

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА
(ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)

РОССИЙСКАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

**III МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ
«СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ
«СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ
КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ТОМ 1

МОСКВА
2021

УДК 67, 33
С23

Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности» III Международного Косыгинского Форума «Современные задачи инженерных наук». (20-21 октября 2021 г.). Том 1. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2021. – 191 с.

В сборник включены научные статьи российских и зарубежных ученых, представленные на Международном научно-техническом симпозиуме «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности» 20-21 октября 2021 г., в которых рассматриваются вопросы современных инженерных проблем в ключевых отраслях промышленности, а также в смежных секторах экономики.

Материалы сборника предназначены для преподавателей вузов, аспирантов, научно-технических и инженерно-технических работников различных отраслей промышленности и агропромышленного комплекса.

Редакционная коллегия

Разумеев К.Э. - Вице-президент РИА и МИА, советник при ректорате РГУ им. А.Н. Косыгина, профессор, д.т.н., Гусев Б.В. - Президент Международной и Российской инженерных академий, профессор, д.т.н., Иванов Л.А. — Главный учёный секретарь и вице-президент Международной и Российской инженерных академий, к.т.н., Федорова Н.Е. – доцент кафедры текстильных технологий, к.т.н.

ISBN 978-5-00181-161-9

© ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2021

© Авторы статей, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Гусев Б.В. Международная инженерная академия: история создания и перспективы развития	5
Гусев Б.В., Саурин В.В. О математической модели изгибных колебаний балок с переменным поперечным сечением	15
Федосов С.В., Баканов М.О. Моделирование процессов нестационарной теплопроводности и диффузии в телах канонической формы с использованием метода «Микропроцессов»	25
Немзер Б.В., Григорьев Б.А. Определение постоянных термодиффузии инертных газов в воздухе	30
Пашаев А.М., Джанахмедов А.Х., Джавадов М.Я. Электротермомеханическое фрикционное взаимодействие при крекинг-процессе	36
Кожогулов К.Ч. Научное обеспечение безопасного и эффективного освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызстана	43
Прангишвили А., Иашвили Н., Хуташвили Ю. Интеллектуальная система безопасного потребления газа	52
Каримов Ф.Х., Абдусаматов М.А., Мукимов Р.С. Методы анализа сейсмической уязвимости зданий и сооружений исторического наследия	56
Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Маркова М.Л. Моделирование миграции волокон по поверхности барабана кардочесальной машины	62
Танин Л.В., Моисеенко П.В., Боборекко А.Г., Луциков М.Н., Танин В.А. Контрольный идентификационный знак с комбинированной защитой	66
Сюй Ли Да Инженерная интеграция промышленной информации	71
Гдутос Э. Рост трещин в образцах трехточечного изгиба из полимерных пенопластов	74
Ванг Цян, Писаренко Ж.В. Современное состояние и перспективные направления развития нефтегазовой энергетики в Арктике	79
Би Сивен, Кузин В. Исследования по применению технологии визуализации квантового обнаружения в мониторинге геологических катастроф	90
Кожогулов К.Ч., Камчибеков Д.К. Современные проблемы и перспективы освоения угольных месторождений Кыргызстана	95
Имнаишвили Л., Махашвили К., Годердзишвили Г., Бединеишвили М., Иашвили Н. Агрохимическая и санитарно-ветеринарная мобильная аналитическая лаборатория	98
Ерзунов К.А., Есина О.А., Алексахина Е.Л., Петрова Л.С., Одинцова О.И. Выбор целлюлозного носителя для диагностической тест-полоски	102
Раткин Л.С. Суперкомпьютерные приложения для нейросетевых моделей для решения прямых и обратных стеганографических задач на примере биотехнологий и биоинформатики .	106
Джанахмедов А.Х., Вольченко А.И., Насирова М.М. Сравнительный анализ смачиваемых пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств	108

