Это реле не надежно, поэтому нашло ограниченное применение. [4, с. 502]



В период с 1954 по 1955 год начато серийное производство штепсельных реле второго поколения группы НШ. Наименование типа реле состоит из букв, обозначающих конструктивный тип реле и временные его характеристики, и цифр, показывающих число контактных групп и сопротивление катушек реле. По роду управляющего тока штепсельные реле разделяются на реле постоянного, переменного и постоянного и переменного тока. Это реле имеет большие размеры и массу. Конструкция реле НШ не сильно отличается по конструкции от реле НР, только катушки теперь были размещены под общим колпаком реле, а подключение стало штепсельным облегчающее замену реле в эксплуатационных условиях. Это реле также нашло ограниченное применение в устройствах СЦБ. [4, с. 421]

Реле модернизировались все последующие годы. Качественным прорывом стало изобретение малогабаритных реле третьего поколения группы НМШ. Малогабаритные реле нашли самое широкое применение в устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики.

Их серийное производство начато в 1959 году. Они изготавливаются двух видов штепсельные в индивидуальном колпаке для установки на стативах и в релейных шкафах, а также нештепсельные открытые для установки в релейных блоках. По электрическим и механическим характеристикам реле штепсельного типа и соответственно реле нештепсельного типа аналогичны. В отличие от реле

НР и НШ, по роду управляющего тока малогабаритные реле разделяются только на реле постоянного и переменного токов. Катушки реле НМШ намотаны на шпули, изготовленные из фенопласта, а не из пластмассы, как у реле НШ. [4, с. 305]



В начале 80-х годов освоено производство новых разновидностей электромагнитных реле четвертого поколения, входящих в комплекс новой релейной элементной базы систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Они обладают важными техническими и эксплуатационными преимуществами по сравнению с реле НШ и НМШ второго и третьего поколений. Реле четвертого поколения группы РЭЛ удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к приборам 1-го класса, предназначенным для обеспечения безопасности движения поездов. Электромагнитные реле имеют такую надежность действия, что не требуется дополнительный схемный контроль отпускания якоря или дублирование контактов в электрических схемах. Конструкция реле исключает возможность замыкания фронтального контакта при сваривании в аварийных случаях тылового и подвижного контактов. Новое реле так же не допускает несрабатывание при снятии напряжения с обмоток (залипание якоря, механические заклинивания, затирания). Реле четвертого поколения имеет две независимые обмотки, каждая из которых размещена на двух катушках, расположенных на разных сердечниках.

Впервые в конструкции реле для железнодорожной автоматики и телемеханики предусмотрена избирательность реле с помощью специальной планки избирательности с целью исключения ошибочной установки реле одного типа вместо другого.

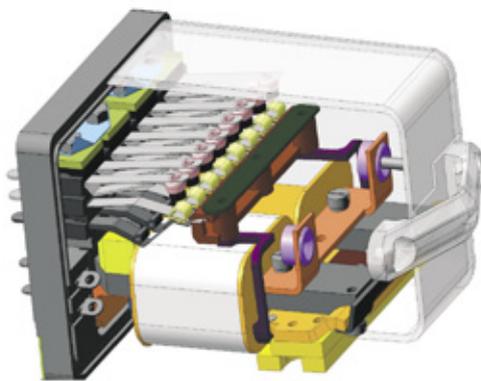


Несмотря на уменьшение размеров контактов, за счет изменения конструкции крепления грузов и других подвижных элементов реле увеличены коммутационный ресурс и виброустойчивость, уменьшен дребезг контактов.

Реле четвертого поколения занимают на стативе в 1,7 раза меньшую площадь, в 2 раза уменьшен его объем, в 1,5 раза снижена масса реле по сравнению с малогабаритными реле НМШ, сокращен расход пластмасс и цветных металлов, в том числе серебра. Повышена надежность штепсельного соединения реле с розеткой, стабильность его электрических и механических параметров. [4, с. 253]

С 2002 года при проектировании устройств железнодорожной автоматики и телемеханики вместо первых реле типа РЭЛ применяются модернизированные. При модернизации реле типа РЭЛ были изменены схема магнитопровода реле и конструкция обмоток реле — реле имеют неразветвленную магнитную систему с одним сердечником вместо двух и двумя катушками вместо четырех. В модернизированных реле сокращен более чем в 1,8 раза расход обмоточного провода, в 1,4 раза расход электрической стали, в 1,2 раза вес реле, уменьшено в 2 раза количество паечных соединений, повышена их ремонтпригодность.

С целью высвобождения производственных мощностей для расширения производства современных реле объединенные электротехнические заводы автоматики и телемеханики ОАО «ЭЛТЕЗА» с 2010 года сняло с производства морально устаревшие первые реле группы РЭЛ (БН) и их разновидности. Потому как на данный момент времени значительно расширился ассортимент реле, произведена их модернизация, созданы новые поколения реле. Таким принципиально новым реле разработанным в 2011 году стало реле модернизированное электромагнитное нейтральное постоянного тока четвертого поколения типа М. Модернизация предполагает повышение надёжности работы реле, сокращение расхода серебра, повышение технологичности его изготовления, сокращение затрат ручного труда при его изготовлении и последующей эксплуатации, и, как следствие, снижение себестоимости продукции.



В процессе модернизации был внесён целый ряд изменений в основные системы реле. Сборная стержневая

магнитная система заменена на плоскую, с П-образным сердечником, выполненную из листового или спеченного композиционного материала. Узел подвеса якоря модернизирован с целью исключения вероятности его заклинивания.

В контактной системе в первую очередь модернизация коснулась узла крепления угольного контакта к фронтальным пружинам реле. Предполагается повышение надёжности закрепления и снижение переходного сопротивления в узле и в паре с серебряными контактами. Так же в новом типе реле выполнена замена существующего контактного графита — серебряного материала на новый более прочный композиционный материал.

Основными преимуществами современного реле М, по сравнению с аналогами, являются его высокая технологичность, меньшее количество деталей и материалоемкость, увеличенная долговечность контактных групп, хорошая видимость состояния контактов, доступ к их регулировке, сокращенный объем обслуживания. [5]

В последние годы всё более широкое применение получают реле, созданные на основе новых принципов действия. К ним относятся, например, герконовые, гибридные и другие реле, имеющие повышенную износостойкость по числу коммутаций, более высокое быстродействие, более полную конструктивную и параметрическую совместимость с интегральными микросхемами и другими элементами электронной техники применяемой в устройствах автоматики и телемеханики.

Необходимо также отметить, что современные реле с магнитной блокировкой позволяют резко уменьшать расход электроэнергии и снижать тепловые перегревы внутри блоков аппаратуры, что, в свою очередь, приводит к увеличению срока службы аппаратуры. Среди реле с магнитной блокировкой появились конструкции, имеющие встроенные контакты для отключения собственных обмоток управления, сигнализацию о положении якоря и другие особенности, расширяющие их функциональные возможности.

Несмотря на все более и более широкое применение микропроцессорной техники в системах железнодорожной автоматики и телемеханики и положительные перспективы ее развития в будущем реле СЦБ 1 класса надежности последнего поколения будут продолжать находиться в эксплуатации десятилетиями. Они выполняют важнейшую функцию обеспечение безопасности движения поездов, поэтому работы по дальнейшему совершенствованию реле являются актуальными и необходимыми. [3, с. 5]

Литература:

1. Реле. wikipedia.org
2. История реле. Museumrza.ru
3. Сороко В.И. Реле железнодорожной автоматики и телемеханики. М.: НПФ «Планета», 2002.
4. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики. В.И. Сороко, Е.Н. Розенберг, 3-е издание, том 1.
5. Реле модернизированное электрокоммутационное типа Н: ntc-infotech.ru

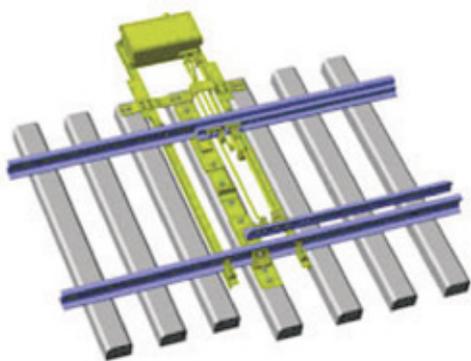
Развитие электроприводостроения для железнодорожных стрелочных переводов

Сташков Алексей Сергеевич, студент;

Селивёртов Денис Иванович, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Стрелочный электропривод – электромеханический переводной механизм, применяемый на железнодорожном транспорте при электрической, диспетчерской и горочной централизациях. Он предназначен для перемещения острия стрелочного перевода из одного положения в другое, запираения острия в крайнем положении, получения непрерывного контроля фактического положения стрелки. Установка электропривода производится на специальную гарнитуру, которая крепится к рельсам с правой или левой стороны стрелочного перевода. [1]



Для обеспечения безопасности движения поездов к стрелочным электроприводам всегда предъявлялись высокие требования надёжности. Стрелочные электроприводы должны обеспечивать при крайних положениях стрелок плотное прилегание прижатого острия к рамному рельсу, не допускать замыкания острия стрелки при зазоре между прижатым острием и рамным рельсом 4 мм и более, отводить другой остриек от рамного рельса на расстояние не менее 125мм. [2, с.53]

Самый первый стрелочный электропривод на железных дорогах России появился в середине 20-х годов прошлого века. Такой электропривод типа 3900 с наружными шарнирными замыкателями был аналогом электропривода фирмы «Сименс и Гальске» образца 1906 года. Он применялся в СССР для замыкания стрелок до конца 1950-х годов. В настоящее время широкое применение на отечественных железных дорогах нашли электроприводы с внутренним замыканием невзрезные серии СП. [3, с.117]

До 1960 года осуществлялся промышленный выпуск электроприводов типа СП-1, с 1960 по 1970 год изготавливались электроприводы типа СП-2. Электропривод типа СП-2 имеет один рабочий шиббер и две контрольные линейки. В приводе предусмотрен двусторонний выход рабочего шиббера и контрольных линеек, что позволяет на стрелочной гарнитуру устанавливать привод с правой или левой стороны стрелки путем перестановки рабочего шиббера и контрольных линеек. От ранее выпускаемого элек-

тропривода СП-1 электропривод СП-2 отличается тем, что имеет иную конструкцию редуктора, усиленный упор, фрикционное сцепление с вала электродвигателя перенесено на вал редуктора.

Следующий этап совершенствования конструкции стрелочных электроприводов пришёлся на начало 1970-х годов. Тогда было введено раздельное крепление рабочих и контрольных тяг с остриями стрелок. В связи с переходом на гарнитуры с раздельным креплением рабочих и контрольных тяг диаметры присоединительных отверстий в контрольных линейках и рабочем шиббере были увеличены в новом электроприводе типа СП-2Р. Таким образом, электропривод СП-2Р отличается от выпускавшегося ранее СП-2 только увеличенным диаметром отверстий на концах контрольных линеек и рабочего шиббера.

С декабря 1973 года взамен электроприводов СП-2Р начали серийно выпускать стрелочные электроприводы типа СП-3. Стрелочный электропривод типа СП-3 имеет один рабочий шиббер и две контрольные линейки; предназначен для перевода, запираения и контроля положения стрелок всех типов с нераздельным ходом острия. В новом приводе был так же предусмотрен двусторонний выход рабочего шиббера и контрольных линеек

Электропривод типа СП-3 имел ряд преимуществ перед ранее выпускаемыми СП-2 и СП-2Р. Переводное усилие на рабочем шиббере привода СП-3 увеличено на 2 кН и доведено в среднем до 4,5 кН. Электропривод может развивать максимальное переводное усилие до 6 кН, что достигнуто за счет увеличения передаточного числа редуктора до 70 вместо 55 в электроприводах СП-2 и СП-2Р и применения более мощного электродвигателя МСП-0,25 вместо МСП-0,1.

В новой конструкции облегчено эксплуатационное обслуживание в части быстроты замены пружин автопереключателя. В электроприводе СП-3 в автопереключателях применены пружины растяжения, которые устанавливаются над рычагами авто переключателя, взамен пружин кручения в СП-2Р.

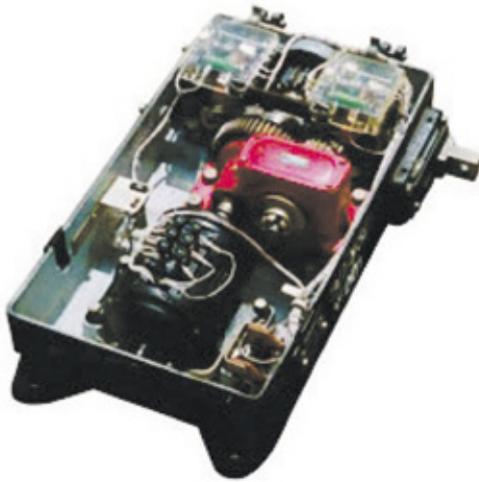
Впервые введен электрообогрев привода для уменьшения образования конденсата и устранения явления индевенения открытых контактов автопереключателя. А также установлены прозрачные колпаки из пластмассы над контактными колодками для устранения попадания конденсата на контактные пластины, улучшена герметизация корпуса привода за счет увеличения захода бортов крышки на 18 мм вместо 13 мм в приводе СП-2Р.

С 1982 года начали серийно выпускать стрелочные электроприводы типа СП-6 для электрической централизации с улучшенными эксплуатационными характеристиками по сравнению с электроприводами типа СП-3.

Для маневровых районов станций применяются также электроприводы типа СПГ-3М на базе электропривода СП-6, бесконтактные электроприводы типа СПГБ-4 на базе электропривода СП-3 и СПГБ-4М на базе электропривода СП-6.

В начале 1993 года модернизации подвергся и электропривод типа СП-6. С января начался выпуск модернизированных электроприводов СП-6М.

Для высокоскоростного движения выпускается электропривод типа СП-12 для работы с внешним замыкателем. Главным отличием электропривода СП-12 от СП-6М является другой ход шибера и ход контрольных линеек, а также то, что запирающее прижатое острия осуществляется внешним замыкателем, а удержание ответственного острия с помощью внутреннего замыкателя.



С июля 1995 года начали серийно выпускать бесконтактные горочные электроприводы СПГБ-4Б вместо СПГБ-4М.

Таким образом, в настоящее время для магистрального железнодорожного транспорта выпускаются промышленностью электроприводы СП-6М и СП-12 и горочные СПГБ-4Б, которые нашли самое широкое применение, как при новом строительстве железных дорог, так и при плановых заменах выработавших свой ресурс стрелочных электроприводов. [3, с 476]

Но на этом развитие электроприводостроения не остановилось. В 1999 году начато серийное освоение производства принципиально новых электроприводов — винтовых неврезных с внутренним замыкателем типа ВСП-150.



Электропривод может быть собран как для правосторонней, так и для левосторонней установки на стрелке. Для этого шибер имеет два выхода, один из которых (нерабочий) закрыт кожухом, а линейки, переставляются, при этом крышка может быть установлена с противоположной стороны привода. Электропривод ВСП-150 выпускается с электродвигателем переменного тока МСТ-0,3-ВСП на 190 В. У традиционных электродвигателей переменного тока типа МСТ применяемых для электроприводов серии ВСП тоже изменился внешний вид. Средний срок службы современного электропривода составляет 20 лет.

Привод ВСП-150 разработан с целью замены существующих приводов СП-6М, а также для применения на вновь строящихся скоростных магистралях. Принципиальным отличием является наличие в электроприводе шарико-винтовой пары, которая работает с малыми потерями на трение, высоким КПД передачи, достаточным запасом прочности. Применена новая контрольная система на базе переключателей положений ПП-1, упрощена кинематическая схема, снижены эксплуатационные расходы на обслуживание, усовершенствован узел защиты электродвигателя от перегрузок за счет применения фрикционной муфты. [4]

На сортировочных механизированных горках для перевода, запирающего и контроля положения стрелок с нераздельным ходом острия в настоящее время так же применяются электроприводы типов СПГ-2, СПГ-3, СПГ-3М, СПГБ-4, СПГБ-4М и СПГБ-4Б. В горочных электроприводах СПГ-2 и СПГ-3 устанавливается электродвигатель постоянного тока типа МСП-0,25 на номинальное напряжение 100 В. Для получения более высокой скорости перевода стрелки на клеммы электродвигателя подается напряжение 200 В. Последними модификациями горочных электроприводов являются контактные электроприводы типа СПГ-3М на базе электропривода СП-6, бесконтактные электроприводы типа СПГБ-4М на базе электропривода СП-6 и бесконтактные электроприводы типа СПГБ-4Б на базе электропривода СП-6М.

До 1974 года в нашей стране изготавливались и другие типы стрелочных электроприводов. Врезной электропривод типа СПВ-5 имел максимальное переводное усилие 2500 Н. С 1974 по 1990 год изготавливались электроприводы типа СПВ-6, которые имели по сравнению с СПВ-5 ряд преимуществ. Это и увеличенное переводное усилие на рабочих шиберах, улучшенное эксплуатационное обслуживание в части быстроты замены пружин автопереключателя за счёт применения пружин растяжения в замен пружин кручения. В электроприводе СВ-6 был введен электрообогрев привода для уменьшения образования конденсата и устранения явления индеевания контактов и установлены прозрачные колпаки из пластмассы над контактными колодками для устранения попадания конденсата на контактные пластины.

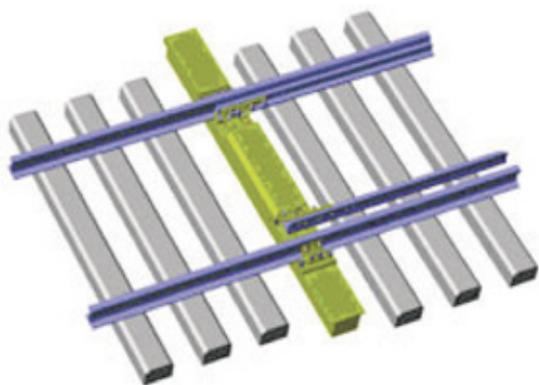
Увеличение массы и скоростей движения поездов, применение новых конструкций стрелочных переводов из рельсов тяжелых типов с гибкими остриями, жестко свя-

занными между собой тягами, исключили возможность применения электроприводов серии СПВ, требующих обязательно раздельного хода остряков. Учитывая это, а также целесообразность применения на сети железных дорог единой унифицированной конструкции, производство электроприводов серии СПВ было прекращено.

Внутри электроприводов всех типов имеется блокировочный контакт, выключающий привод из электрической цепи в момент открывания крышки привода в целях безопасности обслуживающего персонала. При отсутствии электропитания привод может быть переведен с помощью специальной рукоятки, поставляемой вместе с каждым пятью электроприводами. При снятом электродвигателе привод может быть также переведен на ручное управление, для чего в комплекте к каждому пяти приводам, помимо специальной рукоятки, прикладывается ось ручного перевода. [3, с. 477]

В настоящее время для замены находящихся в эксплуатации стрелочных электроприводов серий СП и ВСП разработано резко отличное устройство для перевода стрелки — устройство переводное стрелочное типа УПС. УПС представляет собой электромеханический модуль в полем металлическом бруске в комплекте с новыми монтажными элементами и новой стрелочной гарнитурой.

Электромеханический привод УПС, разработан на базе модернизированной конструкции стрелочного электропривода типа СП-6К и выполнен в виде модуля на собственной раме (несущей плите), который размещен в полем металлическом бруске. Защитные крышки УПС предотвращают попадание атмосферной влаги и загрязнений во внутреннее пространство полого металлического бруска, который по внутренней поверхности имеет покрытие, препятствующее образованию конденсата, являющегося причиной коррозии деталей механизмов. Механические узлы УПС спроектированы с применением изделий из сплавов с высокой стойкостью к динамическим нагрузкам, современных самосмазывающихся антифрикционных материалов.



УПС содержит новую высокоточную необслуживаемую фрикционную муфту, необслуживаемый редуктор, новые элементы электрокоммутации в автопереключателе, новую стрелочную гарнитуру с износостойкими самосмазывающимися изделиями в парах трения, конструктивно новое исполнение узлов для монтажа УПС на стрелочный перевод.



Все эти преимущества устройства УПС позволяют увеличить период между очередным техническим обслуживанием в 2 раза, следовательно, пропорциональное снижение удельной трудоемкости работ. [5]

Рассматривая новые конструкции стрелочных электроприводов необходимо отметить и то, что, несмотря на появление таких принципиально новых электроприводов как УПС в настоящее время не закончена модернизация и электроприводов серии СП. Так специалистами завода «Термотрон» налажен выпуск электроприводов типа СП-6К. Электропривод стрелочный невзрезной с внутренним замыканием типа СП-6К предназначен для перевода в повторно-кратковременном режиме, запираения и контроля положения в непрерывном режиме стрелок с нераздельным ходом остряков.

По сравнению с электроприводом СП-6М электропривод СП-6К имеет ряд преимуществ. Ролики ножевого и переключающего рычага выполнены из антифрикционного материала ПАСМ. Это снижает затраты на обслуживание и их износ в процессе эксплуатации. В самом редукторе вместо подшипников качения используются подшипники скольжения из антифрикционного материала ПАСМ. Он не требует смазки в процессе эксплуатации. Так же в редукторе применены металлокерамические фрикционные диски. Они во время работы выдают более стабильные рабочие показатели. Сам редуктор «сухого» типа. Его зубчатая передача работает без смазки.



Для повышения сохранности элементов привода в конструкции крышки введена защита шарниров. Крышка электропривода СП-6К с внутренней поверхности покрыта антиконденсатным материалом. Это предотвращает попадания конденсата на токоведущие и рабочие элементы привода. Для покрытия элементов электропривода применяется термодиффузионное оцинкование и вододисперсионная краска «Мета-Текс». [6]

Литература:

1. Стрелочный электропривод. ru.wikipedia.org
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. ЦРБ-756, Москва 2000 г.
3. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России; Энциклопедия, том 1; В.И. Сороко, В.М. Кайнов, 2006 г.
4. Электропривод стрелочный с внутренним замыкателем типа ВСП-150. scbist.com
5. Устройство переводное стрелочное УПС. ntc-infotech.ru
6. Электропривод СП-6К. termotron.4br.ru

Повышение качества обработки телеметрических данных по функционированию газотранспортной системы на основе использования методов сглаживания временных рядов и методов по фильтрации аномальных значений

Филипенков Артем Викторович, инженер-программист
ООО «Газпром Трансгаз Москва»

Шемелин Владимир Константинович, кандидат технических наук, профессор
Московский государственный технологический университет «Станкин»

В настоящее время все современные схемы автоматического и диспетчерского управления технологическим процессом трубопроводного транспорта газа основаны на использовании информационных систем управления (ИСУ), которые обеспечивают сбор телеметрических данных с замерных датчиков и вычислительных комплексов, их хранение, отображение и обработку [2, с. 133].

Современные интегрированные автоматизированные системы управления (ИАСУ) представляют собой многоуровневые распределенные системы, реализующие функции контроля, регистрации, стабилизации, регулирования, управления и моделирования. Во всех этих системах в большей или меньшей мере реализованы такие принципы, как работа в режиме реального времени, использование большого объема избыточной информации (высокая частота обновления данных), наличие резервного оборудования, работающего в «горячем режиме», сетевая архитектура, принципы модульного исполнения и открытых систем [2, с. 133].

Такие системы, как правило, реализуют четыре основные группы функций:

- информационное обеспечение всех уровней контроля и управления;
- обработку данных телеизмерений всех уровней контроля и управления;
- реализацию управляющих функций;
- противоаварийную защиту технологического процесса и оборудования.

1. Основные компоненты информационного обеспечения – это:

- сбор сигналов с аналоговых, дискретных, интеллектуальных датчиков и контроллеров;
- интерактивные интерфейсы ручной корректировки информации;

- первичная обработка данных и оценка значений параметров по измеренным сигналам;

- расчет средних интегральных значений параметров за определенные промежутки времени (каждый час);

- отображение на мониторах текущих значений и состояний технологических параметров.

2. Обработка данных телеизмерений и решение различных задач автоматического и диспетчерского управления включает:

- первичную обработку поступающих телеизмерений, фильтрацию ошибочных данных;

- оперативное распознавание аварийных ситуаций;

- определение текущих показателей режима.

3. Реализация управляющих функций обеспечивает:

- автоматическое регулирование, как отдельных параметров, так и контуров по стандартным и специальным алгоритмам регулирования;

- дистанционное управление основным и вспомогательным оборудованием.

4. Функция противоаварийной защиты технологического процесса и оборудования заключается в защите оборудования при достижении предельных (аварийных) значений технологических параметров путем формирования и выдачи управляющих сигналов [2, с. 135].

Исходными данными, обрабатываемыми ИАСУ, служат оперативно-технологическая информация, собираемая автоматизированной системой диспетчерского управления (АСДУ). Структура типовой газотранспортной системы представлена на рис. 1.

Приведем основной перечень параметров, измеряемых на объектах газотранспортной системы (рис. 1):

- давление на входе $P_{вх}$ и выходе $P_{вых}$ каждого ГПА. КЦ, КС (МПа);

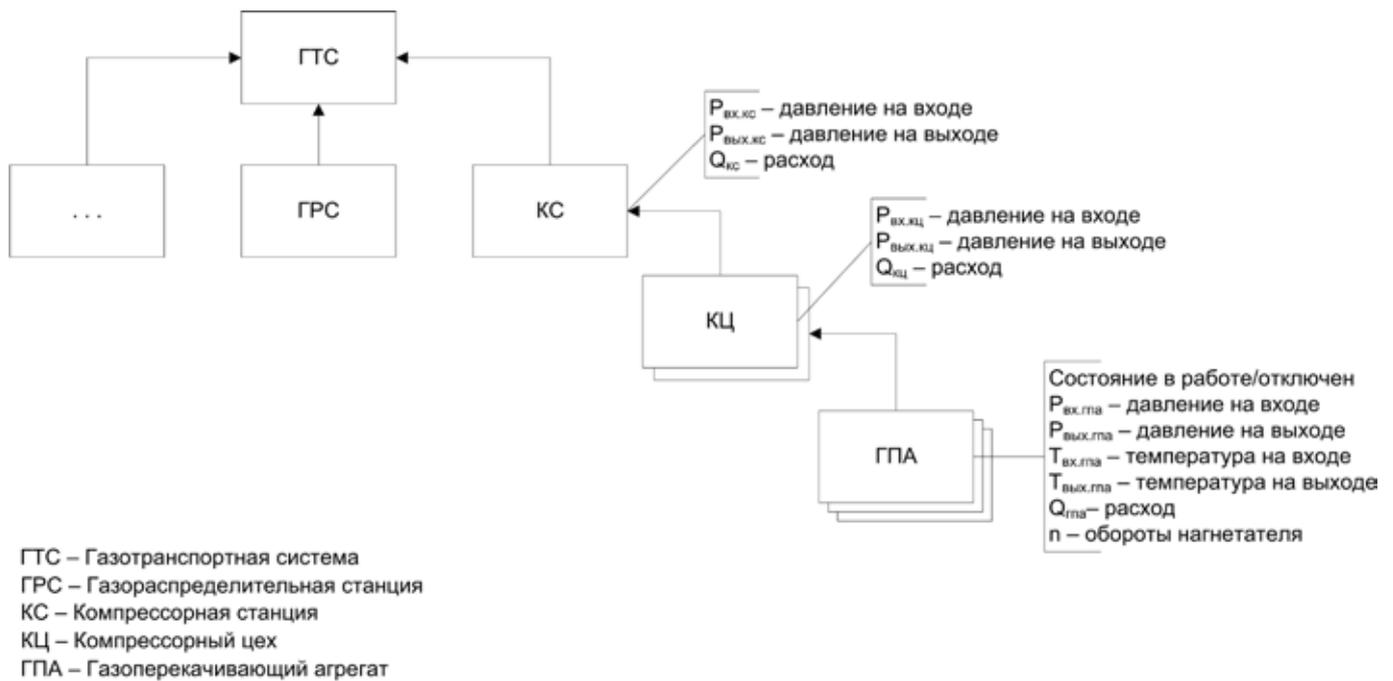


Рис. 1. Структура газотранспортной системы

– температура газа на входе $T_{вх}$ и выходе $T_{вых}$ каждого ГПА, КЦ, КС ($^{\circ}\text{C}$);

– частота вращения нагнетателя (по ГПА), n (об./мин).

подавляющее большинство моделей расчетных объектов: ГПА, КЦ, КС – связывают входные и выходные параметры газового потока. Часть этих параметров должна быть задана, другая рассчитана. [2, с. 136]

Некоторым моделям не требуется знания предыстории процесса во времени. Другим моделям необходимо знание такой предыстории.

Системы телеизмерений обеспечивают накопление данных о процессе во времени. На основе полученных массивов замеров строятся графики временных трендов, формируются таблицы и документы отчетности (диспетчерский журнал). Как правило, данные, полученные со SCADA-систем, без предварительной обработки поступают в качестве исходных данных в расчетные комплексы моделирования процесса. Если эти значения параметров использовать в качестве исходных данных в моделях процесса и расчетных алгоритмах, то ошибки результатов могут оказаться значительными. [2, с. 136–137]

При отсутствии блока предварительной обработки стохастических данных могут возникать ситуации, когда комплекс моделирования будет давать недостоверные решения и ошибочные рекомендации по управлению режимами ГТС (рис. 1).

Поэтому статистическая обработка замеров должна быть обязательной компонентой любого комплекса моделирования.

Это позволит:

– получать статистически достоверные параметры и их доверительные интервалы (уставки);

– проводить статистическую оценку качества самих замеров параметров и их фильтрацию;

– прогнозировать динамику параметров процесса транспорта газа.

Основными компонентами процедуры анализа данных и подготовки моделей к эксплуатации в расчетных задачах являются:

а. Сглаживание временных рядов замеров параметров полученных системами телеизмерений;

б. Фильтрация аномальных значений замеренных данных.

а) Одним из методов сглаживания временных рядов является **Метод наименьших квадратов (МНК)**. [1, с. 717]

Традиционный метод наименьших квадратов является наиболее распространенным, исследованным и удобным (в вычислительном плане).

Для упрощения изложения рассмотрим случай линейной функции одного аргумента, например изменения давления газа с течением времени $P(t)$.

Пусть из опыта получены точки (рис. 2). Требуется найти уравнение прямой (1), наилучшим образом согласующейся с опытными точками.

$$P(t) = a * t + b \quad (1)$$

Пусть мы нашли такую прямую. Обозначим через δ_i расстояние от опытной точки до этой прямой (рис. 2).

Из уравнения (1) следует, что:

$$\delta_i = P_i - a * t_i - b \quad (2)$$

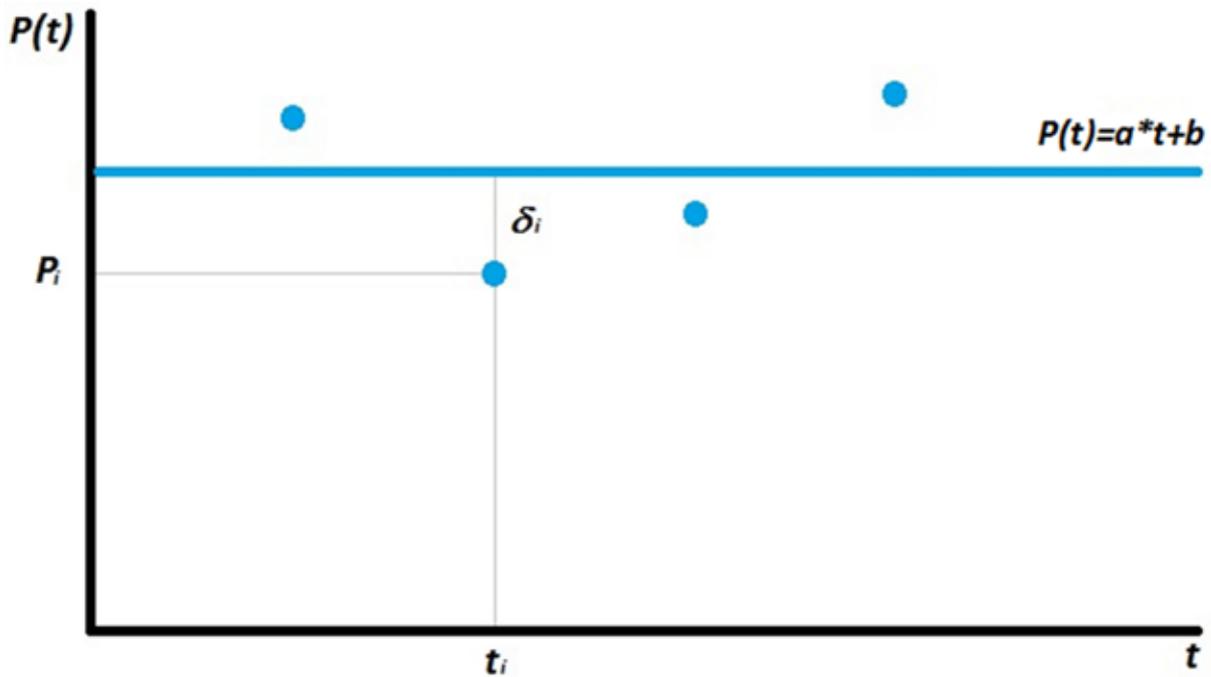


Рис. 2. Метод наименьших квадратов

Чем меньше числа δ_i по абсолютной величине, тем лучше подобрана прямая (1). В качестве характеристики точности подбора прямой можно принять сумму квадратов (3).

$$S = \sum_{i=1}^n \delta_i^2 = \sum_{i=1}^n (P_i - a*t_i - b)^2 \quad (3)$$

Условия минимума S будут:

$$\begin{cases} \frac{\partial S}{\partial a} = -2 \sum_{i=1}^n (P_i - a*t_i - b)*t_i = 0 \\ \frac{\partial S}{\partial b} = -2 \sum_{i=1}^n (P_i - a*t_i - b) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Систему уравнений (4), можно записать в таком виде:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i * t_i = a * \sum_{i=1}^n t_i^2 + b * \sum_{i=1}^n t_i \\ \sum_{i=1}^n P_i = a * \sum_{i=1}^n t_i + n * b \end{cases} \quad (5)$$

Прямая (1), определяемая системой уравнений (5), называется прямой, полученной по методу наименьших квадратов и является функцией сглаживания временного ряда замера давления.

Отметим, что МНК обладает высокой чувствительностью к грубым ошибкам в телеизмерениях. Это нарушение приводит к значительной потере статистических свойств МНК оценок и резкому искажению оценки измерения параметра.

Устранение влияния больших ошибок на оценки наименьших квадратов предусматривает априорное или апо-

стериорное обнаружение неверных измерений с последующим их удалением из состава исходных данных. Такой подход требует дополнительной разработки алгоритмов, повышающих достоверность измерений. [2, с. 146]

б) Одним из предлагаемых методов по фильтрации аномальных (не достоверных) значений замеренных данных, является **Упрощенное математическое моделирование**.

Предложенный метод основывается на том, что процесс перекачки газа это физический процесс, и он может быть описан по физическим законам.

Рассмотрим упрощенное математическое моделирование газоперекачивающего агрегата имеющего набор замеряемых параметров $\{P_{\text{вх}}, T_{\text{вх}}, P_{\text{вых}}, T_{\text{вых}}, n\}$ где $P_{\text{вх}}$ – давление газа на входе; $P_{\text{вых}}$ – давление газа на выходе; $T_{\text{вх}}$ – температура газа на входе; $T_{\text{вых}}$ – температура газа на выходе; n – обороты нагнетателя.

Для построения упрощенной математической модели используем расчетные показатели газового компрессора [3, с. 8].

При $n > 0$:

$$m_T = \frac{\ln\left(\frac{T_{\text{вых}} + 273}{T_{\text{вх}} + 273}\right)}{\ln\left(\frac{P_{\text{вых}} + 1}{P_{\text{вх}} + 1}\right)} \quad (6)$$

где m_T – температурный коэффициент политропы, $m_T \approx 0,3$.

Из уравнения (6) можно вывести значение любого замеряемого параметра как функцию от остальных. Для примера составим функцию зависимости выходного давления (7).

$$P_{\text{вых}} = m_i \sqrt{\frac{T_{\text{вых}} + 273}{T_{\text{вх}} + 273}} * (P_{\text{вх}} + 1) - 1 \quad (7)$$

Уравнение (7) можно использовать для проверки достоверности значения выходного параметра $P_{\text{вых}}$.

При $n = 0$, группа параметров не проверяется.

При $n < 0$, значение параметра n является не достоверным.

Литература:

1. Корн Г., Корн Т., Справочник по математике для научных работников и инженеров. — М.: Наука, 1977. — 831 с.
2. Сарданашвили С.А. Автоматизация процесса принятия решений в диспетчерском управлении газотранспортной отрасли: Диссертация доктора тех. наук. — М., 2006. -297 с.
3. Щуровский В.А., Сеницын Ю.Н., Корнеев В.И., Черемин А.В., Степанов Г.С., Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчетов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов. М.: вниигаз, 1999. — 26 с.

Применение транспортных контейнеров в хозяйстве автоматики и телемеханики

Халиков Ильнур Алмазович, студент;

Селивёртов Денис Иванович, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Контейнер — стандартизированная многооборотная тара, предназначенная для перевозки грузов автомобильным, железнодорожным и морским транспортом и приспособленная для механизированной перегрузки с одного транспортного средства на другое. Он может быть выполнен из различных материалов и иметь разнообразные формы. На транспорте наибольшее применение для перевозки грузов получили так называемые универсальные контейнеры, однако железнодорожники нашли им принципиально новое применение. [1]

Качественным прорывом стало использование транспортных контейнеров при капитальном строительстве и обновлении устройств железнодорожной автоматики. Для размещения постового оборудования автоматики малых станций сначала был приспособлен большой транспортный металлический контейнер, который в процессе своего совершенствования получил название — модуль.

В 1991 году в проекте электрической централизации пригородной тупиковой станции Посёлок, включающей всего централизованные 3 стрелки, впервые постовое оборудование электрической централизации было размещено в металлическом транспортном контейнере. Такая первая разработка имела название «Контейнерная централизация», сокращённо ЭЦ-К и нашла массовое применение в конце 20 века на малых станциях сети железных дорог России. В контейнере ЭЦ-К устанавливаются релейные и кроссовый стививы, питающие панели, а аппарат управления дежурного по станции при этом размещается

Выводы

Показано, что в результате совместного использования методов сглаживания временных рядов и методов по фильтрации аномальных значений в АСДУ, газотранспортной системы достигается:

— исключение влияния субъективного фактора при принятии решений по анализу функционирования газотранспортной системы.

— повышение качества поступающих телеметрических данных о состоянии элементов газотранспортной системы.

в существующем каменном здании поста электрической централизации ЭЦ. В одном контейнере может быть размещено постовое оборудование электрической централизации станции до 6—8 стрелок. При большем количестве стрелок требуется установка двух контейнеров. [2, с 425]



Позднее при разработке электрической централизации средних станций появилась идея стыкования контейнеров, для чего были убраны их боковые стены. В результате была разработана новая модульная система — ЭЦ-ТМ. В её состав уже входило несколько контейнеров разных по исполнению и производственному назначению.

Модуль МП предназначен для установки до пяти включительно панелей питания. Не занятые монтажные места могут занимать релейными стививами. На передней торцевой стенке устанавливаются щиты для управления электроотоплением, освещения, вентиляторами, кондиционерами. Модуль оборудован кондиционером, двумя

реверсивными вентиляторами, у наружной двери — лампа аварийного освещения. В модуле предусмотрена пристенная конструкция для прокладки и крепления внешних кабелей электропитания. Корпус модуля выполнен с одной боковой левой стенкой. Имеется наружная дверь. В зависимости от проекта может быть установлен щит выключения питания ЩВПУ, аккумуляторный шкаф.

Модуль МР обеспечивает установку и монтаж двух полных рядов релейных и блочных стативов: релейных в количестве 10 штук, или блочных в количестве 12 штук, распределительных в количестве 2 штук.

Модуль МРК предназначен для установки релейных и кроссовых стативов. Он обеспечивает установку и монтаж двух рядов стативов. Корпус модуля выполнен с одной боковой правой стенкой. Имеется наружная дверь. Возможна установка 4-х кроссовых стативов, а также 6-ти блочных стоек и 1-го распределительного стativa или 5-ти релейных стативов.

Модуль оборудования МО предназначен для хранения материалов и оборудования. На передней стенке устанавливается шкаф управления электроотоплением с приборами коммутации цепей питания, отопления, вентиляции. Модуль оборудован 2 рядами стеллажей с полками в 4 яруса.

Модуль связевой МС предназначен для размещения связевого оборудования. Модуль оборудован кабельростом.

Модуль аппаратный МА обеспечивает установку одного пульта управления ППНБМ-1200 или двух пультов ППНБМ-1200 и ППНБМ-800. Модуль оборудован шкафом управления электроотоплением с приборами коммутации цепей питания, вентиляции, в зависимости от проекта щитом выключения питания ЩВПУ. Рабочее место дежурного по станции, кроме пульта, оборудовано столом, стулом и лампой настольной. Окно имеет жалюзи и ставни наружные металлические. Корпус модуля выполнен с 4 стенками. Имеется внутренняя дверь сообщения с модулем МБ.

Модуль бытовой МБ оборудован тамбуром, биотуалетом, умывальником, мебелью — стол, стулья, диван, шкаф для одежды и бытовыми приборами — холодильник, электрическая плита.



Каждый такой контейнер — модуль в составе ЭЦ-ТМ представляет собой помещение с утепленными стенами, полом и потолком. В нём предусматривается электрическое отопление, освещение и приточно-вытяжная вен-

тиляция с кондиционированием воздуха. Впоследствии к существующей комплектации добавилась современная система газового пожаротушения и охранной сигнализации. Непосредственно на месте строительства контейнеры устанавливаются на подготовленные бетонные фундаменты. При производстве модулей применяются негорючие и нетоксичные материалы, его технические характеристики позволяют применять модуль в качестве служебно-технического помещения практически во всех климатических зонах России. Ввод силовых и сигнально-блокировочных кабелей в блок-модуль осуществляется по отдельным каналам выше уровня пола, что гарантирует исключение попадания внутрь грунтовых вод через кабельные каналы. Срок службы электрической централизации модульного типа такой же, как и у традиционных каменных постов электрической централизации ЭЦ. [3]

Основным преимуществом модульных систем является отказ от строительства капитального каменного здания. Применение таких систем позволило не только существенно снизить стоимость строительства, но и значительно ускорить само строительство вообще и производство пусконаладочных работ устройств СЦБ в частности, так как контейнеры поставляются заводом уже с отрегулированной на искусственном макете реконструируемой станции автоматикой. Эксплуатационникам на месте достаточно при помощи сварки соединить модули между собой и подключить кабели управления светофорами, стрелками и т.д.

Модернизация железнодорожной автоматики затронула все её подсистемы, в том числе и перегонные устройства. Возникло интересное предложение: оборудование из многочисленных релейных шкафов сигнальных установок многокилометровых перегонов сконцентрировать в одном помещении. Таким пунктом концентрации, расположенным на перегоне, стал опять же модуль. Новшество заметно сократило эксплуатационные затраты на обслуживание, кроме того заметно улучшило условия труда электромехаников СЦБ.

В тоже время контейнеры начали применять для размещения в них перегонной аппаратуры устройств теплового контроля буксовых узлов — ДИСК и КТСМ. Модули перевозятся аналогично морским контейнерам ИСС, что позволяет без проблем транспортировать их на железнодорожных платформах для большегрузных контейнеров или автомобильными трейлерами в любое место.



Модуль оборудован системами электроосвещения, электроотопления, вентиляции, пожарной и охранной сигнализации. Модуль разделен перегородкой на тамбур и основное помещение. В основном помещении размещаются: комплект перегонной части аппаратуры КТСМ, пожарный и охранный пульты, электрообогреватель, три лампы дневного света, мебель (стол, два стула), огнетушитель, стеллаж для размещения инструмента и оборудования. Незанятое пространство основного помещения может использоваться для установки дополнительного оборудования (шкафов, стеллажей и др.). Основное помещение оборудовано вентилятором приточной вентиляции. В случае срабатывания пожарной сигнализации вентиляционные приборы автоматически обесточиваются по сигналу с пожарного пульта. Кроме этого, в модуле есть система электроотопления. Отопление рассчитано на поддержание в основном помещении в зимний период времени температуры не ниже $+15^{\circ}\text{C}$. В качестве отопительных приборов используются регулируемые масляные электрорадиаторы «Universal» мощностью 1,5 кВт. Управление электроотоплением ведется автоматически с помощью термодатчика, установленного в основном помещении. Модуль оборудован системой пожарной сигнализации или пожаротушения. В тамбуре и основном помещении модуля установлены дымовые датчики. Модуль оснащен охранной сигнализацией. На дверях модуля установлены магнитоконтактные сигнализаторы. При их срабатывании «тревожный сигнал» аппаратура КТСМ передает на станцию. [3]

Широко и по сей день используются контейнеры для размещения аппаратуры автоматики и пульта управления временных блок-постов. Такие мобильные блок – посты устанавливаются на двухпутных перегонах и предназначены для организации бесперебойного движения поездов на участке во время капитального ремонта одного из путей. Ёмкость технологического помещения позволяет разместить пульт-табло и четыре релейных станины типа СРКМУ-2500, на одном из которых расположена вводная панель питания. Модуль разделён перегородкой на помещение релейной части, в которой расположены станины, и помещение дежурного по временному блок-посту, в котором в качестве отопительных приборов используются масляные электропечи типа ЭРМ.ПБ-1,25/220. В здании запроектирована приточно-вытяжная вентиляция с естественным побуждением. В помещении релейной приток предусмотрен в нижнюю зону, вытяжка из верхней зоны через отверстия, затянутые сеткой, в боковых стенах модуля. В помещении дежурного предусмотрено кондиционирование бытовым кондиционером. Для защиты людей от поражения электрическим током предусмотрена установка устройства защитного отключения УЗО. [3]

В настоящее время разработчики устройств автоматики и телемеханики не останавливаются на достигнутом. Тенденция применения контейнеров для размещения различного оборудования СЦБ получила своё активное продолжение. Появились модули с самыми современными автоматическими дизель-генераторными установками

внутри. Такие установки устанавливаются рядом с постом ЭЦ и являются третьим аварийным источником электропитания устройств СЦБ. В новой конструкции в отличие от модулей ЭЦ появились автоматические вентиляционные жалюзи, которые открываются в момент пуска дизеля. Топливо-масляная сборка обеспечивает внутренний запас по топливу – 300 л, по маслу – 60 л.



Темпы строительства и обновления не снижаются и в настоящее время, техническое перевооружение и развитие хозяйства автоматики и телемеханики с применением контейнеров продолжается.

К новым разработкам относятся, модуль аппаратуры переезда МАП который предназначен для размещения аппаратуры управления автоматической переездной сигнализацией и заграждения переезда УЗП. Такой модуль заменяет все релейные шкафы, батарейный шкаф, устанавливаемые на переезде. В модуле установлены пять релейно-кроссовых станин, оборудование электропитания, приборы электроотопления, вентиляции, связи, аварийного электропитания, охранной и пожарной сигнализации.



Кроме того, в нём устанавливается аккумуляторный шкаф. Модуль МАП повышает сохранность оборудования управления переездом, улучшает условия труда электромеханика СЦБ. МАП может транспортироваться автомобильным, железнодорожным и морским видами транспорта. При необходимости модуль МАП может быть демонтирован и установлен на новом месте без дополнительных проверок. Существует два исполнения модуля МАП: для регулируемого и нерегулируемого переезда. [4, с 16]

Ещё одна современная разработка это модульный пост дежурного по переезду выполненный в виде разборного здания, состоящего из двух контейнеров и предназначен для размещения в нём дежурного по переезду и аппаратуры автоматики управления переездом. Пост представляет собой металлоконструкцию, состоящую из комнаты дежурного по переезду, релейной, кладовки и застеклённой веранды. Пост оборудуется рабочим и аварийным освещением, электроотоплением (регулировка осуществляется вручную), охранно-пожарной сигнализацией. В помещении релейной установлена система автоматического газового пожаротушения. [3]

Еще одна не менее полезная современная разработка – модульный пункт-мастерская для электромеханика СЦБ предназначен для использования в качестве мобильного модульного здания для технического обслужи-

вания и ремонта устройств СЦБ. Пункт-мастерская обеспечивает безопасные и комфортные условия труда работников хозяйства автоматики и телемеханики в любой местности. За счет установки модуля в непосредственной близости к месту проведения работ уменьшаются эксплуатационные расходы. Модуль обеспечивает возможность отдыха и обогрева 4–6 человек. Такой модуль состоит из мастерской, кладовой и тамбура. Также как и другие выше перечисленные модули, он оснащен системами: освещения, электрического отопления, приточно-вытяжной вентиляции, охранно-пожарной сигнализации. [5]

В настоящий момент появились на крупных станциях уже и двух этажные большие модульные комплексы электрической централизации, в состав которых входят до 20 контейнеров.

Литература:

1. Контейнер. ru.wikipedia.org
2. Автоматика, телемеханика, связь и вычислительная техника на железных дорогах России; Энциклопедия, том1; В.И. Сороко, В.М. Кайнов, 2006 г.
3. Транспортабельные модули. ketz.ru
4. Модуль аппаратуры переезда. АСИ №3, 2005 г. 16с
5. Модуль электромеханика СЦБ.scbist.com

4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Полимерные транзисторы

Кузьмина Евгения Константиновна, студент; Монахова Виктория Алексеевна, студент;
Цуркин Анатолий Петрович, преподаватель
Московский государственный университет экономики, статистики и информатики

Что мы знаем о транзисторах?

Первый транзистор был сконструирован в 1947 году Дж. Бардином и У. Браттейном в США. Первоначально название «транзистор» относилось к резисторам, управляемым напряжением. В самом деле, транзистор можно представить как некое сопротивление, регулируемое напряжением на одном электроде (в полевых транзисторах — напряжением между затвором и истоком, в биполярных транзисторах — напряжением между базой и эмиттером). Когда разработанное устройство было запатентовано, предлагались названия «полупроводниковый триод» (semiconductor triode), «Solid Triode», «Surface States Triode», «кристаллический триод» (crystal triode) и «Iotatron», но слово «транзистор» (transistor, образовано от слов transfer — передача и resist — сопротивление), предложенное Джоном Пирсом

(John R. Pierce), победило во внутреннем голосовании. [1]

Классификация транзисторов проводится по самым разным критериям:

- по структуре (биполярные, полевые, однопереходные и криогенные);
- по мощности (маломощные, среднемощные, мощные);
- по исполнению (дискретные, корпусные, бескорпусные, в составе интегральных схем);
- по материалу (металл, пластик, полимеры);

И еще два особенных типа: одноэлектронный и биотранзистор.

Полимерные транзисторы — шаг в будущее

Мы уже давно перестали удивляться применению самой разнообразной органики в составе полупровод-

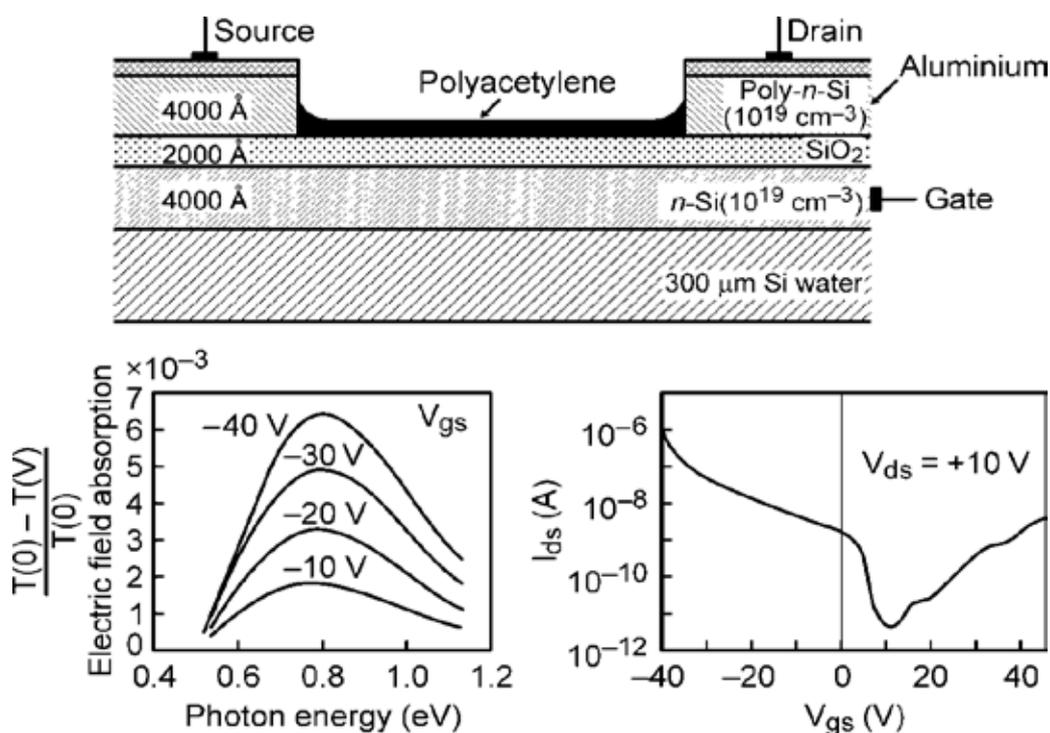


Рис. 1. Полевой транзистор на основе полиацетилена, его ВАХ и спектр поглощения в зависимости от смещения

никовых устройств. Взять те же дисплеи и телевизоры на базе органических светоизлучающих диодов (OLED, Organiclight-emittingDiode).

Транзисторы — фундаментальные блоки в современных электронных устройствах, до сих пор традиционно производят из кремния. Тогда как новые полимерные транзисторы значительно легче и их производство более дешево, чем кремниевых аналогов. Поэтому из полимеров можно выпускать гибкие изделия, например ультратонкие, гибкие портативные компьютеры, которые невозможно сделать из кремния.

На данный момент нам известны полимерные транзисторы на основе: бумаги; пластика; галлия, мышьяка, индия (спиновые); нанотрубок и др.

Первый полевой транзистор на основе полиацетилена (ПА) был создан в 1980 г., его структура и характеристики показаны на рис. 1 Он состоял из неорганических контактов, оксидного слоя, полупроводниковым слоем был транс ПА р-типа. Для первого транзистора значения подвижности инжектированных носителей (μ) были достаточно малы $\mu \sim 10^{-4} - 10^{-2} \text{ см}^2/\text{В сек}$ и частота переключения $\sim \mu/L^2$ (где L-длина канала) составляла 100 кГц.

Особенностью данного транзистора является его способность модулировать оптическое пропускание (поскольку при инжекции дырок возникает солитонная полоса поглощения).

Спиновые полимерные транзисторы

В последние годы всё более широкое применение находят полупроводниковые светодиоды на основе галлия, мышьяка, индия и других элементов.

В 2004 году другая группа физиков университета Юты добилась успеха в создании первого органического «спинового вентиля», с помощью которого можно управлять электрическим током. В новом исследовании была продемонстрирована возможность создания на основе органических полимеров спиновых транзисторов и выполнения операций по манипулированию информацией, ассоциированной со спинами (двум спиновым состояниям соответствуют «0» и «1» в обычной микроэлектронике). [2]

В экспериментах был использован органический полупроводниковый светодиод в форме пластины полимера МЕН-PPV размерами примерно 0,2x0,3 см на стеклянной подложке. Затем полимер облучался наносекундными импульсами для упорядочивания спинов электронно-дырочных пар. Оказалось, что спины таких пар ритмически осциллируют между триплетными (суммарный спин 1) и синглетными (суммарный спин 0) состояниями с периодом в полмикросекунды. Именно этот процесс препятствует повышению эффективности органических светодиодов, но он и открывает возможности для управления токами в спиновых транзисторах. [2]

Учёные предполагают, что применение полимерных спиновых транзисторов в компьютерных чипах позволит увеличить их производительность в десятки раз.

Печать пластиковых транзисторов

Современные чипы делают с помощью фотолитографии. Это высокоточное производство весьма дорогостоящее. (Современный завод по производству чипов обходится в полтора-два миллиарда долларов.) Сначала кремниевая «вафля» покрывается слоем полимера, который является фоторезистентным. Затем на него накладывается «маска», являющаяся матрицей первого слоя всей будущей цепи. Ультрафиолетовые лучи «вырезают» кусочки фоторезистентного слоя, и все лишнее затем удаляется с помощью растворителя (что делает производство экологически крайне неблагоприятным). После обмыва «вафли» водой она помещается в печь, чтобы оставшийся резистентный материал запекся, после чего на него наносится слой проводящего материала. [3]

Уже давно инженеры поняли, что гораздо дешевле и удобнее не «вырезать» микросхемы, а «печатать» их, имея в распоряжении проводящие ток полимеры.

Однако большинство разработок в этой области обычно «упирается» или в несовершенство собственно полупроводников — например, по причине их ограниченного срока «жизни», или в несовершенство технологии массового производства. Или дороговизну и сложность организации такого производства.

Ученые создали устройство для решения проблемы на основе работы обычного струйного принтера (Рис. 2).

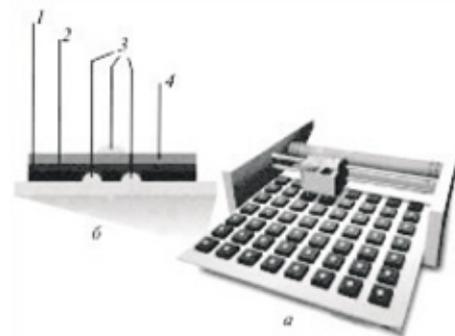


Рис. 2. Устройство, «печатающее» транзисторы, головка которого движется влево и вправо (а), и транзистор в разрезе (б): 1 – водоотталкивающий полиимид; 2 – полупроводящий пластик; 3 – электроды; 4 – изолирующий пластик

С использованием этого принципа на поверхность наносится рисунок будущих полимерных транзисторов. Для этого поверхность стекла покрывается водоотталкивающим (гидрофобным) полиимидом, после чего в его толще фотолитографически вырезаются до поверхности стекла лунки, в которых и идет «печатание» электродов. [3]

Сначала в лунки заливаются электроды в виде водорастворимых полимерных электропроводных «чернил» (по терминологии из производства струйных принтеров). Затем электроды в полиимиде обливаются сплошным слоем полупроводящего пластика. Чтобы полупроводник

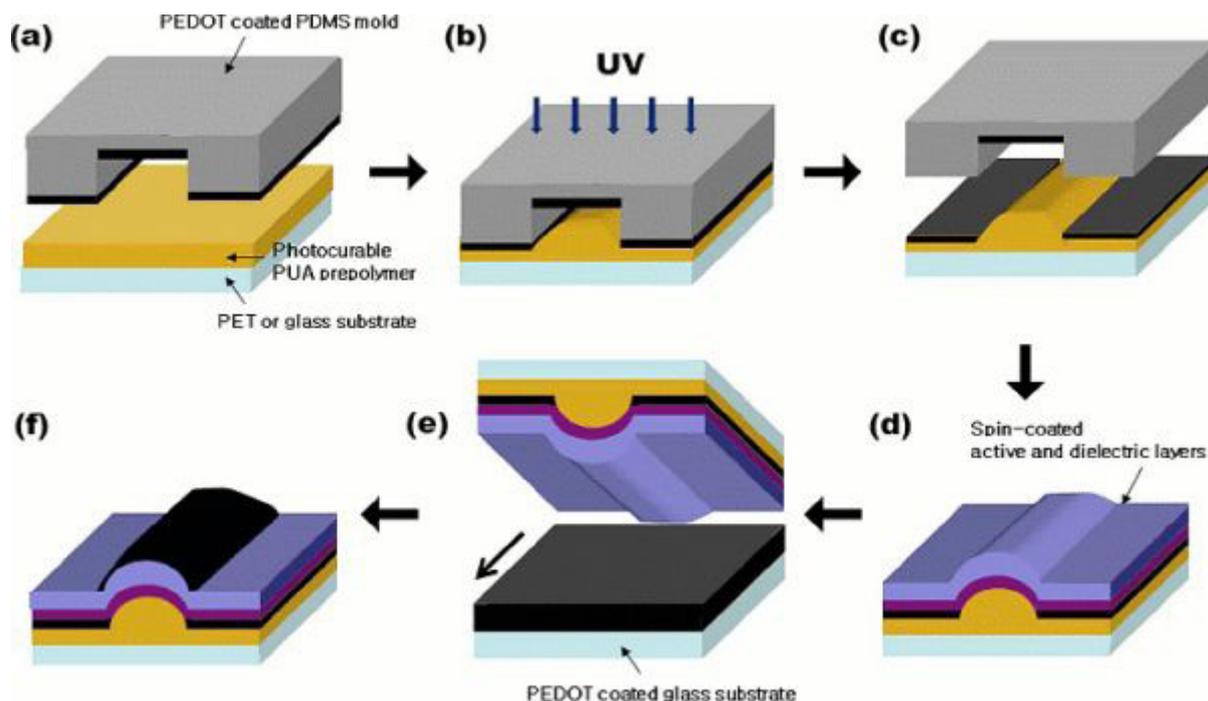


Рис. 3. схематическая последовательность создания полимерных транзисторов с помощью ультрафиолета

имел тонкий равномерный слой, растекание обеспечивается вращением блока со скоростью 5000 оборотов в минуту. Толщина слоя полупроводника при этом составляет не более 30 нанометров. Далее остается только нанести изолирующий пластиковый слой с использованием все того же вращения и сделать заключительный «мазок» в виде капли, которая представляет собой третий (базовый) электрод. [3]

Но и это не единственное решение.

Пластиковые транзисторы в фонтанах ультрафиолета

Да, мы не опечатались. Ибо гибкие полимерные транзисторы, к тому же создаваемые с помощью простейшего ультрафиолета — фантастика, ставшая реальностью.

Группа учёных из Школы химического и биологического инжиниринга (School of Chemical and Biological Engineering) при южнокорейском Национальном Университете в Сеуле (Seoul National University in Korea) утверждают, что им удалось обойти все сложности на пути массовой коммерциализации полностью полимерных транзисторов. Применённая в процессе получения гибких полимерных полупроводников технология печати с помощью ультрафиолета позволяет работать с субмикронными структурами полимеров без привлечения традиционных в таком случае факторов вроде нагрева или давления. Более того, печать с помощью ультрафиолета также позволяет формировать самосовмещённые затворы транзисторов, что позволяет финализировать процесс создания полупроводников на гибкой основе с помощью простого способа «рассеянной» печати (Рис. 3).

Для начала создаётся шаблон из полидиметилсилоксана (Polydimethylsiloxane, PDMS), покрытый полимером из группы полиэтиленов PEDOT/PSS. Интересен он оптической прозрачностью и электрической проводимостью. Далее шаблон накладывается (а) на гибкую полиэтиленовую (или стеклянную) подложку, покрытую слоем светоотверждающейся форполимерной жидкости под названием poly (urethaneacrylate), или просто PUA, и далее облучается ультрафиолетовым (b) светом с длиной волны порядка 250–360 нм на протяжении 20 минут.

После снятия шаблона (c), слои из токопроводящего PEDOT-полимера, формирующие сток-исток будущего транзистора, остаются на подложке. Последующий активный слой и слой диэлектрика (d) формируются обычным методом центрифугирования поверх уровня стока-истока. Далее — используя стеклянную подложку с PEDOT-покрытием и метод контактной печати на слое диэлектрика, создают уровень самосовмещённого затвора.

На самом деле, конечно, в процессе приходится прибегать к различным дополнительным хитростям, например, совмещать полимеры с гидрофобными и гидрофильными свойствами. Суть, впрочем, не в этом, ибо все эти хитрости достаточно легко масштабируются на промышленное производство. Суть в том, что для формирования полупроводникового транзистора на гибкой органической подложке по методике южнокорейских учёных совершенно не требуется применение каких-либо дорогостоящих компонентов, равно как и дополнительных физических воздействий вроде давления или повышенной температуры. Только ультрафиолет.

Характеристики получаемых в результате полностью полимерных транзисторов приведены на графике ниже

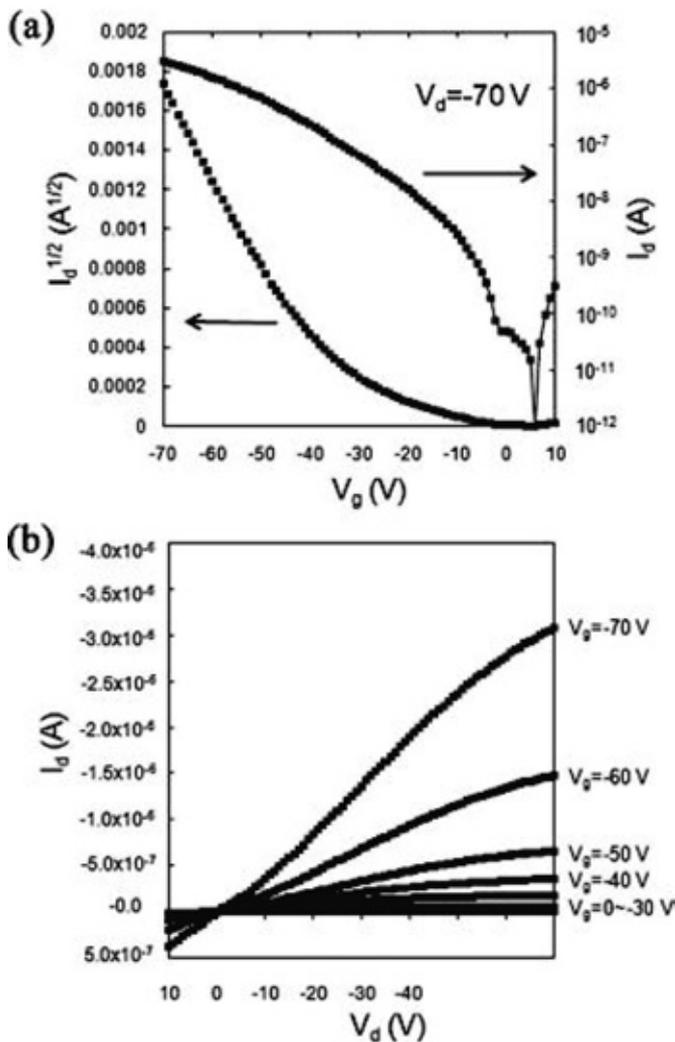


Рис. 4

(Рис. 4); верхний график — это передаточные характеристики при напряжении на стоке -70 В , нижний — выходные характеристики при разных уровнях напряжений на затворе. Длина и ширина канала при этом составляют порядка 10 мкм и 1 мм соответственно.

Электрические характеристики полученных с помощью ультрафиолетового облучения полностью полимерных транзисторов, по словам учёных, столь же хороши, как и уполупроводников, изготовленных на традиционных негибких подложках.

Бумажный транзистор – миф или реальность?

Мы уже давно перестали удивляться применению самой разнообразной органики в составе полупроводниковых устройств. Взять те же дисплеи и телевизоры на базе органических светоизлучающих диодов (OLED, Organiclight-emittingDiode). Но удивительная вещь даже по нашим диковинным временам — это транзистор из... бумаги.

Бумага в основном состоит из целлюлозы, а целлюлоза, в свою очередь, является самым распространенным биополимером на планете.

Бумага, используемая для создания «бумажной памяти», представляет собой волокна древесины сосны и полиэстера, смешанные вместе и закреплённые ионообменным композитом (Рис. 5). Далее с помощью магнетронного распыления на полученный носитель с двух сторон наносится окись цинка с примесью галлия и индия. В результате получается тонкоплёночный полупроводниковый транзистор, где бумага играет роль подложки и одновременно слоя «бумажного» диэлектрика. Пороговое напряжение такого ZnO-TFT полевого транзистора составляет порядка 19 В , а дрейфовая подвижность достаточно высока — до $28\text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ ($\text{см}^2/\text{Vs}$, сантиметров в квадрате на вольт-секунду), при этом размах напряжения управления затвором составляет $1,39\text{ В}$ на декаду и соответствующее коэффициент переключения — 3×10^5 . [4]

Интересно также заметить, что светопропускание такого материала (включая свойства подложки) составляет порядка 80% в видимой части спектра. Иными словами, полупроводниковая бумага ещё и практически прозрачна. [4]

Бумажные транзисторы потенциально дешевле обычных, что позволяет производить их большими партиями. Кроме того, в перспективе они могут использоваться для внедрения устройств везде, где применяется бумага. По словам исследователей, новые транзисторы пригодятся в создании бумажных дисплеев, электронных наклеек на багаж, радиометок, «умной» упаковки и так далее, включая применение в биотехнологии.

Итогом проекта может стать получение патента на базовые модули схемотехники — логические инвертирующие элементы, генераторы, универсальные логические вентили (NAND и NOR), которые лягут в основу электроники будущего — органической электроники, где ключевые элементы транзисторов — сток, исток, затвор, диэлектрик, канал, выполнены на базе органики. [4]

Все это относится к разряду так называемой одноразовой или расходной электроники (disposableelectronics). Можно предположить, что с распространением этой концепции через пару десятков лет перерабатывать макулатуру станет гораздо труднее, так как в значительную часть бумажных изделий будут встроены электронные компоненты.

Биотранзисторы

Группа Facci's в 2005 году предложила биотранзистор влажного типа, составленный из металлопротеинов. Металлопротеин имеет окислительно-восстановительную реакцию и естественную передачу электронов между молекулярным донором и акцептором. С тех пор биотранзисторы стали кандидатом для использования в биоэлектронике.

Группа Yang's в 2006 году развила цифровое устройство памяти, состоящее из вируса табачной мозаики.

В 2006 году ученые из университета Огайо отслеживали изменение структуры молекулы хлорофилла А, вы-

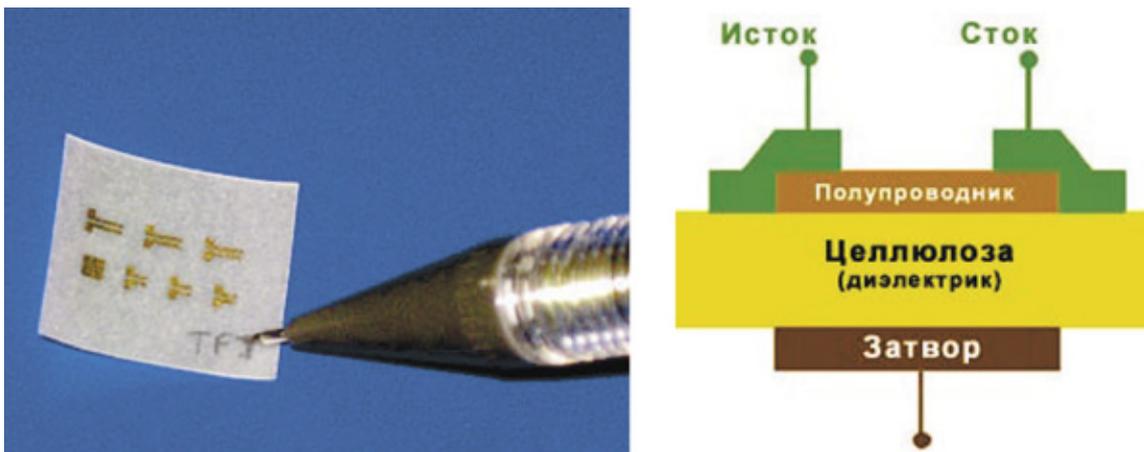


Рис. 5

деленного из растений шпината. Затем внесли в нее дополнительный электрон, и смогли создать биологический переключатель, способный принимать четыре различных положения — от полностью вытянутого до скрученного. Ранее уже создали биотранзистор, однако значительно более простой, с 2-мя положениями.

Биотранзистор, использующий в своих интересах некоторые свойства живых систем

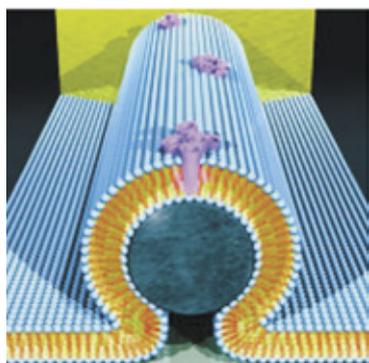


Рис. 6. Схема бионанотранзистора: тёмно-серая сердцевина – кремниевый проводник, голубым цветом показан двойной липидный слой, фиолетовым – пептидные ионные каналы (иллюстрация ScottDougherty, LLNL)

Авторы новой работы вдохновлялись мембранами клеток, обладающих виртуозными молекулярными механизмами для восприятия и передачи сигналов. В некоторых аспектах эти живые системы превосходят современную электронику. Американцы построили свой транзистор, покрыв кремниевую нанонить двойным липидным слоем. Он образовал непроницаемый барьер между нанопроводом и окружающим систему раствором. [5]

В биологическую мембрану также встроили молекулы аламетицина. Эти пептиды образовали ионные каналы. Меняя напряжение на устройстве (на затворе), его создатели получили возможность влиять и на транспорт протонов через аламетициновые «ворота», открывая и за-

крывая эти поры в мембране по желанию, что, в свою очередь, влияло на ток через проводник. [5]

Хотя ранее исследователи уже пробовали соединять живые системы с электронными (например, коммутируя нейроны и живые клетки с микросхемами), никто не осуществлял это в столь малом пространственном масштабе. Создатели бионанoelectronного устройства полагают, что оно пригодится в биологических исследованиях, в построении медицинских биоэлектронных имплантатов и диагностических систем, а ещё, быть может, в вычислительных машинах будущего.

Первый биопроtonный транзистор

Материаловеды Университета Вашингтона разработали принципиально новый транзистор, в котором функции электронов в традиционных полупроводниковых транзисторах выполняют протоны. Создатели нового устройства указывают, что их изобретение значительно упростит интеграцию электронных устройств и живых тканей.

Дело в том, что протоны (и ионы) играют важнейшую роль в биохимических процессах в живых организмах, в частности в передаче энергии, в передаче нервных импульсов и так далее. [6]

«Перед нами всегда стоит одна и та же проблема, один и тот же вопрос, когда заходит речь о [человеко-машинном] интерфейсе: как преобразовать электронный сигнал в ионный и наоборот? — говорит старший преподаватель Университета Вашингтона Марко Роланди, один из руководителей исследований. — Нам удалось обнаружить биоматериал, который очень хорошо проводит протоны и в принципе позволяет создать интерфейс для взаимодействия электроники и живых организмов».

Этим материалом оказался хитозан — аминоксахарид, в больших количествах содержащийся в панцирях ракообразных. Молекула хитозана содержит в себе большое количество свободных аминогрупп, вследствие чего хитозан легко связывает ионы водорода и приобретает избыточный положительный заряд. Это также объясняет способность хитозана связывать и прочно удерживать

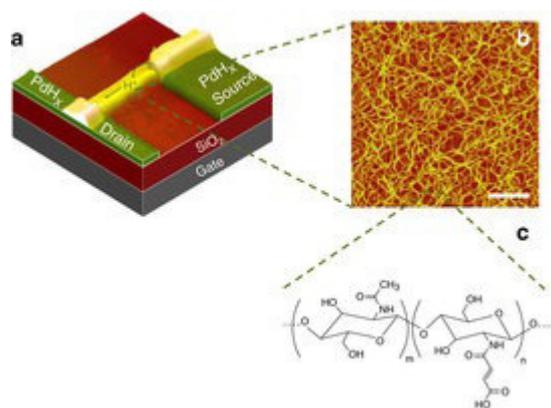


Рис. 7. Протонный биотранзистор

ионы различных металлов (в том числе и радиоактивных изотопов, а также токсичных элементов). [6]

Помимо этого хитозан способен образовывать

Литература:

1. ru.wikipedia.org Википедия-свободная энциклопедия
2. Журнал «Компьютерные вести» №3
3. Журнала «Химия» №08/2006
4. www.Lenta.ru, 23.07.2008
5. www.membrana.ru
6. www.blogs.computerra.ru

большое количество водородных связей, благодаря чему облегчается перемещение протонов (каковые по сути представляют собой положительно заряженные атомы водорода).

Получившийся у команды Роланди прототип, изготовленный из модифицированного хитозана, представляет собой микроскопическое устройство толщиной всего в 5 микрон, по структуре повторяющее базовый полевой транзистор с затвором, стоком и истоком (Рис. 7). Только вместо электронов по нему проходят протоны. [6]

«В нашем устройстве крупные биоинспирированные молекулы способны вызывать движение протонов, а протонный поток можно включать и выключать, что полностью аналогично перемещению электронов в любом полевом транзисторе», — заявил Роланди.

На данный момент разработки и производство биотранзисторов только набирают обороты, но при этом уже удачно используются в сенсорных элементах, биотехнике, медицине.

5. ЭНЕРГЕТИКА

Информационные модели теплофикационных турбоагрегатов ТЭЦ

Бабенко Ольга Анатольевна, младший научный сотрудник
Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины

В связи с регулярным подорожанием природного газа, как основного топлива, используемого теплоэлектростанциями (ТЭЦ) для централизованного теплообеспечения, все чаще возникает вопрос об оптимизации режимов эксплуатации теплофикационных блоков на основе математического моделирования энергоустановок. Главной задачей выступает поиск таких режимов, при которых возможно получение дополнительной электроэнергии от теплофикационных турбин, что позволяет существенно снизить расход топлива без капитальных вложений на создание новой конструкции проточных частей турбин или других элементов тепловой схемы.

Наиболее полно, с условием необходимой адаптации, для решения поставленной задачи подходит разработанный в Институте проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного НАН Украины программно-вычислительный комплекс «SCAT» [1]. Важным этапом исследований режимов эксплуатации теплофикационных блоков с учетом работы их тепловых схем при использовании гибких математических моделей является создание информационной модели конкретного объекта исследо-

вания, а также ее верификация по результатам измерений на одной из турбин действующих ТЭЦ.

Информационная модель энергоустановки трактуется как составной объект [2], т.е. это совокупность данных об объекте исследования, существенных с точки зрения решаемых задач. В качестве объекта исследования выступают теплофикационные турбины серии Т (Т-50/60–130, Т-100/120–130, Т-180/210–130, Т-250/300–240, Т-260/300–240 и их модификации) производственного объединения «Уральский турбинный завод» (ПО УТЗ, г. Екатеринбург, Россия), имеющие отборы пара для подогрева сетевой воды в подогревателях [3].

Турбины данного типа имеют идентичную теплофикационную установку, упрощенная схема которой приведена на рис. 1. Теплофикационная установка включает в себя два горизонтальных сетевых подогревателя (бойлера) — ПС-1 и ПС-2.

ПС-1 питается паром нижнего отопительного отбора p_n , ПС-2 питается паром с более высокими параметрами, чем в ПС-1, из верхнего отопительного отбора p_v . Сетевая вода через сетевые подогреватели нижней и верхней ступеней подогрева пропускается последовательно и в оди-

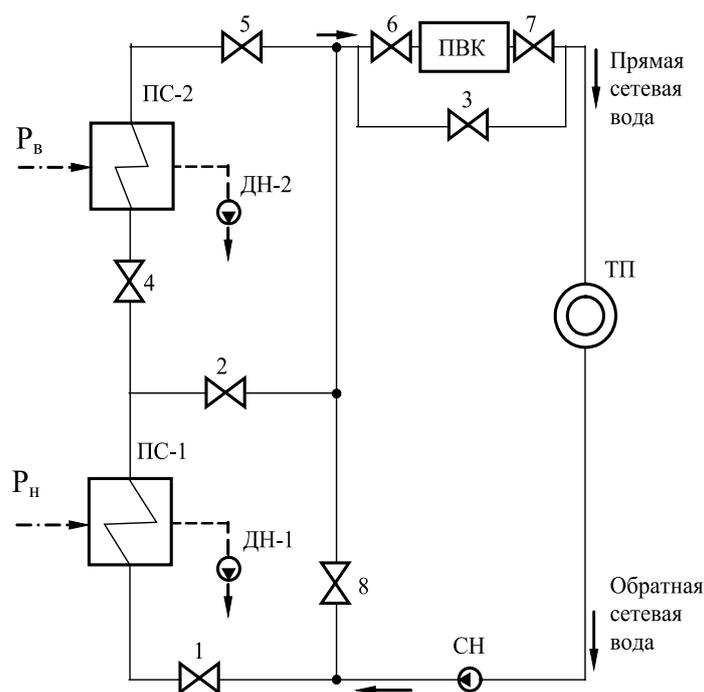


Рис. 1. Принципиальная схема установки для подогрева сетевой воды

наковом количестве. Конденсат сетевых подогревателей подается дренажными насосами ДН-1 и ДН-2 в магистраль основного конденсата.

Работа ПС проводится по:

Одноступенчатой схеме (включен только нижний отбор) — регулирование температуры прямой сетевой воды осуществляется традиционным для теплофикационных турбин способом за счет изменения давления в нижнем отопительном отборе p_n с помощью регулирующих (поворотных) диафрагм, установленных на входе в ЦНД. Задвижки 1–3 открыты, задвижки 4–7 — закрыты.

Двухступенчатой схеме (включены оба отбора) — сетевая вода последовательно подогревается в сетевом подогревателе нижней (ПС-1), а затем верхней (ПС-2) ступеней. Давление в нижнем отопительном отборе p_n не регулируется, в верхнем отопительном отборе p_n регулируется за счет изменения расхода свежего пара, подаваемого в турбину. Задвижки 1,3–5 открыты, задвижки 2, 6, 7 — закрыты.

Наличие байпасной линии с задвижкой 8 позволяет поддерживать требуемую температуру прямой сетевой воды как за ПС-1, так и за ПС-2 путем смешивания потоков сетевой воды на выходе ПС с частью воды из обводной линии.

Одной из важнейших задач разработки информационной модели тепловых схем является представление структуры данных, на которые однозначно отображаются объекты, описывающие элементы схемы, линии связи и саму схему. Правильное распределение параметров между соответствующими структурами, включая и параметры, обеспечивающие информационную связь между ними, позволяет существенным образом расширить функциональные возможности средств графического диалога, упростить разработку и реализацию алгоритмов.

На рис. 2 представлено условное изображение элемента «Бойлер», где 1 — вход питательной воды; 2 — выход греющего пара; 3 — сброс дренажей; 4 — выход питательной воды; 5 — сброс пара в бойлер дополнительно; 6 — вход греющего пара.

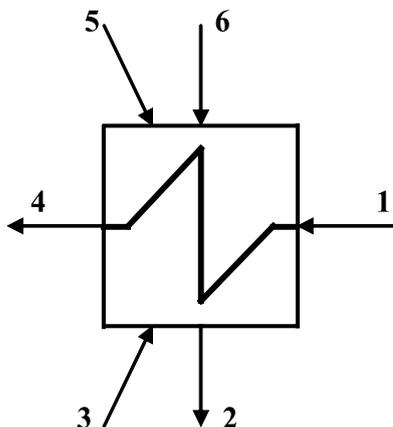


Рис. 2. Условное изображение элемента «Бойлер»

К теплоэнергетическим свойствам данного элемента относятся: dP_w — потеря давления по воде, МПа; G — расход воды, кг/с; dP_s — коэффициент потерь давления по пару; dt_s — температурная разность по греющему пару, °С; dt_w — температурная разность по воде, °С; k — коэффициент теплопередачи, кДж/(кг×К); F — поверхность нагрева, м²; $k_{од}$ — коэффициент теплопередачи охладителя дренажа, кДж/(кг×К); $F_{од}$ — поверхность охладителя дренажа, м²; t — температура пара за бойлером, °С; t_d — температура дренажа, °С.

На рис. 3 показано открытое окно заполнения собственных свойств моделируемого элемента энергоустановки.

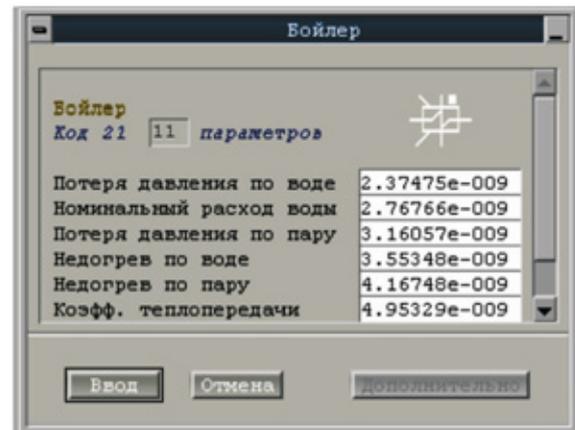
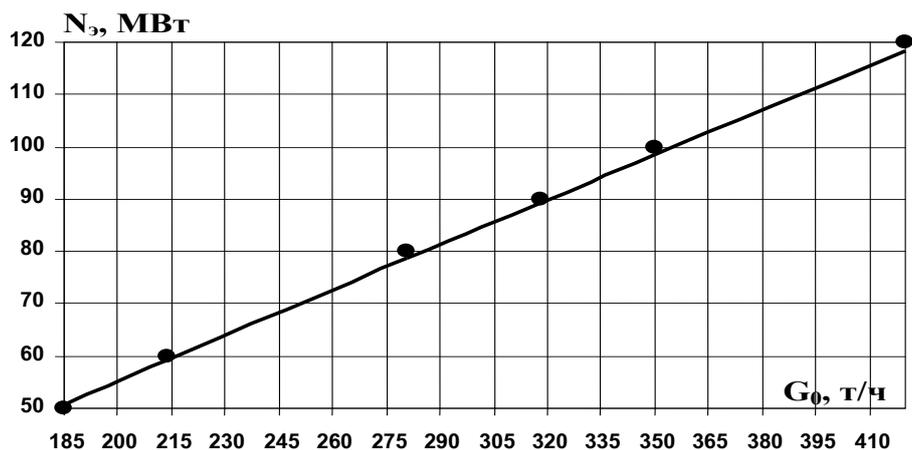


Рис. 3. Окно заполнения собственных свойств бойлера

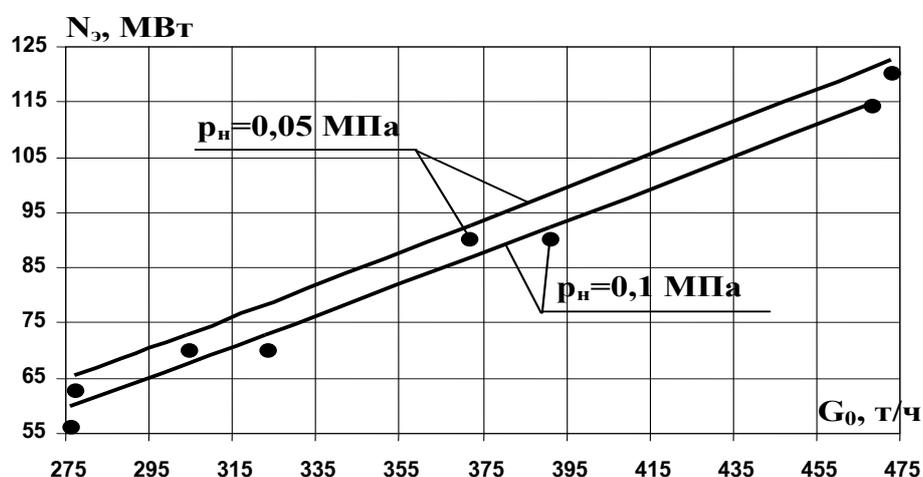
Созданная математическая модель энергоустановки, реализованная в виде системы графического взаимодействия, предоставляет удобные средства для решения задач анализа и оптимизации энергоустановок в диалоговом режиме. Пакет программ, реализующий математическую модель, включает средства для формирования описаний энергоустановок на поле монитора персонального компьютера, просмотра и модификации свойств компонент и структуры, организации вычислительного процесса и эффективного интерфейса с функциональными модулями.

Для совершенствования режимов отпуска теплоты с использованием программно-вычислительного комплекса SCAT сформирована информационная модель энергоблока с турбиной Т-100/120–130. Созданная математическая модель, реализованная в виде системы графического взаимодействия, предоставляет удобные средства для решения задач анализа и оптимизации энергоустановок в диалоговом режиме. Она включает в себя средства для формирования описаний энергоустановок на поле монитора персонального компьютера, просмотра и модификации свойств компонент и структуры в целом, организации вычислительного процесса в течение нескольких секунд и вывод результатов расчетов на экран в удобной для работы форме.

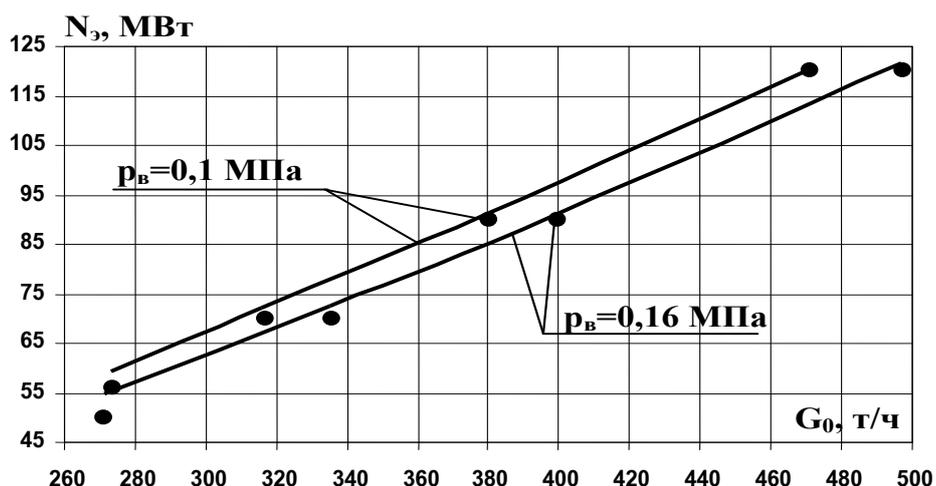
Верификация математической модели выполнена на примере турбоустановки Т-100/120–130 энергоблоков №1 и №2 Харьковской ТЭЦ-5 (ПАО «ХАРЬКОВСКАЯ



а)



б)



в)

Рис. 3. Изменение электрической мощности в зависимости от расхода свежего пара на турбину Т-100/120–130 блока №1 и №2 Харьковской ТЭЦ-5:

- а) – конденсационный режим, $Q_T = 0$;
- б) – теплофикационный режим, одноступенчатый подогрев сетевой воды, $Q_T = 100$ Гкал/ч;
- в) – теплофикационный режим, двухступенчатый подогрев сетевой воды, $Q_T = 100$ Гкал/ч.

ТЭЦ-5», г. Харьков, Украина). Значения энергетических характеристик турбоагрегатов получены при их эксплуатации [5]. Сопоставление расчетных и измеренных характеристик выполнено для конденсационного режима работы турбоустановки (отпуск теплоты внешнему потребителю отсутствует) и для теплофикационных режимов при работе турбоустановки с одноступенчатым и двухступенчатым подогревом сетевой воды.

Для сопоставления приняты зависимости изменения электрической мощности от расхода свежего пара на турбину. Эти зависимости приведены на рис. 3 (точками показаны измеренные характеристики).

Как видно из результатов сопоставления, расчетные данные удовлетворительно совпадают с результатами эксплуатации. Некоторое отклонение эксплуатационных значений N_3 наблюдается при минимальных расходах свежего пара. Отклонение не превышает 6,7% при $G_0 = 270$ т/ч ($\bar{N} = 0,5$).

Литература:

1. Лыхвар Н.В. Структуры данных и язык системы машинного проектирования и исследований тепловых схем паротурбинных установок // Математическое обеспечение систем автоматизированного проектирования объектов машиностроения. Препринт АН УССР, Институт проблем машиностроения. — Харьков, 1981. — № 163. — с. 45–52.
2. Лыхвар Н.В. Гибкие математические модели энергоустановок для оптимизации режимов ТЭЦ // Совершенствование турбоустановок методами математического и физического моделирования: Сб. науч. трудов ИПМаш НАН Украины. — Харьков, 2003. — с. 413–419.
3. Трухний А.Д. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки / А.Д. Трухний, Б.В. Ломакин. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 540 с.
4. Энергетические характеристики оборудования Харьковской ТЭЦ-5 (I очередь). — Харьков: Харьковская ТЭЦ-5, 1999.

Анализ четырехфазных линий электропередач

Малеева Евдокия Игоревна, ассистент, аспирант
Северо-восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова

Якутия является резервом ресурсов страны для будущих поколений, располагая запасами различных природных ресурсов, труднодоступных в настоящее время для широкомасштабного освоения. Основными факторами, сдерживающими дальнейшее развитие экономики республики, являются ограниченная транспортная доступность территории.

С вводом в эксплуатацию железной дороги в республике появятся новые источники экономического роста. В зону круглогодичного транспортного сообщения будут интегрированы центральные, восточные и западные районы республики с охватом около 80% населения. Мощный толчок к развитию получают действующие предприятия.

В связи с этим возникает необходимость электроснабжения как самой дороги, которая начнет развиваться, так

Выводы

Для исследования режимов отпуска теплоты теплофикационными блоками ТЭЦ с целью их совершенствования выбран программный комплекс SCAT, разработанный в Институте проблем машиностроения имени А.Н. Подгорного НАН Украины. Созданы информационные модели теплофикационных турбин серии Т, имеющие идентичную установку для подогрева сетевой воды.

Проведена верификация используемой математической модели по энергетическим характеристикам паротурбинной установки Т-100/120–130, полученным при эксплуатации турбоагрегата блоков №1 и №2 Харьковской ТЭЦ-5. Показано хорошее совпадение экспериментальных и расчетных данных, что подтверждает правильность выбора данной модели для исследования режимов эксплуатации рассматриваемых теплофикационных турбоустановок.

и промышленно-хозяйственной инфраструктуры вдоль нее. Линия электропередачи 220 кВ станет главным системообразующим звеном между Южно-Якутской и Центрально-Якутской энергосистемами, а линии 35 кВ будут выполнять функции распределительных.

В качестве линии 35 кВ предлагается четырехфазная линия [3], которая будет обеспечивать электротягу и электроснабжение промышленно-хозяйственных комплексов вдоль железной дороги.

Простейшая схема четырехфазной электропередачи приведена на рисунке 1.

По существу, она является сдвоенной линией «два провода — земля» (ДПЗ), впервые предложенной в 30-х годах. Напряжения и токи в одной линии ДПЗ соответственно равны по величине и противоположны по направлению напряжениям и токам в другой.

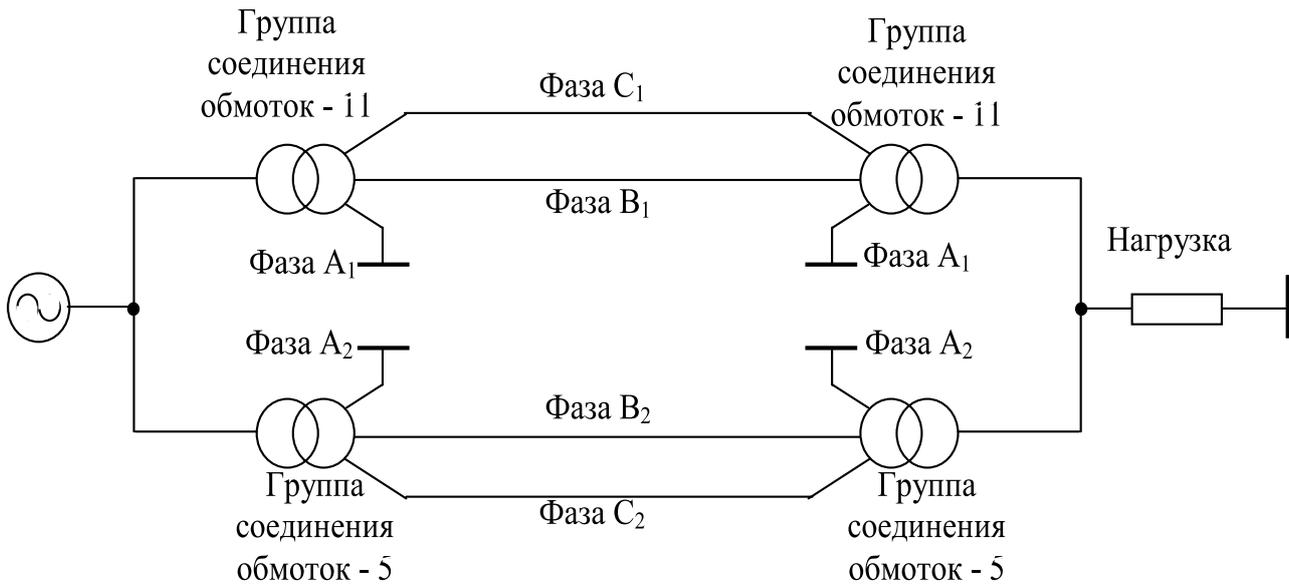


Рис. 1

Существенным отличием четырехфазной линии от линии ДПЗ является отсутствие тока в земле. [1]

По предложенной четырехфазной линии можно передавать мощность примерно в 1,1–1,2 раз большую, чем по двум трехфазным. Четырехфазная линия обладает надежностью двухцепной линии, потери мощности в ней меньше примерно в 1,5–1,7 раз, чем в двухцепной трехфазной.

С одной стороны, она дешевле двухцепной примерно в 1,6–1,8 раз, что позволяет рассматривать ее экономические показатели в сравнении с аналогичными показателями одноцепной линии, с другой стороны, обладая надежностью двухцепной электропередачи, имеет потери мощности примерно в два раза меньшие, чем двухцепные. При этом для ее осуществления не требуется разработка нового оборудования.

Конструкция четырехфазной линии электропередачи зависит от класса напряжения (область применения — сети с изолированной нейтралью, 6–35 кВ). Линия 35 кВ может быть выполнена либо на П-образных опорах, либо на двух отдельных стойках по два провода на каждой. Последние должны быть разделены расстоянием, чтобы при падении одной стойки вторая не пострадала. Это, во-первых, исключает короткое замыкание всех четырех фаз, а значит, при повреждении двух фаз линия может быть переведена в режим ДПЗ и сохранится передача части мощности. Во-вторых, можно предусмотреть ремонт линии по частям (по две фазы) с сохранением электроснабжения потребителей оставшимися двумя фазами по системе ДПЗ. В этом случае по надежности четырехфазная электропередача сопоставима с двумя цепями трехфазной.

Технические характеристики четырехфазной линии электропередачи были рассмотрены на участке линии длиной 100 километров, выполненной проводом — АС-95

в сравнении с двухцепной и одноцепной трехфазными линиями напряжением 35 кВ. Нагрузка включена на напряжение 10 кВ через трансформаторы мощностью 10 МВА. Ограничивающим фактором является допустимое напряжение, равное $1,15 U_H$.

Максимальная передаваемая мощность по двухцепной трехфазной линии, ограничиваемая уровнем напряжения 40,5 кВ, равна 11,4 МВт с $\cos 0,8$ и компенсацией реактивной мощности 2 МВАр. Потери мощности в линии составляют при этом 3,44 МВт, или 30,17% от мощности нагрузки.

При передаче такой же мощности по четырехфазной линии на шины мощности потери в электропередаче, с симметрированием реакторами включенными между землей и заземляемыми обмотками трансформаторов, составляют 2,04 МВт или 17%. Отношение потерь мощности в двухцепной трехфазной линии к потерям мощности в четырехфазной составляет 1,68. Далее на рисунке 2 приведено наглядное изображение зависимости потерь от передаваемой мощности.

Четырехфазные линии электропередачи предполагают питание каждой нагрузки через два трансформатора. При питании через один трансформатор появляются токи в земле. Нежелательность этих токов обусловлена двумя последствиями:

- создается контур «провод — земля», протекание токов, по которому наводит напряжения на линии связи, железнодорожной автоматики;
- высушивается земля вокруг заземлителей, в результате чего возникают большие шаговые напряжения.

В местностях с вечной мерзлотой в зимний период питание потребителей через один трансформатор от четырехфазной линии вообще исключается, так как токи в земле не протекают.