Каримов Ф.Х.	
Микромагнитные структуры ферромагнитного тора	116
Лапшин В.В., Смирнова Н.А., Замышляева В.В., Ершов В.Н.	
Решение проблем улучшения оценки качества материалов за счет автоматизированных устройств к стандартному оборудованию	121
Гургенидзе Д.Р., Горгидзе Д.А., Хуцишвили С.А.	
Системный анализ многоконтурных механизмов управления инновационными проектами	126
Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Минаева А.М.	
Изоляционные системы скатных кровель.....	130
Оборин Л.А., Сарченко В.И., Прохоров В.В.	
Основы новой индустриализации России.....	135
Севостьянов П.А., Самойлова Т.А., Вахромеева Е.Н.	
Статистические особенности смесей волокнистых материалов	138
Горбачев С.В., Кузин В.Ф., Цао Цзиньде	
Повышение точности прогноза залежей нефти на основе самоорганизующихся нейронных сетей.....	143
Кузьмин М.П., Ларионов Л.М., Кузьмина М.Ю., Кузьмина А.С.	
Получение заэвтектических силуминов с использованием аморфного микрокремнезёма – отхода производства технического кремния	148
Дементьев Г.С., Малахов А.И.	
О концепции проекта создания в России сети федеральных центров ионной лучевой терапии	154
Малков И.В.	
Концепция создания космической ферменной конструкции из полимерных композиционных материалов.....	158
Каган П.Б., Рыбакова А.О.	
Использование цифровых технологий рационализации строительного производства (на примере применения концепции «Интернет вещей»)	163
Наумов В.А., Насенков П.В.	
Оценка погрешности определения прочностных характеристик крученых изделий из синтетических нитей.....	167
Ольховатов Е.А., Касьянов Г.И., Надыкта В.Д., Айдер М.	
Инактивация антинутриентов сырья сои модулированным низкочастотным электромагнитным полем слабой интенсивности для пищевых целей	171
Масалова В.А.	
Классификация дефектов совмещения рисунка материала в полосу и клетку на швах одежды.....	175
Горбунов П.И., Лизунов В.В.	
О Евразийском инженерно-экономическом эксперименте, способствующем выходу регионов России и Казахстана на новый уровень развития.....	179
Кальгин А.А., Павлючук Ю.Н.	
Модель объекта технологического процесса	184

**МЕЖДУНАРОДНАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ: ИСТОРИЯ
СОЗДАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
INTERNATIONAL ENGINEERING ACADEMY: HISTORY OF
CREATION AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT**

**Гусев Борис Владимирович
Gusev Boris Vladimirovich**

*Международная инженерная академия, Москва, Россия
International Engineering Academy, Moscow, Russia
Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia*

Гусев Борис Владимирович - Президент Международной и Российской инженерных академий, доктор техн. наук, проф., лауреат 7^{-ми} Государственных премий и премий Правительства СССР и РФ.

Международная инженерная академия продолжает свою деятельность, как организация, зародившейся в составе Инженерной академии СССР. После того, как произошло отделение стран СНГ в самостоятельные государства, как следствие, в рамках Инженерной академии СССР сформировались отделения стран, которые до этого входили в состав СССР - это Азербайджан, Армения, Белоруссия, Грузия, Казахстан, Киргизия, Российская Федерация, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан и Украина. Практически во всех странах на постсоветском пространстве на базе национальных отделений были образованы инженерные академии. И по инициативе этих академий была создана Международная инженерная академия. Процесс начался в 1991 году, а 10 февраля 1992 года МИА была закреплена документально. Международная инженерная академия с первых дней успешно продолжала развиваться и дальше, за пределы стран СНГ. Теперь она включает в свой состав ряд стран Европы, Азии и Америки.

Руководство МИА встречалось с Президентами стран СНГ и с послами этих стран. И уже к 1993 году национальные отделения академии СССР получили статус национальных академий, и было избрано руководство инженерной академии в составе Международной инженерной академии.



Встреча с Президентом Армении Робертом Кочеряном



Встреча с Президентом Грузии Эдуардом Шеварнадзе



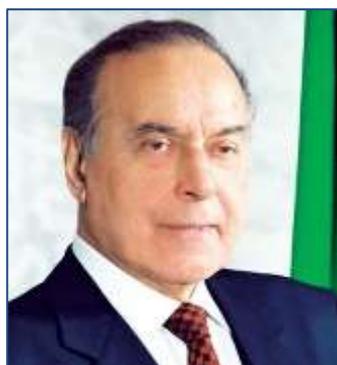
Награждение Президента Казахстана
Нурсултана Назарбаева Большой золотой медалью



Встреча с Президентом Киргизии Аскарсом Акаевым



Встреча с Президентом Украины Леонидом Кучмой



Президент Республики Азербайджан Гейдар Алиевич

Алиев Г.А. принял делегацию МИА и состоялся длительный разговор по созданию Азербайджанской инженерной академии. В 2005 году была создана Азербайджанская инженерная академия

В составе МИА ученые и инженеры занимались всеми теми вопросами, которые связаны с научно-технической деятельностью. Это порядка 30 различных инженерных направлений, начиная от авиации и космоса. **Авиакосмическое** - одно из направлений, которым руководил наш известный ученый, создатель «Бурана», человек, который много времени посвятил и авиации, и космосу, Глеб Евгеньевич Лозинский. Он был одаренный ученый и возглавил секцию Инженерной академии, «Авиакосмическую». В Инженерной академии представлены весь спектр инженерных проблем, заканчивая Энергетикой, и даже ядерной энергетикой.

В работе МИА, в работе национальных академий целого ряда стран большое внимание отводилось **машиностроению**. Ведь такие системообразующие отрасли, как энергетику, нетрадиционную энергетику - ветровую и солнечную, тепловые системы, тепловые насосы, которые получили в последнее время развитие, можно было создать только на основе существования целого машиностроительного направления. Машиностроение – это первооснова развития всех отраслей, в том числе и авиация, и судостроение, и транспортное машиностроение, и станки, и роботы, и автоматы тех производ-

ственных процессов, которые развиваются в странах, инженерные входящих в состав МИА.