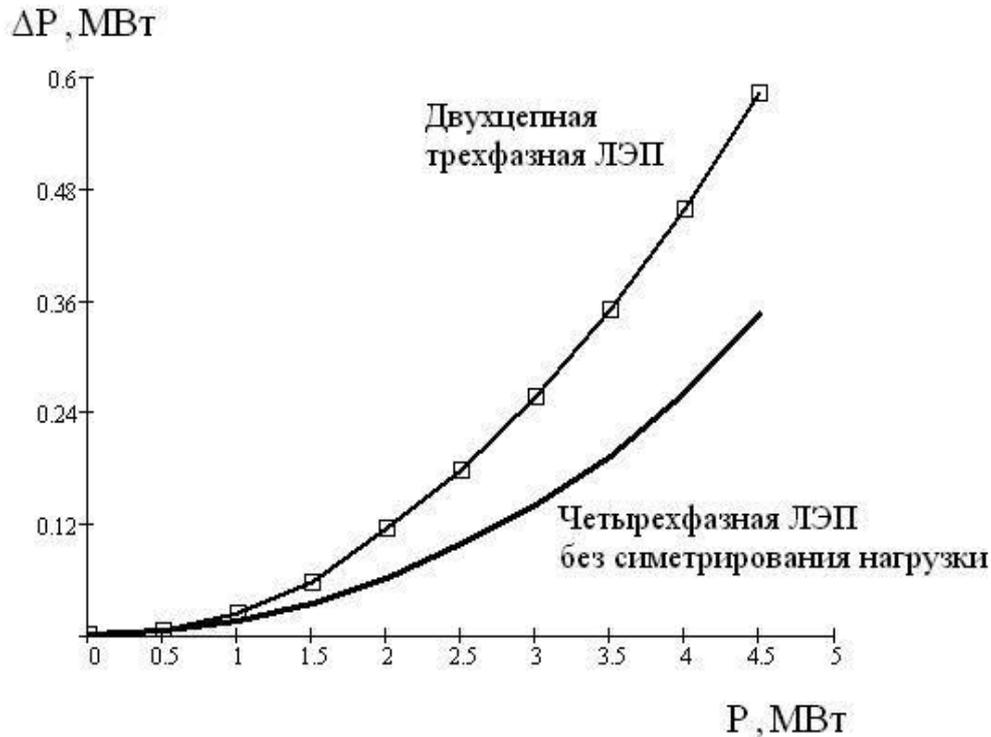


Рис. 2. Зависимость потерь от передаваемой мощности

На данный момент ведутся исследования по возможности устранения токов в земле, предлагается ввести глубинное заземление.

Как было сказано выше, у четырехфазной линии загружены только две фазы, а сопротивление третьей равно нулю, следовательно, на нагрузке создаются неодинаковые фазные падения напряжения. Таким образом, чем больше передаваемая мощность, тем больше несимметрия напряжений. [2]

Несимметрию можно устранить несколькими способами:

- включением емкостных батарей между фазами с наименьшим линейным напряжением;
- пофазным регулированием коэффициентов трансформации трансформаторов;
- включением последовательно с заземляемой обмоткой трансформатора индуктивности;
- включением несимметричной активной нагрузки.

Четырехфазная электропередача как и любая линия подвержена коротким замыканиям. Если при пробое изоляции одной фазы трехфазной линии в сети с изолированной нейтралью линия может продолжать работать, то однофазный пробой изоляции в четырехфазной линии превращается в короткое замыкание, требующее отключения. Отключение линии полностью прекращает электроснабжение, и это делает сомнительным предпочтение четырехфазной электропередачи двухцепным и одноцепным трехфазным ЛЭП. Четырехфазная электропередача может составить конкуренцию трехфазной только в том случае, если при повреждении одной фазы будет обеспечиваться хотя бы частичное электроснабжение.

Для решения этой задачи, во-первых, необходимо исключить короткие замыкания одновременно всех четырех фаз линии. Это возможно, если линию выполнить на двух одностоечных опорах, разнесенных на расстояние, примерно равное высоте опоры. Тогда возможны только двухфазные короткие замыкания на линии, и даже при падении опор одной цепи в сторону второй исключается повреждение последней, а электропередачу можно перевести в режим ДПЗ, отключив поврежденную цепь. Во-вторых, при однофазном коротком замыкании можно отключить поврежденную фазу. Тогда трехфазная связь передающей и приемной систем полностью не нарушится, но усилится неравенство сопротивлений в фазах трехфазной сети.

С помощью разработанной математической модели были изучены три неполнофазных режима при заземленной обмотке фазы А трансформатора: однофазное отключение фаз В и С линии (рис. 3а и 3б) и одновременное отключение одной цепи, состоящей из двух фаз, подключенных к трансформаторам с одной группой соединения обмоток (рис. 3в).

Отключение фазы В четырехфазной линии.

Режимы отключения фаз рассмотрены при передаче мощности до максимального возможного значения, а векторные диаграммы токов — при передаче мощности в нормальном режиме, равной 8 МВт (максимальной передаваемой мощности при отключении двух фаз с симметрированием емкостями). Векторная диаграмма токов в линии до отключения фазы приведена на рисунке 4а, а после отключения — на рис. 4б. (красным и синим цветом изображены соответственно векторы токов фаз

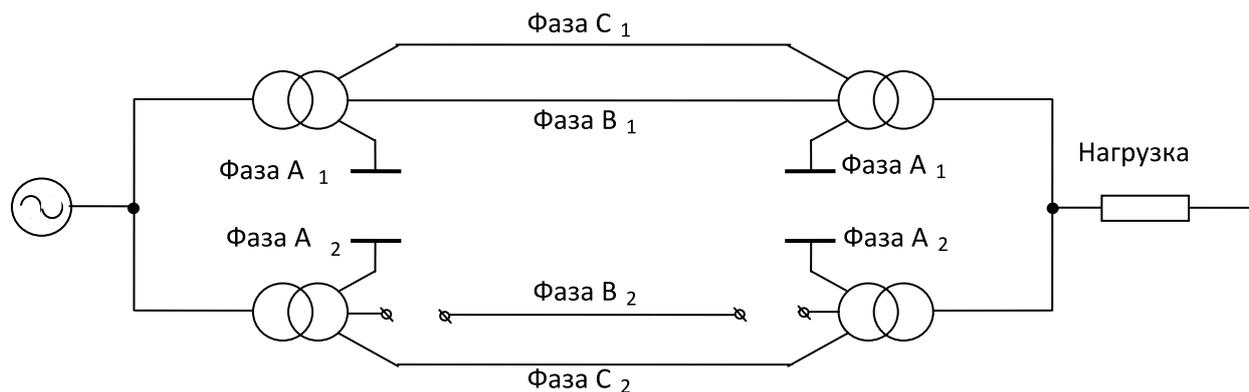


Рис. 3а. Отключение фазы В

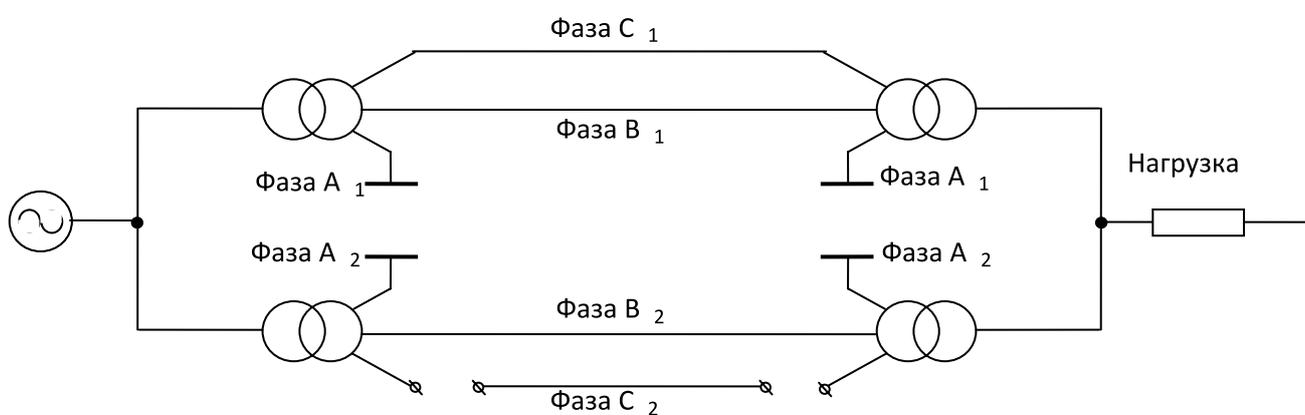


Рис. 3б. Отключение фазы С

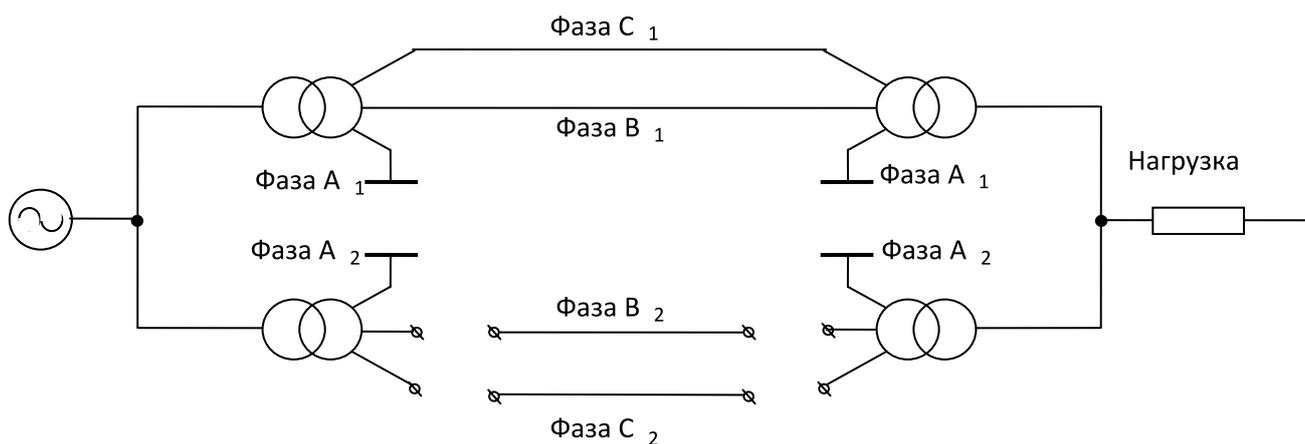


Рис. 3в. Отключение одной цепи, состоящей из фаз В и С

В и С линии, включенных к трансформаторам с группой соединения Y/D-11, розовым и зеленым — те же фазы, включенные к трансформаторам с группой соединения Y/D-5.).

После отключения фазы В2 ток работающей фазы В1 увеличивается почти в два раза, практически не меняя на-

правления. Остальные токи изменяются незначительно, но между ними угол становится около 150°. Изменение сопротивления земли в сторону увеличения, что наблюдается зимой в условиях вечной мерзлоты симметрирует звезду токов за счет исключения токов в земле, но характер токов в генераторах и нагрузке не меняется.

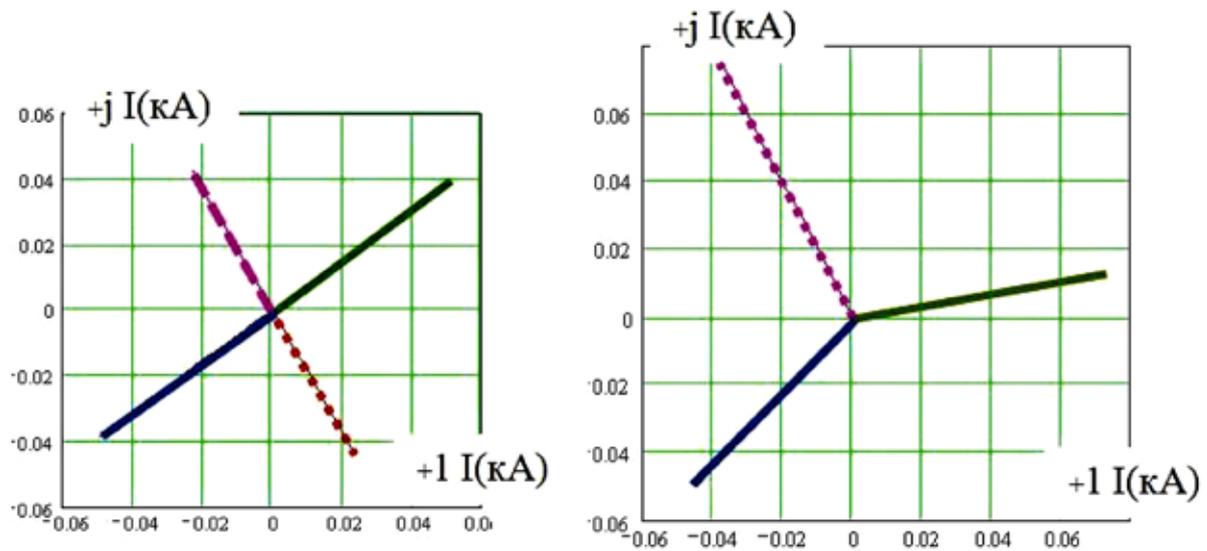


Рис. 4. Векторная диаграмма токов в линии до отключения фазы (а) и после отключения (б)

Максимальная передаваемая мощность тремя фазами линии, ограничиваемая максимальным допустимым напряжением на линии, составляет 13 МВт, но несимметрия напряжений при этом возрастает до 4,9%. Максимальные напряжения на фазах В и С линии составляют 40,5 кВ и 40,2 кВ соответственно.

Отключение фазы С четырехфазной линии.

Все принципиальные выводы, полученные для режима отключения фазы В, остаются справедливыми и для отключения фазы С. Разница лишь в законе симметрирования напряжения на нагрузке. В схеме без включения индуктивных сопротивлений между заземляемыми обмотками трансформаторов и землей величин несимметрии ниже 4% при коэффициенте мощности нагрузки в пределах 0,7–0,9 можно достичь, если мощность емкостной батареи, включенной на напряжение U_{CA} нагрузки, будет равна $Q_{CA} = 0,3S_H$, на остальных линейных напряжениях емкости не включаются.

Максимальная передаваемая мощность тремя фазами линии, ограничиваемая максимальным допустимым напряжением на линии, составляет 14 МВт. При передаче 10 МВт необходимая мощность конденсаторных батарей составляет 3,75 МВАр.

Отключение двух фаз линии

Отключение двух фаз линии от трансформаторов с одной группой соединения обмоток переводит четырехфазную линию в режим «два провода – земля». По существу это трехфазный режим, осуществляемый по двум проводам линии. В качестве третьего провода используется земля. Отключение двух фаз не обязательно только при двухфазных КЗ. Перевод линии в режим ДПЗ желательно выполнять при ремонтах линии. Отключив два провода на отдельной стойке, можно безопасно осуществлять ремонт. Поэтому режим ДПЗ четырехфазной линии следует предусматривать как один из нормальных.

Максимальная передаваемая мощность, ограничиваемая напряжениями на линии, составляет 6,7 МВт. При этой мощности и $\cos \varphi$, равном 0,8, мощность конденсаторной батареи составляет 2,4 МВАр. Напряжения на фазах линии практически равны между собой, а симметрия токов со стороны генератора лучше, чем при отключении одной фазы линии.

Таким образом можно сделать вывод, что четырехфазные линии электропередачи по сравнению с двухцепными трехфазными имеют в 1,5 раз меньшие потери мощности. Это обстоятельство, а также более низкая стоимость по сравнению с двухцепными трехфазными линиями позволяет рекомендовать их применение в промышленных районах с преобладанием потребителей I и II категорий.

При неполнофазных режимах четырехфазная линия может эксплуатироваться, сохраняя работоспособность большинства объектов, что доказывает конкурентоспособность трехфазным линиям электропередач.

В случае возникновения несимметрии, она устраняется одним из предложенных способов: включением емкостных батарей между фазами с наименьшим линейным напряжением, пофазным регулированием коэффициентов трансформации трансформаторов, включением последовательно с заземляемой обмоткой трансформатора индуктивности, включением несимметричной активной нагрузки.

Совокупность четырехфазных линий электропередачи, трансформаторных подстанций образуют принципиально новую электрическую систему – четырехфазные электрические сети. Связь четырехфазных электрических сетей с традиционными трехфазными как со стороны питания, так и со стороны потребителей осуществляется обычными трехфазными трансформаторами, т.е. разработка нового оборудования не требуется.

Литература:

1. Андреев В.В. Четырёхфазная схема электропередачи с трехфазными трансформаторами // Электричество. — 1952 — №1 — С. 15–17.
2. Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Лесных Е.В., Шеметов А.И. Четырёхфазные линии электропередачи для сетей с изолированными нейтралями // Вестник ЯГУ. — том 2 — №4—2005 — С. 90–94.
3. Патент 2256273 Российская Федерация, МПК7 Н 02 J 3/00, 3/04. Электрическая система / Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф., Бурянина Е.В., Олесова В.Л., Олесов Л.А.; заявители и патентообладатели Бурянина Н.С., Королюк Ю.Ф. — №2003132023/09; заявл. 31.10.2003; опубл. 10.07.2005, Бюл. №19.

6. МЕТАЛЛУРГИЯ

Влияние химического состава легированных железоуглеродистых сплавов на триботехнические свойства антифрикционных материалов для подшипников скольжения

Бабец Николай Васильевич, кандидат технических наук, профессор;
Васильев Борис Николаевич, кандидат технических наук, доцент; Исмаилов Маркиз Азизович, аспирант
Южно-Российский государственный технический университет

В чистом виде металлы, как правило, не обладают необходимым комплексом антифрикционных свойств, поэтому при создании антифрикционных материалов методами порошковой металлургии за основу принимается какой-либо из дешевых и доступных металлов (преимущественно железо или медь). Необходимые антифрикционные свойства придаются основе дополнительным легированием или введением антифрикционных присадок.

Легирование материала основы приводит к изменению структуры материала, физико-механических и антифрикционных свойств. Причем между этими свойствами не всегда наблюдается взаимосвязь. Хотя для обеспечения большой несущей способности узла трения необходимо применять материалы с высокими прочностными свойствами, а для понижения значений коэффициента трения следует вводить специальные антифрикционные добавки, которые однако, снижают прочностные свойства.

Чтобы повысить прочностные свойства материала на основе железа, их обычно легируют такими элементами, как углерод, хром, никель, медь, марганец и молибден в различных комбинациях. Улучшению свойств трения в сплавах на железной основе содействует введение графита, серы, сульфидов, меди, фторидов и пр [1].

Основными требованиями, предъявляемыми ко всем антифрикционным материалам, являются минимальный коэффициент трения и высокая износостойкость. Эти свойства определяют минимум потери энергии в узлах трения и максимальный срок их службы.

В настоящее время существует множество узлов трения, в которых применяются антифрикционные материалы — цилиндрические и шариковые подшипники, подпятники, вкладыши, направляющие, скользящие токоъемники, торцевые и боковые уплотнения, шарнирные устройства, поршневые кольца и др. Не менее разнообразны и условия их работы — со смазкой, при граничном трении, трении без смазки, в вакууме, при повышенных температурах, высоких скоростях, больших нагрузках и пр.

Использование методов порошковой металлургии позволяют получить композиционные материалы с практически неограниченными вариациями состава и пористости.

Поры, будучи заполнены смазочными материалами, играют роль резервуаров смазки, обеспечивающих эффект самосмазывания т.е. сохранение слоя смазочного материала на поверхностях трения за счет смазки, находящейся в порах материала, что предохраняет материал подшипника от катастрофического износа и схватывания в момент первого пуска или аварийного прекращения подачи смазочного материала. Наличие смазки в порах материала позволяет таким подшипникам работать длительное время без подачи дополнительной жидкой смазки извне [2].

Нами был разработан и испытан композиционный антифрикционный материал Fe-Mn-Si-Cu на основе железа. Он был получен путем механического смешивания железного порошка и легирующих элементов, вводимых в чистом виде и в виде ферросплавов. Введение в шихту марганца и кремния позволило повысить прочностные характеристики материала. Введение меди позволило улучшить не только прочностные характеристики, но и триботехнические свойства материала. Также введение меди в состав шихты позволило уменьшить усадку брикетов при спекании. Медь вводили в шихту в количестве 0–10% по массе.

В качестве шихтовых материалов использовали железный порошок ПЖР 3.160.26 (размер частиц $63 \div 100$ мкм), ферромарганец ФМн78С1Р15 (ГОСТ 4755–91) с содержанием марганца 78, ферросилиций ФС45 (ГОСТ 1415–93) с содержанием кремния 47%, порошок электролитической меди. Шихту смешивали в конусном смесителе в течение 4 часов. После смешивания шихты прессовали брикеты при давлении прессования 600 МПа. После прессования брикеты спекали в атмосфере осушенного диссоциированного аммиака при температуре спекания 1175–1180 °С в течение 2 часов. После спекания образцы пропитывали в минеральном масле И-20А в течение 60 мин при температуре 120–130 °С.

После пропитки образцы испытывали на торцевой машине трения при постоянной удельной нагрузке от 5 до 20 МПа в течение 10 часов. Испытания проводились без подачи дополнительной смазки в зону трения. Схема

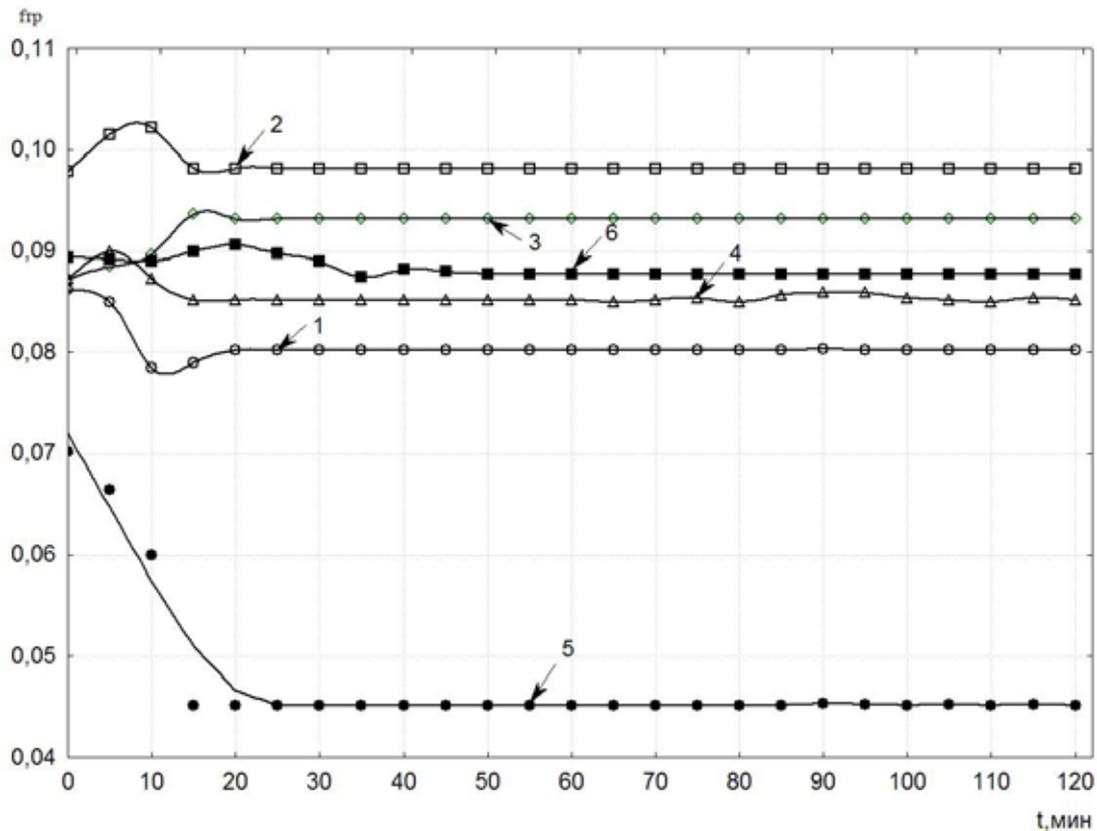


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от содержания меди:
1-Cu 0%; 2-Cu 2%; 3-Cu 4%; 4-Cu 6%; 5-Cu 8%; 6-Cu 10%

контакта образца с контртелом (сталь марки 45 твердость 48...52 HRC) была выбрана не полной. Это позволило значительно снизить время испытания пропитанных образцов, также при такой схеме контакта сильно проявляется эффект самосмазывания т.к. смазочный слой, который образуется на контртеле при работе пары трения периодически срезается краями образца, что в свою очередь приводит к подпитке смазкой из пор образца. Все образцы испытывали в условиях полужидкостного трения.

На рис. 1 изображены результаты испытания образцов пропитанных в индустриальном масле И-20А в условиях полужидкостного трения в течение 120 мин при нагрузке 5 МПа.

Из кривых зависимостей следует, что в начальный период времени работа сопряженных тел нестабильна и нормальный режим работы пары устанавливается через 15...20 мин. Особый интерес представляет результат испытания образца №5 с содержанием меди 8% (кривая 5). Данный образец показал самый низкий коэффициент трения 0,045. Пористость образцов с содержанием меди 8% составила 18%. Низкий коэффициент трения можно объяснить появлением в зоне трения эффекта избирательного переноса с образованием особых пленок, при котором наблюдается низкий коэффициент трения и минимальный износ трущихся поверхностей.

По результатам испытаний был отобран материал с содержанием меди 8% пористость образцов при этом составила 18%. Далее для определения нагрузочной способ-

ности исследуемого материала при трении в среде жидких смазок были проведены соответствующие испытания, при которых менялась нагрузка на образец от 5 до 20 МПа, а скорость скольжения в зоне фрикционного контакта оставалась постоянной. Результаты испытаний приведены на рис. 2.

Уменьшение времени приработки с увеличением давления в зоне контакта, свидетельствует о более высокой скорости протекания процесса формирования вторичных структур, чему в значительной степени способствует повышение температуры в зоне контакта 50°C при 5 МПа, 70°C при 20 МПа. Как видно из рисунка при нагрузке 20 МПа коэффициент трения в зоне контакта резко возрастает и соответственно увеличивается износ образцов.

Значения износа и максимальные температуры вблизи зоны контакта образца с контртелом, полученные после испытания в течение 120 мин при различных давлениях в зоне трения приведены в табл.1.

Рост линейного износа связан с увеличением давления в зоне контакта, и объясняется более жесткими условиями работы образцов на этапе приработки. Увеличение давления в зоне контакта до 20 МПа приводит к скачкообразному изменению триботехнических характеристик материала. В этом случае продолжительность периода приработки составляет 5 мин, но коэффициент трения оказался высоким 0,082, а линейный износ образца составил 0,025 мм за 120 мин работы. Очевидно, что такая величина давления, является в данных условиях критиче-

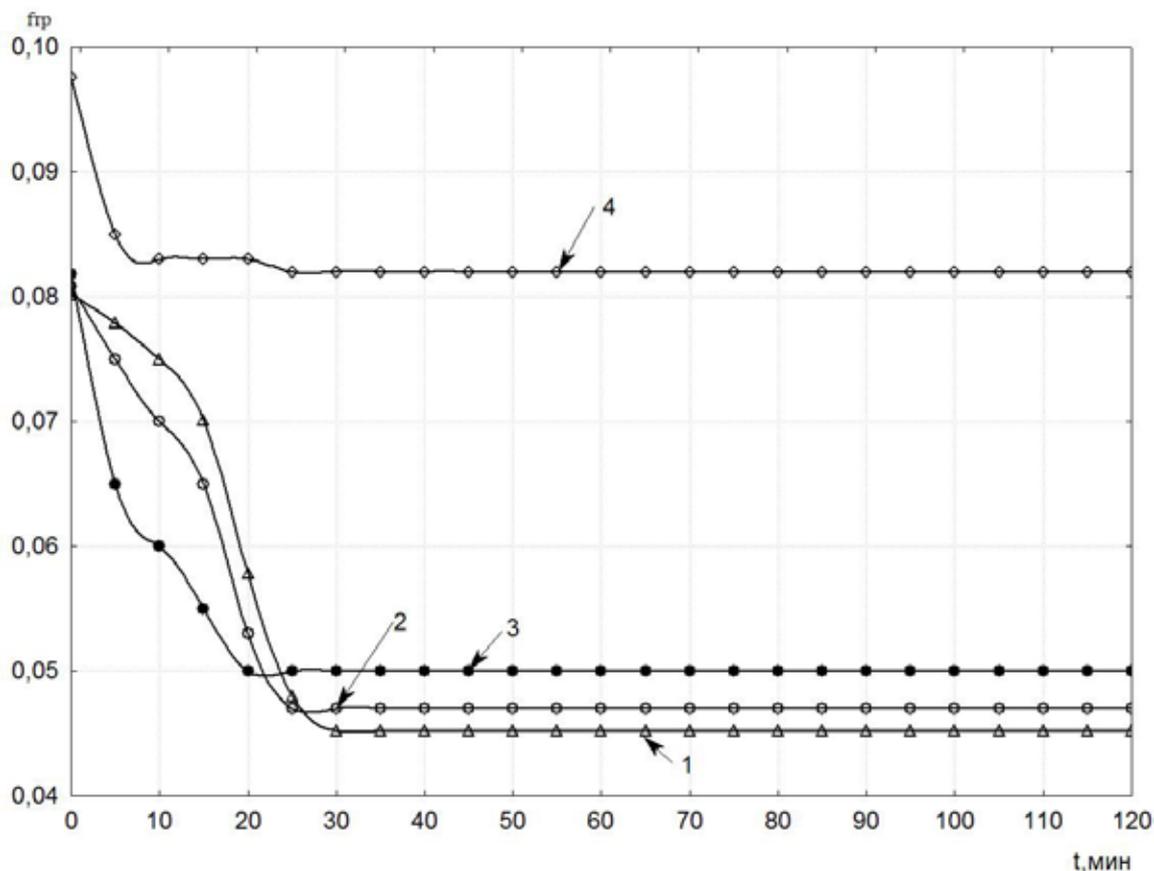


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения от времени испытания для давлений в зоне контакта МПа: 1–5; 2–10; 3–15; 4–20

Таблица 1

| | Нагрузка, МПа | | | |
|----------------------|---------------|-------|-------|-------|
| | 5 | 10 | 15 | 20 |
| Линейный износ J, мм | 0,005 | 0,007 | 0,009 | 0,025 |
| Температура, °С | 50 | 54 | 62 | 70 |

ской. Это можно объяснить тем, что в начале испытания из-за высокого давления температура в зоне контакта возрастает выше какого-то оптимального значения и образование вторичных структур, обеспечивающих низкие значения коэффициента трения и износа затруднено или невозможно. Это способствует повышению коэффициента трения и температуры и в итоге приводит к качественно новому механизму процесса трения.

В подавляющем большинстве случаев условия работы узлов трения таковы, что надежность и долговечность их работы зависит от условий перехода в момент пуска, от граничного трения к жидкостному. Применение пористых порошковых композиционных материалов пропитанных

в жидких смазках позволяют снизить износ узла трения в момент пуска за счет использования жидкой смазки поступающей из пор порошкового материала. В дальнейшем при работе узла трения, когда за счет поступающего смазочного материала обеспечивается нормальный режим работы, происходит одновременно и подпитка пористого материала жидкой смазкой, которая в дальнейшем используется при последующих пусках.

Перспективным направлением в применении пористых антифрикционных материалов в узлах трения скольжения является расширение области их применения и установление возможности их использования в тяжелых режимах работы.

Литература:

1. Анциферов В.Н., Акименко В.Б. Спеченные легированные стали. М.: Металлургия, 1983 г. – 88 с.
2. Мошков А.Д. Пористые антифрикционные материалы. «Машиностроение», 1968 г. – 207 с.

3. Чичинадзе А.Ю. Трение, износ и смазка. Трибология и триботехника. М., Машиностроение, 2004 г. — 576 с.
4. Федорченко И.М., Пугина Л.И. Композиционные спеченные антифрикционные материалы. Киев: Наук. думка, 1980 г. — 404 с.

О возможности комплексного использования доломитов Бойцовского месторождения

Белоусов Михаил Викторович, ст.преподаватель;
Колесникова Мария Петровна, кандидат технических наук, доцент;
Шопперт Наталья Владимировна, ст.преподаватель;
Никоненко Евгения Алексеевна, кандидат химических наук, доцент;
Ракипов Д.Ф.

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

В настоящее время оксиды магния и кальция применяются в различных отраслях промышленности: металлургической, строительной, химической, шинной, электротехнической, теплотехнической, пищевой, а также в медицине. Смесь оксидов магния и кальция в определенных пропорциях — это полуфабрикат для производства магния. Одним из направлений создания новых теплоизоляционных и строительных материалов с повышенными показателями является применение при их изготовлении магниезиальных и доломитовых вяжущих материалов. Основными их достоинствами являются высокая механическая прочность, быстро нарастающая в начальный период твердения, повышенные показатели прочности при изгибе, плотная структура затвердевшего магниезиального камня. Для этих вяжущих характерна низкая теплопроводность, высокая прочность сцепления с заполнителями. Основной причиной, сдерживающей широкое применение магниезиальных и доломитовых вяжущих материалов в настоящее время, является недостаточный объем производства, в частности, каустического магнезита. Его получают обжигом магнезита, который является сырьем для получения более дорогого продукта — металлического магния. В металлургической промышленности используют также доломиты. При этом остаются некондиционные фракции, которые, как правило, попадают в отвал. Наиболее перспективным направлением является их применение для изготовления различных вяжущих материалов, что решит проблему комплексного использования доломитов.

Цель данной работы заключалась в изучении активности материала, полученного обжигом доломита. Этот материал, в зависимости от температуры обжига может быть перспективным сырьем для получения каустического доломита, доломитового цемента и доломитовой извести.

На территории Свердловской области имеются значительные разведанные доломитовые залежи с запасом сырья около 80 млн. тонн. В настоящей работе использованы доломиты Бойцовского месторождения.

Бойцовское месторождение приурочено к северо-западной краевой части Черемшанско-Цибихинской син-

клинали, входящей в состав Билимбаевского синклинория. Месторождение сложено карбонатными породами силурийского и девонского возраста, в геологическом строении принимают участие отложения среднего и верхнего отделов ордовикской системы, перекрытые рыхлыми отложениями мезокайнозойского возраста. Толща карбонатных пород верхнего ордовика, в которой размещены доломиты, залегает в виде субмеридиональной полосы. Балансовые запасы месторождения составляют 16 млн. тонн доломита.

В теоретическом составе доломита содержание основных компонентов составляет, в мас. %: MgO — 21,86; CaO — 30,41; CO₂ — 47,73, а мольное соотношение MgO : CaO = 1:1.

В более ранних работах [1,2,3] исследован химический состав и другие свойства проб руды Бойцовского месторождения. Химический состав исследован методом эмиссионного спектрального анализа с индуктивно-связанной плазмой. Анализ проводился с помощью оптического эмиссионного спектрометра «iCAP 6300 Duo» фирмы «Thermo scientific» США (табл.1).

Для исследования фазового состава, качественных характеристик образцов доломитовой руды был применен метод рентгенофазового анализа (табл.2). Рентгенофазовый анализ проводили на установке RIGAKU Dmax — 2200 в интервале углов $2\theta = 22^\circ - 75^\circ$ при угловой скорости сканирования 1 град/мин. в CuK α — излучении (40 кВ, 30 мА; $\lambda = 1,54056 \text{ \AA}$). Полученные результаты использовались для автоматизированного поиска по базе данных JCPDS.

По данным рентгенофазового анализа образец руды Бойцовского месторождения состоит из смеси фаз: основная фаза со структурой доломита (максимальный пик при $2\theta = 31,014^\circ$) и дополнительная фаза со структурой карбоната кальция (рис. 1). Используя, вышеприведенные данные химического состава руды определено процентное содержание свободного (не связанного с доломитом) карбоната кальция (CaCO₃ = 4,9%).

Разложение карбонатов — сложное явление, отдельные стадии которого — диффузия, адсорбция и де-

Таблица 1

Химический состав доломита Бойцовского месторождения

| Содержание основных компонентов в пересчете на оксиды, % (по массе) | | | | | | | |
|---|-------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|--------|-------|
| MgO | CaO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | Na ₂ Oк | SiO ₂ | П.П.П. | Сумма |
| 20,39 | 31,06 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,004 | 48,05 | 99,63 |

Таблица 2

Данные рентгенофазового анализа образца доломита

| Угол – 2θ | Относительная интенсивность пика, % | MgCa (CO ₃) ₂ | CaCO ₃ |
|-----------|-------------------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| 29,502 | 11 | - | -0,077 (100%) |
| 31,014 | 100 | 0,004 (100%) | 0,256 (2%) |
| 41,207 | 8 | 0,012 (19%) | - |
| 45,016 | 5 | 0,013 (10%) | - |
| 50,627 | 6 | -0,021 (10%) | - |
| 51,165 | 7 | -0,017 (13%) | - |

сорбция. Химические реакции, кристаллические превращения имеют различную природу. В соответствии с этим скорость разложения зависит от многих обстоятельств, в частности: от состава газовой фазы, скорости нагрева, размера кусков обжигаемого материала [4].

Исследование термических свойств доломитовой руды Бойцовского месторождения проведено методом термографии на дериватографе Q–1500D (рис. 2). Опыт проводили в платиновом тигле на воздухе. Навеска составляла 804 мг, температура нагрева – 5 град/мин до 1000°C. Чувствительность ДТА устанавливалась максимальной.

Согласно полученным результатам, разложение исследуемого доломита протекает в две стадии: на кривой ДТА видны два чётких эндотермических эффекта. На кривой ДТГ также присутствуют два пика. Температуры пиков на обеих кривых практически совпадают ($T_1=770^\circ\text{C}$ и $T_2=925^\circ\text{C}$). Температурный интервал протекания первой стадии диссоциации 743–800°C, второй – 887–943°C. На кривой ТГ имеются две ступеньки, отражающие убыль массы исходного вещества. Изменение массы исследуемого образца относительно начальной массы навески на первой стадии составляет 20,55%, на второй – 26,6%. Суммарная убыль массы образца – 47,15%. На кривой ДТА между двумя эндотермическими пиками наблюдается экзотермический тепловой эффект, который может быть связан с кристаллизацией аморфного продукта разложения, образовавшегося после первой стадии процесса. На кривых ДТА и ДТГ, полученных при охлаждении, тепловые эффекты отсутствуют, масса образца не меняется. Изменение массы, определенное взвешиванием тигля с пробой до и после опыта ($\Delta m=388$ мг.) несколько меньше, чем рассчитанное из кривой ТГ ($\Delta m=397$ мг.), поскольку при охлаждении вещество, по-видимому, поглощает из атмосферы пары воды и/или CO₂.

Про продукты обжига и спекания доломита известно следующее. В процессе обжига при температуре около 750°C образуется каустический доломит, который состоит в основном из CaCO₃ и MgO (не менее 15%). При более высоких температурах могут быть получены доломитовый цемент и доломитовая известь. Доломитовый цемент, в состав которого входят MgO, CaO и CaCO₃, получают при температуре обжига 800–850°C; доломитовая известь (смесь из MgO и CaO) образуется при температуре обжига 900–1000°C. Более высокие температуры приводят к спеканию доломита и образованию доломитовых огнеупоров.

Известно, что механизм обжига, а затем и спекания известняка, доломитов заключается в том, что мелкие кристаллические зерна под влиянием сил молекулярного сцепления срастаются в кристаллическое тело, при этом часть пор закрываются, далее наблюдается рекристаллизация (рост кристаллов). При спекании параллельно с рекристаллизацией наблюдается процесс «заживления» кристаллов, имеющих искажения в первоначальной кристаллической структуре, который сопровождается понижением активности вещества. Наглядное представление об этом дают результаты определения температурной зависимости истинной и кажущейся плотности оксида кальция. Оксид кальция, полученный при низких температурах обжига, имел пониженную плотность и максимальную пористость. Время гашения его водой, характеризующее реакционную способность измеряется до температуры 800°C секундами. Такая высокая активность определяется наличием большого числа дефектов строения и высокой дисперсностью кристаллов. В интервале с 950–1200°C происходит уплотнение, уменьшается пористость, увеличивается размер зерна. При температуре прокаливании 1200–1400°C наблюдается рекристаллизация, при этом реакционная ак-

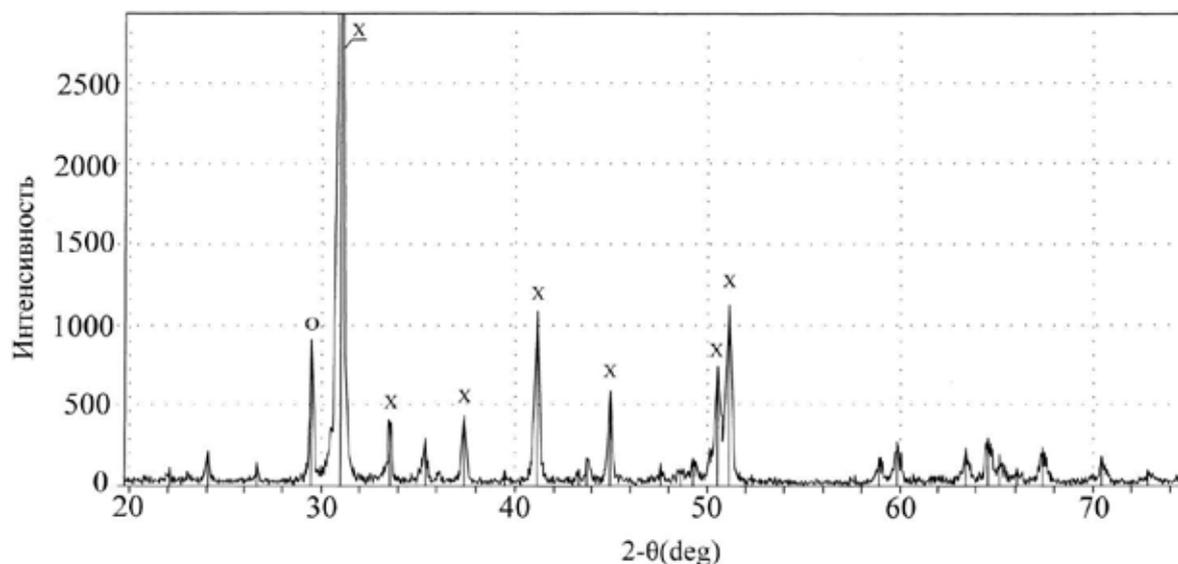


Рис. 1. Рентгенограмма образца доломита (X – $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, O – CaCO_3)

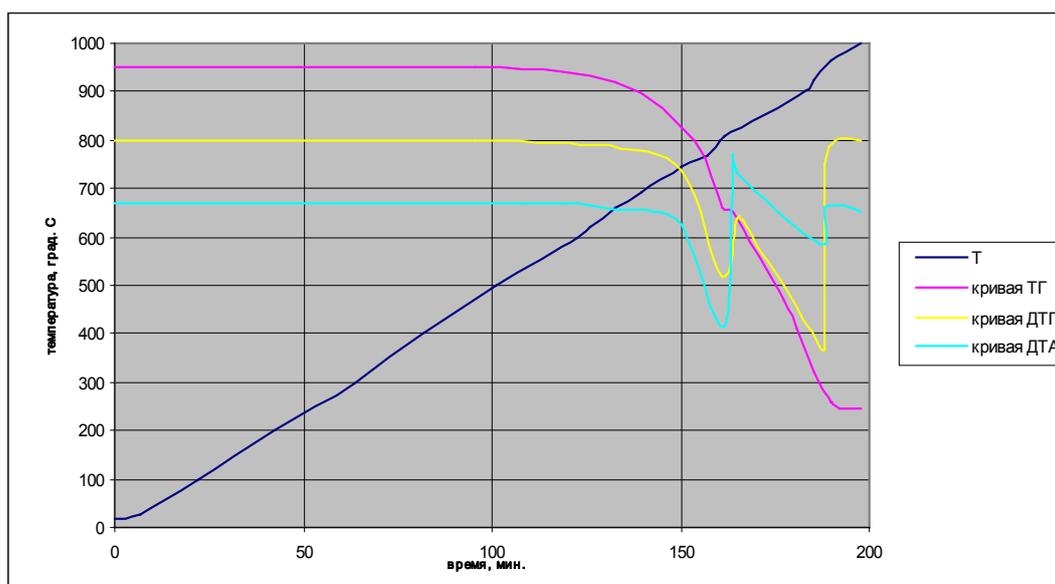


Рис. 2. Термограмма образца доломита Бойцовского месторождения

тивность оксида кальция снижается. Таким образом, известь, полученная путем обжига известняка при различных температурах и времени обжига, обладает неодинаковой реакционной способностью. Реакционную активность определяют по времени достижения максимальной температуры при взаимодействии обожженного CaO с водой [5].

С другой стороны, изменение свойств оксида кальция при нагревании известняка связано с изменением химического потенциала, зависящего от энергии кристаллической решетки этого соединения с характером связи, не отвечающей идеальному ионному распределению зарядов Ca^{2+} и O^{2-} (ковалентность составляет 10% по Л. По-

лингу на одну связь Ca-O). При нагревании доля ионной связи в решетке CaO растет и достигает максимума при 1200°C . Эти данные были получены при помощи метода электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) и представлены на рис. 3. В химически чистых совершенных кристаллах не может наблюдаться парамагнитного резонанса, так как все электронные оболочки заполнены (неспаренные электроны отсутствуют). Однако наличие дефектов или примесей может привести к появлению некомпенсированных электронов. Анализ спектров ЭПР позволяет сделать некоторые выводы об энергетическом состоянии дефектов, ионов основной решетки и харак-

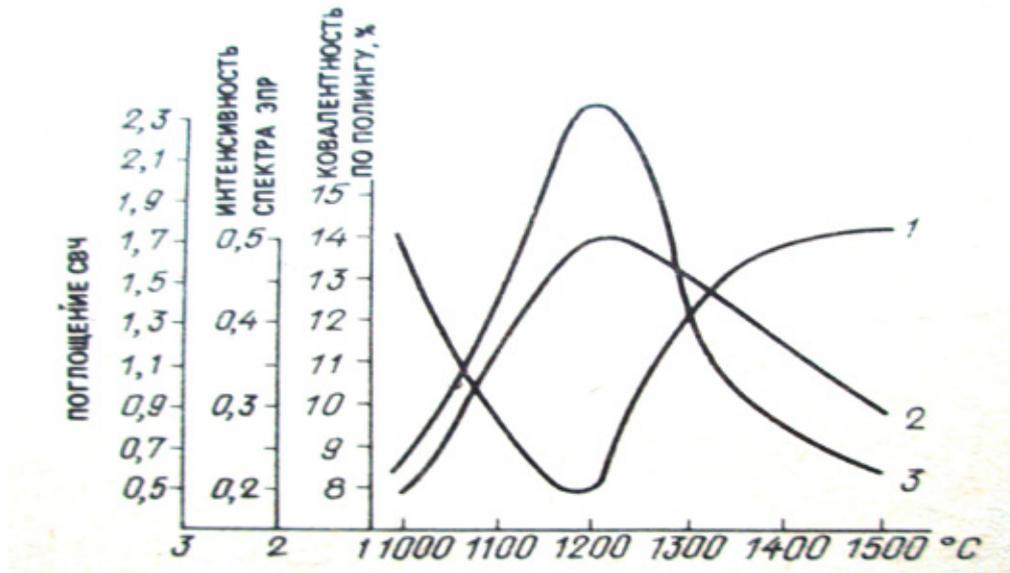


Рис. 3. Изменение свойств оксида кальция при нагревании (по данным ЭПР)

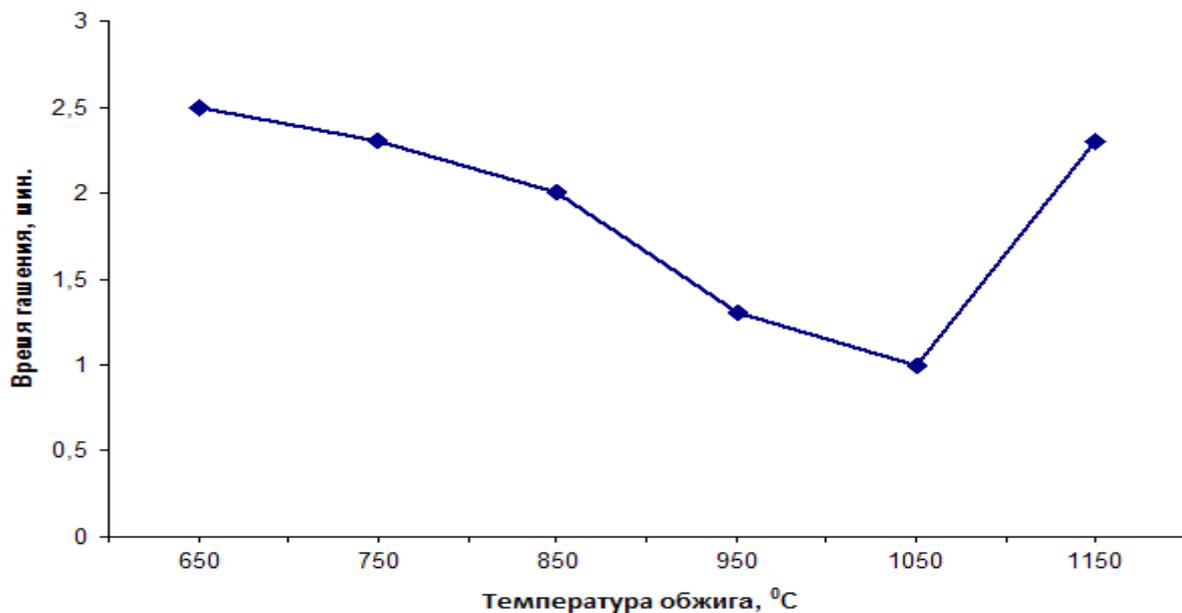


Рис. 4. Зависимость времени гашения доломитовых материалов от температуры обжига доломита

тере химической связи в исследуемом материале. Следует ожидать, что энергия решетки CaO при этой температуре максимальна, как и её химический потенциал. Это определяет максимальную реакционную способность извести, полученной обжигом в течение 1 ч при данных условиях обжига [6]. Аналогичная картина наблюдается и при прокаливании доломита.

При проведении эксперимента доломит обжигался в печи с одинаковым временем выдержки при заданной температуре. В соответствии с ГОСТ 22688–77 «Известь строительная. Методы испытаний», было проведено ис-

следование зависимости времени гашения доломитовых материалов: магнезиальной извести, доломитового цемента, доломитовой извести от температуры обжига доломита. Испытания проводились в воздушном калориметре. Результаты представлены на рис. 4.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что из всех доломитовых вяжущих максимальной активностью обладает доломитовая известь, которая получается при температуре обжига доломита около 1050°C. Время гашения доломитовой извести, которое характеризует её реакционную способность, измеряется секун-

дами. Полученные данные хорошо согласуются с исследованиями процесса обжига известняка и доломитов других месторождений. Наличие оксида магния несколько снижает температуру достижения максимального уровня энергии кристаллической решеткой CaO, и дальнейшее повышение температуры не вызывает увеличения активности извести.

Выводы

1. Исследования состава доломита, которые были проведены различными методами: эмиссионным спектральным анализом с индуктивно-связанной плазмой и рентгенофазовым анализом показали, что доломитовая

руда Бойцовского месторождения содержит минимальное количество примесей, достаточное содержание магния и может быть использована в качестве сырья в производстве магния. Некондиционные фракции пригодны для изготовления доломитовых вяжущих.

2. В результате термографического анализа были определены температурные интервалы двух стадий диссоциации доломита, а также температуры, при которых скорость диссоциации максимальна.

3. Изучено влияние температуры обжига доломита на активность доломитовых материалов. Установлено что доломит пригоден для производства доломитовых вяжущих: каустического доломита, доломитового цемента и доломитовой извести.

Литература:

1. О сырьевых источниках силикотермического производства магния / М.В. Белоусов, Ракипов Д.Ф. Современные техника и технологии: сборник трудов XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т.Т. 2 / Национально-исследовательский Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. — С. 101—104.
2. Исследование механизма диссоциации доломита методом дериватографии/ Белоусов М.В., Муллагулов М.Ф., Ракипов Д.Ф. Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения: Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Под общей редакцией Л.П. Мышляева; СибГИУ. — Новокузнецк, 2010. — Вып. 14. — Ч. III. Технические науки. — С. 112—115.
3. О возможности использования доломитов Среднего Урала в производстве MgO и CaO / Белоусов М.В., Колесникова М.П., Никоненко Е.А. Новые химические технологии: производство и применение: Сборник статей XII Всероссийской научно-технической конференции. — Пенза: Приволжский Дом знаний, 2010. — С. 8—10.
4. Стрелец Х.Л., Тайц А.Ю., Гуляницкий Б.С. Metallurgy магния. М.: Metallurgizdat. 1960. 480 с.
5. Табунщиков, Н.П. Производство извести /Н.П. Табунщиков. — М.: Изд-во «Химия», 1974. 240 с.
6. Мчелов-Петросян, О.П. Химия неорганических строительных материалов/ М.: Стройиздат, 1988. 304 с.

Анализ эффективности охлаждения непрерывнолитых заготовок круглого сечения на МНЛЗ №1 ОАО «Уральская сталь»

Польщик Алексей Владимирович, аспирант;

Тутарова Власта Диляуровна, кандидат технических наук, доцент
Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова

В последнее десятилетие производство непрерывнолитых круглых заготовок получило большое развитие в промышленно развитых странах и к 2010 году составило около 10,1 млн. тонн, что на 50,3% выше, чем в 2006 г. В связи с этим идет постоянный поиск лучших конструкций машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), совершенствуются отдельные узлы существующих установок. В настоящее время на территории СНГ насчитывается 28 МНЛЗ, получающих круглую заготовку диаметром от 82 до 600 мм.

В 2007 г. началось строительство МНЛЗ №1 в электросталеплавильном цехе ОАО «Уральская сталь» (г. Новотроицк) в соответствии с проектом, разработанным компанией «SMS Demag», которая так же обеспечила поставку основного технологического оборудования и

осуществляла надзор за монтажом. 28 апреля 2008 г. было проведено горячее опробование новой 4-ручьевого комбинированной машины непрерывного литья заготовок.

Выпуск продукции осуществляется в двух форматах — блюмовая заготовка сечением 330 x 470 мм и круглая заготовка диаметром 430, 540 и 600 мм [1].

Проектная производительность комбинированной МНЛЗ составляет 900 тыс.т литой заготовки в год, в том числе блюмов 600 тыс. т в год и круглой литой заготовки 300 тыс.т в год.

Комбинированная МНЛЗ №1 является уникальным агрегатом, позволяющим разливать трубную заготовку от 300 до 600 мм в диаметре, которую в России делают только на прокатных станах, в связи с чем комбинат «Уральская

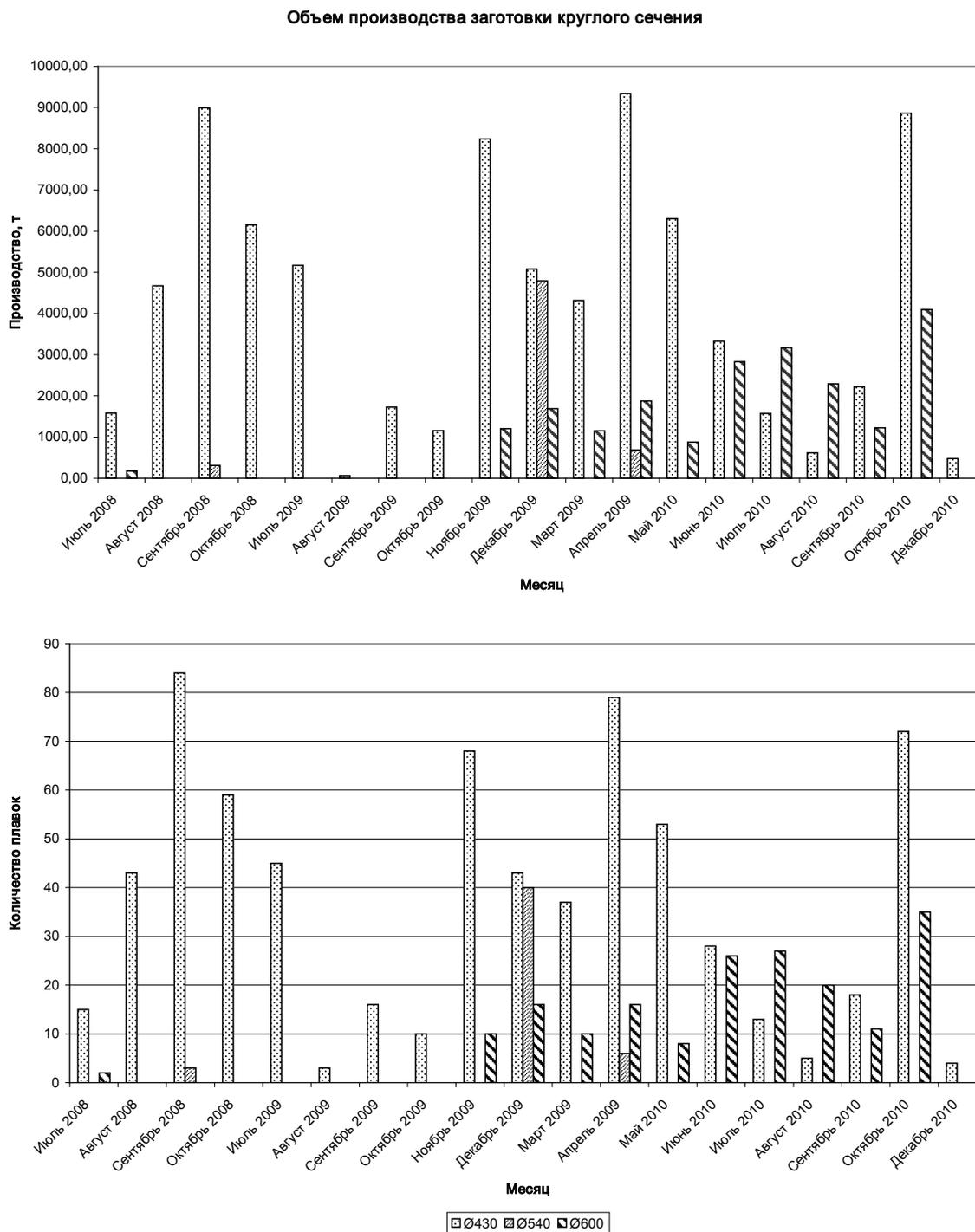


Рис. 1. Производство круглых заготовок по различным сечениям

Сталь» планирует занять место ведущего российского производителя продуктов этого класса.

К концу 2010 года с момента пуска на МНЛЗ №1 в заготовки круглого сечения было разлито 925 плавков, объем производства составил 106252,98 т стали (рис. 1). При этом производство заготовок диаметром 430 мм составило 79880,53 т стали (695 плавков), диаметром 540 мм – 5792,96 т стали (49 плавков), диаметром 600 мм –

20579,49 т стали (181 плавка).

Для обеспечения равномерного охлаждения заготовки по длине зоны вторичного охлаждения (ЗВО) предусматривается несколько участков с различной интенсивностью отвода тепла.

В настоящее время на МНЛЗ №1 существует четыре зоны вторичного охлаждения с заданными расходами воды. Две последние не используются по причине

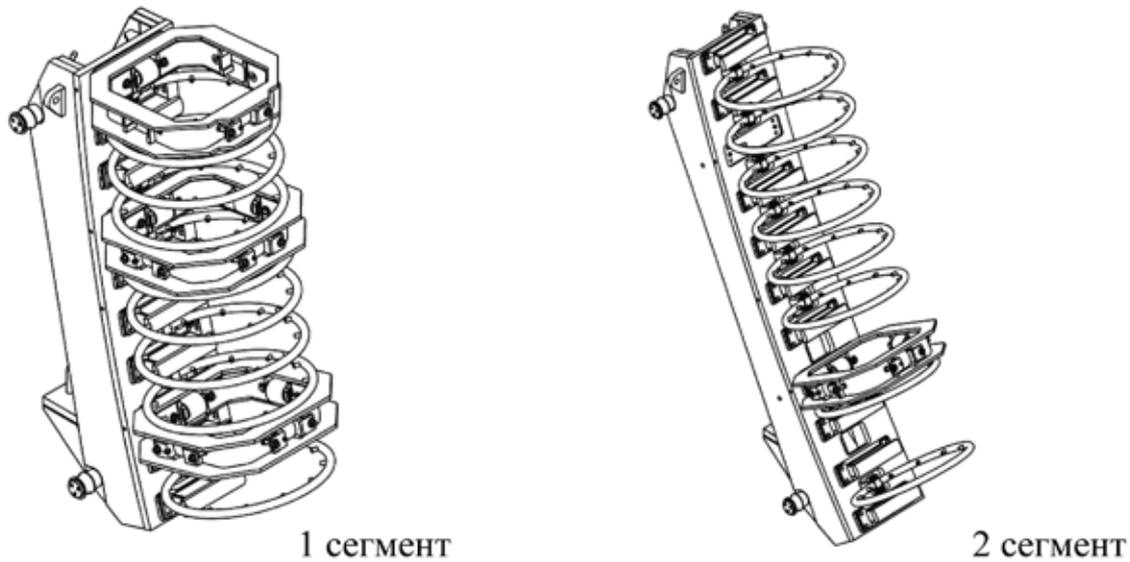


Рис. 2. Конструкционная схема сегментов охлаждения

возможного переохлаждения и большого количества брака.

Таким образом, на сегодняшний день, охлаждение непрерывнолитых круглых заготовок происходит в кристаллизаторе кассетного типа, подбное и первых двух сегментах, конструкционная схема последних приведена на рис. 2

На каждом коллекторе располагается по 6 форсунок в шахматном порядке, относительно рядом находящихся коллекторов. На рис 3 приведена схема коллектора.

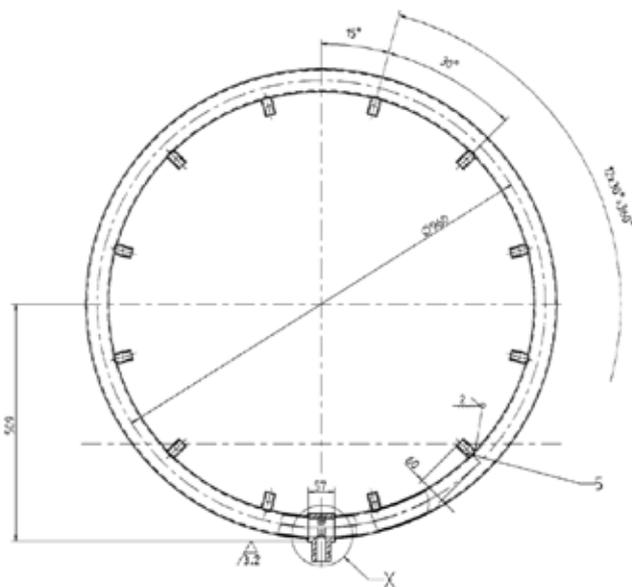


Рис. 3. Схема коллектора

На рис. 4 приведен внешний вид форсунок 660 серии фирмы Lechleg, используемых в системе охлаждения.

Для достижения требуемой интенсивности теплоотвода на МНЛЗ №1 применяется струйный метод подачи охлаждающего вещества.



Рис. 4. Форсунки 660 серии

Струйное охлаждение обеспечивает вторичное охлаждение струями воды, которые подаются через специальные форсунки, как правило, имеющие щелевые формы. Форсунки расположены строго перпендикулярно к граням, вода подается по центру слитка. Повышенное давление при заданном расходе воды указывает на наличие засоренных форсунок, пониженное давление — на утечку в коллекторе или отсутствие форсунки. Вода попадает на поверхность заготовки в виде капель, которые должны иметь достаточную энергию, чтобы проникнуть через паровую «рубашку», образовавшуюся вследствие испарения воды. Этот способ охлаждения имеет ряд существенных недостатков [2, с. 281–283]:

- величина теплоотдачи не всегда увеличивается пропорционально увеличению расхода воды;
- капли из водяной форсунки обычно достаточно крупные, что не способствует увеличению скорости парообразования и ограничивает эффективность охлаждения;
- в месте воздействия водяной струи происходит термический удар, который может привести к зональной сегрегации или образованию трещин и т.д.

В настоящее время в условиях ЭСПЦ ОАО «Уральская сталь» при разливке на МНЛЗ №1 непрерывнолитых заготовок с круглым поперечным сечением из трещиночувствительных марок стали наблюдается поразительность круглой заготовки поверхностными трещинами.



Рис. 5. Продольная трещина

В большинстве случаев поверхность поражена поперечными трещинами. Кроме того на поверхности круглых заготовок наблюдаются ужимины и продольные трещины (рис. 5).

Основной причиной возникновения поверхностных дефектов круглой литой заготовки, а именно поверхностных трещин, является применение существующей системы водяного вторичного охлаждения круглой заготовки, что приводит к неравномерному темпу охлаждения заготовки по длине оси МНЛЗ №1, с образованием участков излишнего разогрева, а затем переохлаждения поверхности заготовки.

Следующим недостатком используемой конструкции является малый диаметр проходных отверстий форсунок (меньше 1 мм), что может повлечь их засорение примесями воды и дальнейший выход из строя, и как следствие — появление дефектов в круглой литой заготовке.

Таким образом, существующая система вторичного струйного охлаждения на МНЛЗ №1 ОАО «Уральская сталь» не обеспечивает оптимальные режимы охлаждения круглой заготовки, что приводит к образованию её внутренних и поверхностных дефектов.

Температура поверхности непрерывной круглой заготовки снижается по направлению движения заготовки к выходу из машины скачкообразно, что приводит к возникновению термических напряжений, следовательно, режим интенсивности охлаждения поверхности заготовки явно нарушен.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о необходимости реконструкции зоны вторичного охлаждения круглой заготовки на МНЛЗ №1 ОАО «Уральская сталь» и разработки рациональных режимов ее охлаждения, позволяющих стабильно получать заготовки требуемого качества.

Литература:

1. Пресс-служба Управляющей компании «Металлоинвест». «Уральская Сталь» осваивает производство уникальной для России продукции. [Электронный ресурс] URL: <http://www.steelmaker.ru/ru/node/268>
2. Процессы непрерывной разливки: Монография / Смирнов А.Н., Пилющенко В.Л., Минаев А.А. и др. — Донецк: ДонНТУ, 2002. — 536 с.

Методика расчета направления отрезки угловых профилей в штампах при поступательном движении ножа

Сердюк Алексей Иванович, кандидат технических наук, доцент
Приазовский государственный технический университет (Украина)

На основании выполненного анализа влияния относительного поперечного осевого зазора предложена методика расчета направления отрезки при поступательном движении ножей угловых профилей с учетом их геометрических характеристик и относительного осевого зазора, численное значение которого для выбранного материала профиля попадает в область допустимых значений.

Ключевые слова: отрезной штамп, отрезание смещением, открытый профиль, выбор направления отрезки, методика расчета.

Method of calculation direction of segment corner profile in stamps in progress of knife

A. I. Serdyuk

Based on performed analysis of the influence of a transverse axial clearance technique is proposed for calculating the direction of the segments during the forward movement of knife angle profiles based on their geometric characteristics and relative axial clearance, for which the numerical value of the selected profile falls within the permissible values.

Keywords: cutting stamp, cutting shift, public profile, choosing the direction the segments, the method of calculation

Постановка проблемы. При отрезке профилей различного сечения важнейшим требованием является обеспечение необходимого качества получаемых изделий. Качество изделий, получаемых отрезкой, является комплексным понятием и включает геометрическую точность изделия, состояние поверхности разделения, состояние металла в областях, примыкающих к поверхности разделения [1–2].

Поверхность разделения состоит из двух участков: плоского участка среза, имеющего низкую шероховатость, и криволинейного участка скалывания, имеющего большую поверхность и различные дефекты, наличие и размеры которых зависят от схемы отрезки, параметров и режимов процесса. Важнейшими параметрами процесса является поперечный зазор Z_n между наружной поверхностью про-

филя и внутренней поверхностью ножа, которые должны контактировать при отрезке, и осевой зазор Z_{oc} между ножами [2]. Осевой зазор в значительной мере определяет угол скоса торца, его плоскостность, величину дефектов в поверхности разделения. Так, только при оптимальных зазорах получают заготовки без заусенцев на торцевых поверхностях и наименьшие отклонения её формы от идеальной [2]. Абсолютный оптимальный зазор имеет одинаковое значение по всему сечению только при отрезке профиля прямоугольного сечения в направлении, которое совпадает с одной из сторон сечения, т.е. — перпендикулярно к опорной стороне. Когда отрезка выполняется ножом, который перемещается неперпендикулярно, т.е. наклонно под углом α , к опорной стороне прямоугольного сечения (см. рис. 1), то величина абсолютного оптималь-

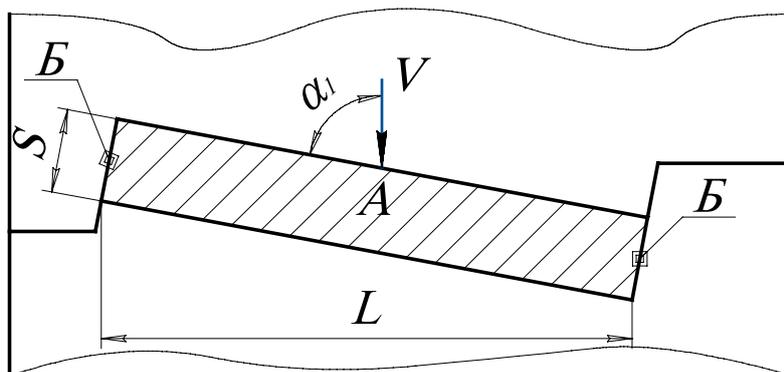


Рис. 1. Схема отрезки профиля прямоугольного сечения при наклонном движении ножа

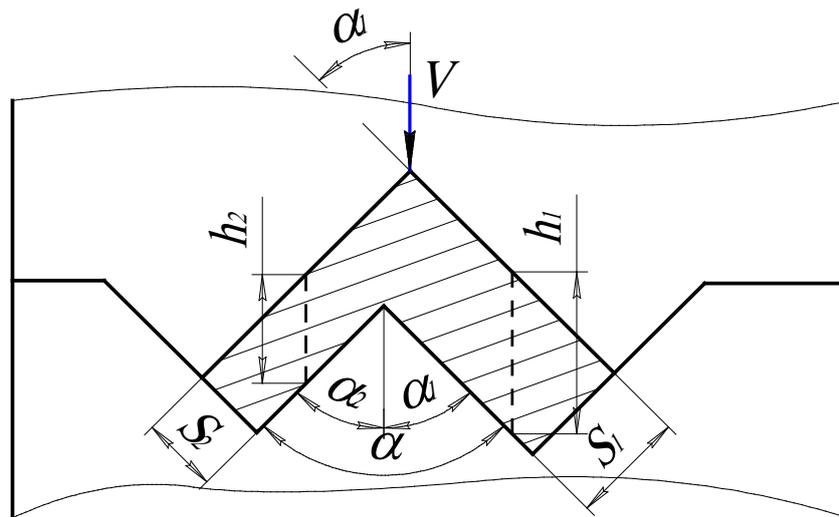


Рис. 2. Схема отрезки углового профиля

ного зазора является постоянной только на центральном участке А, а на боковых Б он уменьшается, так как размер сечения в направлении движения ножа V уменьшается.

Чтобы обеспечить одинаковое значение относительного зазора $m = Z_{oc} / h$ по всему сечению, абсолютный зазор Z_{oc} на этих участках необходимо уменьшать, так как только в этом случае обеспечиваются одинаковые условия деформирования [2]. Похожая проблема возникает и при отрезке профилей круглого сечения, что требует фасонной заточки режущих поверхностей ножей или наклонного расположения режущей плоскости ножа к плоскости разреза [1].

Анализ последних исследований и публикаций. Технология безотходной отрезки профилей простой формы (круг, квадрат, шестигранник) в штампах методом сдвига достаточно хорошо изучена и классифицирована [1,3–4]. Выбор траектории относительного смещения отрезаемой части позволяет управлять формообразованием поверхности за счет создания сложного напряженно-деформированного состояния в очаге деформации или изменения физических свойств разделяемого материала. Соловцовым С.С в работе [1] предложены два способа создания постоянного относительного осевого зазора между ножами для прутков круглого и прямоугольного сечений, однако профили более сложной формы – угловые профили в работах не рассматриваются. При этом нет рекомендаций и методик расчета в работах [3–4] для угловых профилей.

Цель статьи – разработка методики расчета направления отрезки при поступательном движении ножей угловых профилей, для которых обеспечить одинаковый относительный зазор без существенного усложнения конструкции ножей, которые движутся поступательно, можно только в отдельных случаях, выбирая подходящее направление перемещения ножа относительно сечения.

Изложение основного материала. Рассмотрим отрезку фасонного профиля – уголка, имеющего полки различной толщины S_1 и S_2 (рис. 2).

Угол между полками α . Для определенности будем считать, что $S_1 > S_2$. Отрезка перпендикулярно к одной из полок очевидно нецелесообразна, так как приведет к увеличению удельной нагрузки на участке, расположенному против другой полки. Это может привести к осадке этой полки на участках, которые опираются на ножи. Кроме того, абсолютный осевой зазор на этом участке необходимо увеличить, чтобы предотвратить появление трещин.

При одинаковом абсолютном зазоре Z_{oc} относительные зазоры будут обратно пропорциональны размерам полок в направлении движения ножа:

$$m_1 = z_{oc}/h_1; m_2 = z_{oc}/h_2, \quad (1)$$

где h_1 – высота сечения в направлении отрезки полки S_1 ; h_2 – высота сечения в направлении отрезки полки S_2 .

Для полок толщиной S_1 и S_2 высота сечений определяется из условий:

$$h_1 = \frac{S_1}{\sin \alpha_1}; h_2 = \frac{S_2}{\sin \alpha_2}. \quad (2)$$

При заданном значении угла раскрытия полок α определим угол раскрытия одной из полок $\alpha_2 = \alpha - \alpha_1$. Решая систему уравнений (1) и (2) относительно m_1 и m_2 получим:

$$m_1 = \frac{z_{oc} \sin \alpha_1}{S_1}; m_2 = \frac{z_{oc} \sin(\alpha - \alpha_1)}{S_2}. \quad (3)$$

Чтобы при одинаковом абсолютном зазоре Z_{oc} обеспечивался одинаковый относительный зазор практически по всему сечению (исключение составят зоны, примыкающие к краям полок) необходимо выполнить условие (4).

$$\frac{S_1}{\sin \alpha_1} = \frac{S_2}{\sin(\alpha - \alpha_1)}. \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет выбрать угол α_1 , обеспечивающий оптимальные условия деформирования по всему сечению уголка.

Из уравнения (4) получим:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{S_1 \sin \alpha}{\sqrt{S_1^2 + S_2^2 + 2S_1 S_2 \cos \alpha}}. \quad (5)$$

Отрезка без существенных дефектов на поверхности разделения возможна при относительных зазорах, численное значение которых для данного материала попадает в некоторую область, т.е. можно указать минимальное m_{min} и максимальное m_{max} значения допустимого относительного зазора. Следовательно, можно выбрать значения m_1 и m_2 таким образом, чтобы они оба попали в область допустимых значений.

Тогда

$$m_2 = \lambda m_1, \quad (6)$$

где $\lambda = m_2 / m_1$, т.е. отношение выбранных относительных зазоров на различных участках сечения.

При одинаковом значении абсолютно осевого зазора Z_{oc} между ножами на всех участках сечения профиля, который отрезаем, получим:

$$\lambda m_1 = \frac{Z_{oc}}{S_2 / \sin \alpha_2}; \quad m_1 = \frac{Z_{oc}}{S_1 \sin \alpha_1}. \quad (7)$$

Литература:

1. Соловцов С.С. Безотходная резка сортового проката в штампах. — М.: Машиностроение, 1985. — 175 с.
2. Сердюк А.И. Исследование напряженно-деформированного состояния металла в штампах со сложным движением ножей и совершенствование технологии отрезки П-образных профилей: Дис. ... канд. тех. наук. Мариуполь. 2004. — 156 с.
3. Акаро И.Л. Классификация поковок и технологических переходов горячей штамповки / И.Л. Акаро // Кузнечно-штамповочное пр-во. — 1980. — № 1. — С. 8–11.
4. Ковка и штамповка: справочник: в 4 т.Т. 2. Горячая объемная штамповка / под ред. Е.И. Семенова. — М.: Машиностроение, 1986. — 592 с.

Отсюда следует, что

$$\frac{\lambda S_2}{\sin \alpha_2} = \frac{S_1}{\sin \alpha_1}, \quad (8)$$

или

$$\frac{\sin(\alpha - \alpha_1)}{\sin \alpha} - n\lambda = 0. \quad (9)$$

Решив уравнение (9) относительно α_1 , получим:

$$\alpha_1 = \arcsin \frac{\sin \alpha}{\sqrt{(\lambda S_2 / S_1 + \cos \alpha)^2 + \sin^2 \alpha}}. \quad (10)$$

Выводы. Предложена методика расчета направления отрезки при поступательном движении ножей угловых профилей с учетом их геометрических характеристик и относительного осевого зазора, численное значение которого для выбранного материала профиля попадает в область допустимых значений, что обеспечивает геометрическую точность отрезаемых изделий и высокое качество поверхности разделения.

7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Основные технологические параметры почвообрабатывающих машин нового поколения

Данатаров А., кандидат технических наук; Ашыров С., ст.преподаватель
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашгабат)

Researches have shown that in the course of cutting of aeration drainage the ground density by drainage zones on size practically didn't differ from density of a monolith of a ground. Cavities of drains were rather steady. Quality of loosening was checked by disclosing of a zone of destruction of a surface of a ground behind pass of working body. It is established that behind pass of a continuous knife, ground destruction occurs in the form of clods to critical depth of cutting, in this case to 0,4 m, and in the bottom part occurs abbreviation for. At work step moling ripper ground destruction occurs on all depth of cutting. However, it is necessary to notice that thus the width of a destroyed strip is less on 10 sm in comparison with a continuous knife.

Key words: инженерное конструирование; обработка почв

Орошаемое земледелие в аридных условиях Туркменистана, как и во многих странах мира, являются важнейшим фактором сельскохозяйственного производства. С ростом численности населения и уменьшением площади пахотных земель на душу населения, а также в связи с глобальным потеплением климата и резким снижением запасов пресной воды на Земле, водо-сберегающие технологии становятся приоритетным направлением хозяйствования во всех аридных регионах мира. Как известно, насыщение воздухом происходит за счет поступления его под воздействием атмосферного и гидравлического давления воды в грунте. Из-за образования уплотненного подпахотного горизонта воздух не насыщает почву, т.к. очень затруднено проникновение его на требуемую глубину через сильно уплотненный подпахотный слой. Это приостанавливает жизнь всего живого, в частности, растений и микроорганизмов, т.к. в почвенном воздухе создается дефицит кислорода, необходимого для обеспечения нормального развития корневой системы растений и интенсивного протекания аэробных и микробиологических, окислительных процессов.

Различают две фазы рыхления плотной сухой почвы: механическое (первичное) рыхление и следующее за ним биологическое (вторичное) рыхление. При этом объем пор зоне рыхления бывает различен и зависит от положения ножа или рыхлящего лемеха, типа орудия и свойств почв. Рост корней в рыхленной почве по сравнению с уплотненной более интенсивен в ширину и особенно в глубину. Это стабилизирует эффект механического рыхления. Эффект рыхления зависит также от гранулометрического состава и химических свойств почвы. В результате рыхления повышается их водопоглощающая способность. Переход

некапиллярной порозности в капиллярную после глубокого рыхления происходит обычно медленно и в редких случаях внезапно, например после интенсивного выпадения атмосферных осадков, неправильной обработки почвы или проезда по ее поверхности транспортные средства в неподходящее время.

Расположение таких почв обычными промывными нормами не дает положительного результата, а также приводит к значительным перерасходом воды. Наиболее приемлемым в решении данного вопроса является кротодренаж. Однако, технология и конструкции для его проведение недостаточной степени эффективны и надежны по устойчивости и прочности.

Эффективность глубокого рыхления (объем, степень крошения почвы и др.) зависит, в первую очередь, от формы и параметров долота и стойки. Отечественные конструкции кротовых дрен представляет собой полость с наддренной щелью. Щель от ножа, разрезающего почву и подпочву, должна быть ликвидировать, так как она ослабляет верхний свод дрены, может способствовать заилению дрены и обвалу верхнего свода. Технология нарезки аэрационного дренажа (АД) разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника, которая основана на разрыхлении подпахотных слоев и нарезке в монолите грунта перпендикулярно основному дренажу водоаккумулирующих кротовых спаренных дрен на глубину 600 мм и на расстоянии 900 мм. Обоснована технология рыхления подпахотного горизонта рыхлителем-кротователем, которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших затратах. Аккумулирующая способность почвы увеличивается. Культурные растения раз-

вивают более глубокую корневую систему и обеспечиваются влагой лучше, чем до рыхления-кротования [2].

Лучшее мелиоративное состояние было получено при густоте нарезки АД 0,6–0,9 м. В данном случае наблюдалось существенное снижение расхода промывной воды и оптимальный режим рассоления. Следует отметить, что полученные результаты полевых исследований параметров АД хорошо согласуются с теоретическими. Глубокое рыхление и АД характеризуются примерно одинаковым эффектом. Щель и уплотненная стенка кротовин являются основным недостатком данной конструкции, т.к. происходит разрушение структуры грунта околдренной зоны. При водонасыщении грунт начинает набухать, препятствуя притоку воды к дрене, а вода, поступающая через щель, приводит к размыву и разрушению свода дрен. Моделирование работы дренажа свидетельствует о том, что интенсивность поступления воды в дрину определяется коэффициентом фильтрации и водоотдачи наддренного слоя грунта, из которого происходит сброс гравитационной воды. Кроме того, рабочие органы, применяемые для нарезки дрен, имеют большие тяговые усилия, в результате образования пластично-упругих деформаций грунта в нижней части ножа, о чем свидетельствуют также результаты исследований А.Н. Зеленина. В этой зоне грунт, вытесняемый рабочим органом, выдавливается в боковые стенки щели, не разрушая его к дневной поверхности. Критическая глубина резания рабочими органами данного типа определяет значительные тяговые усилия базовых

машин. Поэтому нарезка АД в зоне орошаемого земельного участка не нашла широкого применения.

Это дало возможность предложить новую конструкцию АД. Предлагаемая конструкция АД включает две параллельные дренажные полости, сформированные в монолите грунта естественной структуры. Сохранение естественной структуры грунта вокруг дрены обеспечивает достаточную водозахватную способность и эксплуатационную надежность. Для удовлетворения изложенных требований нами были разработаны специальные, универсальные рыхлители-кротователи новой конструкции, защищенные авторским свидетельством № 1751263 [1]. Для рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры рыхлителя-кротователя.

Исследования показали, что в процессе нарезки кротовин плотность грунта околдренной зоны по величине практически не отличалась от плотности монолита грунта. Полости дрен были весьма устойчивы. Качество рыхления проверялось раскрытием зоны разрушения поверхности грунта за проходом рабочего органа. Установлено, что за проходом сплошного ножа, разрушение грунта происходит в виде комьев до критической глубины резания, в данном случае до 0,4 м, а в нижней части происходит трещинообразование. При работе ступенчатого рыхлителя разрушение грунта происходит на всю глубину резания. Однако, следует отметить, что при этом ширина разрушаемой полосы меньше на 10 см по сравнению со сплошным ножом.

Литература:

1. А.с. 1751263/СССР/. Устройство для нарезки кротовин /Хоммадов К., Данатаров А. – Москва. 1992. Бюл. №28.
2. Данатаров, А. Аккумулирующая способность воды аэрационного дренажа в аридной зоне. Международный научно-практический журнал № 1. Проблемы освоения пустынь. 1999. – с. 89.
3. Дуриков, М., Ходжакулиев, С. Глубина обработки луговых почв. Двухмесячный научно-производственный журнал. Хлопок. № 1. 1992. ВО Агропромиздат. – с. 6–7.

Энергосберегающие рабочие органы для орудий основной обработки почвы

Данатаров А., кандидат технических наук; Ашыров С., ст.преподаватель
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашгабат)

The abovementioned characteristics allow us to determine the pulling pressure of soil cutting in course of change of position of teeth on the ripper blade during layered cutting of soil. It is known that chip loading of soil on subcritical depth is 20–25 % lower than it is at overcritical depth i.e. we may conclude that by using of this effect in blade structure we may lower the pulling pressure as compared with plain blade. We have also arrived at conclusion that following the acute influence of subsurface soil level tillage a much more solid root layer of soil is formed, that in its turn, promotes the increase of harvest of cultivated crops.

Key words: инженерное конструирование; экологическая безопасность

Ход накопления плодовых ветвей хлопчатника, помимо метеорологических условий, в значительной мере определяется условиями водоснабжения и питания растений.

На первом этапе развития плод предъявляет повышение требования к теплу и влаге. В этот же период осуществляется рост волокна в длину, которое достигает почти

полных размеров. С увеличением водоснабжения длина волокна увеличивается. Корневая система хлопчатника, играющая важную роль в его водоснабжении, развивается в зависимости от биологических особенностей растения, почвенных условий, режим орошения. Важно обеспечить растений влагой в период цветения и формирования завязей, который может рассматриваться как критический по отношению к влаге. Наличие достаточного количества влаги в это время резко снижает потери завязей, способствует нормальному прохождению массового формирования их, повышает крупность коробочек, увеличивает длину волокна, обеспечивает, при соблюдении других требований, получение высоких урожаев хлопка-сырца. По мере прохождения фаз и стадий развития все большее значение в жизни хлопчатника приобретают глубинные запасы влаги [3].

Следовательно работы, проведенные в последние годы в странах СНГ и за рубежом, позволили раскрыть и выявить негативные явления относительно современного земледелия, увеличения плотности почвы в пахотном и подпахотном слоях, вызванное воздействием МТА, приводит к снижению потенциального и эффективного плодородия почв, появлению необратимых сдвигов в почвообразовательных процессах и значительному снижению урожайности сельскохозяйственных культур. На основании положительного опыта в ряде стран беструбчатый дренаж стал одним из признанных способов дренирования и полностью приравнен к трубчатому дренажу [6]. Первые опыты с орошением по кротовым дренам показали, что при этом способе можно получать урожай в три раза выше, чем при поверхностном орошении, а расход воды при этом уменьшается тоже примерно в три раза [5].

Сопоставление показателей равновесной и оптимальной для роста культур плотности позволяет определить необходимость обработки почвы. Чем больше разность между этими двумя величинами, тем интенсивней и глубже должна обрабатываться почва. Почвы тяжелого гранулометрического состава с большим содержанием илистой фракции и гумуса подвержены значительному набуханию при увлажнении и разрыхлению. Это вызывает изменение как равновесной, так и оптимальной плотности.

Одним из отрицательных факторов, который ухудшает водно-физические состояния почв, является уплотнение почв — движителями сельскохозяйственных машин и орудий. Для улучшения таких почв применяют рыхлители, щелеватели и кротователи. Применение таких мелиоративных орудий направленные на ускорение фильтрации поверхностных вод способствует аккумуляции влаги в почвенном профиле и ускоряет сбор избыточных вод. Из них наиболее широко применяемым методом регулирования водно-физических состояний почв является кротовой дренаж. В дренах и почву поступают и воздух, и тепло, а с воздухом и водой — микрофлора и микрофауна. Происходит оживление биологической деятельности, а

также возникает процесс химического выветривания почвы в присутствии воды, кислорода и углекислоты, что в совокупности повышает плодородие почвы. Дело в том, что после полива в почве над дренажом, главным образом, оседает весь плотный осадок из поливной воды как минеральный, так и органический. Благодаря этому улучшается структура почвы, отводится излишек влаги из сельскохозяйственных угодий, происходит аэрация почв, в результате повышается урожайность культур [4].

Это дало возможность предложить новую конструкцию аэрационного дренажа (АД). Предлагаемая конструкция АД включает две параллельные дренажные полости, сформированные в монолите грунта естественной структуры. Сохранение естественной структуры грунта вокруг дренажей обеспечивает достаточную водозахватную способность и эксплуатационную надежность. Оценка эффективности АД зависит от затрат на его устройство и прибыли, получаемой в результате эксплуатации АД. Экономическая эффективность АД может быть определена по трем основным составляющим: экономическая эффективность от применения новой конструкции и технологии его нарезки; экономическая эффективность от прибавки урожая сельскохозяйственных культур; экономия промывной и поливной воды. Результаты исследований свидетельствуют о том, что проведение промывного режима на землях подверженных сплошному рыхлению почвы позволяет снизить содержание солей на 40%, а при полосном рыхлении — на 20%.

Влияние конструкции АД на устойчивость и эффективность работы, для опыты, проведенные на опытных участках совхозов «Ак-Алтын», «Целинный», имени Магтымгулы Каракумского района показали, что на хлопковых полях оптимальная глубина нарезки АД составляет 0,6 м. Положительно сказалось рыхление-кротование на водопроницаемость почвы. Это объясняется использованием запасов влаги из почвы. Известно, что при обычной вспашке менее развитая корневая система хлопчатника использует влагу в основном из слоя 35–40 см, а при глубоком рыхлении благодаря развитию мощной корневой системы растения способны доставать ее из слоя 100 см и более.

Установлено, что воздействие АД снижалось с течением времени, т.е. практически на 4-ем году эксплуатации коэффициент фильтрации стабилизировался, незначительно превышая контрольный вариант. Для нарезки АД и рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры АД и глубокорыхлителя. Обоснована технология нарезки АД и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем (НАД-2–60), которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших затратах. Технико-экономические расчеты показали, что нарезка АД позволяет снизить эксплуатационные расходы до 30%, обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до 10 ц/га [2].

Литература:

1. Глотов, М.Н. Кротовый дренаж и его применение. В кн. Кротовый дренаж. — М.: 1943. — с. 8—71.
2. Данатаров, А., Байджанов, Г. Оптимизация параметров аэрационного дренажа. «Молодой ученый» ежемесячный научный журнал. №8. 2010. Чита. с. 76—82.
3. Лысогоров, С.Д. Орошаемое земледелие. Госиздат. М. 1959. с. 178—194.
4. Панарин, М.Н. Кротовый дренаж при орошении в Нечерноземной полосе. В кн.: Кротовый дренаж. — М.: 1943. — с. 72—122.
5. Ридигер, В.Р. Подпочвенное орошение по кротовым дренам. Изд. «Колос» — М. — 1965. — с. 3—69.
6. Эггельсманн, Р. Руководство по дренажу. Москва. Колос. 1978. — с. 80—103.

Увеличение эксплуатационного ресурса СМП при чистовой токарной обработке

Иванов Валерий Васильевич, доктор технических наук, профессор;

Чуприков Артем Олегович, аспирант;

Пряжникова Анастасия Анатольевна, аспирант;

Сметанин Андрей Сергеевич, магистрант

Тульский государственный университет

В настоящее время инструменты зарубежного производства широко применяются для оснащения технологических процессов механической обработки в машиностроении Российской Федерации. Во многом это обусловлено превосходством их эксплуатационных показателей над отечественными аналогами. Особенно они востребованы при изготовлении деталей на современных металлорежущих станках с ЧПУ, также импортируемых из-за рубежа. Применяются зарубежные инструменты и для оснащения отечественных станков с ЧПУ. В этом случае в структуре себестоимости продукции существенно увеличивается доля затрат на приобретение инструментов, т.к. их рыночная стоимость высока. Так, по данным Hoffmann Group [1] стоимость одной СМП типа CNMG 120404 в 2010 году достигала 400 рублей и выше, в зависимости от ее производителя.

В ряде случаев сокращение этих затрат возможно путем увеличения нормативного срока эксплуатации СМП, которого можно достигать по 2-м направлениям. При этом, их реализация возможна тогда, когда замена вершины СМП производится по критериям технологического затупления. Это характерно для чистовой обработки деталей нежесткой конструкции при повышенных требованиях к геометрической точности и шероховатости обработанных поверхностей. При таких условиях, как правило, ограничивающим фактором является износ задней поверхности, величина которого не превышает 0,1...0,2 мм. Поэтому первое направление предусматривает повторное использование СМП с такой степенью затупления полностью не выработавших свой ресурс на других операциях, допускающих большую величину износа, например, полусточных, или при обработке более жестких деталей и т.п.

Второе направление, как это не парадоксально, предусматривает перетачивание затупленных СМП по пере-

дней поверхности даже при наличии на них износостойких покрытий. Правомочность такого решения обосновывается тем, что при чистовом точении преимущественному изнашиванию подвергается задняя поверхность. При такой переточке на передней поверхности необходимо сформировать уступ, который будет выполнять функции удаленных стружкоформирующих элементов СМП. Геометрические параметры уступа подбирается индивидуально для каждого конкретного случая обработки по существующим многочисленным рекомендациям в этой области, например, приведенным в работе [2]. После переточки СМП ее вершина смещается ниже оси центров детали, что приводит к увеличению рабочего заднего угла при наружном обтачивании. С учетом погрешности установки инструмента по высоте центров и величины переточки это смещение в самом неблагоприятном случае не превысит 0,5 мм. При наружном обтачивании заготовок диаметром более 20 мм влияние этого на процесс резания можно пренебречь. При растачивании складывается иная ситуация, т.к. такое смещение уменьшает величину рабочего заднего угла. Однако при диаметре растачиваемого отверстия более 40 мм это также можно не принимать во внимание. При таком подходе возникнут дополнительные затраты на переточку СМП, но они будут меньше затрат на приобретение новых. Следует особо подчеркнуть то, что практическая реализация этих двух направлений основывается на строгом соблюдении технологической дисциплины, которая является необходимым условием обеспечения требуемого качества продукции. Это также потребует четкую организацию ведения инструментального хозяйства (установление регламентов в замене СМП, их сортировку, организацию переточки и т.п.). Тем не менее, все это позволит предприятию выпускать качественную продукцию при минимальной ее себестоимости.

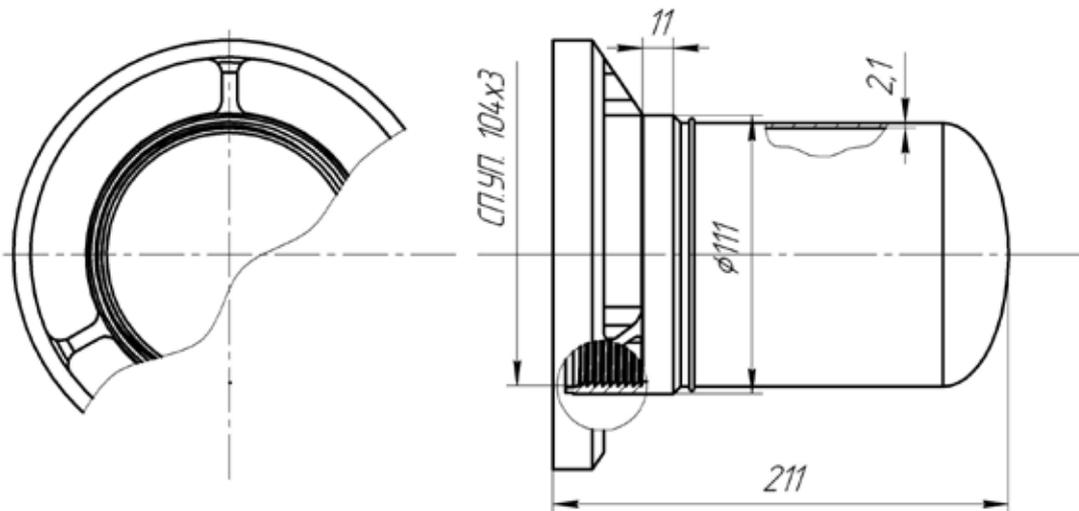


Рис. 1. Тонкостенная корпусная деталь

Ниже приводятся некоторые результаты использования описанных решений в конкретной производственной ситуации на примере обработки тонкостенной корпусной детали из высокопрочной стали ($\sigma_b = 1500$ МПа) (рис. 1) на токарном станке с ЧПУ модели 16A20Ф3С49. Крепление заготовки детали осуществляется консольно в 3-х кулачковом патроне со специальными охватывающими кулачками. При ее изготовлении определенные трудности возникают при нарезании внутренней упорной резьбы СП.УП. 104x3. Тонкая стенка детали (2,1 мм) и ее высокая прочность затрудняют стабильное получение требуемых параметров резьбы и снижают стойкость инструмента.

В качестве последнего используется резец AVRC 25D-4 фирмы Vardex, оснащенный СМП специальной формы 4IR3.OSAGE из твердого сплава VKX с широкой областью применения по ИСО. Стоимость резцовой державки составляет 1800 руб., а СМП – 2290 руб.

При отработке технологии экспериментально определены количество проходов $i=29$ и частота вращения шпинделя $n=145$ об/мин, обеспечивающие максимальную виброустойчивость технологической системы. В процессе производства данной детали установлено, что стойкость одной вершины СМП, в среднем, составляет 12 деталей. Критерием ее замены служит необходимость ввода коррекции по оси X после обработки каждой детали для получения значения среднего диаметра резьбы в пределах допуска, которая возникает после обработки 8 деталей. Проведенные измерения показали, что этому моменту соответствует износ задней поверхности на участке вершине СМП со стороны угла профиля резьбы 3° в пределах 0,46 мм. При этом следует учитывать характерную особенность многопроходного нарезания резьбы резцом, которая заключается в том, что профиль резьбы окончательно формируется только на последнем проходе. Все предшествующее этому время кромки резца непродуктивно изнашиваются при выполнении предварительных

проходов. В результате этого потенциал резьбовых резцов по допустимому износу используется нерационально, что сокращает ресурс его продуктивной работы. Этот недостаток частично устраняется путем применения комбинированной схемы, при которой значительный объем резьбовой впадины предварительно вырезается другим резцом с более прочной вершиной. Это делается для того, чтобы максимально разгрузить наиболее уязвимую вершину резьбового резца, которая подвержена наибольшему изнашиванию.

В нашем случае реализацию комбинированной схемы резания можно осуществить следующим образом. Для обработки данной резьбы целесообразно использовать два одинаковых резьбовых резца, один из которых будет черновым, работающим с большим числом проходов. Второй резец будет выполнять функции чистового при меньшем числе проходов. При этом СМП, затупленные до величины их допустимого износа на чистовых проходах переводятся в разряд черновых и переставляются на соответствующую резцовую державку. В результате этого максимально полно будет использоваться потенциальный ресурс данной дорогостоящей СМП.

Проведенная экспериментальная проверка этого предложения показала следующее. На чистовом резце при $i=4$ количество обработанных деталей одной вершиной увеличилась до 20. После перестановки этой вершины на черновой резец при $i=25$, ее стойкость составила также 20 деталей. При этом критерием ее замены служит износ задней поверхности на том же участке вершины СМП в пределах $\delta=0,7$ мм.

Экономическая целесообразность такого решения подтверждается следующими расчетами, проведенными для условной программы выпуска изделий 1000 штук, результаты которых приведены в таблице 1.

При этом не учтен процент негодных деталей, забракованных по параметрам резьбы, который по статистике составляет соответственно для существующего и предлага-

Таблица 1

Сравнение затрат на приобретение СМП

| Вариант технологии | Потребное кол-во СМП (с учетом случайной убыли), шт | Затраты на приобретение СМП, руб | Экономия |
|--------------------|---|----------------------------------|----------|
| Существующий | 30 | 68700 | — |
| Предполагаемый | 20 | 45800 | 12900 |

гаемого вариантов в 20% и 4%. Поэтому реальный экономический эффект от реализации предлагаемого решения будет больше.

Дальнейшее совершенствование предложенного технического решения нашло свое отражение в заявке на изобретение «Способ нарезания резьб и резьбовой резец» (рег. №2011122857 от 06.06.11 г.). В ней предложено вместо 2-х резцов использовать один комбинированный с 2-мя вершинами. Это позволит сократить вспомогательное время, связанное с заменой чернового резца на чистовой, что весьма важно при невысоких скоростях холостых ходов на токарных станках данной модели.

Повышение ресурса СМП путем их переточки было проверено при растачивании отверстия под нарезание вышеупомянутой резьбы. В качестве инструмента для этой цели применяется расточной резец A25R SCLCR – 12, который оснащается СМП формы CCMT 120408E – 73 из сплава NL30 фирмы STELLRAM с широкой областью применения по ИСО: P10-P30, M15-M30, K10-K30, S15-S25. Обработка осуществляется за несколько проходов в соответствии со схемой, представленной на рис. 2, с подачей $S=0,08$ мм/об и частотой вращения шпинделя $n=187$ об/мин ($V_c=60$ м/мин). Опыт эксплуатации таких СМП показал, что допустимая величина износа ее вершины по задней поверхности составляет 0,3 мм, поскольку при большей величине наблюдаются местные дефекты на режущей кромке в виде сколов. В среднем, это

соответствует 50 обработанным деталям. При этом, явно выраженных следов износа на передней поверхности не наблюдается. В результате переточки вершины одной из затупленных таких СМП режущая кромка сместилась ниже центра на 0,3 мм. Кроме того, для уменьшения риска возникновения вибраций путем заточки при вершине СМП был формирован угол 35° , что обеспечило значение вспомогательного угла в плане $\gamma_1=50^\circ$ (рис. 3).

Повторное использование СМП с переточенной вершиной при тех же условиях резания показало следующее. После обработки 5 деталей износ задней поверхности составил 0,07 мм. Видимых следов износа на передней поверхности также не наблюдается.

Это подтверждает возможность применения СМП с удаленным с передней поверхности слоем износостойкого покрытия при данных режимах резания.

Параметры заточенного уступа на передней поверхности обеспечивает получение практически такой же стружки, как и при исходной геометрии СМП, что следует признать приемлемым.

Несмотря на ограниченное количество обработанных деталей (на момент проведения данных экспериментов в плане производства предприятия изготовление данных деталей не предусмотрено), полученные результаты вселяют уверенность в целесообразности использования и этого мероприятия для сокращения затрат на приобретение инструментов.

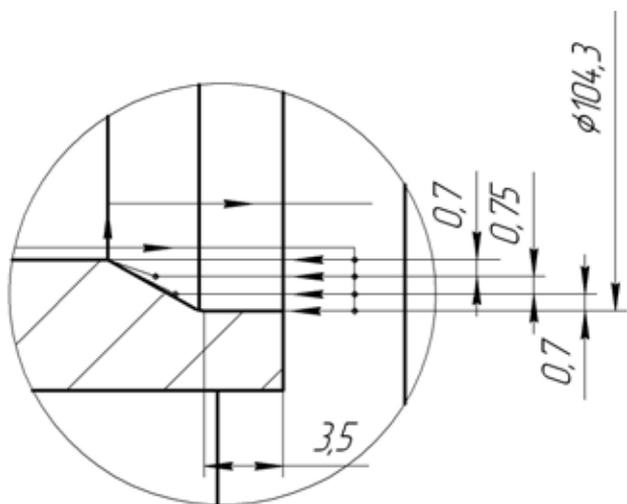


Рис. 2. Схема обработки внутренних поверхностей

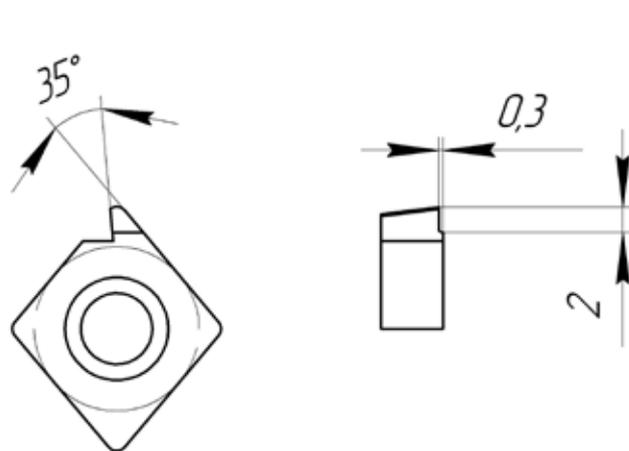


Рис. 3. Схема доработки СМП CCMT 120408E – 73 NL30

Литература:

1. www.hoffmann-group.com/
2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И.Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.: Под общ. ред. В.И. Баранчикова. — М.: Машиностроение, 1990. — 400 с.

Обоснование расположения обмолачивающих элементов на цилиндре барабана шнеко-лопастного типа

Родимцев Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор;
Канунников Павел Петрович, аспирант
Орловский государственный аграрный университет

Целью снижения травмирования семян при обмолоте и улучшения условий сепарации, предложено молотильно-сепарирующее устройство (МСУ) шнеко-лопастного типа [1].

Взаимодействие рабочих органов с обмолачиваемой хлебной массой представляет собой сложный динамический процесс, постоянно изменяющийся во времени, при влиянии многих факторов. Рассмотрение такого процесса с целью его оптимизации — сложная научно-техническая задача, решаемая поэтапно. В предлагаемой работе дается методика приближенного (в статике) обоснования схемы расположения рабочих органов молотильного барабана.

Развертка барабана предлагаемого МСУ (рис. 1) представляет собой прямоугольник, со сторонами $\pi d \times B_0$ (где d — диаметр цилиндра барабана, м; B_0 — длина барабана, м), с расположенными на нем двумя группами рабочих элементов прямого, «П» и обратного, «О» действия.

Нетрудно убедиться, что
$$\pi d = ka + b + c \quad (1)$$

где πd — длина развертки цилиндра барабана, м; k — коэффициент пропорциональности; a — расстояние между линиями, образованными следами любых двух смежных рядов одного направления, в плоскости, перпендикулярной оси вращения барабана, м; b, c — соответственно, максимальная и минимальная дистанции, между вершинами двух близлежащих сходящихся линий различного направления, м.

Коэффициент пропорциональности k зависит от общего количества M смежных рядов, размещенных на поверхности цилиндра барабана:

$$k = M - 2 \quad (2)$$

Для упрощения расчетов примем следующие допущения:

1. длина обмолачивающих пластин равна длине ряда их установки, $l_n = l_p$;
2. молотильный зазор — есть величина постоянная, по всей длине подбарабанья;
3. сепарация на участке деки равна нулю.

Значение величины a зависит от количества смежных рядов, выбираемого из условия оптимального рабочего эффекта обмолачивания. Число рабочих элементов (как и частота вращения барабана), ограничено продолжительностью промежутка времени Δt , между ударами смежных рядов обмолачивающих элементов.

Таким образом, длина дуги, образованная участком окружности между смежными рядами обмолачивающих элементов в плоскости, перпендикулярной оси вращения барабана по его наружному диаметру, определяется выражением:

$$a' = \frac{\pi d n \Delta t}{60} \quad (3)$$

где a' — минимальное расстояние между смежными рядами обмолачивающих элементов, по наружному диаметру барабана, м; d — наружный диаметр барабана, м; n — частота вращения барабана, мин⁻¹.

Максимальная b и минимальная c дистанции, между вершинами двух близлежащих сходящихся линий различного направления, определяются углом наклона винтовой линии и минимально допустимым расстоянием a^* и $\pi d - l$, между рядами, в плоскости, перпендикулярной оси вращения, по крайним торцам ряда пластин, с высотой h_{\max} .

Если значения a^* и $\pi d - l$, из условия продолжительности времени Δt , принять равными величине a ($a^* = a = \pi d - l$), то можем записать:

$$b = a + 2(B_0 - p)ctg\alpha; c = a - pctg\alpha \quad (4; 5)$$

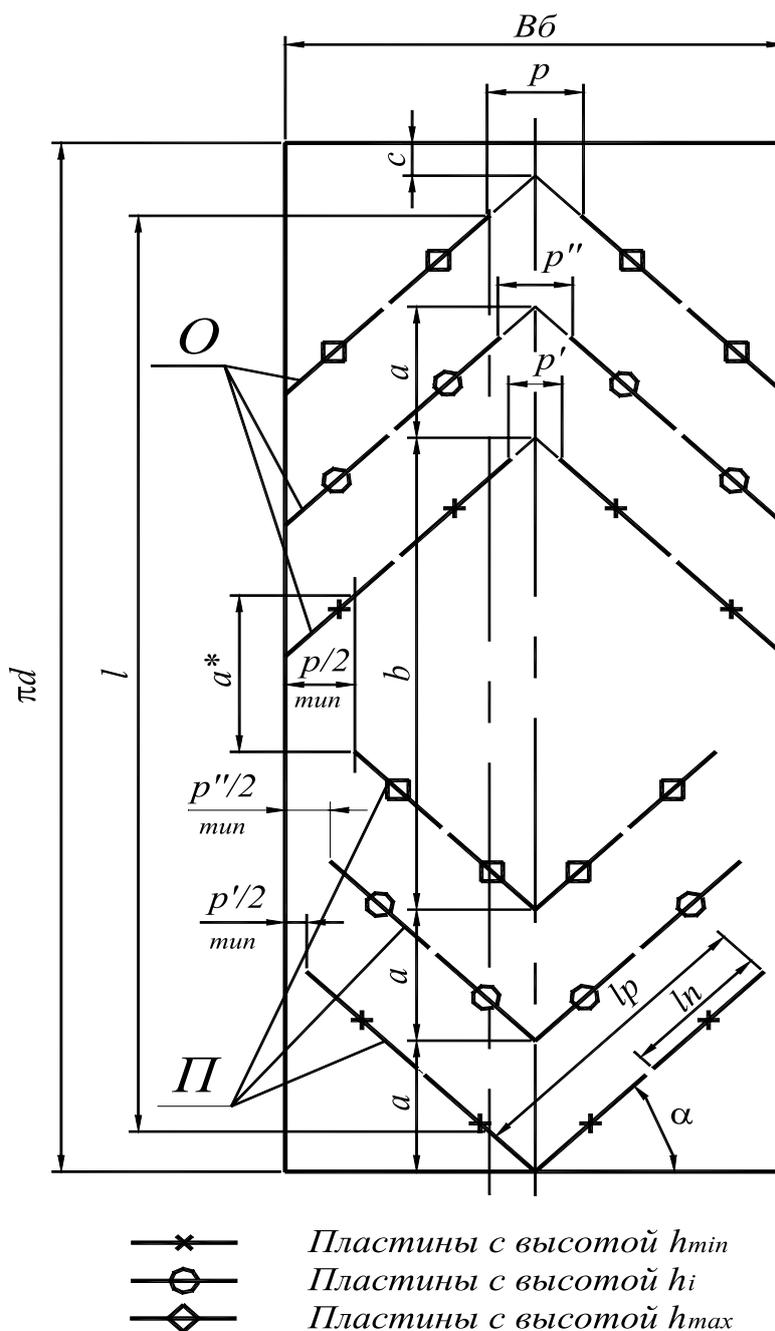


Рис. 1. Схема размещения обмолачивающих элементов на развертке цилиндра барабана

Здесь, α – угол наклона винтовой линии, относительно образующей цилиндра барабана, град; p – длина свободного участка образующей цилиндра барабана, в зоне установки пластин с максимальной высотой, м.

Величина угла α выбирается исходя из наиболее рационального соотношения основных технологических характеристик МСУ, определяющих качество обмолота. Такими характеристиками являются величины травмирования и недомолота, а также растаскивающая способность рабочих органов барабана.

Нормальный технологический цикл работы в подобном устройстве заключается в том, что порция хлебной массы, захваченная на входе в молотильный аппарат, в результате взаимодействия с рабочими элементами совершает за один оборот барабана перемещение, траектория которого описывается ромбом, с диагоналями равными длине и ширине деки (рис. 2).

При достаточной и постоянной величине угла и минимальных молотильных зазорах, выполнение этого условия обеспечивается соблюдением выражения:

$$V_{xl} \leq V_{xl}' \gamma \quad (6)$$

где $V_{\text{хл}}$ — объем хлебной массы, поступившей в рабочую камеру за один оборот барабана, м^3 ; $V'_{\text{хл}}$ — объем хлебной массы, перемещенный рабочими органами от оси молотилки к ее боковым стенкам или обратно на участке, равном половине длины подбарабанья, м^3 ; γ — коэффициент, учитывающий степень сжатия хлебной массы.

Объем $V_{\text{хл}}$ можно представить как отношение массы материала m , кг, поступившего в молотилку за один оборот вала барабана, к объемному весу ρ , кг м^{-3} , хлебной массы:

$$V_{\text{хл}} = \frac{60q}{\rho n} \quad (7)$$

где q — подача материала в молотилку, кг с^{-1} .

Объем $V'_{\text{хл}}$ определяем из соотношения:

$$V'_{\text{хл}} = \frac{\pi r_{\partial} \beta_{\partial} p \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)}{360} \eta \quad (8)$$

Здесь, η — коэффициент, учитывающий величину остатка материала, находящегося в зазорах между рабочими поверхностями молотилки; r_{∂} — радиус деки, м; β_{∂} — угол обхвата деки, град,

Если для данного молотильного устройства зазор между поверхностями цилиндра барабана и деки, длину развертки деки принять величинами постоянными ($H, l_{\text{д}} = \text{const}$), то необходимый объем $V'_{\text{хл}}$ возможно достигнуть изменением значения p .

Подставив в выражение (6) найденные значения (7) и (8), получим:

$$\frac{60q}{\rho n} \leq \frac{\pi r_{\partial} \beta_{\partial} p \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)}{360} \eta \gamma \quad (9)$$

Отсюда, допускаемая минимальная длина свободного участка p на цилиндре барабана в зоне установки пластин с максимальной высотой:

$$p_{\min} = \frac{60q360}{\pi r_{\partial} \rho \beta_{\partial} n \eta \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)} = \frac{6879q}{r_{\partial} \beta_{\partial} \rho n \eta \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)} \quad (10)$$

С учетом (3) и (10), зависимости (4) и (5) приобретают вид:

$$b = \frac{\pi d n \Delta t}{60} + 2 \left(B_{\partial} - \frac{6879q}{r_{\partial} \beta_{\partial} \rho n \eta \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)} \right) \text{ctg} \alpha \quad (11)$$

$$c = \frac{\pi d n \Delta t}{60} - \frac{6879q \text{ctg} \alpha}{r_{\partial} \beta_{\partial} \rho n \eta \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)} \quad (12)$$

По опытным данным [2], значение Δt варьирует в пределах 0,0045–0,0065 с (в среднем — 0,0055 с).

Тогда подставив (11) и (12) в исходную формулу (2) и учитывая (3), после некоторого преобразования можем записать выражение, для определения общего количества рядов пластин, устанавливаемых на барабане:

$$M \approx \frac{60}{n \Delta t} - \frac{38.2 B_{\partial} \text{ctg} \alpha}{d n \Delta t} + \frac{39.4 \times 10^4 q \text{ctg} \alpha}{r_{\partial} \beta_{\partial} \rho n^2 \eta d \Delta t \left(r_{\partial} - \frac{d}{2} \right)} \quad (13)$$

Для обоснования допустимой величины свободного участка p' на цилиндре барабана в зоне установки пластин с высотой h_{\min} , необходимо изучить характер распределения хлебной массы по поверхности подбарабанья, при воздействии этих элементов.

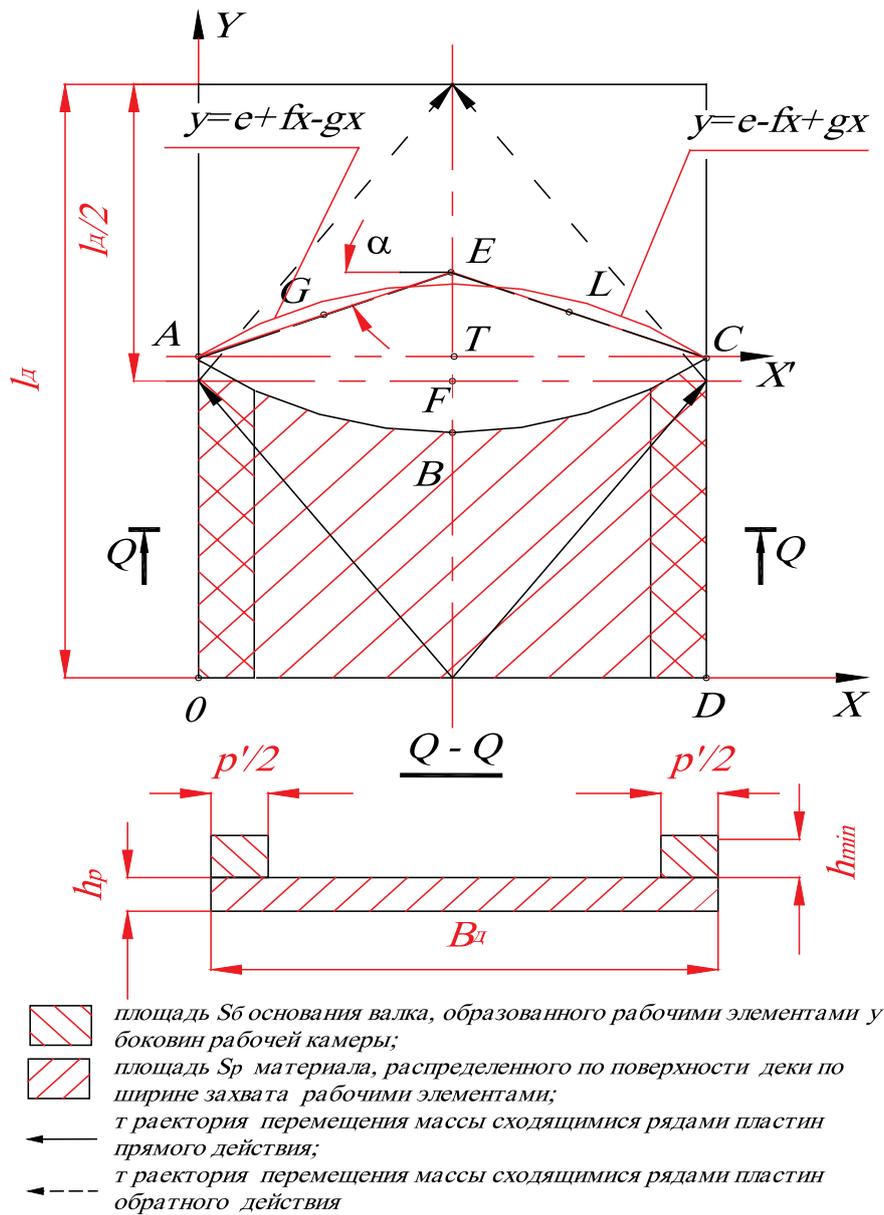


Рис. 2. Схема к определению величины свободного участка на поверхности цилиндра барабана, в зоне установки пластин с минимальной высотой

Т.к., при прочих равных условиях (угле наклона винтовой линии и величине молотильного зазора), численное значение площадей распределения хлебной массы по поверхности деки для сходящихся рядов прямого и обратного действия также будут равными, рассмотрим геометрию распределения на примере ряда прямого действия (см. рис. 2).

Предварительные исследования показали, что форма площади распределения материала по поверхности деки приближается к виду геометрической фигуры OABCD, изображенной на схеме. Боковые стороны и основание фигуры образованы, соответственно, боковыми панелями рабочей камеры и передним торцом секции подбарабанья. Верхняя часть фигуры ограничена кривой вида

$$y = e + fx + gx^2 \quad (14)$$

Ломаная АЕС является проекцией линии установки сходящегося ряда рабочих элементов на поверхность развертки деки, в момент полного распределения материала.

Учитывая характер взаимодействия рабочих элементов с хлебной массой, с достаточным приближением можно предположить, что аппроксимация численного ряда множества точек, лежащих на ломаной АЕС, даст коэффициенты регрессии f и g уравнения (14), взятые с противоположным знаком.

На серединах отрезков АЕ и ЕС ломанной АЕС зададим дополнительные точки G и L и проведем вспомогательные оси Y, X и X'. Тогда относительно X', координатами точек, лежащих на ломаной АЕС, будут являться: O, O (A);

$$\frac{1}{4} B_d, \frac{1}{4} B_d \operatorname{tg} \alpha \text{ (G); } \frac{1}{2} B_d, \frac{1}{2} B_d \operatorname{tg} \alpha \text{ (E); } \frac{3}{4} B_d, \frac{3}{4} B_d \operatorname{tg} \alpha \text{ (L) и } B_d, 0 \text{ (C),}$$

где B_d – ширина деки, м.

Приняв начало координат в точке O оси X' и решая систему нормальных уравнений, находим:

$$f = 1.66 \operatorname{tg} \alpha ; g = -1.68 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{B_d} \quad (15; 16)$$

Произведя подстановку найденных коэффициентов в исходную формулу (14) и изменив знаки на обратные, получим уравнение регрессии кривой ABC на промежутке OB_d числовой оси X':

$$y = -(1.66 \operatorname{tg} \alpha) x + \left(1.68 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{B_d} \right) x^2 \quad (17)$$

По аналогии с (6) принимаем, что объем хлебной массы поступившей в молотильную камеру за один оборот барабана, должен быть распределен на участке деки, не превышающем половины ее длины:

$$V_{XЛ} \leq V'_{XЛ} \quad (18)$$

где $V'_{XЛ}$ – объем хлебной массы, распределенный на половине площади подбарабана, м^3 .

В этом случае, центр тяжести плоской фигуры, образованной точками ABC, расположен в точке F, с координатами центра площади развертки деки $\left(\frac{B_d}{2}, \frac{l_d}{2} \right)$, в плоскости XOY).

Известно [3], что центр тяжести любой однородной плоской фигуры, имеет ординату:

$$Y_c = \frac{\frac{1}{2} \int_a^b (f_2^2(x) - f_1^2(x)) dx}{\int_a^b (f_2(x) - f_1(x)) dx} \quad (19)$$

Имея $f_1(x) = -fx + gx^2$ и $f_2(x) = 0$, применительно к рассматриваемому случаю:

$$y_c = TF = \frac{\frac{1}{2} \int_0^{B_d} \left[(1.66 \operatorname{tg} \alpha) x - \left(1.68 \frac{\operatorname{tg} \alpha}{B_d} \right) x^2 \right]^2 dx}{\int_0^{B_d} \left[(1.66 \operatorname{tg} \alpha) x - \left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{B_d} \right) x^2 \right] dx} \quad (20)$$

Абсцисса $X_c = \frac{B_d}{2}$, т.к. фигура ABC симметрична, относительно продольной оси подбарабана.

Принимая g и $f = \operatorname{const}$, решая (2.) находим:

$$y_c = \frac{B_d (15 fg B_d - 6 g^2 B_d^2 - 10 f^2)}{30 f - 20 B_d g} = -0.17 B_d \operatorname{tg} \alpha \quad (21)$$

Тогда, коэффициент e уравнения (2.49), выражающийся ординатой точек A и C, относительно оси X, определится, как:

$$e = OA = DC = \frac{l_d}{2} + 0.17 B_d \operatorname{tg} \alpha \quad (22)$$

Если условно принять, что ширина захвата рабочих элементов с высотой h_{\min} равна длине барабана, то по аналогии с главным условием (18), объем хлебной массы, распределенный этими элементами на участке деки, превышающем половину ее длины выразится разностью:

$$\Delta V = V_{XЛ} - V'_{XЛ} \quad (23)$$

где ΔV – объем хлебной массы, не удовлетворяющий условию (18), м^3 .

Величина объема $V'_{XЛ}$, определяется произведением площади распределения материала S_p , м^2 , по поверхности деки (фигура OABCD) и высотой h_p , м сечения этого объема, образованного обмолачивающими пластинами:

$$V'_{хл} = S_p h_p \quad (24)$$

Полагая, что свободный член уравнения (14) – есть величина постоянная ($e = \text{const}$), найдем площадь S_p :

$$S_p = \frac{1}{2} B_d l_d + 0,09 B_d^2 \text{tg} \alpha \leq \frac{1}{2} B_d l_d \quad (25)$$

Тогда, при высоте сечения распределенного материала:

$$h_p = r_\partial - \frac{d}{2} - h_{\min} \quad (26)$$

где h_{\min} – минимальная высота пластин, м, учитывая (26), выражение (23) переписывается в виде:

$$\Delta V = \frac{60q - \rho n \gamma (0,5 B_\partial l_\partial + 0,09 B_\partial^2 \text{tg} \alpha) (r_\partial - 0,5d - h_{\min})}{\rho n} \quad (27)$$

Объем ΔV может быть распределен в пределах площади OABCD в случае, когда ширина захвата рабочих элементов меньше длины барабана на некоторую величину p' . При этом, поперечное сечение распределенного объема ΔV (см. сеч. Q-Q на рис. 2), будет образовано произведением длины свободного участка p' на поверхности цилиндра, в зоне установки пластин и высоты этих элементов h_{\min} .

Тогда, объем ΔV определится, как:

$$\Delta V = 2S_\sigma h_{\min} \quad (28)$$

где S_σ – площадь основания валка объемом $\Delta V/2$, распределенного у одной из боковых стенок молотильной камеры на длине деки, ограниченной кривой (14), м².

$$\text{Так как } S_\sigma = \int_0^{p'/2} (e - fx + gx^2) dx = \frac{12ep' - 3fp'^2 + gp'^3}{24} \quad (29)$$

где p' – длина свободного участка на поверхности барабана, в зоне установки пластин, с высотой h_{\min} , м, то приравняв к нулю обе части выражения (28), получим:

$$gp'^3 - 3fp'^2 - 12 \frac{\Delta V}{h_{\min}} = 0 \quad (30)$$

$$\text{Принимая } \frac{12\Delta V}{h_{\min}} = w \quad (31)$$

$$\text{и произведя замену: } p' = y + \frac{f}{g} \quad (32)$$

приводим уравнение (30) к “неполному” кубическому уравнению, относительно y :

$$y^3 + ty + q = 0, \quad (33)$$

$$\text{где } t = -3 \left(\frac{f}{g} \right)^2 + 12 \frac{e}{g}; \quad q = -2 \left(\frac{f}{g} \right)^3 + 12 \frac{ef}{g^2} - \frac{w}{g} \quad (34; 35)$$

Для нахождения корней уравнения (33), воспользуемся формулами Кардано.

В этом случае:

$$y_1 = -2 \frac{f}{g}; \quad y_2 = \frac{f}{g} + 2 \sqrt{3 \frac{e}{g}}; \quad y_3 = \frac{f}{g} - 2 \sqrt{3 \frac{e}{g}} \quad (36-38)$$

Подставляя найденные значения y в выражение (33), находим допустимое значение длины p' , для участка поверхности барабана, в зоне установки пластин, с высотой h_{\min} .

Учитывая линейную зависимость объема ΔV от высоты обмолачивающих элементов, длину свободного участка на цилиндре барабана, в зоне установки пластин промежуточных рядов, с высотой h , находим из соотношения:

$$p'_{\min} = \frac{p(K_i - 1)}{2K - 2} \quad (39)$$

где p'' – длина свободного участка, в зоне установки пластин промежуточных рядов, м; K – количество сходящихся рядов данной группы; K_i – порядковый номер сходящегося ряда группы.

Высота обмолачивающих пластин определяется условием равномерного послойного воздействия на обрабатываемый материал, находящийся в молотильном зазоре.

Т.к. величина молотильных зазоров регламентируется только физико-механическими свойствами и состоянием хлебной массы, то диаметр цилиндра барабана, определяющий высоту пластин максимального размера выбирается исходя из требуемого момента инерции I и соблюдения условия:

$$\pi d \geq l_c \quad (40)$$

где l_c — длина стеблей растений, м.

Используя конструкцию молотильного барабана комбайна “Енисей”, диаметр d цилиндра был принят равным 420 мм.

Тогда высота пластин максимального размера будет определена выражением:

$$h_{\max} = \frac{D - d}{2} \quad (41)$$

Для обеспечения равномерности послойной обработки материала, последовательное воздействие на валок рабочими элементами одного направления должно удовлетворять условию:

$$S_i = 2 \frac{S_x}{M} \quad (42)$$

где S_x — площадь сечения валка хлебной массы, сформированного рабочими элементами и находящегося у стенок молотильной камеры или в ее центре, m^2 ; S_i — площадь валка хлебной массы, захваченной i -тым рядом рабочих элементов одного направления, m^2 .

Как следует из практики, материал, находящийся в молотильном зазоре имеет большую плотность в основании и меньшую — в своей верхней части. Это дает право, с известной степенью приближения, представить сечение сформированного валка геометрической фигурой (рис. 3), образованной кривой вида:

$$y = ax^2 + bx; \quad a < 0, \quad b > 0 \quad (43)$$

и осью OX , являющейся в этом случае поверхностью деки.

Очевидно, что длина основания площади S_x сечения валка, образованного рабочими элементами прямого действия равна величине $p/2$, обратного — p . Вершиной параболы (43) является ордината $d/2$.

Тогда, для того, чтобы найти высоту пластин h_i , удовлетворяющую условию (42), необходимо определить ординаты y_1, y_2, \dots, y_{n-1} прямых, делящих площадь S_x сечения валка на n равных частей.

Искомая высота пластин i -того ряда определится разность:

$$h_i = \frac{d}{2} - y_i \quad (44)$$

где y_i — ордината соответствующей прямой, m ; i — индекс, указывающий порядковый номер рядов одного направления.

Если сечение валка представляется фигурой, ограниченной параболой (43) и осью OX , то для центральной части должно выполняться условие:

$$\mathcal{X}\left(\frac{p}{2}\right) = \frac{d}{2}; \quad \mathcal{X}(p) = 0 \quad (45; 46)$$

Тогда решая систему уравнений:

$$\begin{cases} a \frac{p^2}{4} + b \frac{p}{2} = \frac{d}{2} \\ ap^2 + bp = 0 \end{cases} \Rightarrow a = -\frac{2d}{p^2}; \quad b = \frac{2d}{p} \quad (47)$$

Исходя из равенства площадей $S_1 = S_2 = \dots = S_n = S_x/n$, имеем:

$$S_i = \frac{1}{n} \int_0^{p/2} S(x) dx = \frac{1}{n} \int_0^{p/2} (ax^2 + bx) dx = \frac{1}{n} \frac{b^3}{12a^2} \quad (48)$$

С другой стороны:

$$S_1 = \int_{x_1}^{p/2} \mathcal{Y}(x) dx - \mathcal{Y}(x_1) \left(\frac{p}{2} - x_1\right) = \int_{x_1}^{p/2} (ax^2 + bx) dx - (ax_1^2 + bx_1) \left(-\frac{b}{2a} - x_1\right) =$$

$$= \frac{2}{3} x_1 + bx_1^2 + \frac{b^2}{2a} x_1 + \frac{b^3}{12a^2} \equiv \frac{b^3}{12a^2 n} \quad (49)$$

Откуда, получаем уравнения:

$$\text{- для } S_1 \quad \frac{2}{3} x_1^3 + bx_1^2 + \frac{b^2}{2a} x_1 + \frac{b^3}{12a^2} \left(1 - \frac{1}{n}\right) = 0 \quad (50)$$

$$\text{- для } S_2 \quad \frac{2}{3} x_2^3 + bx_2^2 + \frac{b^2}{2a} x_2 + \frac{b^3}{12a^2} \left(1 - \frac{2}{n}\right) = 0 \quad (51)$$

$$\text{- для } S_i \quad \frac{2}{3} x_i^3 + bx_i^2 + \frac{b^2}{2a} x_i + \frac{b^3}{12a^2} \left(1 - \frac{i}{n}\right) = 0 \quad (52)$$

найдя действительные корни x_i которых, получим соответствующие ординаты y_i и высоты пластин h_i .

Для нахождения корней уравнений (50-52) использовалась специально разработанная компьютерная программа, на языке Basic.

Расстояние s между пластинами в ряду находилось из условия обеспечения большей захватывающей способности барабана.

Дистанция s будет достаточной в том случае, когда проекция на плоскость, перпендикулярной винтовой линии переднего торца последующей пластины, окажется полностью смещенной, относительно проекции на ту же плоскость заднего торца предыдущего элемента.

$$s \geq 0.0087 \frac{D\tau}{\sin \alpha}; \quad \cos \tau = \frac{D^2 2b_{эл}^2 \cos^2 \alpha}{D^2} \quad (53; 54)$$

где τ – центральный угол, по ширине пластины, град.

Полученные теоретические предпосылки будут использованы как исходные, при разработке опытного образца МСУ шнеко-лопастного типа.

Литература:

1. Пат. 2036575 РФ, МПК7 А01 F 12/18. Молотильное устройство/ Пьяных В.П – №4899399/15; заявл. 03.01.91; опубл. 09.06.95, Бюл. №16. – 3 с. : ил.;
2. Сельскохозяйственные машины : учеб. для вузов / Н.И. Кленин, Киселев С.Н., Левшин А.Г. – М.: КолосС, 2008. – 816 с. ;
3. Расчет на прочность деталей машин: Справочник (Издание 4-е, дополн. и перераб.) Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. – М.: Машиностроение, 1993. – 640 с.

Разработка технологии упрочнения паротурбинного оборудования путем борирования с высокоскоростным нагревом ТВЧ

Князев Сергей Анатольевич, преподаватель-стажер;

Погребной Николай Андреевич, кандидат технических наук, профессор

Харьковский политехнический институт (Украина)

Повышение работоспособности деталей машин в наше время остается актуальной темой. При этом одними из наиболее эффективных методов являются методы, изменяющие структуру и свойства только поверхности изделия, но не вызывают преобразования всего объема материала. К таким методам упрочнение деталей машин в первую очередь относится химико-термическая обработка (ХТО). Однако практически все традиционные методы ХТО, применяемые в практике машиностроения, требуют значительной затраты времени, энергии и химических реа-

гентов. Такое положение дел обусловлено, прежде всего, динамическим равновесием процессов, направленных один против другого: инициирование активации тех процессов ХТО, которые направлены на адсорбцию, активацию диффузионных процессов атомов насыщающего вещества, и другие факторы могут значительно сократить время ХТО в целом за счет минимизации проявления обратных, нежелательных явлений. Другими словами для повышения эффективности ХТО необходимо создать условия, существенно нарушающие равновесия в рассма-

триваемых процессах, например минимизируя время, при котором система «отреагировала» противоположными процессами (например, десорбцией, увеличением размера зерна и т.д.), стремясь восстановить прежнее состояние.

Таким активизатором может быть скоростной нагрев, например, нагрев токами высокой частоты (ТВЧ), вместо традиционного, продолжительного печного нагрева. Использование ТВЧ совместно с ХТО может позволить получать упрочненные слои за минуты или, даже, секунды нагрева. Большая продолжительность традиционных ХТО обуславливает их низкую производительность, значительные энергозатраты и требует наличия специального оборудования. Нагрев ТВЧ дает возможность минимизировать эти затраты, но главным задачей является исследование возможности применения скоростного нагрева ТВЧ вместе с процессами ХТО для получения структуры с улучшенными свойствами материала.

Одним из перспективных направлений ХТО можно считать совместное борирование с использованием нагрева ТВЧ. Известно, что вследствие борирования сталей образуются боридные слои, которые состоят из боридов FeB , Fe_2B и твердого раствора бора в железе [1]. При этом наибольший интерес представляют технологии, которые позволяют получить однофазный борированный слой с боридом Fe_2B , который обладает меньшей хрупкостью, чем борид FeB .

Как известно микротвердость боридных слоев достигает в среднем 18000–20000 МПа, что обуславливает их значительную износостойчивость и эрозионную стойкость [2]. Такие высокие показатели микротвердости достигаются только несколькими видами обработки, например, упрочнение карбидами тугоплавких металлов [3]. Однако при каплеударном воздействии даже однофазный борированный слой, имеющий сплошную текстурированную морфологию, пониженную микротвердость и хрупкость склонен к продавливанию и растрескиванию, что предопределяет его непригодность для работы в особых условиях [2].

Создание новых технологий упрочнения для решения проблемы эрозионного изнашивания лопаток паровых турбин актуальна в современных условиях, так как затраты на остановку, обслуживание и ремонт турбин и агрегатов значительны и, по всей видимости, будут расти. Эрозионное изнашивание является одной из главных причин, которое сдерживает увеличение времени непрерывной работы паровых турбин и уменьшение количества и продолжительности ремонтных простоев. Таким образом, если в понимание механизмов эрозионного, кавитационного воздействия в последние десятилетия была внесена ясность, то задача практического увеличения сроков эксплуатации лопаток паровых турбин остается до сих пор нерешена.

В настоящее время для повышения эрозионной стойкости лопаток паровых и газовых турбин применяют методы осаждения и диффузного насыщения металлами,

конденсационные покрытия (азотирование, многокомпонентные покрытия), электроискровое упрочнение и легирование рабочей поверхности, закал ТВЧ кромок лопаток турбин, припайку защитных пластин, наплавку твердосплавными стеллитовыми сплавами, механическую и термомеханическую обработку поверхности, разрабатываются новые, сложнoleгированные стали феррито-мартенситного класса, жаропрочные сплавы, применяется объемное и поверхностное модифицирование и т.п. [4, 5, 6, 7]. Несмотря на предпринимаемые меры, в том числе и по упрочнению, проблема интенсивного эрозионного износа остается. На рис. 1 представлен фрагмент кромки лопатки паровой турбины на которой применялось электроискровое упрочнение. Однако это не предотвратило интенсивного эрозионного изнашивания, которое существенно изменил геометрию пера:



Рис. 1. Кромка лопатки турбин после эрозионного износа с существенным нарушением исходной геометрии

Такой износ приводит к падению КПД и может стать причиной аварии.

Помимо высоких требований, предъявляемых к материалу лопатки паровых турбин, сами лопатки имеют сложный профиль рабочих поверхностей и большие рабочие размеры. В связи с этим традиционные методы ХТО требующие применение термических печей, вакуумных камер больших размеров не конкурентны с методами локальной обработки.

Технология, разрабатываемая авторами, существенно упрощает задачу упрочнения. Упрочнению подвергается только кромка лопатки, без изменения структуры основного металла. Основной задачей в экспериментах ставилось получение на протяжении всего участка лопатки, подверженного эрозионному износу, сплошного борированного слоя. В общих чертах технология подразумевает такие операции: приготовления борсодержащей насыщающей пасты, подготовку упрочняемой поверхности к насыщению, нанесению пасты, нагрев и выдержку деталей по заданному режиму, охлаждение и очищение деталей от пасты. Техническое обеспечение контроля получения бо-

рированных слоев обеспечивалось записью кривой нагрева и охлаждения с применением скоростного сбора массива данных системой «термопара — аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) — компьютер» с последующей обработкой; контролем толщины пасты, величины зазора между индуктором и лопаткой, мощности нагрева и скорости перемещения лопатки относительно индуктора; равномерным перемещением лопатки.

Результатом борирования с нагревом ТВЧ является получение достаточно толстого борированного слоя (от 50 до 350 мкм) за несколько секунд нагрева. Микротвердость полученных слоев составляла от 8000—16000 МПа, при этом ни в одном из замеров на отпечатке не обнаруживались микротрещины. Микроструктура борированного слоя иногда имела морфологию перекристаллизованной дендритной структуры, однако, в основном, имеет структуру боридной эвтектики или квазиэвтектики с составом $(Fe_2B + B)$ с дополнительными фазами Fe_2B , карбоборидов. Характер образования структур с указанными особенностями объясняется рядом причин, связанных с реализацией высокой скорости нагрева ~ 1000 °C/с и выше. К этим причинам относятся: значительные величины перегрева/переохлаждения системы по отношению к равновесным температурам фазовых переходов; концентрационная и структурная неоднородность вследствие малых периодов процесса; действие повышенных температур и прочее. Образование равномерной, сплошной зоны борирования обеспечивается выдержкой зазора между лопаткой и индуктором, стабилизацией мощности на протяжении всего времени нагрева, а также равномерным движением изделия. Исследования процесса борирования с нагревом ТВЧ показали, что при такой технологии обработки могут образовываться структуры даже более эффективные при работе в условиях эрозионного изнашивания, чем однофазный боридный слой. Новые структуры борированного слоя имеют пластичную матричную структуру (предположительно твердый раствор бора в железе) упрочненную ча-

стичками, фазы с повышенной твердостью. Кроме того, в связи с большим, чем у углерода сродством бора к железу, возникают условия подавления процесса выделения карбидной фазы по границам зеренной микроструктуры в сталях. Это повышает прочность границ зерен и уменьшает склонность структуры к выкашиванию при эрозионном изнашивании.

Сравнивая технологию борирования с нагревом ТВЧ с технологиями, которые уже используются, нужно отметить такие преимущества: большая простота и технологичность (в сравнении с креплением селитовых пластин, отсутствие дисбаланса в распределении массы и щелевой коррозии), большая контролируемость процесса и низкая цена реагентов (в сравнении с плазменной наплавкой порошка ниобия или других тугоплавких металлов, соединений), ожидаемый рост эрозионной стойкости (в сравнении с электроискровым упрочнением и закалкой ТВЧ).

Современные материалы лопаток турбин подвергаются не только эрозии, но и механизму коррозионного растрескивания или водородного охрупчивания в результате комплексного действия на материал рабочего давления и перегретого пара (при диссоциации которого в пароводяном тракте генерируется водород) [4]. Применение технологии борирования с нагревом ТВЧ позволяет получать более плотные для диффузного проникновения водорода слои, связывать диффундирующий водород в малоподвижные соединения и, повышает общую коррозионную стойкость материала.

Кроме упрочнения лопаток паровых турбин, процесс ХТО с ТВЧ нагревом может так же использоваться для упрочнения валов, зубчатых колес, деталей насосов в нефтедобывающей области, режущего и штамповочного инструмента и т.п.

Разработанная технология борирования со скоростным нагревом ТВЧ имеет не только большую актуальность и практический интерес, но и значительную теоретическую ценность, поскольку механизмы влияния скоростного нагрева на процессы ХТО на сегодня мало изучены.

Литература:

1. Термическая обработка в машиностроении. Справочник. Под ред. Ю.М. Лахтина, А.Г. Рахштадта М — 1980. с. 344—350.
2. Ляхович Л.С. Борирование стали М. — 1978. с. 76—87, 89—91, 98—103.
3. Т. Бураковский и др. Состояние и перспективы применения диффузионных слоев с высокой износостойкостью. «Металловедение и термическая обработка металлов» №3 1984. с. 11
4. З.А. Дурягина, Т.Л. Тепла. Використання методів радіаційно-променевиx технологій для деталей машин енергетичного обладнання, Національний університет «Львівська політехніка», — 2007 р.
5. Богуслаев В.А., Муравченко Ф.М., Жеманюк П.Д. и др. Технологическое обеспечение эксплуатационных характеристик деталей ГТД. Лопатки турбины. Ч II. — Запорожье 2007.
6. <http://uravia.narod.ru/>
7. <http://www.turbinass.ru/>

Проблема моделирования напряженно-деформированного состояния волноводно-распределительных систем космических аппаратов

Кудрявцев Илья Владимирович, кандидат технических наук, доцент
Сибирский федеральный университет

Конструкция волноводно-распределительной системы (ВРС) космических аппаратов (КА) состоит из набора прямых и изогнутых тонкостенных элементов прямоугольного поперечного сечения, соединенных между собой пайкой через муфты в единую конструкцию (рис. 1).

Тонкостенные элементы представим как неосесимметричные оболочечные конструкции, которые должны иметь необходимую прочность и жесткость.

Для обеспечения качества и надежности работы ВРС необходимо обеспечить условия ее общей и локальной прочности при всех возможных сочетаниях статических и динамических воздействий на всех этапах ее жизненного цикла.

Для расчета на прочность ВРС и ее участков, состоящих из набора отдельных повторяющихся элементов (рис. 1, а-д), необходимо иметь их математические модели, что позволит решать задачи для ВРС любой протяженности и сложности.

Предлагается поэтапное решение данной проблемы. На первом этапе рассмотрим вопрос, каким образом соединять отдельные решения, полученные для каждого элемента волноводно-распределительной системы.

Рассмотрим особенности моделирования наиболее распространенных элементов. Прямой элемент (рис. 1, а) представляет собой оболочечную конструкцию, состоящую из отдельных пластинок, радиусы кривизны которых стремятся к бесконечности ($R_{1,2} \rightarrow \infty$). В углах соединения этих пластинок $R_1 \rightarrow 0$, а $R_2 \rightarrow \infty$. Получение решения для такой оболочечной конструкции рассматривается далее на втором этапе моделирования.

Прямые элементы необходимо соединять между собой через муфты (рис. 1, в) или соединять их с фланцем (рис. 1, г), или соединять их с изогнутыми элементами (рис. 1, б) или с гибкой секцией (рис. 1, д).

Изогнутый элемент (рис. 1, б) представим совокупностью, соединенных между собой под углом γ n одинаковых прямых элементов (рис. 2). При $n \rightarrow \infty$ будем иметь изогнутый элемент соответствующего радиуса кривизны.

Следовательно, криволинейный участок представляется разбитым сечениями i на n прямых элементов. На линиях соединения этих прямых элементов, составляющих изогнутый участок, задаются условия перехода, связывающие усилия и перемещения конца i -го прямого элемента с усилиями и перемещениями начала $(i+1)$ -го прямого элемента.

Соединительную муфту (рис. 1, в) и фланец (рис. 1, г) можно представить в виде рамочной конструкцией, состоящей из четырех, соединенных между собой, балок. Решение этой задачи рассмотрено в [1].

При соединении прямого элемента с муфтой или же фланцем будем предполагать, что поперечное сечение муфты в своей плоскости имеет деформации равные нулю, так как жесткость муфты и фланца, по сравнению с жесткостью тонкостенных элементов, соединенных с ними, значительно выше.

Если на муфту действуют внешние нагрузки, приведенные к ее нейтральной оси, и представленные в виде вектора $\{f_0\}$, то для совместной работы конструкции ВРС необходимо обеспечить согласование взаимодействия прямых эле-

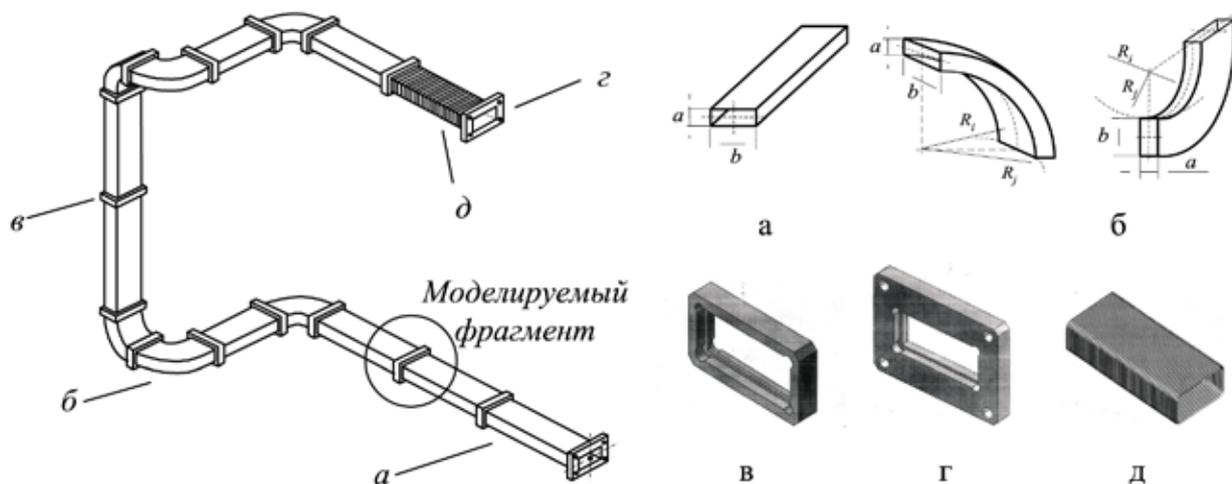


Рис. 1. Участок волноводно-распределительной системы и его элементы
а – прямой элемент; б – изогнутый элемент; в – муфта; г – фланец; д – гибкая секция

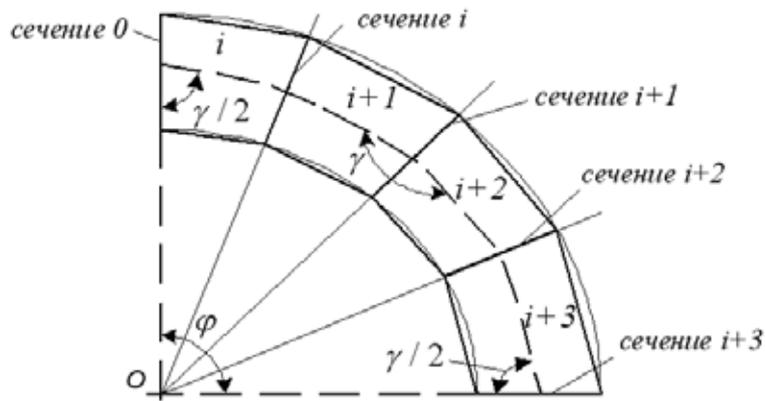


Рис. 2. Расчетная схема изогнутого элемента

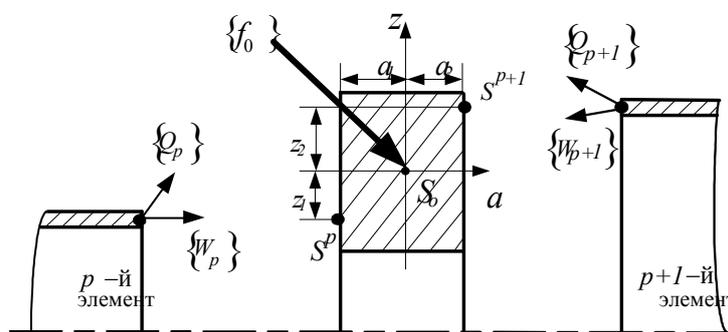


Рис. 3. Схема моделирования фрагмента совместной работы соединяемых пайкой прямых элементов и муфты

ментов соединенных пайкой с муфтой с двух сторон (рис. 3).

Со стороны $p+1$ -го прямого элемента на муфту в точке S^{p+1} будет действовать вектор реактивных усилий $\{Q_{p+1}\}$, которые приводятся к нейтральной оси муфты. К вектору внешних нагрузок $\{f_0\}$ добавятся реакции $p+1$ -го элемента $\{f_2\} = [\psi_2]\{Q_{p+1}\}$, где $[\psi_2]$ – матрица перехода на муфте.

Аналогичным образом приведем к нейтральной оси муфты реактивные усилия, действующие со стороны p -го элемента.

Уравнение равновесия муфты с учетом этих реакций имеет вид:

$$[G]\{\Delta\} = \{\{f_0\} - \{f_1\} + \{f_2\}\}, \tag{1}$$

где $\{\Delta\}$ – вектор перемещений; $[G]$ – матрица жесткости муфты.

Данное уравнение необходимо дополнить условиями неразрывности перемещений муфты и связанных с ней тонкостенных элементов. Приводя, также как и для реактивных усилий, перемещения точек контакта (S^{p+1} и S^p) тонкостенных элементов с муфтой к ее нейтральной оси, получим:

$$\{W_{p+1}\} = [\beta_2][\beta_1]^{-1}\{W_p\}. \tag{2}$$

где $\{W_{p,p+1}\}$ – вектора перемещений точек S^{p+1} и S^p ; $[\beta_{1,2}]$ – матрицы перехода.

Полное условие перехода через муфту дополнительно должно содержать геометрические условия перехода деформаций и усилий, зависящие от угла между соответствующими сечениями. А полный вектор Y^i перехода будет иметь вид:

$$Y^i = \{N_1^i \quad Q_1^i \quad M_1^i \quad S^i \quad u_1^i \quad w_1^i \quad \vartheta_1^i \quad v^i\} \quad (i = p, p+1)$$

На втором этапе рассмотрим прямого тонкостенного элемента, который является основой моделирования всей волноводно-распределительной системы.

Прямой тонкостенный элемент волноводно-распределительной системы (рис. 4,а) космического аппарата можно представить в виде оболочечной конструкции, состоящей из отдельных пластинок, радиусы кривизн которых стремятся к бесконечности ($R_{1,2} \rightarrow \infty$). В углах соединения этих пластин $R_1 \rightarrow 0$, а $R_2 \rightarrow \infty$. Но эти условия не позволяют использовать расчетные методы и уравнения существующей теории оболочек [2].

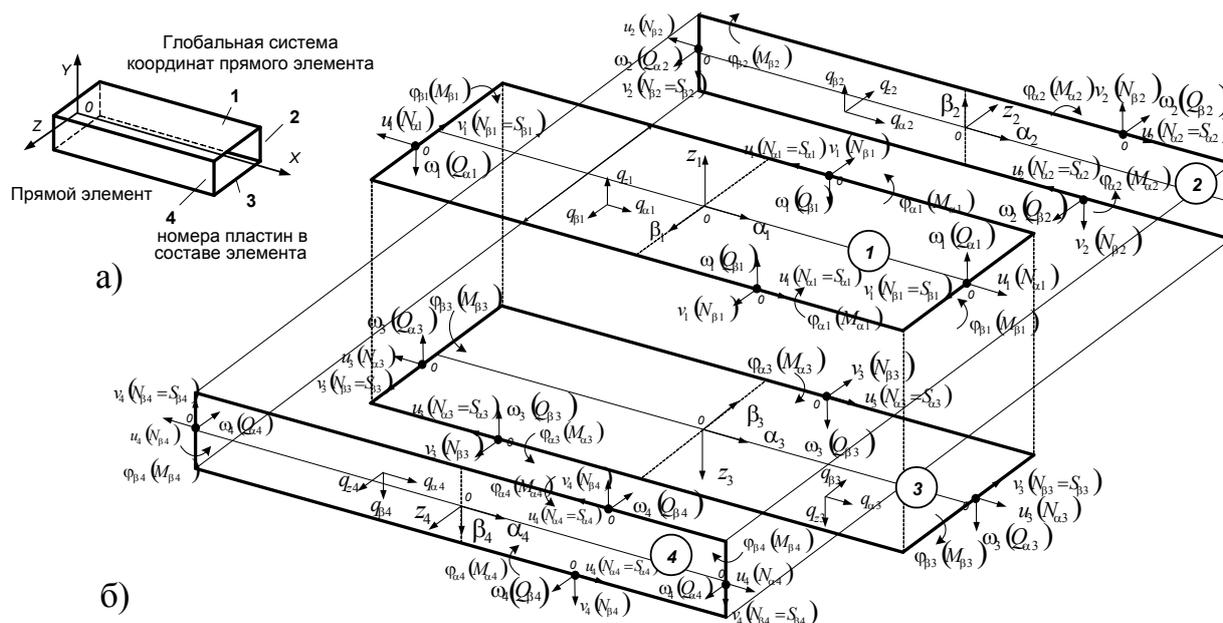


Рис. 4. Расчетная схема оболочечной конструкции из отдельных пластин

Выходом из данной ситуации будет представление прямого элемента в виде составной конструкции, состоящей из набора пластин, расположенных под прямым углом друг к другу (рис. 4,б).

Рассматривая отдельную тонкую пластинку в ее локальной системе координат α, β, z , воспользуемся геометрически линейными уравнениями [2], которые с учетом параметров Ламе $A = B = 1$, радиусы кривизны $R_1 = R_2 = \infty$ при толщине пластины h , примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial N_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial S}{\partial \beta} + Q_1 \frac{\partial \omega_1}{\partial \alpha} + q_\alpha = 0; \quad \frac{\partial N_2}{\partial \beta} + \frac{\partial S}{\partial \alpha} + Q_2 \frac{\partial \omega_2}{\partial \beta} + q_\beta = 0; \\ -\frac{\partial \omega_1}{\partial \alpha} N_1 - \frac{\partial \omega_2}{\partial \beta} N_2 + \frac{\partial Q_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial Q_2}{\partial \beta} + q_z = 0; \quad \frac{\partial H}{\partial \alpha} + \frac{\partial M_2}{\partial \beta} - Q_2 = 0; \quad \frac{\partial H}{\partial \beta} + \frac{\partial M_1}{\partial \alpha} - Q_1 = 0. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Первые два уравнения в системе (3) совместно с уравнением совместности деформаций описывают плоскую задачу. Подставив вместо усилий N_1, N_2, S их выражения в функциях напряжений $\varphi = \varphi(\alpha, \beta)$:

$$N_1 = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha^2} \cdot h; \quad N_2 = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial \beta^2} \cdot h; \quad S = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \alpha \partial \beta} \cdot h. \quad (4)$$

получим дифференциальное уравнение 4-го порядка для i -й пластины в виде:

$$\frac{\partial^4 \varphi_i}{\partial \alpha_i^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi_i}{\partial \alpha_i^2 \partial \beta_i^2} + \frac{\partial^4 \varphi_i}{\partial \beta_i^4} = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i \partial \beta_i} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \beta_i^2} \right). \quad (5)$$

Последние три уравнения (3) описывают изгиб пластины. С учетом прогиба пластины $\omega = \omega(\alpha, \beta)$, выражения для изгибающих и крутящих моментов M_1, M_2, H будут иметь вид:

$$M_1 = -D \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial \alpha^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \beta^2} \right); \quad M_2 = -D \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial \alpha^2} + \mu \frac{\partial^2 \omega}{\partial \beta^2} \right); \quad H = -(1 - \mu) D \frac{\partial^2 \omega}{\partial \alpha \partial \beta}. \quad (6)$$

где D – цилиндрическая жесткость пластины; μ – коэффициент Пуассона.

Подставив (6) в соответствующие уравнения системы (3) и произведя преобразования получим дифференциальное уравнение изгиба 4-го порядка i -й пластины в виде:

$$\frac{\partial^4 \omega_i}{\partial \alpha_i^4} + 2 \frac{\partial^4 \omega_i}{\partial \alpha_i^2 \partial \beta_i^2} + \frac{\partial^4 \omega_i}{\partial \beta_i^4} = \frac{1}{D} \left(N_{\alpha i} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i^2} + 2S_i \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \alpha_i \partial \beta_i} + N_{\beta i} \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial \beta_i^2} - q_{\alpha i} \frac{\partial \omega_i}{\partial \alpha_i} - q_{\beta i} \frac{\partial \omega_i}{\partial \beta_i} + q_z \right) \quad (7)$$

Уравнения (5) и (7) являются взаимосвязанными, и их совместное решение определяет полное напряженно-деформированное состояние (НДС) каждой i -й пластины. Эти уравнения учитывают взаимосвязь всех внутренних силовых и деформационных факторов в пластине для общего случая нагружения, что оказывает существенное влияние на точность решения этой задачи применительно к тонкостенным конструкциям.

Полученная система дифференциальных уравнений (6) и (7), без последних трех слагаемых в уравнении (7), подобна уравнениям, полученным С.П. Тимошенко, для которых, как им и указано в [3] на с. 463, общее решение не получено. Эта проблема является не решенной в аналитическом виде до сих пор даже для одной пластинки.

В нашем случае для прямого элемента, составленного из четырех пластин, уравнения (6) и (7) можно свести к соответствующей подсистеме дифференциальных уравнений.

Условия эксплуатации волноводно-распределительной системы для космических аппаратов предполагают наличие как статических, так и динамических нагрузок. Следовательно, в дифференциальном уравнении (7), в правой его части, появится еще одно слагаемое $-\rho h \frac{\partial^2 \omega_i}{\partial t^2}$. С учетом этого, полная система дифференциальных уравнений, описывающая статическое и динамическое состояния прямого элемента волноводно-распределительной системы космического аппарата, будет иметь вид (8).

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla^4 \omega_1 = \frac{1}{D} \left(h \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial \alpha_1^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \alpha_1^2} - 2h \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial \alpha_1 \partial \beta_1} \cdot \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \alpha_1 \partial \beta_1} + h \frac{\partial^2 \varphi_1}{\partial \beta_1^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \beta_1^2} - q_{\alpha 1} \frac{\partial \omega_1}{\partial \alpha_1} - q_{\beta 1} \frac{\partial \omega_1}{\partial \beta_1} + q_{z1} - \rho h \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial t^2} \right); \\ \nabla^4 \varphi_1 = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \alpha_1 \partial \beta_1} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \alpha_1^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial \beta_1^2} \right); \\ \nabla^4 \omega_2 = \frac{1}{D} \left(h \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \alpha_2^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \alpha_2^2} - 2h \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \alpha_2 \partial \beta_2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \alpha_2 \partial \beta_2} + h \frac{\partial^2 \varphi_2}{\partial \beta_2^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \beta_2^2} - q_{\alpha 2} \frac{\partial \omega_2}{\partial \alpha_2} - q_{\beta 2} \frac{\partial \omega_2}{\partial \beta_2} + q_{z2} - \rho h \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial t^2} \right); \\ \nabla^4 \varphi_2 = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \alpha_2 \partial \beta_2} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \alpha_2^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_2}{\partial \beta_2^2} \right); \\ \nabla^4 \omega_3 = \frac{1}{D} \left(h \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial \alpha_3^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \alpha_3^2} - 2h \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial \alpha_3 \partial \beta_3} \cdot \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \alpha_3 \partial \beta_3} + h \frac{\partial^2 \varphi_3}{\partial \beta_3^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \beta_3^2} - q_{\alpha 3} \frac{\partial \omega_3}{\partial \alpha_3} - q_{\beta 3} \frac{\partial \omega_3}{\partial \beta_3} + q_{z3} - \rho h \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial t^2} \right); \\ \nabla^4 \varphi_3 = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \alpha_3 \partial \beta_3} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \alpha_3^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_3}{\partial \beta_3^2} \right); \\ \nabla^4 \omega_4 = \frac{1}{D} \left(h \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \alpha_4^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \alpha_4^2} - 2h \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \alpha_4 \partial \beta_4} \cdot \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \alpha_4 \partial \beta_4} + h \frac{\partial^2 \varphi_4}{\partial \beta_4^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \beta_4^2} - q_{\alpha 4} \frac{\partial \omega_4}{\partial \alpha_4} - q_{\beta 4} \frac{\partial \omega_4}{\partial \beta_4} + q_{z4} - \rho h \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial t^2} \right); \\ \nabla^4 \varphi_4 = Eh \cdot \left(\left(\frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \alpha_4 \partial \beta_4} \right)^2 - \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \alpha_4^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega_4}{\partial \beta_4^2} \right). \end{array} \right. \quad (8)$$

В полученной системе выделены четыре подсистемы, каждая из которых описывает НДС соответствующей пластины, которые связаны между собой граничными условиями при соединении их между собой (рис. 4).

Полученная система дифференциальных уравнений (8) является значительно более сложной, чем система дифференциальных уравнений, полученная С.П. Тимошенко в [3]. Нами в имеющейся математической литературе не обнаружено информации о решении подобного вида систем дифференциальных уравнений.

Имеются частные случаи приближенного решения только лишь одной подсистемы, в которой отсутствует динамический член и с определенными граничными условиями. Но в то же время, не указывается, какой точности получаются результаты и не обсуждается их достоверность.

Известные методы конечно-элементных решений данной задачи дают различные результаты и очень большие погрешности, особенно в динамической постановке и при минимальной толщине стенки прямого элемента волноводно-распределительной системы космического аппарата.

Литература:

1. Сильченко П.Н. Напряженно-деформированное состояние паяных волноводно-распределительных систем космических аппаратов связи / П.Н. Сильченко, И.В. Кудрявцев, М.М. Михнев // Технология машиностроения. – 2006. – №9. – С. 53–57.
2. Новожилов В.В. Линейная теория тонких оболочек / В.В. Новожилов, К.Ф. Черных, Е.И. Михайловский. – Л.: Политехника, 1991. – 656 с
3. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки. / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер – М.: Эдиториал УРСС, пер. с англ. изд.3, 2009. – 640 с.
4. Мяченков В.И., Мальцев В.П. Методы и алгоритмы расчета пространственных конструкций на ЭВМ ЕС. – М.: Машиностроение, 1984. – 280 с.
5. Погорелов В. Строительная механика тонкостенных конструкций. – М.: Эдиториал УРСС, 2008. – 528 с.

Комбинированный инструмент для обработки глубоких отверстий роликов машины непрерывного литья заготовок

Рубахин Алексей Игоревич, инженер-технолог 1 категории
ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (г. Липецк)

В работе представлено проектирование комбинированного инструмента для обработки глубоких базовых отверстий роликов МНЛЗ, конструкция которого позволяет решить вопрос обеспечения высокой точности при заданном качестве и низкой себестоимости обработки.

Ключевые слова: комбинированные инструменты, глубокие отверстия, глубокое растачивание, поверхностное пластическое деформирование

На оборудовании металлургического производства широко используются ролики с глубокими базовыми отверстиями различных типов и конструкций. ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат» не является исключением и на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) применяются водоохлаждаемые ролики МНЛЗ с глубокими базовыми отверстиями, выполненными по 7 квалитету и Ra не более 1,25 мкм (рис. 1).

Продолжительные наблюдения за работоспособностью роликов МНЛЗ показывают, что при эксплуатации

в условиях высоких температур и резких охладителей возникают отказы из-за увеличения зазора между внутренним диаметром ролика МНЛЗ и наружным диаметром вала, коррозии контактных поверхностей, потери ремонтпригодности роликов в связи с образованием продольных трещин, микротрещин и задигов на поверхности базовых отверстий. Основными причинами возникновения отказов роликов МНЛЗ является неравномерная точность размеров и погрешности формы базовых отверстий вдоль оси, недостаточное и неравномерное качество их повер-

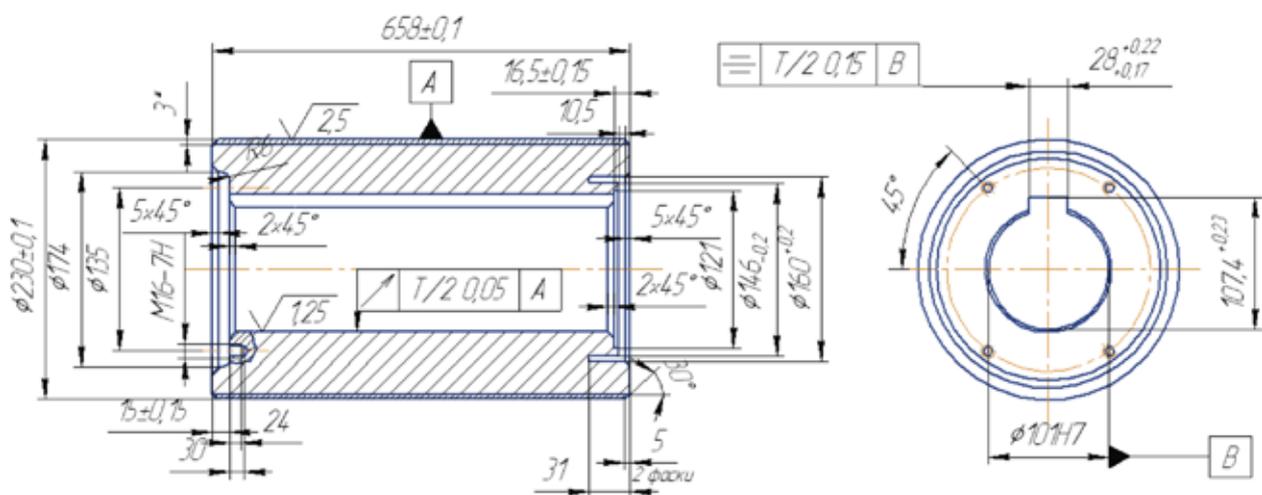


Рис. 1. Эскиз ролика машины непрерывного литья заготовок

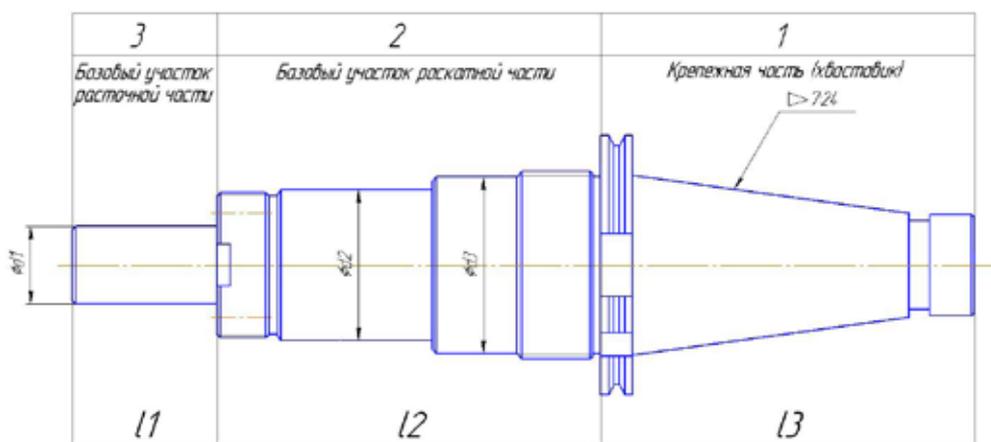


Рис. 2. Базовая оправка комбинированного инструмента

хностей. Отказы роликов приводят к нарушению непрерывности рабочего цикла, возникновению неустраняемого брака, увеличению межремонтного периода, усложнению технических процессов ремонта МНЛЗ.

Определено, что показатели точности и качества базовых отверстий роликов МНЛЗ формируются на чистовых операциях. Технологические процессы даже в рамках одного предприятия осуществляются на технологическом оборудовании различного типа, при различных схемах базирования без учета влияния предыдущих черновых и получистовых операций. Все это не обеспечивает стабильного качества полученных базовых поверхностей роликов металлургического производства. Высокое качество поверхностного слоя, точных характеристик обрабатываемого базового отверстия детали можно достичь совмещением резания и холодного пластического деформирования с использованием особенностей и достоинств той и другой схемы обработки. В силу этого принято решение о совмещении двух операций на единой базе: чистового растачивания и раскатывания. [1, 3]

Определили основные задачи, которые должны выполняться на переходах чистового растачивания и поверхностного пластического деформирования. В процессе обработки расточная часть комбинированного инструмента при чистовом растачивании должна подготовить поверхность обрабатываемого базового отверстия ролика МНЛЗ для работы раскатной частью. В связи с этим расточная часть должна обеспечивать: 1) уменьшение конусности; 2) уменьшение овальности, что даст более равномерное распределение припуска под раскатку; 3) шероховатость в пределах $Ra\ 1,6...2,5\ \mu m$. Раскатная часть должна обеспечивать основные выходные параметры обрабатываемого отверстия ролика МНЛЗ: 1) точность отверстия в пределах допуска на диаметр до $0,035\ \mu m$; 2) шероховатость поверхности в пределах $Ra\ 0,4...0,8\ \mu m$; 3) повышение твердости поверхности на $7-10\%$.

При проектировании комбинированного инструмента за базу взяты существующие конструкции расточных и

раскатных головок. В связи с необходимостью создания единой базы для двух частей расточной и раскатной разрабатывается цилиндрическая базовая оправка (рис. 2). [2, 4, 5]

Базовая оправка состоит:

1) Крепежная часть (хвостовик) – участок 1, которая устанавливается в выдвижной шпиндель горизонтально-расточного станка модели ЛР543ПМФ4. Хвостовик инструмента определяется конструкцией станка, поэтому выбирается в соответствии с технологическими особенностями оборудования. Преимущественно встречаются хвостовики с посадочным конусом 50, выполненным с конусностью $\Delta 7:24$ и степенью точностью изготовления по 7 качеству.

2) Базовый участок 2 является базой для установки комплектующих элементов раскатной части. Данный участок представляет собой ступенчатый вал, имеющий четыре перехода: два посадочных и два крепежных.

3) Базовый участок 3 является центрирующим элементом для расточной части комбинированного инструмента. Для того чтобы не понижать жесткость базовой шейки, необходимо предусмотреть крепежные элементы, а передачу крутящего момента обеспечивать через торцовые шпонки, установленные в пазах корпуса расточной головки.

В основу разрабатываемой конструкции расточной части взяты материалы анализа существующих конструкций расточных головок с последующей модернизацией ее конструктивных элементов. Принято решение взять конструкцию расточной части, которая представляет собой сборочную единицу, состоящую из корпуса 1, в виде цилиндрической заготовки изготовленной из термообработанной до твердости HRC 28...32 стали 40XH по ГОСТ 4543–80. Корпус имеет базовый торец, и отверстие для посадки с натягом на оправку раскатной части, и гнездом для размещения микробора 5 унифицированной конструкции выполненной по ГОСТ 25827. Микробор оснащается резцовой вставкой, которая обеспечивает: 1) точность обработки базового отверстия ролика

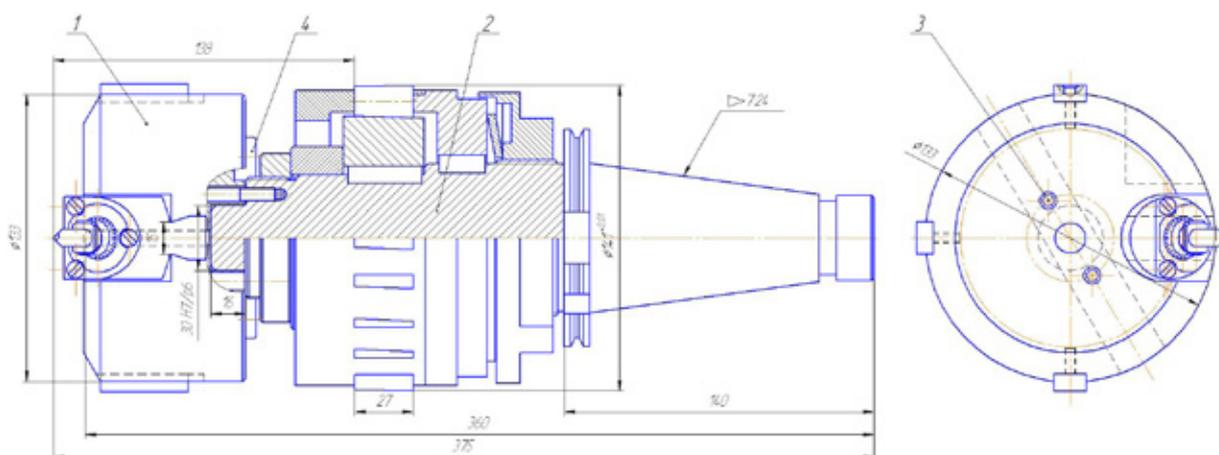


Рис. 5. Сборочный чертеж комбинированного инструмента



Рис. 6. Комбинированный инструмент для обработки глубоких отверстий

новлен сепаратор 4 с крышкой 6, где располагаются деформирующие ролики 8. Крепление сепаратора и крышки после установки деформирующих роликов в количестве 16 шт. происходит при помощи винтов 7. Передача крутящего момента осуществляется через две шпонки 5 и 10, одна из которых является предохранительным элементом – шпонка 5. С двух сторон перемещение всей конструкции вдоль оси ограничивается двумя гайками 2 и 12. Опорный конус жестко зафиксирован в осевом направлении через стакан 11 при помощи гайки 12, а регулировка исполнительного размера производится нажимной гайкой 2 через тарельчатую пружину 3, которая служит для регулировки натяга и равномерного распределения усилия деформирующих роликов на обрабатываемое отверстие заготовки.

В работе определена связь между конструктивно-технологическими параметрами, процессами в зоне контакта и показателями качества при обработке комбинированным инструментом. Выбраны основные конструктивные параметры расточной и раскатной его частей. Основываясь на предложенной методике проектирования комбинирован-

ного инструмента, был спроектирован и изготовлен инструмент совмещающий два вида обработки: резание и поверхностно пластическое деформирование. На рис. 5 представлен сборочный чертеж комбинированного инструмента, содержащий расточную часть 1, которая устанавливается на базовую оправку раскатной части 2 по посадке $\text{Ø}30\text{H}7/\text{p}6$ и крепится при помощи двух винтов 3. Передача крутящего момента обеспечивается через две торцевые шпонки 4, установленные в пазах корпуса расточной части.

Предлагаемый комбинированный инструмент (рис. 6), основанный на совмещении двух чистовых способов обработки, позволяет повысить точность и качество обрабатываемой поверхности ролика МНЛЗ путем точного центрирования, позиционирования расточной части, за счет трех направляющих, установленных в пазах корпуса, и достижения параметров шероховатости, твердости за счет тарельчатой пружины, служащей для регулировки натяга и равномерного распределения усилия деформирующих роликов на обрабатываемое отверстие, позволяющей избежать их заклинивание, преждевременный износ.

Литература:

1. Вольшонок З.С., Винальева Н.П. Совершенствование процессов глубокого сверления и глубокой расточки отверстий в тяжёлом машиностроении / З.С. Вольшонок // Обзорная информация. Выпуск 2. Серия 8. — М. Машиностроение, 1988 г. — С. 23...29с.
2. Кудрявцев И.В., Бурмистрова Л.Н. Выбор основных параметров упрочнения валов обкатыванием роликами // Вестник машиностроения, 1983, №4. — С. 8–10.
3. Малышко И.А. Осевые комбинированные инструменты (рекомендации по проектированию и эксплуатации). Донецк: ПКТИ, 1996. — 135 с.
4. Основы технологии машиностроения. Под ред. проф. д-ра техн. наук В.С. Корсакова — 2-е изд., перераб. и доп. — М. Машиностроение, 1965 г. — 490 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя. Т. 2; под ред. А.М. Дальского, А.Г. Сулова, А.Г. Касиловой, Р.К. Мещерякова. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 2001. — 944 с.

Двухблочный роторно-поршневой двигатель. Конструкция и принцип работы

Обозов Александр Алексеевич, доктор технических наук, профессор
Брянский государственный технический университет

Старокожев Михаил Алексеевич, аспирант
Брянская государственная инженерно-технологическая академия

Приводится описание и принцип действия двухблочного четырехкамерного роторно-поршневого двигателя, конструкция которого предложена д.ф.-мат. наук О.Г.Тайцем, М.А.Старокожевым (Патент №2405950 от 04.02.2009)

Ключевые слова: *двухкамерный роторно-поршневой двигатель, рабочий процесс, математическое моделирование.*

Twin Blocks Rotary Piston Engine. The Description and an operating principle.

Here it is given a description and an operating principle for the twin blocks four-chamber rotary piston engine and the findings of investigating the processes taking place in the engine with the help of a developed mathematical thermodynamical model of the engine.

Key words: *twin rotary piston engine, work process, mathematical modeling.*

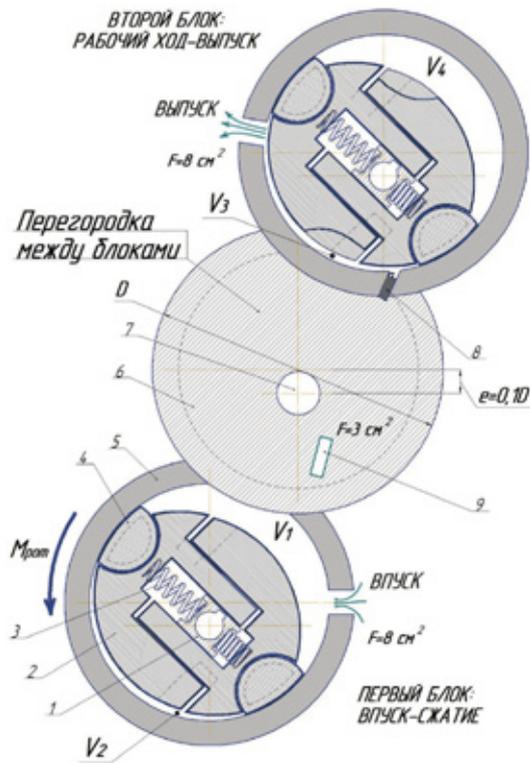
Конструкция описываемого в статье двухблочного четырехкамерного роторно-поршневого двигателя (РПД) была предложена д.физ.-мат. наук, проф. О.Г.Тайцем [1]. Конструктивно двигатель состоит из следующих основных элементов (рис. 1): двух блоков (блока всасывания-сжатия и блока сгорания-выпуска), двух подпружиненных двухсекционных раздвижных роторов и вала. На валу с использованием шпоночного соединения установлены направляющие элементы, по полкам которых могут скользить обе секции ротора. Центр вала смещен относительно центров блоков на величину эксцентриситета. При вращении роторов в блоках образуются четыре камеры: камера всасывания, камера сжатия — в блоке всасывания; камера сгорания (рабочего хода), камера выпуска — в блоке сгорания.

Дозированная подача топлива (бензин) в двигатель осуществляется посредством впрыскивания его через форсунку в камеру всасывания или же во впускной трубопровод, подводящий воздух к камере всасывания.

Количество поступающего в двигатель воздуха регулируется дроссельной заслонкой, установленной во

впускном трубопроводе. Управление фазами газораспределения осуществляется непосредственно роторами при их вращении, которые открывают и закрывают впускное и выпускное отверстия, расположенные по окружности статоров. Между блоками установлена перегородка с отверстием, служащим для перепуска сжатой рабочей смеси из камеры сжатия (блок всасывания) в камеру сгорания (блок сгорания).

Принцип действия двигателя (рис. 2) состоит в следующем. Свежая рабочая смесь, поступившая в блок всасывания-сжатия, сжимается ротором, совершающим плоскопараллельное движение. При повороте роторов в положение $\varphi = -30$ град /330/ град ПВ (30 град ПВ, не доходя до их горизонтального положения) начинается перепуск рабочей смеси (горизонтальному положению роторов соответствует минимальный объем камер или угол поворота вала: $\varphi = 0$ или 360 град ПВ). Сжатая рабочая смесь через отверстие в межблочной перегородке перепускается из камеры сжатия (блока всасывания) в камеру сгорания (блока сгорания). После окончания перепуска



- 1 — направляющий элемент;
- 2 — секции ротора;
- 3 — пружина;
- 4 — уплотнительный элемент (башмак);
- 5 — статор;
- 6 — межблочная перегородка;
- 7 — отверстие выхода вала;
- 8 — свеча зажигания;
- 9 — перепускное отверстие;
- V_i — образующиеся объемы камер

Рис. 1. Основные конструктивные элементы двухблочного четырехкамерного РПД

(при $\varphi = 0 / 360 /$ град ПВ) происходит подача искры в камеру сгорания, воспламенение рабочей смеси и дальнейшее расширение рабочего тела (совершается рабочий ход). Расширение рабочего тела (РТ) происходит до определенного положения ротора ($\varphi = 180 / 540 /$ град ПВ), при котором объем камеры сгорания становится максимальным. Далее в статоре открывается выпускное отверстие, и происходит процесс выпуска отработавших газов за счет свободного выпуска и последующего выпуска за счет вытеснения газов ротором. В течение одного оборота вала в блоках двигателя совершаются 2 полных элементарных цикла (циклы включают процессы всасывания, сжатия, перепуска, сгорания (рабочего хода) и выпуска).

Основные геометрические размеры РПД:

- внутренний диаметр камер (статора) $D \approx 20$ см;
- ширина камер $H \approx 10$ см;
- эксцентриситет положения вала двигателя $e = 0,1D = 2$ см;
- площади проходных сечений отверстий впуска $F_{вп} = 8$ см², выпуска $F_{вып} = 8$ см² и перепуска $F_{пер} = 3$ см²;
- максимальный (минимальный) объем камеры всасывания $V_{ас max} = 706$ см³ ($V_{ас min} = 5,0$ см³);
- максимальный (минимальный) объем камеры сгорания $V_{сг max} = 773$ см³ ($V_{сг min} = 72,5$ см³).

График изменения объёмов камер блоков всасывания и сгорания в зависимости от угла ПВ приведен на рис. 3.

Минимальные объемы камер всасывания ($V_{ас min}$) и сгорания ($V_{сг min}$) обеспечиваются конструктивно за

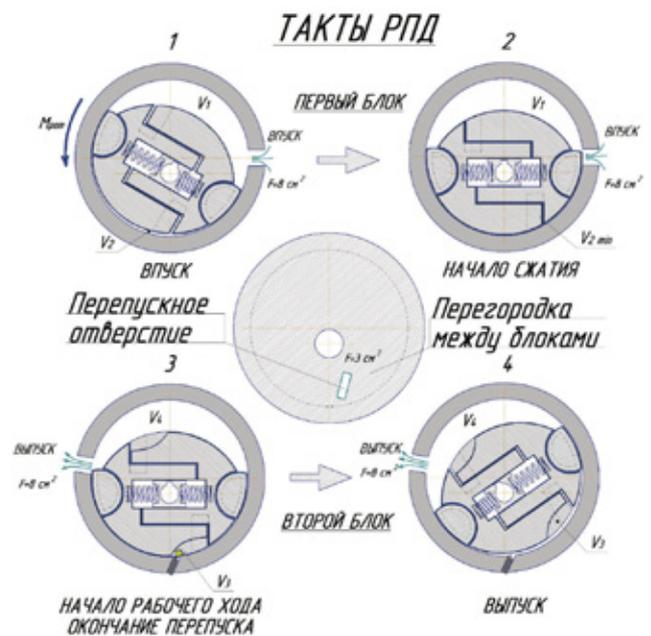


Рис. 2. Схема действия двухблочного четырехкамерного РПД

счет механической дообработки роторов. Конфигурация данных камер сформирована так, чтобы обеспечить оптимальный процесс перепуска рабочей смеси из камеры сжатия в камеру сгорания.

На рис. 4. иллюстрируется, как изменяются проходные сечения отверстий впуска, перепуска и выпуска по углу поворота вала двигателя.

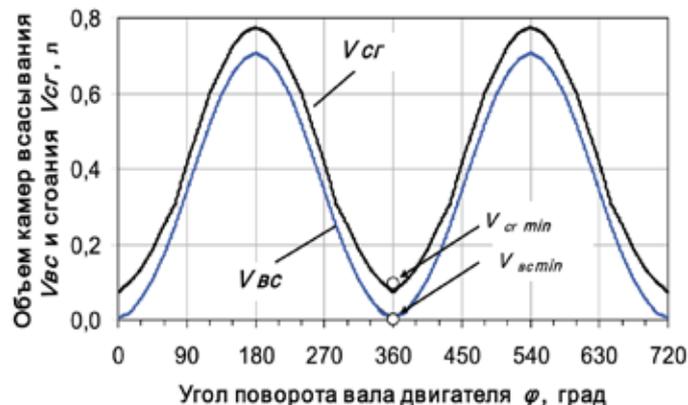


Рис. 3. Изменение объема камер в блоках всасывания и сгорания в зависимости от угла ПВ

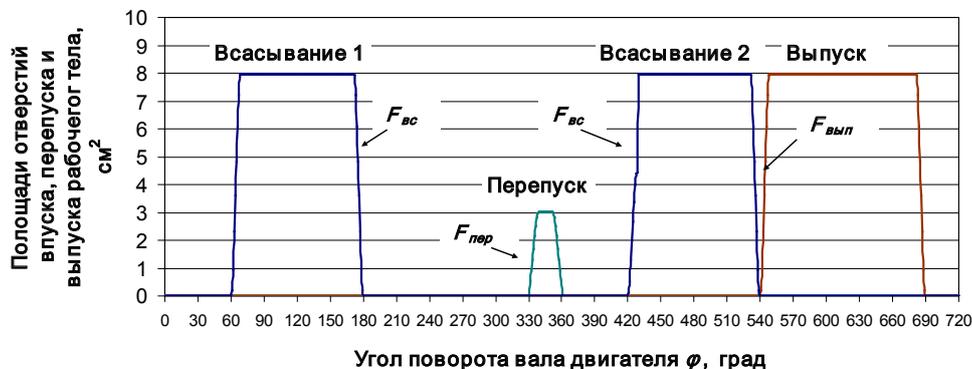


Рис. 4. Изменение площадей отверстий впуска, перепуска и выпуска в зависимости от угла ПВ

В роторах выполнены дополнительные полости, которые при работе двигателя в определенный момент сообщаются друг с другом. При сообщении этих полостей (с помощью отверстия, выполненного в межблочной перегородке) происходит перетекание рабочей смеси из камеры сжатия (блок всасывания) в камеру сгорания (блок сгорания). Конструктивно выполнено так, что минимальный объем камеры сжатия значительно меньше минимального объема камеры сгорания (см. рис. 3), то есть $V_{вс\ min} \ll V_{сг\ min}$. К моменту начала перепуска (при $\varphi = -30/330/$ град ПВ) давление в камере сжатия приблизительно равно 30 бар, в то время как давление в камере сгорания равно давлению окружающей среды (незначительно превышает уровень в 1 бар). В связи с этим, при открытии перепускного отверстия начинается интенсивный процесс перетекания смеси из камеры сжатия в камеру сгорания. Далее, в результате перепуска давление в камерах выравнивается, однако течение смеси из камеры сжатия в камеру сгорания продолжается за счет эффекта вытеснения. На данной стадии процесс перепуска

сопровождается дополнительным сжатием смеси (продолжает уменьшаться суммарный объем камер). Процесс перепуска завершается, когда объемы камер минимальны (при $\varphi = 0/360/$ град ПВ). Длительность фазы перепуска составляет 30 град ПВ. Подача искры в камеру сгорания (при $\varphi = 0/360/$ град ПВ) приводит к воспламенению смеси, повышению давления в камере и совершению полезной индикаторной работы. Заключительным тактом работы двигателя является такт выпуска отработавших газов.

Следует отметить, что после завершения процесса перепуска в камере сжатия остается под давлением некоторое количество смеси, которое, если сразу же открыть впускное отверстие, поступит во впускной трубопровод. Произойдет эффект «обратного заброса». Чтобы этого не происходило, открытие впускного отверстия осуществляется с запаздыванием (при $\varphi = 60/420/$ град ПВ). За счет расширения рабочей смеси в камере сжатия (перед началом всасывания) удастся получить дополнительную полезную индикаторную работу на данной фазе цикла.

Литература:

1. Пат. Роторный двигатель внутреннего сгорания. №2405950. 04.02.09 (Тайц О.Г., Старокожев М.А.).

8. СТРОИТЕЛЬСТВО

Динамические матричные структуры управления в строительном производстве

Дорохова Жанна Викторовна, аспирант
Костромской государственной технологической университет

Участники реализации строительного проекта, организованные в виде локальной производственно-хозяйственной системы, образуют объектный подрядный строительный комплекс (ОПСК).

Организационно ОПСК образует структуру системы управления, базирующейся на взаиморасположении его отдельных участников, совокупностью их устойчивых и упорядоченных связей, обуславливающих целостность и определенность комплекса, сохранение его свойств при различных внешних и внутренних воздействиях.

Сложились два типа структур управления:

1. Классическая (иерархическая)
 - Линейная управленческая структура
 - Функциональная управленческая структура
 - Линейно-функциональная (штабная) управленческая структура
 - Дивизиональная управленческая структура
2. Адаптивная (органическая)
 - проектные,
 - матричные,
 - программно-целевые,
 - проблемно-целевые,
 - структуры, основанные на групповом подходе (командные, проблемно-групповые, бригадные),
 - сетевые организационные структуры.

Не существует однозначно хороших или плохих структур управления, могут быть разные условия их применения.

Качество структуры системы управления определяется теми возможностями, которые она предоставляет производственной системе для достижения стоящих перед нею задач.

Анализ реальных организационных структур показывает, что подавляющее большинство ОПСК сегодня организовано по линейно-функциональному типу.

В типичной на сегодня классической генподрядной, линейно-функциональной схеме управления ОПСК существуют так называемые «корпоративные барьеры» между ген- и субподрядчиками. Эти «барьеры» обусловлены собственными (корпоративными, ведомственными) экономическими интересами каждого из производителей работ в ОПСК. Действительно, каждый из них имеет собственный выход на территориальный рынок строительных заказов и может выбрать наиболее выгодные для себя

проекты с отступлением от уже принятых на себя договорных обязательств.

Для современного быстроразвивающегося предприятия, использующего современные технологии классические системы управления показали себя малоэффективными, особенно в строительных фирмах, оказывающих специализированные услуги в области строительства.

В отличие от них адаптивная организационная структура — это гибкая структура, изменяющаяся (адаптирующаяся) в соответствии с требованиями среды (по аналогии с живыми организмами). Она способна, используя все эффективные аспекты линейных и функциональных структур, успешно функционировать в постоянно изменяющемся мире. Поэтому в этой статье рассматривается матричная структура, как особенно эффективная для проектов с жестко ограниченным временем исполнения.

К основным достоинствам матричной структуры можно отнести следующие:

- 1) возможность концентрирования усилий и внимания на решении ключевых проблем;
- 2) гибкое использование людских ресурсов благодаря наличию определенного резерва специалистов в функциональных подразделениях;
- 3) наличие одинакового для всех проектов доступа к специализированным знаниям и дисциплинам;
- 4) возвращение персонала проектной группы в свои функциональные подразделения по окончании проекта;
- 5) выполнение требований проекта в существенно более короткий срок;
- 6) повышение степени сбалансированности ресурсов;
- 7) минимизация межфункциональной конкуренции благодаря вмешательству управляющего проектом.

Матричная структура позволяет также:

- 1) существенно уменьшить общее время незанятости специалистов;
- 2) увеличить гибкость, с которой специалисты могут быть закреплены за теми проектами, где требуется их квалифицированное участие, что поднимает цену их труда;
- 3) обеспечить быстрое реагирование на положение дел на рынке;
- 4) облегчить интеграцию новых инженерных дисциплин;
- 5) ускорить процесс принятия и повысить качество организационных решений.

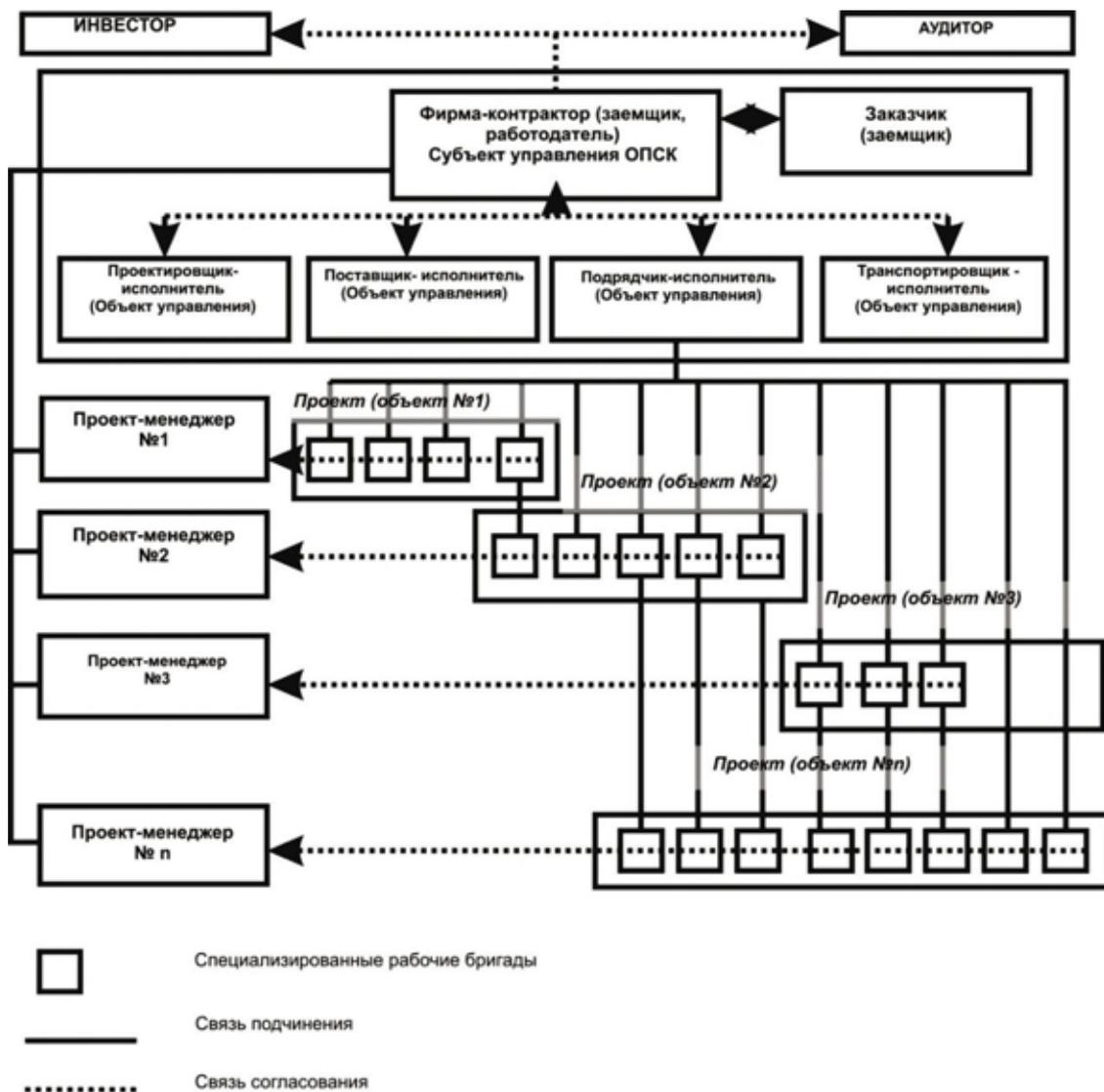


Рис. 1. Матричная организация ОПСК

Двойственность подчинения функционального исполнителя, имеющая место в матричной структуре, совсем не обязательно приводит к конфликтам, поскольку в эффективно работающих матричных организациях исполнитель одновременно решает функциональные и проектные задачи, преследуя при этом общие для организации цели.

Важным направлением совершенствования матричных организационных структур является формирование специальных организаций для выполнения крупных строительных программ в отличие от ранее существовавшего направления поиска организации, соответствующей данной строительной программе. Матричная структура создает условия для углубления специализации персонала, что приводит к росту производительности труда.

При матричной организации ОПСК (см. рис. 1) функции субъекта управления выполняет фирма-контрактор. Эта фирма выполняет также функции заемщика и работодателя. Она не ведет работы собственными силами. Фирма несет лишь управленческую нагрузку, осуществляя

только элементарные функции управления ОПСК (маркетинг, планирование, организация, регулирование, координация, учет и контроль деятельности всех и каждого из участников строительного проекта).

Совпадение экономических интересов всех участников строительства при матричной организации ОПСК достигается путем формирования интегрированного (коллективного) поручителя в ОПСК.

В это структурное образование в обязательном порядке входят все нанимаемые подрядчиком исполнители работ в ОПСК. Общее руководство данным образованием осуществляет подрядчик.

В таких условиях каждый участник проекта несет ответственность собственным капиталом за безусловное выполнение плановых показателей, определяемых субъектом управления.

При этом существенно возрастает ответственность всех участников строительства за собственные действия в рамках совместного проекта. Также должно существенно

повыситься качество решения задач статического и динамического балансирования строительного производства исходя из современного уровня.

Роль объекта управления в матричной схеме играют технологически специализированные бригады — спецстройпотоки, линейно подчиненные собственным низовым организациям-подрядчикам. Количество, профиль технологической специализации и производственная мощность этих бригад должны строго соответствовать расчетным и быть адекватными сложности строительных проектов из титульного списка подрядчика.

Обратная связь в рассматриваемой локальной производственно-хозяйственной и социально-экономической системе поддерживается через руководителей проектов (проект-менеджеров). Эти специалисты (или группы специалистов) находятся в структуре подрядчика.

Представляется, что прототипом гипотетического подрядчика могут быть главные территориальные управления строительством или генподрядные тресты (АО) без «собственных сил», с приданными им ИВЦ, трестами «Оргтехстрой», РЦС.

Следует заметить, что практическое внедрение матричной оргструктуры ОПСК не приведет к желаемому результату без соответствующей модернизации информационной компоненты управления строительством.

Серьезный недостаток матричной организации деятельности — ее сложность — порождает множество управ-

ленческих проблем. Практический опыт позволяет определить эти проблемы и выработать пути их устранения.

Одной из нерешенных в полной мере проблем матричной структуры является отсутствие методов измерения степени выполнения проектов. Предлагается измерять степень выполнения проекта с учетом множественности его характеристик отдельно по каждой из них. Если, например, некоторый коммерческий проект затрагивает одновременно вопросы строительства и маркетинга, то необходимо оценивать степень выполнения проекта по каждому из этих вопросов в отдельности.

К числу факторов, которые положительно влияют на успешное выполнение проектов в рамках матричной структуры, относятся: поддержка проекта высшим руководством организации, высокая степень взаимодействия между основным подразделением организации, ответственным за проект, и организациями, вовлеченными в проект; наличие технически компетентных и опытных руководителей групп; наличие проектной группы, укомплектованной квалифицированными и коммуникабельными исполнителями; наличие четких и устойчивых целей в проекте; система приоритетов проектов, выполняемых одновременно в организации. В матричной структуре важное значение приобретает так называемое «горизонтальное управление», т.е. управление, построенное на принципах убеждения, а не подчинения.

Схема проведения испытаний по восстановлению работоспособности консолей колонн с применением трубобетонных конструкций

Жуков Александр Николаевич, аспирант

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

В современном строительстве одним из перспективных направлений развития является применение трубобетонных конструкций при восстановлении работоспособности поврежденных элементов. Совместная работа стали и бетона обеспечивает конструкции прочность при осевом сжатии до 2-х раза больше по сравнению с железобетонными конструкциями. При этом практически полностью исключается коррозия внутренних полостей трубы и непосредственно бетона. Одним из пунктов развития данного направления является применение расширяющегося бетона. Эффект объемного преднапряжения при использовании расширяющихся добавок для бетона улучшает сцепление бетона с обоймой, а применение мелкозернистого бетона улучшает удобоукладываемость смеси в связи с отсутствием крупного заполнителя. Доказано, что применение расширяющегося бетона улучшает общую работу конструкции на 20–25% [1].

В качестве экспериментального исследования в рамках написания кандидатской диссертации был разра-

ботан метод по восстановлению работоспособности железобетонной консоли колонны взятием в трубобетонную обойму.

Суть метода заключается в том, что для восстановления работоспособности была изготовлена стальная обойма, состоящая из торцевых швеллеров, боковых накладок из листовой стали и соединительных уголков. Монтаж конструкции производился при помощи сварочного аппарата в следующей технологической последовательности:

- составные элементы были разрезаны и подготовлены к монтажу;
- сделаны треугольные разрезы в полках торцевого швеллера, после чего при помощи пресса путем сгиба в проектных точках ему придана форма консоли колонны;
- поверхность старого бетона промыта водой до полного насыщения;
- приварены соединительные уголки к одному из торцевых швеллеров;

Таблица 1

Общие характеристики расширяющейся добавки РД-Н

| | |
|--|-----------------------------------|
| Цвет | Серый |
| Удельная поверхность | Не менее 350 м ² /кг |
| Массовая доля ангидрида серной кислоты (SO ₃) | Не менее 17,0 % и не более 25,0 % |
| Массовая доля оксида алюминия (Al ₂ O ₃) | Не менее 19,0 % и не более 27,0 % |
| Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, согласно НРБ-99 (п. 5.3.4), соответствует 1 классу строительных материалов | Не превышает 370 Бк/кг |
| Технические характеристики вяжущего, приготовленного из 90 % портландцемента ПЦ400-ДО и 10 % расширяющейся добавки (РД-Н) | |
| Прочность на сжатие через 28 суток твердения | Не менее 42 МПа |
| Самонапряжение в возрасте 28 суток | Не менее 2,0 МПа |
| Линейное напряжение в возрасте 28 суток | Не более 1,5 % |
| Марка по морозостойкости | Не менее F 300 |
| Марка по водонепроницаемости | Не менее W 10 |

– швеллер с приваренными уголками устанавливается на консоль колонны, с противоположенной стороны монтируется второй торцевой швеллер;

– с боков к конструкции последовательно привариваются боковые накладки из листовой стали;

– конструкция устанавливается в проектное положение при помощи строительного уровня;

– подготавливается мелкозернистый расширяющийся бетон;

– бетон укладывается в полость между облоймой и консолью;

– бетонная смесь вибрируется.

Для приготовления мелкозернистого расширяющегося бетона применялась расширяющая добавка РД-Н производства CONSOLIT BARS [2]. Характеристики преднапрягающей добавки представлены в таблице 1. Расширяющая добавка РД-Н представляет собой тонкоизмельчённую смесь, состоящую из алюминатных или сульфоалюминатных и сульфатных компонентов. РД-Н вводится в обычный бездобавочный портландцемент для получения цемента с уникальными специфическими свойствами. Портландцемент с добавкой РД-Н обладает всеми положительными качествами бездобавочного портландцемента и дополнительно обеспечивает в бетонах (растворах):

– полную водонепроницаемость (W10... W20), при этом дополнительной гидроизоляции не требуется;

– исключение усадки и её отрицательных последствий;

– повышенную морозостойкость (в том числе в солях);

– повышенную стойкость в агрессивных средах;

– высокую прочность при растяжении.

Пропорции соответствуют рекомендациям производителя: расход на 1 м³ раствора: РД-Н – 80 кг; ПЦ 500-ДО

(бездобавочный) – 570 кг; песок (чистый, мытый, с модулем крупности $M_{кр}=2,0..3,0$ и содержанием глинистых включений до 1 %) – 950 кг; вода (чистая) – 250 л. Общий вид трубобетонной облоймы представлен на рис. 1.

Для исследования напряженно-деформированного состояния на конструкцию наклеены тензорезисторы. Тензорезисторы выполнены из константановой проволоки на фольговой основе с базой 10мм (сопротивление $R=111,5\text{Ом}$, коэффициент тензочувствительности $K=2,16$). Для обработки данных с датчиков (тензорезисторов) применяется тензометрическая система ММТС-64.01. Соединение тензодатчика с кабелем (шлейфом) измерительной станции выполнено с помощью клеммы в пластиковой оболочке через провод типа МГТФ диаметром 0,7мм. Шлейфы изготовлены из проводов типа МГТФ и БПВЛ. Схема расположения тензодатчиков показана на рис. 2. Общее количество датчиков на каждый образец принято равным 28-ми. Тензорезисторы наклеены в предположительно наиболее напряженных зонах конструкции.

Наклейка датчиков производилась в следующей технологической последовательности [3]:

– поверхность зачищалась наждачной бумагой № 100;

– поверхность промывалась техническим ацетоном до полной очистки;

– наносился тонкий слой клея БФ-2 на подготовленную поверхность и тензорезисторы;

– в течение 30–40 секунд клей на поверхности арматуры и датчиках подсушивался феном при температуре 100–110°C;

– наносился следующий слой клея на поверхность арматуры;

– датчики приклеивались к конструкции;

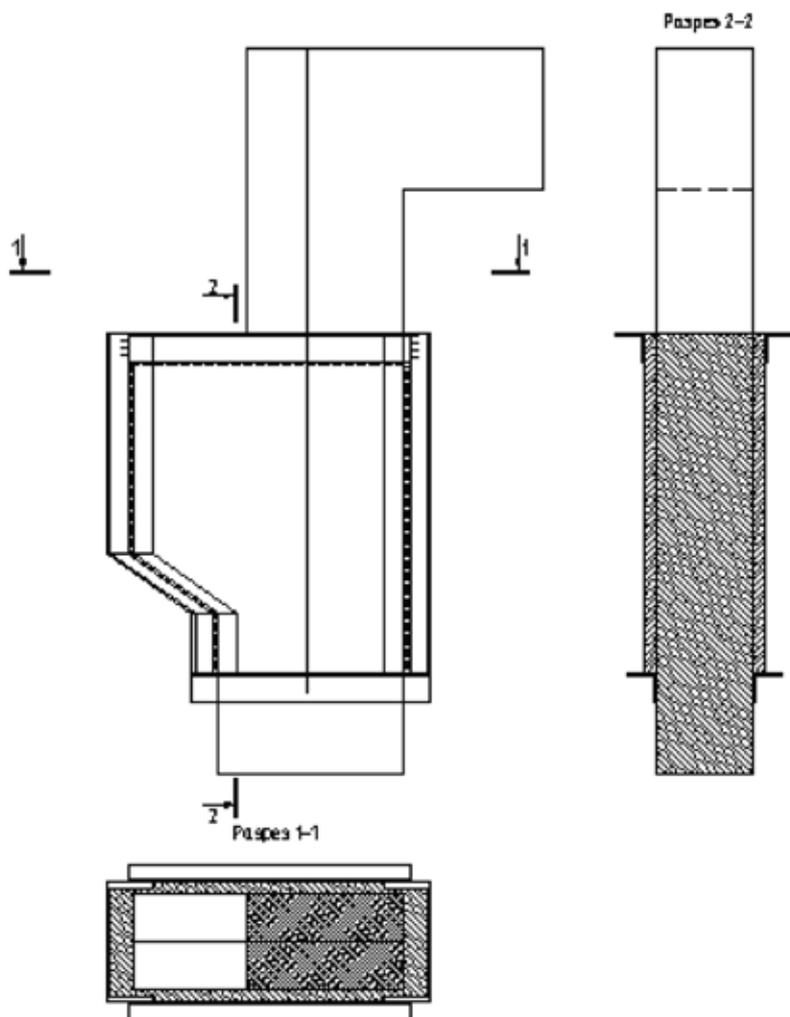


Рис. 1. Общий вид трубобетонной конструкции

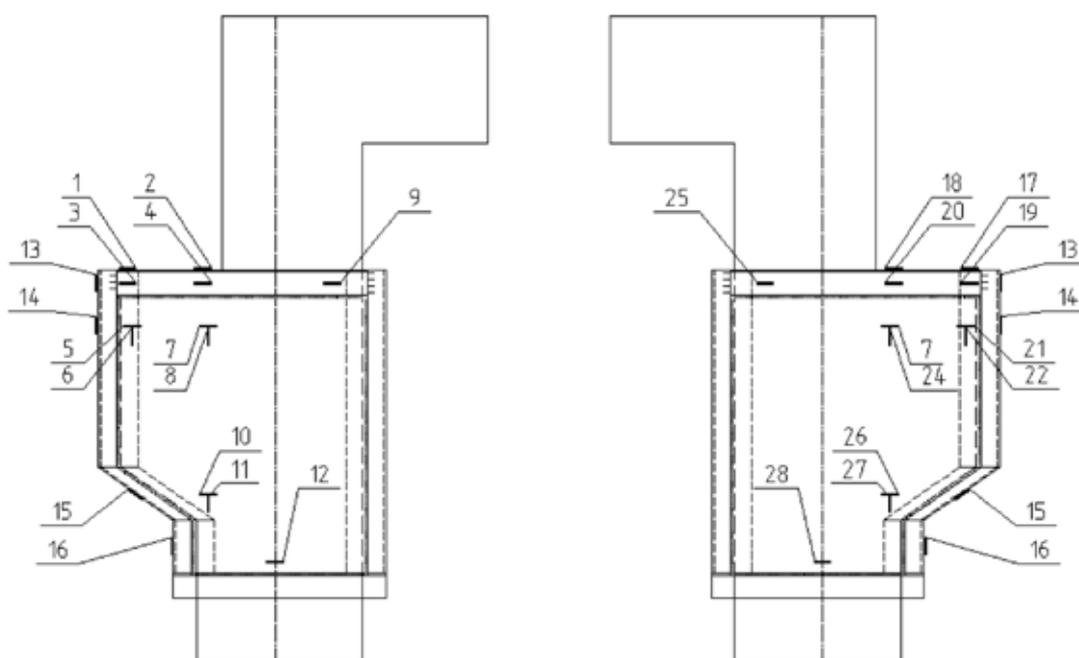


Рис. 2. Схема наклейки тензорезисторов

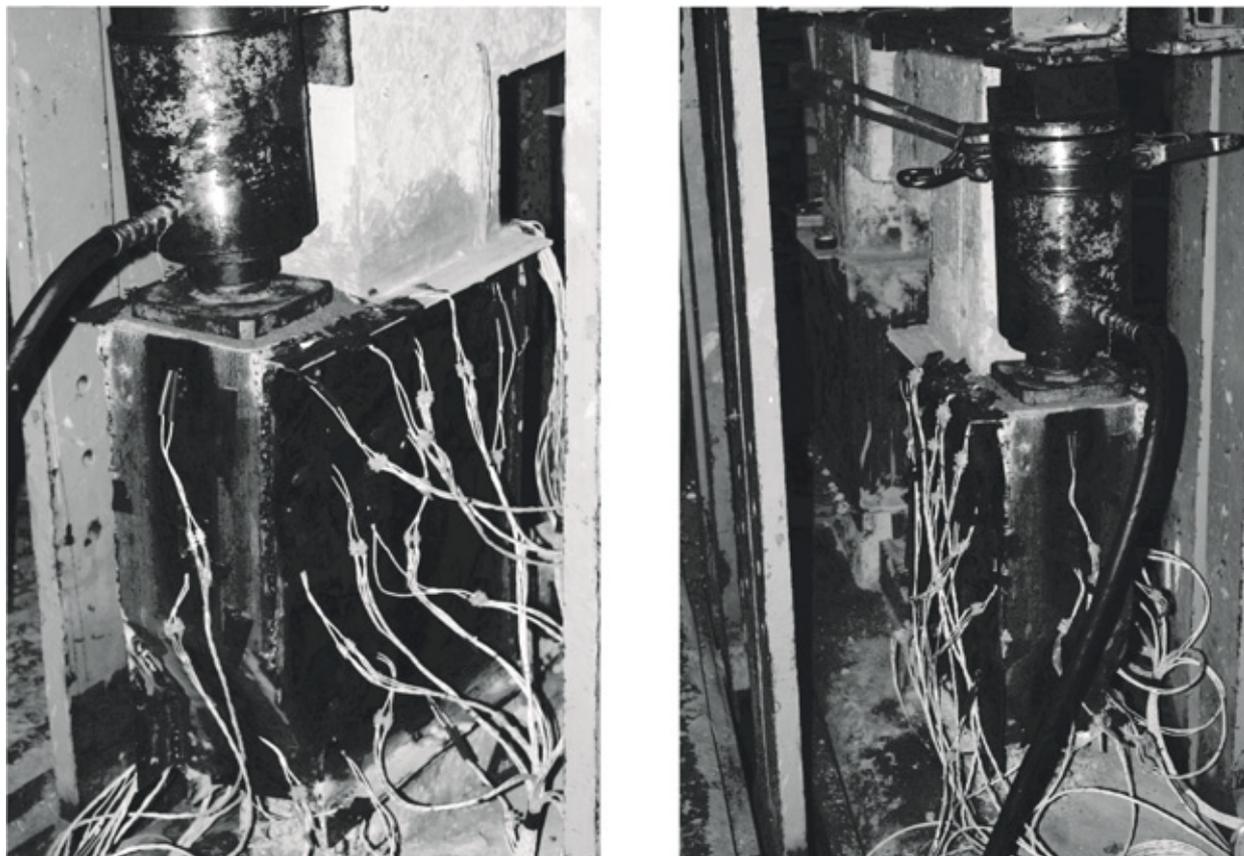


Рис. 3. Общий вид конструкции перед испытанием

— на датчик укладывалась полиэтиленовая пленка и прижималась резиновым валиком для удаления излишек клея;

— производилась просушка клея в течение 10–15 минут, после чего конструкции досушивались в естественных условиях в течение 3–5 дней.

Образцы консолей колонн предварительно были испытаны на проектную нагрузку и доведены до разрушения. Общий вид конструкции после монтажа и наклейки тензорезисторов показан на рис. 3. Нагрузка на конструкцию передается с помощью насосной станции через домкрат

ДГ-100. ОпираНИЕ домкрата на трубобетонную консоль выполнено через сферический шарнир, на бетон. Предельная несущая способность конструкции предположительно должна увеличиться в 2–3 раза.

Приведенная схема является универсальной для проведения экспериментов с использованием тензометрических комплексов. Данный способ восстановления работоспособности консолей колонн может быть адаптирован и применен и к другим видам конструкций. Таким образом, применение трубобетона является перспективным направлением развития строительной отрасли.

Литература:

1. Кришан А.Л. Прочность трубобетонных колонн с предварительно обжатым ядром: Автореф. дис. на соискание ученой степени д-ра тех. наук. — Ростов-на-Дону, 2011. — 38 с.
2. Расширяющая добавка [Электронный ресурс] URL: <http://www.consolit.ru/rd.html> (дата обращения 17.11.2011)
3. Руководство по тесометрированию строительных конструкций и материалов: Отдел научно-технической информации НИИЖБ. — М.: Производственные экспериментальные мастерские ЦИНИСа Госстроя СССР, 1971. 313 с.

Особенности конструктивных решений зданий лесопильных заводов, возводившихся в 20–30-е гг. XX в. (на примере Мезенского лесопильного завода в посёлке Каменка Архангельской области)

Никитина Татьяна Александровна, ассистент
Северный арктический федеральный университет (г. Архангельск)

Грандиозный масштаб промышленного строительства в Советском Союзе в годы первых пятилеток потребовал совершенно иных методов возведения и другого подхода к проектированию промышленных зданий. В дореволюционный период большинство промышленных предприятий «умещались» в относительно простых сооружениях, не носивших в себе каких-либо специфических черт. При постройке фабричного здания обычно задавались примитивной программой: создать помещение, окруженное четырьмя стенами, покрытое крышей, имеющее пол, достаточно прочный для соответствующей нагрузки. Ход производства намечался приблизительно, а величина помещений определялась примерным соображением о количестве места для станков, подсобных устройств и т.п. Через короткое время помещение оказывалось бессистемно разгороженным, появлялись какие-то комнатки и пристройки случайного характера.

Появившаяся в 20-е — 30-е гг. прошлого столетия необходимость максимального использования внутренних материальных ресурсов, стремление к необходимой рационализации строительства и созданию наилучших условий работы в цехе выдвинули ряд новых задач, которые в значительной степени были разрешены при строительстве промышленных сооружений первых пятилеток. К этим задачам относились: установление единообразной сетки колонн, применение новых деревянных и железобетонных конструкций, внедрение сборных конструкций, типизация и стандартизация конструктивных и архитектурных деталей, учет требований строительной теплотехники, светотехники и аэрации.

Как и во всей стране, в Архангельской области и на Русском Севере в целом имел место всплеск массивного промышленного строительства. В те годы были построены крупные лесозаводы, предприятия лесохимического и целлюлозно-бумажного производства, судоремонтно-строительный завод «Красная Кузница» и многое другое. Объектом нашего исследования является Мезенский лесопильный завод в посёлке Каменка, существовавший с 1891 г и подвергшийся принципиальной перестройке в 1927–1929 гг.

Промышленному строительству на Севере в те годы способствовали географические, исторические и актуальные экономические факторы. К началу XX века здесь сложилась крупная лесопильная промышленность с огромной сырьевой базой и инфраструктурой.

На фракции РКП (б) VIII съезда Советов 21 декабря 1920 года В.И. Ленин сказал: «Если мы хотим товарообмена с границей, ..., мы понимаем его необходимость,

наш основной интерес — возможно скорее получить от капиталистических стран те средства производства (паровозы, машины, электрические аппараты), без которых восстановить нашу промышленность сколько-нибудь серьёзно мы не сможем ... Чтобы получить лучшие машины и пр., мы должны платить. Чем платить? ... И здесь нет объекта более удобного для нас экономически, чем леса на дальнем севере, которые мы имеем в невероятном количестве, Между тем лес на международном рынке представляет гигантскую ценность» [4, с. 110]. В 1921 г. им было подписано положение об органе управления лесной промышленностью Северо-Беломорского района, на основании которого был создан трест «Северолес». Его целью являлось развитие лесозаготовительной и лесоперерабатывающей промышленности и подчинение её экспортным задачам. Тресту были переданы лесосырьевая база, 42 лесозавода, в том числе Мезенский. Включе этой реорганизации всего лесного хозяйства возводились новые промышленные здания, реконструировались водные бассейны, склады сырья, заменялись старые пилорамы, устанавливались околорамное оборудование, электролебёдки и краны, переводились на электротягу станки и пилорамы, увеличивались причальные линии, проводились дноуглубительные работы, биржи оснащались лесовозами. Одновременно строилось жильё и всё соцкультурное обслуживание, положившее начало возникновению в последствие монопосёлков и городов. Создание посёлка Каменка и его лесозавода как раз и являются примером экономической политики тех лет.

В 1927 году на берегу реки Мезень в устье впадавшей в неё реки Каменка, в 38 км от Белого моря, развернулось большое строительство. Разом строились новый лесопильный завод и посёлок.

Основным объектом завода был лесопильный амбар с восьмью лесопильными рамами, эстакадой элеваторов, пилоточкой и отделением разделки мелочи (рис. 1).

Лесопильный амбар двухэтажный, прямоугольный в плане с размерами 23x75 м; высота первого этажа — 5,50 м, второго — 5,20 м. Объём амбара — 19034 м³.

Длина лесопильного амбара обеспечивают заблаговременную накатку брёвен на рамные тележки (когда предыдущие бревна ещё допиливаются) и распиловку брёвен длиной до 8,5 м.

Высоты этажей зависят от габаритов лесопильных рам в первом и втором этажах; кроме того высота первого этажа диктуется трансмиссионным оборудованием, длиной приводов и высотой фундаментов лесопильных рам.



Рис. 1. Мезенский лесопильный завод. Фото 1930 г.

Лесопильный амбар был запроектирован холодным, так как ввиду непрерывной подачи брёвен в здание элеватора и выхода готовой продукции с другого торца на пассивный транспортёр помещение не закрывается; его нельзя изолировать от наружного воздуха и предотвратить сквозняк, что создавало тяжёлые условия труда, особенно в зимнее время.

С торцов к амбару примыкают эстакады: одна — для подачи брёвен из бассейна в амбар, другая — для транспортировки из лесопильного амбара на сортировочную площадку. Первый этаж занят производственно-подсобными помещениями, второй этаж — производственными. Вспомогательные помещения (бытовые) располагались на неиспользуемых производством площадях первого этажа.

Конструктивная схема здания — полный каркас. Шаг колонн в продольном направлении — 3,20 м; в поперечном направлении — 4,6 м x 5 (рис. 2).

Междуэтажные перекрытия были выполнены в виде деревянных балок, прогонов и настила по деревянным стойкам, установленным в первом этаже. Стены дощатые каркасно-засыпные. Все несущие конструкции выполнены из лиственницы.

Помещение пилоточки было выполнено в виде кирпичной пристройки к лесопильному амбару, отметки пола пилоточки и лесопильного амбара находились на одном уровне. Отделение разделки мелочи — это самостоятельное здание, соединённое с лесопильным амбаром крытой галереей.

Поперечный пролет перекрыт фермой длиной 23 м, высотой около 5 м.

Все фасады лесопильного амбара остеклены. Дополнительно предусмотрен фонарь верхнего света системы Буало (Буало — вытянутое по горизонтали прямоугольное окно-фонарь с вертикальным остеклением, над кровлей промышленного цеха). Фонарь такой системы даёт сравнительно малую освещённость, но весьма удовлетворительную равномерность (рис. 3). Створные переплёты фонаря устроены по типу оконных, что обеспечивает хорошую вентиляцию здания. Фонари данного типа менее подвержены запылению, однако, их теплопотери значительные.

Конструкция покрытия — деревянная решётчатая ферма. В 1920—30 гг. широко применялись фермы на кольцах Тухшерера — это лёгкие разрезные кольцевые шпонки, выгнутые из тонкой полосовой стали. Они не требуют большого расхода металла, изготавливаются проще и позволяют существенно увеличить несущую способность соединения, так как пружинящий (незамкнутый) стальной кольцевой обруч превращается из односрезной шпонки в двусрезную: в отличие от дисковой и тарельчатой шпонок такая кольцевая шпонка более надёжно вовлекает в работу на смятие и скалывание не только внешнее «окаймление» гнезда, но и внутренний, охватываемый кольцом, сердечник. (рис. 4)

Однако применение гладко-кольцевых шпонок не оправдало ожидания строителей. Несущая способность таких соединений оказалась в растянутых стыках значительно ниже, чем в сжатых образцах, что приводило к скалыванию сердечника. В растянутых элементах — по схеме одностороннего скалывания при большой концентрации

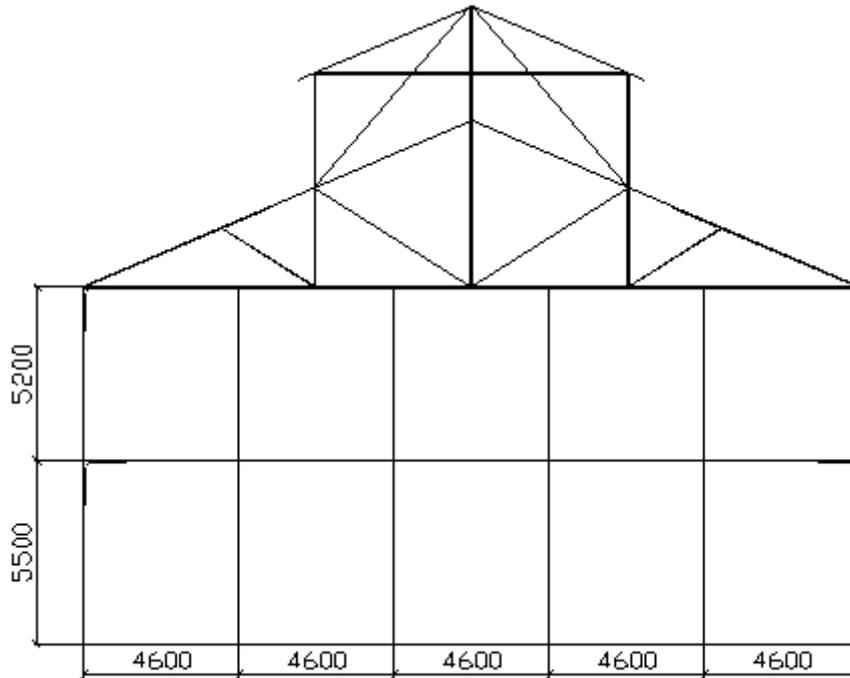


Рис. 2. Поперечный разрез лесопильного амбара

скалывающих напряжений, особенно в случаях применения сырой древесины.

При проектировании деревянных конструкций в рассматриваемый период наибольшее затруднение, вызывало, видимо, конструирование узлов сквозных ферм со значительными растягивающими усилиями в элементах решетки и в стыках нижних поясов. Это явилось причиной того, что в дореволюционный период и в 20-е гг. строители проектировали и строили сквозные деревянные конструкции с наибольшим числом сжатых элементов.

Примерно к 1927 г. задача рационального крепления растянутых элементов в узловых сопряжениях и в стыках плоскостных конструкций была в принципе решена. При этом определилось два направления:

- применение усовершенствованных врубок разных систем — лобовых, щековых, ножничных, биссектрисных и трёхбиссектрисных вместо известных во всём мире врубок зубом и гладкой кольцевой шпонки с прямым разрезом;

- применение для соединений элементов стальных нагелей сплошного (например, болтов) и трубчатого сечения и в особенности вопросу их расчёта.

В современной строительной практике кольцевые шпонки (стальные, гладкие, разрезные) не рекомендуются, так как соединение относительно большой грузоподъёмности жёсткое, со значительными начальными деформациями, изготовление сложно и трудоёмко — требует специального оборудования для выборки шпоночных гнёзд, а контроль за качеством соединения затруднён. В случае необходимости могут быть использованы в узлах

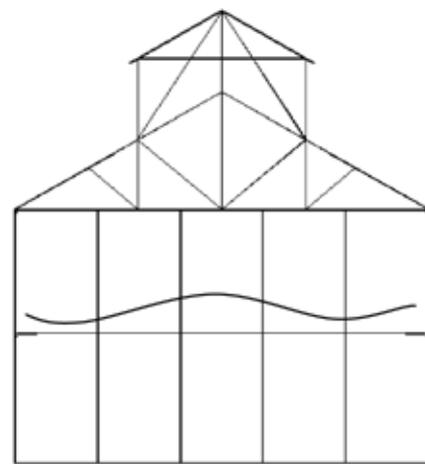


Рис. 3. Фонарь системы Буало с кривой освещенности здания

конструкций из сухих лесных материалов механизированного изготовления при наличии тщательного контроля в процессе изготовления.

Знакомясь с фото и архивными материалами, приходим к выводу, что в конструкции покрытия Мезенского лесопильного амбара были уже применены фермы на ножничных врубках, суть работы которых заключается в том, что передача вертикальной и горизонтальной составляющих усилия сжатого подкоса вертикальному и горизонтальному элементам фермы осуществляется ножничной врубкой (рис. 5). В зависимости от большей или меньшей расчётной площади смятия, (необходимой для

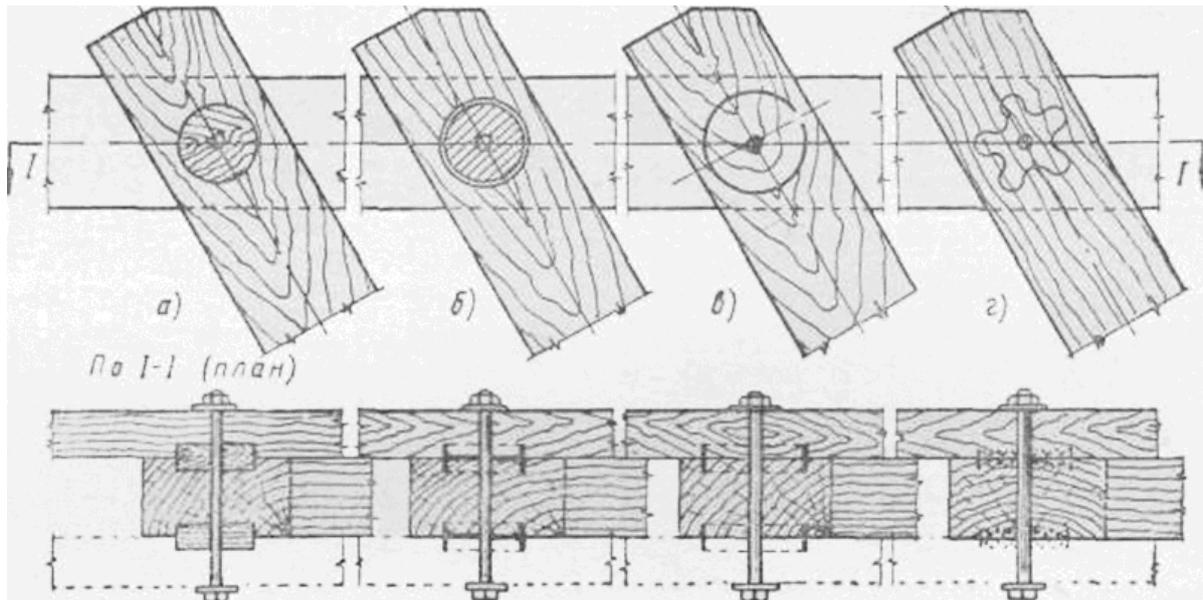


Рис. 4. Развитие соединений на круглых (центровых) шпонках:
а – дисковых деревянных; б – тарельчатых чугунных;
в – гладкокольцевых Тухшерера; г – зубчатокольцевых

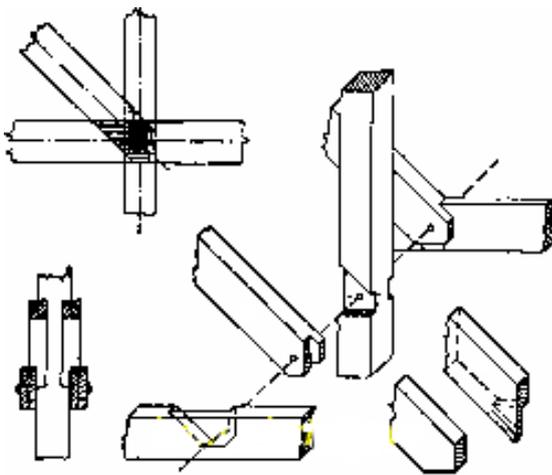


Рис. 5. Ножничная врубка

восприятия усилия в бабке и разности усилий в соседних панелях пояса) ножницы могут быть открытыми, закрытыми и полузакрытыми. Концы ножниц по возможности следует притуплять, так как сильно заострённые концы

легко отщепляются, и поэтому не могут полностью вводиться в расчёт. Применялась ножничная врубка только в решётках с сжатыми подкосами, т.к. закрепить растянутый подкос в такой врубке довольно трудно. Чем меньше угол между бабкой и поясом, тем выгоднее работает ножничная врубка.

В современном строительстве ножничные трехплоскостные врубки с площадками, работающими на скалывание, считаются недостаточно надёжными, сложными в изготовлении, а подгонка рабочих плоскостей смятия затруднена. Качество таких соединений недоступно для контроля. Поэтому их применение не допускается. По той же причине не следует применять биссектрисных ножниц: только ортогональное расположение сминаемых площадок по отношению к направлениям усилий в бабке и поясе даёт плотное и крепкое сопряжение; при скошенных поверхностях врубка ползёт и расщепляется.

Лесопильный амбар Мезенского лесопильного завода, построенный в 1927 году, полностью сгорел 1 июня 1989 года. На его месте построен новый лесопильный цех из металлических конструкций.

Литература:

1. Всё о ремонте и строительстве. / Характеристика и области применения соединений деревянных элементов [Электронный ресурс], 2010–2011. – Режим доступа: http://ostroykevse.ru/Obrabotka_dereva/Soedinenie_Dereva_10.html
2. Гофман, В.Л. Фабрично-заводская архитектура. Часть I Планировка и конструирование зданий и сооружений промышленных предприятий. – Ленинград: Издательство КУБУЧ, 1932 г. – 579 с., ил.
3. Деревянные конструкции. / Под ред. Карлсена Г.Г. – Москва: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1952 г. – 759 с., ил.

4. Доклад В.И. Ленина о концессиях на фракции РКП (б) VIII съезда Советов 21 декабря 1920 г. / Полное собрание сочинений В.И. Ленина: в 55 т. Том 42.: М.: Издательство политической литературы, 1974—606 с.
5. История строительной техники / гл. ред. Иванов, В.Ф. — Москва-Ленинград: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. — 561 с., ил.
6. Поморская энциклопедия: в 5 т. / гл. редактор Н.П. Лаверов. Т.3. Экономика Архангельского Севера: Архангельск, Изд-во АГТУ, 2006 г. — 636 с., ил.
7. Серк, Л.А. Промышленная архитектура / Курс проектирования промышленных зданий. В 2 томах. Том I, — Ленинград: 2-я типография ОНТИ имени Е. Соколовой, 1935 г. — 552 с., ил.
8. Серк, Л.А. Промышленная архитектура / Курс проектирования промышленных зданий. В 2 томах. Том II, — Ленинград: 2-я типография ОНТИ имени Е. Соколовой, 1934 г. — 506 с., ил.
9. Справочник проектировщика промышленных сооружений. / гл. ред. Фисенко А.С. Том I Архитектура промышленных зданий. Часть 2. Фабрики и заводы. — Ленинград: 2-я типография ОНТИ имени Е. Соколовой, 1935 г. — 876 с., ил.
10. Техническая энциклопедия в 26 томах / гл. ред. Л.К. Мартенс. Том XXIV. Труболитейное дело — фильтры. — Москва: Государственное словарно-энциклопедическое издательство «Советская энциклопедия», 1934 г. — 920 с., ил.
11. Штамм, Е. Фонари промышленных зданий. // Техническая энциклопедия в 26 томах. / гл. ред. Л.К. Мартенс. Том XXV. Фитопатология — шарнирные направляющие механизмы. — Москва: Государственное словарно-энциклопедическое издательство «Советская энциклопедия», 1934 г. — с. 59—60.
12. Фомин, Ю. Лесопильное производство в России [Электронный ресурс] // Технологии строительства. 2005 г. — Режим доступа: <http://www.booksite.ru/forest/forest/lesopilka/2.htm>
13. Цветаев, В.Д. Современная фабрично-заводская архитектура. — Москва-Ленинград: Госстройиздат, 2-я типография ОНТИ имени Е. Соколовой, 1933 г. — 530 с., ил.
14. Шульгин, Н. Каменка [Текст] / Н. Шульгин // Север. — 2004. — 24 сентября. — С. 6

Проблемы прочности и деформативности монолитных железобетонных безбалочных перекрытий с отверстиями

Скоробогатов Семен Макеевич, доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии архитектурных и строительных наук, заслуженный деятель науки РФ; Радько Алексей Александрович, аспирант Уральский государственный университет путей сообщения

Катастрофы в строительстве случаются в наше время по различным причинам. Основной предвестник — предсказуемость и другие физические свойства искусственных катастроф были подробно рассмотрены и табулированы в работе Скоробогатова С.М., Хомякова В.А. Морданова О.Н. и Мордановой Е.С. «Классификация катастроф железобетонных конструкций» [1]. Один из возможных способов их предотвращения — правильный расчет зданий и сооружений.

Плиты с отверстием применяются при возведении многих конструкций, таких, как элеваторы, бункера, холодильники, многоэтажные промышленные здания с вертикальной технологией производства, жилые и общественные здания, насыщенные различными коммуникациями.

К сожалению, в нашей литературе пока ещё недостаточно освещаются вопросы расчета плит с отверстием, что затрудняет использование достигнутых в теории результатов и зачастую приводит к применению приближенных приемов.

Примером может служить расчет пластин методами граничной коллокации [2], результат исследований

О.В. Машкина и д.ф.-м. н., проф. В.В. Рогалевица — метод, реализуемый для конкретных параметров пластины, позволяет получить надежное приближенное решение в виде формулы в задачах изгиба, числа и формулы в задачах устойчивости. Он основан на простой аппроксимации функций прогиба, определении одной константы решения из условия ортогональности невязки с аппроксимирующей функцией, отыскании корректирующих параметров из условия минимума среднеквадратических интегральных невязок в задачах изгиба или минимума сжимающего усилия в задачах устойчивости.

Для избежания двойственности в расчете конструкций, когда определение усилий производится методами теории упругости, а подбор сечений элементов выполняется по предельному состоянию, необходимо определить возможность сочетания двух научных направлений: упругая работа пластин вокруг отверстий и виртуальная работа пластин с линейными пластическими шарнирами. Ещё одним важным вопросом является возможность корреляции величин между этими двумя состояниями для определения прогибов реальных конструкций.

Расчет плиты с отверстием по методу предельного равновесия помогает решить эту задачу. В работе Р.В. Зиновьевой, Н.Ф. Зиновьева, А.М. Фрактера [3] изложены результаты экспериментально-теоретических исследований железобетонных плоских плит, ослабленных отверстием, анализируются схемы излома в зависимости от места расположения отверстия и излагаются методы расчета квадратных, прямоугольных и круглых плит с отверстием различной формы при разных условиях опирания. Примерами, приведенными в книге, подтверждается, что расчет плит с отверстием по методу предельного равновесия не представляет трудностей и к тому же дает существенную экономию арматурной стали. Так, для рассчитанных плит эта экономия составила около 24%.

Для расчета плиты с отверстием применен кинематический способ метода предельного равновесия, суть которого подробно изложена в учебно-методическом пособии С.М. Скоробогатова [4].

Ввиду сложности задачи для построения методики расчета были использованы результаты давнишних опытов, проведенных в НИИЖБ А.А. Гвоздевым, М.С. Крыловым и др. [5,6]. Опыты показали, что кривая прогибов для удобства может быть аппроксимирована двумя почти прямолинейными участками, у которых скорости нарастания деформаций существенно различаются (см. рис. 1). Первый участок ($0 - q_{crc}$) распространяется от начала нагружения до момента образования первых трещин. Второй участок ($q_{crc} - q_{ult}$) распространяется от момента образования трещин до появления пластических шарниров, т.е. до расчетного предельного состояния (стадия предразрушения).

Приближенно прогиб плит при эксплуатационной нагрузке $q_{экс} = q_{дл}$ может быть определен по линейной интерполяции между прогибом f_{crc} , непосредственно предшествующим образованию первых трещин, и прогибом f_{ult} , непосредственно предшествующим исчерпанию несущей способности плит:

$$f_{ser} = f_{crc} + (f_{ult} - f_{crc}) \frac{q_{дл} - q_{crc}}{q_{ult} - q_{crc}}, \quad (1)$$

где $q_{crc} < q_{экс} < q_{ult}$, $q_{экс} = q_{дл} = q_n$.

При этом полностью исчезает необходимость в трудоемком вычислении известного и проблемного коэффициента ψ_s .

В формуле (1) $q_{экс} = q_n$ — действующая эксплуатационная нормативная равномерно распределенная нагрузка при коэффициенте надежности $\gamma_f = 1,0$. В большинстве случаев $q_{экс} = q_{дл}$ — длительно действующая нагрузка.

Для шарнирно опертых плит прогиб f_{crc} определяется как для упругой плиты по формулам строительной механики. Для защемленных по контуру плит определение f_{crc} встречает дидактические и психологические трудности. За прогиб f_{crc} следует принимать величины прогиба плит при образовании трещин в пролете ($M_{crc} = R_{bt,n} W_{pl}$), когда тре-

щины в защемлениях уже имеются. Поэтому формулы строительной механики для определения $M_{пр}$ не рекомендуются [7].

Дело в том, что опорные моменты $M_{оп}$ всегда больше, чем $M_{пр}$ [7]. Увеличение пролетного момента $M_{пр}$ до величины M_{crc} приводит к приращению нагрузки в пролете. Это вызывает увеличение величины опорного момента $M_{оп} = M_{crc} + \Delta M$ и в целом увеличение нагрузки $q + \Delta q$.

Расчетная схема плиты в данном случае может быть представлена в виде шарнирно опертой плиты, нагруженной данной нагрузкой Δq и неизвестными моментами $M_{оп} + \Delta M$ вдоль длинной защемленной стороны (т.е. от $q + \Delta q$).

Для определения величин f_{crc} следует принимать $M_{оп} = M_{crc}$ и пользоваться формулами для упругих плит. От нагрузки $M_{оп} = M_{crc} + \Delta M$ (или $q + \Delta q$) для схемы с защемлением по контуру:

$$f = f_{crc} = \alpha \frac{(q + \Delta q)}{D} l_1^4, \quad (2)$$

где q и Δq определяются из формулы:

$$M_{оп} = \beta q l_1^2. \quad (3)$$

Для упругих тел обычно пользуются понятием цилиндрической жесткости:

$$D = \frac{E_b h^3}{12(1 - \mu^2)} \text{ при } \mu = 0,2 \quad (4)$$

Для железобетона как упруго-пластического тела или тела с трещинами коэффициентом Пуассона не пользуются.

Более того в современных нормах и пособиях рекомендуется использовать специальные формулы для определения величины жесткости D :

$$D = E_{b1} \cdot I_{red} \text{ для тела без трещин,} \quad (5)$$

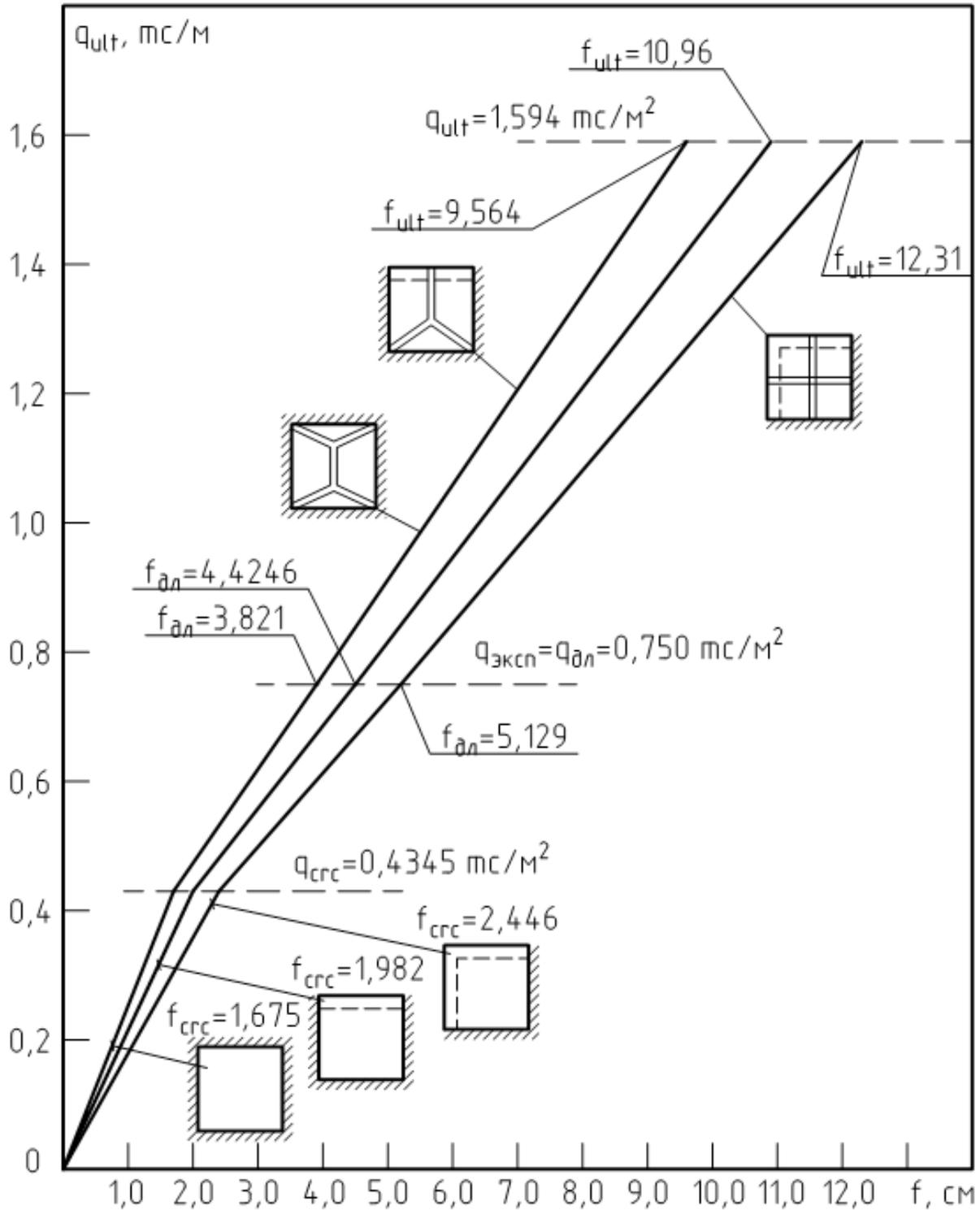
$$D = E_{s,red} A_s Z (h_0 - x_m) \text{ для тела с трещинами.} \quad (6)$$

В формулах (5) и (6) используются приведенными величинами E_{b1} и $E_{s,red}$, особенно при длительном действии нагрузки.

Наибольшую трудность вызывает определение f_{ult} , которая зависит от кривизны $\left(\frac{1}{r}\right)$ [7]:

$$\left(\frac{1}{r}\right) = \frac{R_{s,n}}{h_0 E_s} \left(1 + \frac{1,8 \cdot \alpha_s \mu_s}{\xi_{crc}}\right), \quad (7)$$

Определение прогиба f_{ult} встречает методические трудности. В связи с неопределенностью величин опорных моментов в процессе нагружения, после трещинообразования, становится мало определенной величина σ_s (или



$R_{s,n}$). Следует сделать следующее замечание, смягчающее остроту проблемы. При малых процентах армирования, что характерно для плитных конструкций, в формуле (7) между величиной $(1/r)$ и $R_{s,n}$ существует почти прямолинейная зависимость. Поэтому не столь важно, какую величину вместо $R_{s,n}$ можно использовать.

Однако, несмотря на все преимущества применения метода расчета по предельным состояниям, он представляет серьезную проблему при сочетании с методом ко-

нечных элементов, ориентированным на использование современных программных комплексов.

Современные компьютерные программы расчета строительных конструкций слабо увязывают общие методы решения задач строительной механики с современными нормами, учитывающими новые физико-механические модели. Во многих программах используются линейные зависимости для бетона. В результате нормы проектирования и компьютерные методы развиваются разными пу-

тями. В некоторых программах пластические деформации учитываются с помощью единых, малообоснованных, и слишком округленных коэффициентов. Умалчивание о примененных алгоритмах снижает доверие к программным комплексам. Уязвимость безбалочных перекрытий в прогибах из-за малой жесткости не исключает необходимости поверочных расчетов (после расчетов на ЭВМ) по первой и второй группам предельных состояний.

Для устранения этого противоречия необходимо решить задачу получения предельного состояния рассчитываемой конструкции средствами метода конечных элементов. То же возможно только при условии учета всех нелинейных свойств, проявляемых этой конструкцией к моменту достижения ею предельного состояния, т.е. при учете степени влияния и времени появления каждого отдельного нелинейного свойства.

Данная проблема представляется очень актуальной в современных условиях. Одним из возможных способов её решения является метод дополнительных конечных элементов, изложенный в монографии А.В. Ермаковой [8], и сочетающий три метода расчета конструкций: конечных элементов, дополнительных нагрузок и предельных состояний.

Согласно методике этого расчета процесс изменения нелинейных свойств отдельного конечного элемента при постепенном достижении им предельного состояния моделируется при помощи специально разработанных дополнительных конечных элементов, позволяющих менять свойства основного элемента. Предлагаемые дополнительные конечные элементы позволяют строить вектора

дополнительных нагрузок независимо от характера наблюдаемых нелинейных свойств основных элементов.

Дополнительные нагрузки могут быть построены тремя способами на основе: дополнительных конечных элементов общего вида, меняющих матрицы жесткости основных элементов; дополнительных элементов первого типа, меняющих напряженное состояние основных элементов, и дополнительных элементов второго типа, меняющих деформированное состояние основных конечных элементов.

Для описания предельного состояния всей конструкции предлагается использовать идеальную модель ее разрушения, представляющую расчетную схему этой конструкции в момент предельного равновесия. Она состоит из двух: расчетной схемы из основных конечных элементов с линейными свойствами и расчетной схемы из дополнительных элементов с нелинейными свойствами, соответствующих данной стадии предельного состояния.

Расчетная схема из дополнительных элементов изменяет исходную схему из линейных элементов таким образом, чтобы она соответствовала достигнутой к данному моменту стадии предельного состояния конструкции; в предельной стадии она превращает исходную расчетную схему в идеальную модель разрушения конструкции.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что предлагаемая методика достаточно проста и может служить основой для алгоритмов и программ, реализующих расчет конструкций по предельным состояниям, в том числе и для расчета монолитных железобетонных безбалочных перекрытий с отверстиями.

Литература:

1. Скоробогатов С.М., Хомяков В.А., Морданов О.Н., Морданова Е.С. Классификация катастроф железобетонных конструкций // Вестник УрГУПС, 2010, №4. — С. 63–71. ISSN 2079–0392.
2. Расчет пластин методами граничной коллокации: монография / Машкин О.В., Рогалевиц В.В., — Екатеринбург: Издательство АМБ, 2011. — 76 с.
3. Железобетонные плиты с отверстием [Зиновьева Р.В. и др.]. — М.: Стройиздат, 1975. — 112 с.
4. Скоробогатов С.М. Поверочные расчеты безбалочных бескапитальных монолитных железобетонных перекрытий по второй группе предельных состояний (прогибы, трещины) // Для бакалавров, инженеров и магистрантов специальности ПГС. — Екатеринбург: УрГУПС, — 2011. — 80 с.
5. Руководство по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций // НИИЖБ. — М.: Стройиздат, 1975. — 193 с.
6. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями — М.: Стройиздат, 1979. — 63 с.
7. Проектирование железобетонных конструкций // Справочное пособие [Под ред. А.Б. Голышева]. — Киев, Будівельник, 1990. — 543 с. (см. главу «Расчет плит», стр. 360–373).
8. Ермакова А.В. Метод дополнительных конечных элементов для расчета железобетонных конструкций по предельным состояниям. — М.: АСВ, 2007. — 128 с.

10. АРХИТЕКТУРА

Градостроительные аспекты формирования малоэтажной застройки в Кузбассе

Петерс Елена Викторовна, кандидат архитектуры, доцент
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

Кузбасс является сложившейся региональной системой расселения и производства. Наличие природно-территориальных и производственных ресурсов, а также удобных транспортно-коммуникационных связей определяет потенциал развития отдельных поселений и всего региона. Населенные пункты области характеризуются разными типологическими признаками (сложившиеся угольные города; центры обрабатывающей промышленности; поселения транспортного типа, рекреационные поселки). Разные функциональные характеристики предполагают отличные сценарии формирования и развития как в экономическом и инженерно-техническом, так и в архитектурно-планировочном аспектах.

Население распределено по территории области неравномерно. Ареалы наиболее интенсивного заселения расположены в угольном бассейне, занимающем преимущественно Кузнецкую котловину. Промышленность, занимая значительную часть городских территорий, оказывает влияние на формирование планировочной структуры и архитектурного облика поселений. Во многих городах Кузбасса (Прокопьевск, Киселевск, Междуреченск) экономика почти полностью зависит от угледобычи, что обуславливает монопрофильность поселений (фактически, рабочих поселков при добывающих предприятиях) и не создает условий для устойчивого развития. Сложившаяся ситуация требует формирования многопрофильной градообразующей базы и комплексного развития инженерно-транспортной инфраструктуры для создания условий, обеспечивающих интеграцию между поселениями в социально-экономической, культурно-бытовой и рекреационной сферах.

Процесс экономического развития области сопровождался созданием крупных городских агломераций при рассредоточенном расселении, т.е. формированием нерациональных систем расселения. Сложившаяся система расселения нуждается в развитии и преобразовании в групповую, объединяющую населенные места повседневными связями в сфере труда, быта и отдыха.

Характер и трассировка транспортных сетей во многом определяют величину зоны влияния разных населенных пунктов. Кроме того, в условиях расчлененной планировочной структуры большинства поселений Кузбасса затраты времени на трудовые и культурно-бытовые передвижения имеют особое значение. Для решения этих

задач необходимо формирование единой транспортной сети, которая обеспечит территориальную общность, доступность любого структурного элемента в границах системы расселения.

Все градостроительные преобразования необходимо проводить на основе сложившегося планировочного районирования и преемственного развития. Для повышения качества городской среды необходимо рациональное функциональное зонирование, сохранение архитектурно-пространственной среды поселений и историко-культурного наследия, формирование новой жилой застройки с повышенной комфортностью среды. Для обеспечения эффективной защиты населения от неблагоприятных факторов окружающей среды и сохранения экологического равновесия необходим учет санитарно-гигиенических требований. Для формирования комфортной и эстетически полноценной градостроительной среды необходимо упорядочивание планировочной структуры и функциональной организации поселений. Кроме того, важны и композиционно-эстетические аспекты проектирования: величина, планировочная и объемно-пространственная структуры поселения должны обеспечивать удобную связь с окружающим природным или сельскохозяйственным ландшафтом, сохранять систему визуальных ориентиров.

Этим требованиям отвечает градостроительная концепция дезурбанизации крупных промышленных городов, вынос части селитебных и общественных функций в автономные поселения, сетевая организация расселения, т.е. образование городов и поселков — спутников с малоэтажной застройкой. Одним из важных преимуществ малоэтажного жилья является экологическое соответствие современным требованиям эксплуатации. В малоэтажном строительстве возможно широкое применение энергоэффективных технологий, оптимизирующих эксплуатационные расходы. Привлекательной чертой малоэтажной застройки является расположение в удалении от загруженных транспортных магистралей, промышленных объектов и других источников загрязнения окружающей среды.

В Кузбассе малоэтажное жилищное строительство находится на этапе развития. До 2006 г. существовали только отдельные коттеджные поселки и зоны малоэтажного строительства со стихийной застройкой. В 2006 г. в

Кемеровской области началось комплексное освоение территорий под крупные проекты малоэтажной застройки. Основные проекты в сфере малоэтажного строительства, реализуемые на территории Кемеровской области представлены на рис. 1. На территории области можно выделить два основных ядра притяжения комплексной малоэтажной застройки: города Кемерово и Новокузнецк.

В области действует подпрограмма «Развитие малоэтажного индивидуального жилищного строительства» в рамках долгосрочной целевой программы «Жилище». Основной целью подпрограммы является создание условий для развития малоэтажного индивидуального жилищного строительства на территории Кемеровской области. Подпрограмма предусматривает выделение муниципальным образованиям средств областного бюджета на обеспечение земельных участков под малоэтажное строительство коммунальной инфраструктурой. Предпосылки для развития малоэтажного строительства:

- наличие значительного объема земельного фонда, пригодного для ведения малоэтажной застройки (участки должны располагаться вблизи существующих населенных пунктов в благоприятной экологической ситуации с удобной транспортной доступностью);

- высокая обеспеченность качественными дорогами общего пользования,

- высокая плотность населения и высокая доля городского населения.

В Кузбассе при общей численности населения 2 821,6 тыс. чел. плотность населения составляет 29,5 чел./км², а удельный вес городского населения — 84,9% (данные по состоянию на 2010 г.). Для развития отрасли малоэтажного строительства Кемеровская область обладает достаточными человеческими ресурсами. Уровень доходов населения позволяет говорить о возможности приобретения собственного комфортного жилья.

В настоящее время Кузбасс занимает одно из лидирующих положений в России по малоэтажному строительству. Первым масштабным проектом региона стало открытие в 2008 году города-спутника Лесная Поляна. Этот проект президент РФ Д.А.Медведев назвал лучшим в стране. Экспериментальный инвестиционный проект комплексного освоения территории — строительство города-спутника (нового планировочного района) «Лесная поляна» — является самым крупным в области. Он реализуется с 2006 г., окончание планируется к 2017 г. Жителями «Лесной поляны» станут 35 тыс. чел. Инициатор проекта — областная администрация, при поддержке Правительства РФ (специальное Постановление №265 от 5 мая 2007 г.). Бюджетные средства были инвестированы в создание социальной инфраструктуры, а также внешних инженерных сетей и подъездных дорог.

«Лесная поляна» вошла в перечень пилотных проектов РФ по отработке технологий комплексной застройки территорий. Предполагается, что наработанный в ходе реализации проекта опыт будет использован на территории других регионов России. В проекте «Лесная

Поляна» заложены перспективы полномасштабного использования формирующегося строительного кластера области и создания условий для размещения экономической зоны (технопарка). Проект представляет собой новый для региона тип поселения, позволяющий реализовать все приоритеты развития — диверсификация экономики, рост инноваций, возможности приобретения качественного и комфортного жилья по доступной цене, рост качества жизни. В «Лесной Поляне» используются как передовые методы архитектурно-планировочного решения, позволяющие минимизировать воздействие на окружающую среду, рационально сформировать инженерную инфраструктуру, так традиционные технологии, позволяющие сохранять экологическое равновесие ландшафта.

Жилой массив «Лесная поляна» расположен в экологически чистой местности, в окружении таежных лесов и горных склонов, по близости от водных объектов (озер и рек). «Лесная поляна» — комплексное образование, включающее помимо жилья всю необходимую инженерную и социальную инфраструктуру. К особенностям планировочной структуры в «Лесной поляне» можно отнести чередование участков средней и низкой плотности застройки с развитием системы открытых парков, скверов, дворики. Проектом предусматривается ввод в эксплуатацию значительного количества объектов социально-бытового обслуживания, в т.ч. Центра знаний, школ, детских садов, поликлиники, Центра зимних и летних видов спорта, культурно-развлекательных центров, торговых предприятий, кинотеатров, кафе и ресторанов, аптек, отделений банков, технопарка, бизнес-центра и др. Следует отметить высокий уровень благоустройства и озеленения территории: скверы, парки с пешеходными и велосипедными дорожками, искусственные водоёмы, спортивные и детские игровые площадки.

В поселке сочетаются разные типы застройки. Помимо индивидуальных домов и домов на два хозяина (дуплексов) в застройке есть многоквартирные дома домами, а также блокированные жилые дома (таунхаусы). В многоквартирных домах жилого комплекса «Лесная Сказка» (строительство которого планируется завершить к 2013 г.) активно внедряются инновационные энергоэффективные технологии.

«Лесная поляна» — один из первых российских проектов массовой малоэтажной застройки, включающий строительство жилья для семей с разным уровнем доходов и создание современной социальной и деловой инфраструктуры. В проекте широко используются механизмы государственно-частного партнерства. Значительное внимание уделяется строительству жилья для молодых семей и отдельных льготных категорий граждан.

Для застройки разработан ряд проектов, учитывающих социально-демографические требования и основанных на принципе использования широко распространенных местных материалов. На технополигоне города-спутника потенциальным новоселам были представлены те

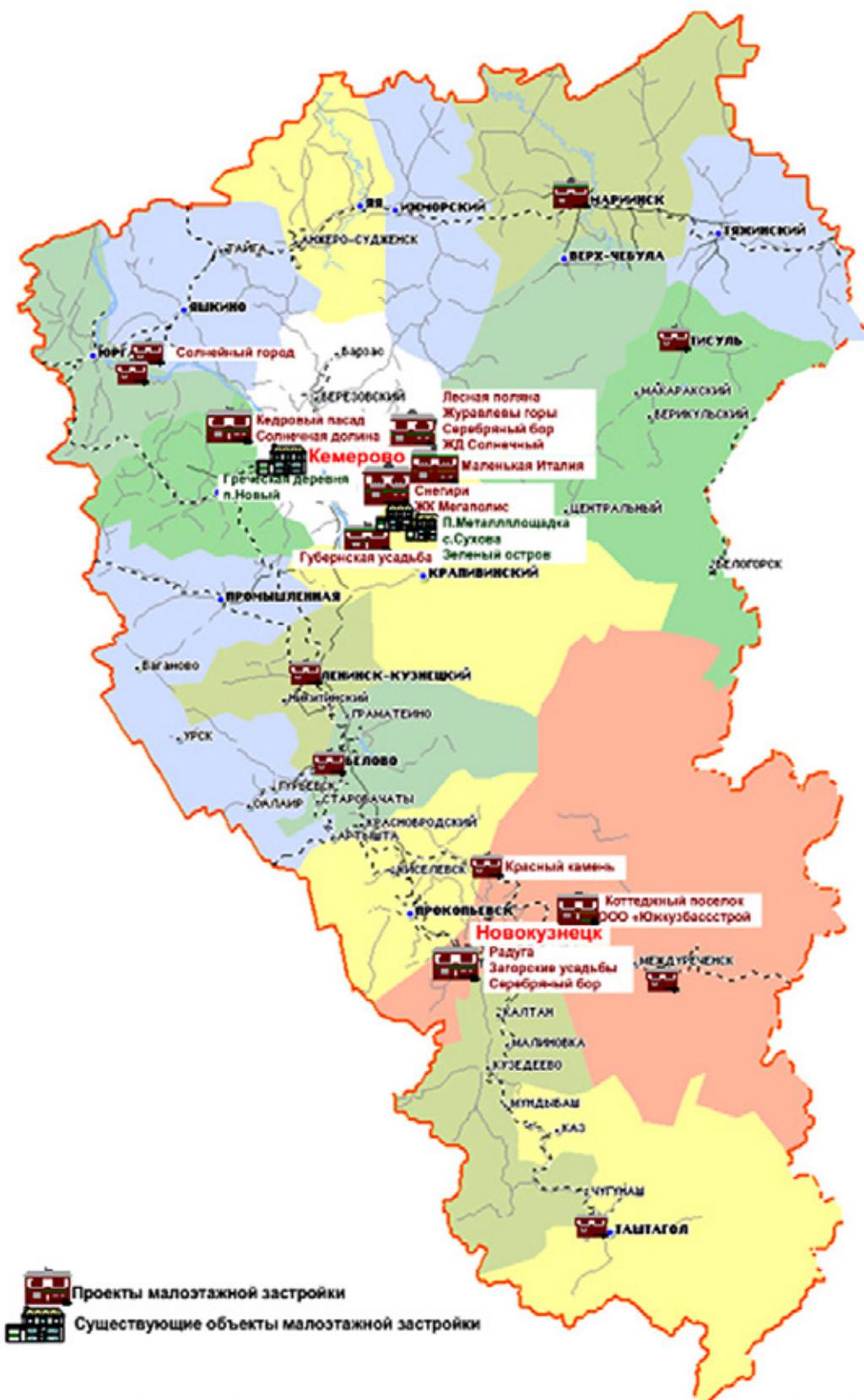


Рис. 1. Основные проекты в сфере малоэтажного строительства Кузбасса

проекты жилья, которые можно было исполнить в Сибири, используя различные технологии: кирпичную кладку, каркасную, монолитную, сборную, «Теплостен», брус. Каждый вариант имеет свои преимущества и стои-

мость, что позволяет потенциальным жителям выбирать дома, основываясь на собственных предпочтениях. В порядке эксперимента при проектировании жилых домов в «Лесной Поляне» использовались канадские нормы про-



Рис. 3. Поселок «Маленькая Италия»



Рис. 4. Примеры застройки поселка «Маленькая Италия»

улицы, пешеходные дорожки, декоративный фонтан, детская и спортивная площадки. Территория поселка разделена пешеходным бульваром с устройством тротуаров, зеленых насаждений, малых архитектурных форм, скамеек и детских игровых площадок. Планируется строительство объектов культурно-бытового обслуживания.

Все дома построены в едином классическом стиле, но при этом они отличаются друг от друга, подчеркивая индивидуальность каждого владельца. Жилые дома имеют свободную планировку, предусматривающую формирование для каждой семьи личного индивидуального пространства. Все коттеджи построены по экологически чистым и энергосберегающим технологиям. В домах предусмотрены ленточные фундаменты из монолитного железобетона (глубина заложения 3–3,5 м), в качестве материала для стен используется кирпич и клееный брус, перекрытия железобетонные и по деревянным балкам. Для внешней отделки домов использовалась декоративная штукатурка, искусственный камень, а также современные кровельные материалы.

Помимо этого, в окрестностях Кемерова ведется строительство поселка таунхаусов «Снегири» (рис. 5.) и «Журавлевы Горы».

Неподалеку от деревни Журавлево в конце 2008 г. был сдан в эксплуатацию коттеджный поселок «Серебряный бор». Он представляет собой комплекс, состоящий из 98 индивидуальных и блокированных домов, а также общественного центра. Дома высокой степени комфортности расположены в сосновом бору с сохранением ландшафта и природного микроклимата.

На настоящий момент в области малоэтажная комплексная застройка ведется на 30 площадках, в т.ч. в Киселевске коттеджный поселок «Горняк», в Ленинск-Кузнецком квартал «Кемеровский», в Юрге микрорайон «Солнечный», в Новокузнецком районе — «Загорские усадьбы».

В Новокузнецке строится небольшой поселок из 40 коттеджей с прилегающими земельными участками площадью 0,18–0,25 га. Строительство крупного коттеджного поселка (600 тыс. кв. м) в окрестностях Новокуз-



Рис. 5. Поселок «Снегири»



Рис. 6. Поселок «Серебряный бор»

нецка ведет компания «Южкзбасстрой». При создании проекта коттеджных поселений в Новоильинском районе архитекторы учли опыт кемеровского поселка Лесная поляна. Новоильинский район Новокузнецка по периметру «обрастает» малоэтажной застройкой, которая должна гармонично вписываться в структуру высотной. Речь идет о формировании застройки с комфортным жильем, с централизованным тепло- и водоснабжением, вывозом мусора, развитой инфраструктурой, хорошими дорогами.

Предполагается строительство коттеджных поселков — в районе с. Бедарево, а также комплекс из высотных и малоэтажных зданий в микрорайоне №24.

В Юрге реализуется проект строительства 46 коттеджей на 13,5 га городской земли. Микрорайон получил название «Солнечный». Другая юргинская компания ведет строительство комплекса из 15 двухквартирных таунхаусов; площадь квартир — 170 м².

В г. Киселевске ведется строительство малоэтажного жилого комплекса общей площадью более 7 тыс. м². Реализация этого проекта осуществлялась ОАО «СУЭК»,

некоммерческим фондом «СУЭК — регионам» и администрацией Киселевска.

Востребовано малоэтажное жилье и в Гурьевском районе, где под его строительство собираются отведена одна из улиц.

Две площадки выделены под индивидуальное строительство в Таштаголе.

Основная доля малоэтажного строительства приходится на коттеджи (47%); 38% составляют блокированные жилые дома (таунхаусы) и дома на 2–4 владельцев; 18% — малоэтажные многоквартирные дома. Основными игроками строительного рынка Кузбасса сегодня являются ассоциация «Промстрой», «Кемеровогражданстрой» и «СДС-финанс». Активно инвестирует в строительство УК «Кузбассразрезуголь».

В числе приоритетных направлений по развитию строительного комплекса Кузбасса до 2020 г. также значатся: необходимость использования строительных материалов местного производства, а также применение альтернативных материалов, позволяющих снизить энерго- и ресурсозатраты при строительстве и эксплуатации.

Литература:

1. Материалы пресс-службы администрации Кемеровской области.
2. <http://pppcenter.ru/ru/news/events/maloehzhnoe-stroitelstvo-pomozhet-vyvesti-stranu-iz-krizisa>.
3. Пивоваров, Ю.Л. Основы геоурбанистики. / Ю.Л. Пивоваров. — М.: Гуманит. Изд. Центр ВЛАДОС, 1999.
4. Перцик, Е.Н. География городов. География мировой урбанизации / Е.Н. Перцик. — М.: «Международные отношения». — 1999.
5. Фукс, Л.П. Расселение в Западной Сибири: самоорганизация и управление, итоги и проблемы / Л.П. Фукс. — Новосибирск : Изд-во ПРО: Агентство «Сибпринт», 2003. — С. 140.

11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Использование свободного программного обеспечения в техническом вузе

Карасева Лилия Мударисовна, ассистент

Филиал Уфимского государственного авиационного технического университета в г. Стерлитамаке

В данной статье рассматривается возможность использования свободного и открытого программного обеспечения (ПО), способного заменить проприетарные аналоги, в техническом вузе.

При переходе к свободному ПО возникают следующие проблемы. Во-первых, замена имеющейся лицензионной операционной системы на новую, а также установка всех необходимых для учебного процесса программ и проведение всех необходимых настроек является достаточно трудоемким процессом. Во-вторых, необходимость переобучения обслуживающего персонала и преподавательского состава. В третьих, остается актуальным готовить специалистов, обладающих навыками работы с коммерческим программным обеспечением, наиболее востребованным на месте работы будущего молодого специалиста. А это, как правило, программное обеспечение для платформы MS Windows.

Кроме того, у значительного числа преподавателей и студентов дома имеются компьютеры с операционной системой MS Windows и предназначенным для нее ПО. Естественно, что невозможно заставить этих пользователей переходить на открытую операционную систему, но при этом не должно возникать полной несовместимости используемых дома и в вузе программных средств.

Поэтому обязательным является использование мультиплатформенного ПО, работающего как под Windows, так и под другими операционными системами, способного заменить проприетарные аналоги.

Чаще всего изучение объектно-ориентированного программирования осуществлялось с помощью интегрированной среды разработки приложений Delphi, ориентированных на работу в Windows. Но из-за большой стоимости его лицензионного пакета даже для образовательных учреждений и появления в мире OpenSource разработок в этой области можно рассмотреть возможность перехода на кроссплатформенную среду разработки приложений Lazarus.

Lazarus — свободная среда разработки программного обеспечения для компилятора Free Pascal Compiler с добавлением Интегрированной Среды Разработки (IDE), которая переведена на различные языки, в том числе на русский. Он распространяется на условиях GNU General Public License, а значительная часть библиотек, в том числе LCL — на условиях GNU Lesser General Public License.

Важным преимуществом Lazarus является современный оконный интерфейс. Поскольку пользователи

уже привыкли к внешнему виду, продиктованному операционной системой Windows [4].

Подобно Delphi, Lazarus является средой RAD (от англ. rapid application development — быстрая разработка приложений), позволяющей быстро создавать пользовательский интерфейс и является многоцелевым инструментом программирования, то есть может создавать программы различных типов, включая консольные приложения, динамически-подгружаемые библиотеки (DLL), GUI приложения.

Пункты меню изобилуют всевозможными настройками среды, а также оставшимися в наследство настройками командной строки компилятора, что позволяет производить тонкую настройку всех этапов компиляции и сборки проекта.

IDE Lazarus включает в себя подсветку синтаксиса, редактор кода и визуальный проектировщик форм, а также библиотеку компонентов, которая очень хорошо совместима с Библиотекой Визуальных Компонентов Delphi (VCL). По количеству компонентов Lazarus пока уступает Delphi. Тем не менее, имеется основной набор компонентов, а также компоненты для связи с базами данных. Библиотека визуальных компонентов Lazarus (LCL) включает эквиваленты для большинства элементов управления из VCL, например, формы, кнопки, текстовые поля и так далее, которые используются для создания приложений, имеющих графический интерфейс (GUI). Кроме того, имеется возможность преобразования проектов Delphi в проекты Lazarus.

В отличие от Delphi, Lazarus является кроссплатформенной средой. Поддерживаются такие ОС, как GNU/Linux, Microsoft Windows, Mac OS X, FreeBSD, WinCE. В отличие от Java, .Net и т.п. Lazarus создаёт не промежуточный, а машинный код. Такой код не нуждается в интерпретаторе и работает в десять раз быстрее, чем промежуточный код [4].

Но это преимущество так же является и его основным недостатком. Так как программы на Lazarus переводятся в машинный код, то необходимо каждый раз компилировать программу для различных операционных систем. При стандартных настройках скомпилированный

файл имеет очень большой размер, так как включает отладочную информацию. Размеры разрабатываемых приложений также велики. В первую очередь это связано с особенностью компилятора FreePascal, который не поддерживает работу динамических библиотек. А потому должен включать в себя все используемые пакеты. То же самое касается и собственно среды разработки, которую необходимо пересобирать каждый раз при добавлении нового пакета [1].

Учебные заведения технической направленности также не могут обойтись без систем автоматизированного проектирования (САПР), производства и расчетов. И так как некоторые задачи вообще невозможно решить без помощи компьютера, то без математических пакетов не обойтись. Более того, к системам символьной математики сегодня прибегают даже теоретики, например для проверки своих гипотез.

Современные математические пакеты можно использовать и как обычный калькулятор, и как средства для упрощения выражений при решении каких-либо задач, и как генератор графики или даже звука.

Отметим только, что спектр задач, решаемых подобными системами, очень широк:

- проведение математических исследований, требующих вычислений и аналитических выкладок;
- разработка и анализ алгоритмов;
- математическое моделирование и компьютерный эксперимент;
- анализ и обработка данных;
- визуализация, научная и инженерная графика;
- разработка графических и расчетных приложений [5].

Примерами и первооткрывателями здесь являются Maple, Mathcad и Matlab.

Но, несмотря на все положительное, что могут дать эти замечательные математические пакеты, есть один большой минус в этих системах — это деньги, которые необходимо платить, чтобы получить доступ ко всем их возможностям. Но приобрести полный пакет всего необходимого лицензионного программного обеспечения может себе позволить не каждое высшее учебное заведение, не говоря уже об обычных физических лицах.

И здесь на помощь образовательным учреждениям и студентам приходят свободно распространяемые программные продукты, например, Scilab и Maxima, которые можно рассматривать как альтернативы Matlab, Maple или Mathcad.

Scilab — пакет прикладных математических программ, предоставляющий мощное открытое окружение для инженерных (технических) и научных расчетов. Он содержит сотни математических функций, и есть возможность добавления новых, написанных на различных языках (C, C++, Fortran и т.д.). Также имеются разнообразные структуры данных (списки, полиномы, рациональные функции, линейные системы), интерпретатор и язык высокого уровня. Продукт был спроектирован как

открытая система, и пользователи могут добавлять в него свои типы данных и операции путём перегрузки.

В системе доступно множество инструментов:

- 2D и 3D графики, анимация;
- линейная алгебра, разреженные матрицы;
- полиномиальные и рациональные функции;
- интерполяция, аппроксимация;
- симуляция: решение ОДУ и ДУ;
- Scicos: гибрид системы моделирования динамических систем и симуляции;
- дифференциальные и не дифференциальные оптимизации;
- обработка сигналов;
- параллельная работа;
- статистика;
- работа с компьютерной алгеброй;
- интерфейс к Fortran, C, C++, Java, LabVIEW.

Scilab имеет схожий с Matlab язык программирования. В состав пакета входит утилита, позволяющая конвертировать документы Matlab в Scilab.

Он позволяет работать с элементарными и большим числом специальных функций, имеет мощные средства работы с матрицами, полиномами, производить численные вычисления и решение задач линейной алгебры, оптимизации и симуляции, мощные статистические функции, а также средство для построения и работы с графиками [2].

Maxima — свободная система компьютерной алгебры, написанная на языке Common Lisp.

Математический пакет имеет широчайший набор средств для проведения аналитических вычислений, численных вычислений и построения графиков. По набору возможностей система близка к таким коммерческим системам как Maple и Mathematica.

Maxima, как подобные системы аналитических вычислений (СAB), умеет преобразовывать выражения: упрощать, приводить подобные, раскрывать скобки или, наоборот, группировать подобные члены. Она умеет вычислять производные, пределы и интегралы, решать системы алгебраических и дифференциальных уравнений, производить вычисления с матрицами. Может упрощать и преобразовывать тригонометрические выражения. Все это делается точно, аналитически. Также хорошо известно — подавляющая часть информации поступает к человеку через зрение, поэтому без визуализации математических данных не обойтись.

Помимо основных математических возможностей, каждая система аналитических вычислений имеет встроенный язык программирования. С помощью этого языка возможности системы можно расширять, и каждая CAB имеет большую библиотеку пакетов для решения специальных математических задач.

С самого начала Maxima развивалась прагматически. В результате получилась программа, довольно простая в освоении и использовании людьми даже без специальной подготовки. Кроме того, пакет имеет несколько оболочек, лучшей из которых является wxMaxima. Ну а продвинутые

пользователи, несомненно, оценят тесную интеграцию Maxima с языком Lisp, на котором система реализована.

Maxima отлично документирована — объемное справочное руководство описывает практически все встроенные функции системы. Это руководство интегрировано в программу в виде онлайн-справочника, оснащенного средствами поиска. Не прерывая работы с Maxima, можно легко найти необходимый справочный материал [5].

Еще раз отметим, что Scilab и Maxima работают не только на персональных компьютерах, оснащенных популярными операционными системами Windows, но и под управлением операционных системы Linux, UNIX, Mac OS. Они давно знакомы пользователям и широко распространены на всех платформах — от наладонника до суперкомпьютера [3].

Итак, рассмотренное выше приложение Lazarus может использоваться при обучении программно-ориентирован-

ному программированию, а Scilab и Maxima удобны в освоении и применении, охватывают практически все области математики и инженерных расчетов, что позволяет использовать их при решении различных задач науки, техники и образования.

В последнее время появилось достаточное количество документации по IDE Lazarus, Maxima и Scilab на русском языке в виде статей в сети Интернет, а так же и в печатных изданиях, что способствует его лучшему внедрению в образовательный процесс.

В заключение следует отметить, что свободное ПО, рассматриваемое в статье, является результатом коллективного труда программистов, работа над которым продолжается по сей день. Кроме того, оно обладает кроссплатформенностью и ведет к снижению материальных затрат, что делает его вполне способным конкурировать со своими коммерческими аналогами.

Литература:

1. Free Pascal и Lazarus: Учебник по программированию / Е.Р. Алексеев, О.В.Чеснокова, Т.В.Кучер — М.: ALT Linux, 2010. — 438 с. : ил.
2. Алексеев Е.Р. Scilab: Решение инженерных и математических задач / Е.Р. Алексеев, О.В. Чеснокова, Е.А. Рудченко. — М.: ALT Linux ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. — 260 с.
3. Житников В. Компьютеры, математика и свобода // Компьютерра, № 16 (636) 26 апреля 2006 г.
4. Рудюк С.А. Lazarus — кроссплатформенный Delphi. Программирование для свободных людей. 2006. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.realcoding.net/articles/lazarus-delphi-kross-platformennyy-programmirovanie-dlya-svobodnykh-lyudei.html>.
5. Татарников О. Обзор программ для символьной математики // КомпьютерПресс № 7, 2006.

Оценка влияния работы калориферных установок на эффективность проветривания калийных рудников

Николаев Александр Викторович, ассистент

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Верхнекамское месторождение калийно-магниевых солей (ВКМКС) занимает второе место в мире по запасам полезного ископаемого. В настоящее время добыча калийных солей осуществляется на рудниках БКПРУ-2, БКПРУ-4 (г. Березники), СКРУ-1, СКРУ-2, СКРУ-3 (г. Соликамск). Готовятся к вводу в эксплуатацию рудники Усольского и Усть-Яйвенского калийных комбинатов.

Добыча полезного ископаемого на действующих и проектируемых рудниках ведется (предполагается) подземным способом, в связи с чем возникает необходимость обеспечения проветривания данных предприятий.

Проветривание рудников неизбежно сопровождается возникновением естественной тяги (тепловой депрессии) — явлением, получившим свое название из-за естественного происхождения, зависящего только от происходящих в природе физических процессов. Возникновение тепловой депрессии обусловлено разностью плот-

ностей (удельного веса) столбов воздуха в вертикальных и наклонных выработках рудника. Движение воздуха вызвано конвективным теплообменом, т.е. когда более холодный воздух стремиться опуститься вниз, а более теплый — подняться вверх.

Величина и направление естественной тяги определяет ее влияние на вентиляционную сеть. В случае если направление тяги совпадает с заданным (необходимым) направлением движения воздуха в руднике, ее принято называть положительной естественной тягой. Если естественная тяга направлена встречно движению потока воздуха, то это явление препятствует нормальному режиму проветривания — отрицательная естественная тяга.

Величина тепловых депрессий, действующих между стволами, определяется по формуле

$$h_e = 9,81 \cdot (\rho_{cp,i} - \rho_{cp,j}) \cdot H_{сте}, \text{ Па} \quad (1)$$

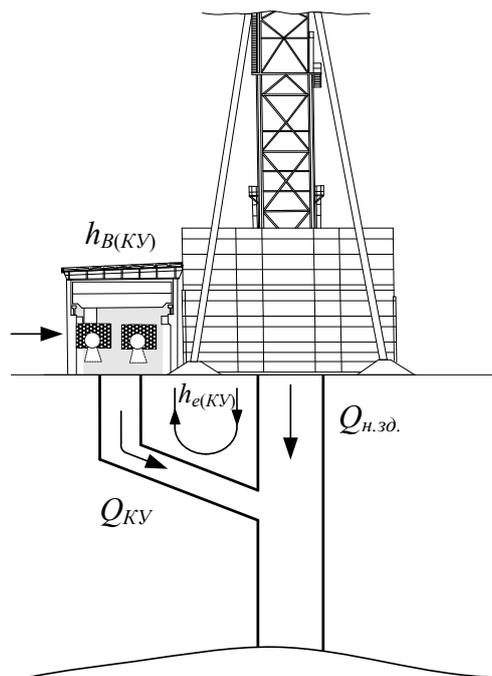


Рис. 2. Возникновение тепловой депрессии при работе калориферной установки

$Q_{КУ}$ – объем воздуха, проходящий через калориферную установку; $Q_{н.зд.}$ – инфильтрации через надшахтное здание; $h_{e(KУ)}$ – давление, развиваемое нагнетательными вентиляторами

Кроме того, в работе [6] было установлено, что подача в стволы воздуха с одинаковой температурой не будет исключать возможность возникновения тепловых депрессий, действующих между стволами. Причиной тому является разность высотных отметок (взаимного расположения) стволов.

Таким образом, необходимо исследовать влияние тепловых депрессий, действующих между стволами, на воздухораспределение между ними и величину общерудничной естественной тяги при различных режимах работы КУ и вариантах расположения стволов.

Отличительной особенностью калийных рудников как объектов проветривания является то, что основная часть общешахтной депрессии (до 85%) затрачивается в воздухоподающих и вентиляционном стволах. Поэтому изменение аэродинамического сопротивления стволов существенно влияет на воздухораспределение в руднике.

Согласно [7], аэродинамические сопротивления стволов зависят от их типа (клетевой или скиповой), сечения и глубины. Последний параметр учитывается при расчете h_{ei} в формуле (1). Для различного типа стволов значения аэродинамического сопротивления (зависящего от сечения), а, следовательно, и рассчитанные по ним средние плотности воздуха в стволах [8], будут различными.

В связи с этим в расчетах, приведенных в данной работе, для исключения влияния аэродинамических сопротивлений стволов на корректность результатов условно принято, что все стволы являются клетевыми, по ним в рудник подается $Q_{ш} = 300 \text{ м}^3/\text{с}$ воздуха, при помощи вен-

тилятора ГВУ ВРЦД-4,5 ($n = 500 \text{ об/мин}$) [6]. Коэффициент поверхностных утечек принимался равным стандартным при проектировании систем вентиляции рудников 25% (0,25 о.е.) [7, 8].

При работе КУ необходимо поддерживать значение температуры воздуха, поступающего в стволы не ниже $+2^\circ\text{C}$ [3], по верхнему пределу, т.е. выше $+2^\circ\text{C}$, изменение температуры не запрещается. Таким образом, поддерживая в одном из воздухоподающих стволов требуемую температуру $+2^\circ\text{C}$, можно увеличивать температуру воздуха, подаваемого по второму стволу.

При подобного рода регулировке следует обращать внимание на то, что на нагрев воздуха расходуется источник внешней энергии: природный газ – на нагрев воды, подаваемой в трубки теплообменников КУ, электроэнергия – расходуемая на нагрев электрокалориферов и т.д. Поэтому для каждого конкретного случая на определенном руднике следует оценивать экономическую целесообразность подобного рода регулирования.

Основной задачей данных исследований являлась проверка возможности способа регулирования работы КУ, при различных схемах взаимного расположения стволов рудника (рис. 3).

В табл. 1 приведены результаты расчета тепловых депрессий, действующих между стволами (h_{ei}) и общерудничной естественной тяги (h_e) для различных вариантов расположения стволов (рис. 3) для следующих условий. При равной температуре ($\Delta t = 0$) и при разности температур ($t_1 <> t_2$) воздуха, подаваемого в стволы.

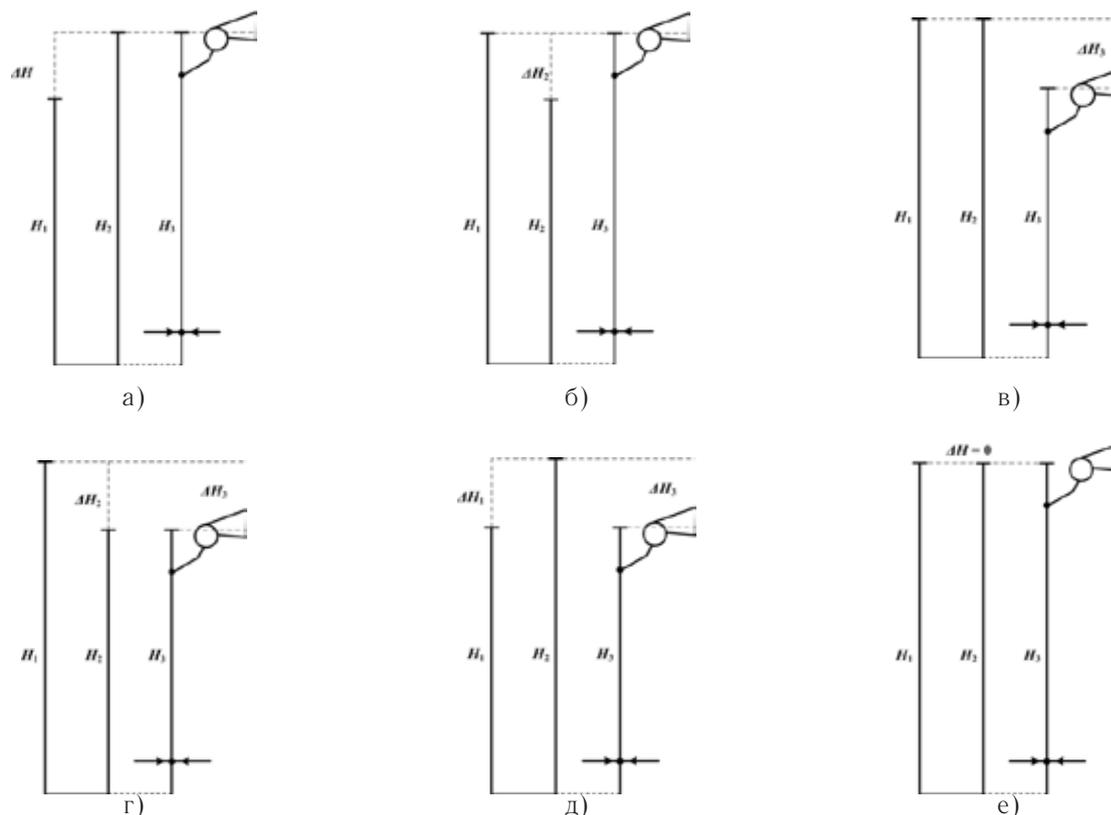


Рис. 3. Различные варианты расположения стволов

Температура воздуха условно принималась соответственно: минимальная $+2^{\circ}\text{C}$, максимальная $+5^{\circ}\text{C}$. Температура наружного воздуха в наиболее холодную пятидневку согласно [10] принималась равной -36°C .

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показал следующее. При расположении стволов по схемам б и г (рис. 3), увеличение температуры воздуха, подаваемого по стволу №2, приведет к увеличению отрицательной тепловой депрессии h_{e2} , однако при этом значительно снизится отрицательное действие тепловых депрессий h_{e1} и h_{e3} , а также общерудничной естественной тяги h_e .

При равной температуре воздуха, подаваемого в воздухоподающие стволы, расположенные по схемам а и д (рис. 3), между стволами будут возникать положительная h_{e1} и отрицательная h_{e2} , значительных по своей абсолютной величине, что может привести к изменению воздухораспределения между стволами. Увеличение температуры воздуха, подаваемого по стволу №1, при-

ведет к снижению положительной тепловой депрессии h_{e1} , что будет способствовать более равномерной подаче воздуха по стволам. Однако, при этом значительно увеличится отрицательная общерудничная естественная тяга h_e .

При расположении стволов по схемам в и г (рис. 3), необходимости изменять разность температур воздуха, подаваемого по воздухоподающим стволам, отсутствует, а, следовательно, наоборот, следует поддерживать равное их значение.

Таким образом, при проветривании рудников в холодное время года необходимо учитывать взаимное расположение стволов, их назначение (скиповой или клетевой), в результате чего появляется возможность определить режим работы КУ, исключая возможность образования «воздушной пробки» в одном из воздухоподающих стволов и способствующий рациональному использованию тепло- и энергоресурсов.

Литература:

1. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Расчет величины общерудничной естественной тяги // Воздушная завеса и общерудничная естественная тяга: Отдельные статьи Горного информационно-аналитического бюллетеня (научно-технического журнала). — М.: Издательство «Горная книга». — 2001. — №5. — С. 18–26.
2. Алыменко Н.И., Николаев А.В. Влияние тепловых депрессий, действующих между стволами, на величину общерудничной естественной тяги // Рудник будущего: проекты, технологии, оборудование. — Пермь, 2011. — №3. — С. 106–107.

Таблица 1

Изменение тепловых депрессий и общерудничной естественной тяги при работе КУ

| Расположение стволов (рис. 3) | Изменение температуры | h_{e1} , Па | h_{e2} , Па | h_{e3} , Па | h_e , Па |
|----------------------------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| Схема а | $\Delta t = 0$ | 37,077 | -88,006 | -50,929 | -101,858 |
| | $t_1 > t_2$ | 0,304 | -88,006 | -87,702 | -175,404 |
| | $t_2 > t_1$ | 75,773 | -122,779 | -47,006 | -94,012 |
| Схема б | $\Delta t = 0$ | -37,077 | -50,929 | -88,006 | -176,012 |
| | $t_1 > t_2$ | -75,773 | -50,929 | -126,701 | -253,403 |
| | $t_2 > t_1$ | -0,304 | -83,779 | -84,083 | -168,166 |
| Схема в | $\Delta t = 0$ | 0 | -122,602 | -122,602 | -245,204 |
| | $t_1 > t_2$ | -38,700 | -122,602 | -161,302 | -322,604 |
| | $t_2 > t_1$ | 38,700 | -157,575 | -118,876 | -237,751 |
| Схема г | $\Delta t = 0$ | -37,077 | -84,597 | -121,674 | -243,348 |
| | $t_1 > t_2$ | -75,773 | -84,597 | -160,370 | -320,74 |
| | $t_2 > t_1$ | -0,304 | -117,644 | -117,948 | -235,896 |
| Схема д | $\Delta t = 0$ | 37,077 | -121,674 | -84,597 | -169,194 |
| | $t_1 > t_2$ | 0,304 | -121,674 | -121,370 | -242,74 |
| | $t_2 > t_1$ | 75,773 | -156,643 | -80,871 | -161,741 |
| Схема е | $\Delta t = 0$ | 0 | -89,002 | -89,002 | -178,004 |
| | $t_1 > t_2$ | -38,700 | -89,002 | -127,702 | -255,404 |
| | $t_2 > t_1$ | 38,700 | -123,779 | -85,079 | -170,158 |

3. Единые правила безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных месторождений полезных ископаемых подземным способом: ПБ 03-553-03: утв. ГУП «НТЦ по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России» 13.05.03. М., 2003. Сер. 03. Вып. 33. – 200 с.
4. Алыменко Н.И., Николаев А.В., Седнев Д.Ю. Зависимость воздухораспределения от величины тепловых депрессий, действующих между стволами // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: матер. юбилейной конф., посвященной 80-летию геолог. ф-та и 95-летию Перм. ун-та. – Пермь, 2011. – С. 199–201.
5. Алыменко Н.И., Николаев А.В., Каменских А.А., Тронин А.П. Результаты исследования системы вентиляции рудника БКПРУ-2 в холодное время года // Вестник Пермского университета. Геология. – Пермь, 2011. – Вып. 3. – С. 89–96.
6. Алыменко Н.И., Николаев А.В. О влиянии взаимного расположения шахтных стволов на величину возникающих между ними тепловых депрессий // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – Новосибирск, 2011. – №5. – С. 84–91.
7. Мохирев Н.Н., Радько В.В. Инженерные расчеты вентиляции шахт. Строительство. Реконструкция. Эксплуатация. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2007. – 324 с.
8. Николаев А.В. Уточнение формулы, определяющей величину естественной тяги, действующей между воздухоподающими и вентиляционными стволами // Проектирование, строительство и эксплуатация комплексов подземных сооружений: тр. III междунар. конф. – Екатеринбург: Изд-во Урал. Гос. Горн. Ун-та, 2010. С. 246–250.
9. Комаров В.Б., Килькеев Ш.Х. Рудничная вентиляция. М. Недра, 1969. – 416 стр.
10. СНиП 23-01-99. Строительная климатология.

Нанотехнологии современности: пищевая промышленность

Семячкина Юлия Александровна, аспирант;

Клочков Анатолий Яковлевич, кандидат технических наук, доцент
Рязанский государственный радиотехнический университет

В настоящее время наука нанотехнология динамично развивается, набирая обороты. Методы изучения и управления материей на молекулярном уровне для произ-

водств материалов совершенствуются, у устройств и систем появляются новые технические, функциональные и потребительские свойства.

Нанотехнологии вошли в повседневный быт. Электроника, медицина, косметология, строительство, — отнюдь не полный перечень применения данных технологий на уровне обывателя.

Анализируя статьи, изданные в Америке и Европе в 2011 году, можно сделать вывод, что в данный момент наиболее активно внедряются и изучаются нанотехнологии в таких сферах, как стоматология и пищевая промышленность.

Рассмотрим подробнее применение нанотехнологий в пищевой промышленности.

В связи со снижением у целого поколения людей энергетических затрат, чем мы обязаны сидячему образу жизни, в несколько раз, возникла необходимость перехода на качественно новую еду, которая будет поддерживать физическое состояние человека «в форме». Такую «наноеду» ученые называют «функциональными продуктами питания». [1]

«Функциональная» еда — это натуральные мясные протеины и пептиды, которые, по сути, являются самым характерным примером высокотехнологичной еды нового поколения.

Издание «Деловой Петербург» в материале Светланы Хорошевой приводит следующие строки: «Применение в основных продуктах питания наночастиц таких микроэлементов, как железо, цинк, фолиевая кислота или витамин А, может предотвратить или решить проблему неполноценного питания. Главное условие — чтобы применяемые наноматериалы не вызывали сомнения по части своей нетоксичности как для человека, так и для окружающей среды, и чтобы они были доступны для социально незащищенных групп населения». [2]

Не секрет, что широкое распространение и общественное признание достижений нанотехнологий сдерживаются опасениями, обусловленными возможным наличием у наночастиц и наноматериалов потенциально неблагоприятных эффектов для здоровья человека.

В настоящее время в НИИ питания РАМН проводится комплекс исследований по оценке безопасности

важнейших с позиций перспектив их использования в пищевой промышленности наноматериалов в экспериментах на лабораторных животных при пероральном пути поступления [3]. Спектр изучаемых показателей постоянно расширяется.

Проведенные исследования показывают, что содержание различных видов наночастиц диоксида титана в пищевых продуктах, материалах, контактирующих с пищевыми продуктами, косметических изделиях и другой подобной продукции должно стать предметом гигиенического нормирования, так как в определенных дозах оказались токсичными для животных.

Впрочем, наночастицы аморфного диоксида кремния (кремнез ма), которые могут использоваться в качестве пищевой добавки или компонентов БАД к пище, не оказывали отрицательного воздействия на организм животных, которое могло бы быть интерпретировано как неблагоприятное. Можно предположить, что наноразмерный диоксид кремния обладает, по-видимому, весьма низкой токсичностью, в отличие от наночастиц диоксида титана.

Нанотехнологии также предоставляют уникальные возможности по контролю качества и безопасности продуктов в процессе производства. Диагностика с применением различных наносенсоров, способствует быстрому и надёжному выявлению в продуктах загрязнений или неблагоприятных агентов.

К слову, совет директоров РОСНАНО на очередном заседании принял решение о финансировании инвестиционного проекта по созданию в России предприятия, выпускающего инновационные формы натуральных биологически активных веществ, антиокислителей (антиоксидантов), красителей и консервантов, позволяющих снизить себестоимость конечной продукции в пищевой, косметической и фармацевтической отраслях. [4]

Значит, и сфера применения нанотехнологий в пищевой промышленности будет расширяться и развиваться в России.

Литература:

1. Статья «Функциональные продукты — это многофункциональная еда», журнал Food News Time [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.foodnewstime.ru/week_news/yuo_know_whot/funkcionalnye-produkty-%E2%80%93-eto-mnogofunkcionalnaya-eda.html
2. Статья «Нанотехнологии могут решить проблему неполноценного питания», журнал «Деловой Петербург» [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.dp.ru/a/2009/02/05/Nanotehnologii_mogut_reshti?Font=miinus
3. «Современные данные о токсичности наноматериалов, используемых в пищевой промышленности» — материалы секции «Контроль содержания и безопасности наночастиц в продукции сельского хозяйства и пищевых продуктах» Москва, ноябрь 2010 г.
4. Статья «Итоги очередного заседания Совета Директоров РОСНАНО», журнал «Nanonewsnet» [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru/news/2011/itogi-ocherednogo-zasedaniya-soveta-direktorov-rosnano-6>

Научное издание

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ТРАДИЦИИ И ИННОВАЦИИ

Международная заочная научная конференция
г. Челябинск, январь 2012 г.

Материалы печатаются в авторской редакции

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.01.2012. Формат 60x90 ¹/₈.
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 18,5. Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Два комсомольца»
454008, г. Челябинск, пр. Комсомольский, д. 2