Пожалуй, трудно переоценить значение **информационных технологий**, которые получили как раз развитие в эти же двадцать лет, с 90-х годов до настоящего времени. Ведь информатика, прежде всего, это инструментарий, который позволяет собирать огромный объем информации, перерабатывать ее, классифицировать по различным направлениям. И, конечно, информатика обеспечивает возможность создания систем безопасности. Это безопасность зданий, сооружений, это безопасность транспортных полетов, в любых транспортных перемещениях, это вопрос, связанный с навигацией, созданием новых видов связи, с обеспечением управляемых подводных объектов, которыми мы занимаемся в настоящее время при разработке программы «Океан».

Нельзя не сказать о том, как в постсоветское время развивалось **строительство**. Климатические условия на огромной территории отличаются друг от друга весьма существенно, разница температур могла достигать до 20 - 30 градусов. Поэтому строительство в районах вечной мерзлоты, а таких в России порядка 60% - это целое направление в строительстве. Нарботки северных регионов применяются и в других странах в связи с горными условиями. Особые требования к строительству в сейсмических зонах, которые имеются во многих странах. Такого рода строительство требует специальных подходов, использования специализированных методов для обеспечения сейсмобезопасности-сейсмозащита, применения систем усиления-преднапряжения. Подобное дополнительное напряжение в армировании всего здания получило широкое распространение в начале в Грузии, а потом в других регионах и других странах.

Еще одно направление в строительстве - подземное, которое имеет, безусловно, различные условия: например, в Санкт-Петербурге, Москве - там, где присутствуют пльвуны, и в гористой местности, где условия диктуют горные породы, в том числе и крепкие. Но, кстати говоря, это наиболее благоприятный вариант для подземного строительства, который не требует серьезных укрепительных сооружений.

Очень важным направлением в строительстве является создание теплоизоляционных материалов, дефицит которых ощущается, безусловно, во всех странах. Мы всегда считали, что мы в данном случае обеспечены на хорошем уровне, но оказалось, что даже для того, чтобы дойти до европейских норм (хотя температура у нас по сравнению с Европой отличается на 20 градусов), надо было увеличивать тепловую защиту в 20 раз и коэффициент термической защиты в три раза. А тепловая защита по теплотехническим показателям, по объемным показателям изменяется в десять, и даже до двадцати раз. Такого рода теплоизоляционные материалы были созданы в период с 90 года по настоящее время, и сейчас они достаточно широко используются - это пенобетоны, полистиролпенобетоны. Есть технология, где полистирол погружается в состав цементного камня, и он уже не горит, и здания, можно говорить, становятся пожаробезопасными.

Развитие транспортных систем также является частью единого научно-технического пространства в сфере внимания Международной инженерной академии. Причем это широкий спектр работ, это не только строительство железных и автомобильных дорог, которых явно не хватает. У нас очень много работы в связи с огромной протяженной территорией и в связи с тем, что много необжитых территорий, на которых строительство дорог затруднено. Вопросами дорожного строительства, связанными с обеспечением улучшенного качества дорог, активно занимаются в инженерных академиях всех стран СНГ и других странах.

Наряду с этим для целого ряда стран имеет большое значение морской транспорт. Причем, допустим, для Российской Федерации важен морской транспорт, который позволил бы обеспечивать судоходные маршруты в течение всего года в Арктике.

Такой подход требует того, чтобы создавались системы типа небольших ледоколов, которые были бы способны раскалывать лед толщиной до двух метров. Подобного рода транспортные системы выполнены на ОАО «Адмиралтейские верфи», компания которая является коллективным членом РИА.

С тематикой **экологии** тесно соприкасается развитие водного хозяйства. Водное хозяйство призвано не только обеспечивать потребности в чистой питьевой воде, а также развитие мелиорации - обводнение и осушение сельскохозяйственных земель. Надо отметить, что в европейской части России, к сожалению, всего лишь 30% воды удовлетворяет требованиям международных стандартов для питьевой воды. Остальным жителям целого ряда городов приходится прибегать к очистке воды в домашних условиях или при помощи каких-либо локальных систем очистки. Поэтому вопросами фильтров различного рода, проблемами, связанными с утилизацией стоков, с ускорением процессов утилизации, с ускорением образования гумуса на базе этих стоков широко занимаются Академии.

Конечно, при этом возникают проблемы общей экологии, и мы начали заниматься ими. По крайней мере, первый большой форум был проведен на примере экологии больших городов. На этом представительном собрании обсуждались основные моменты, связанные с жизнедеятельностью городов, той опасностью, которая исходит от чрезмерного использования различных видов автомобильного транспорта, с необходимостью установки специальных фильтров на теплосистемы, которые существуют в больших городах. Необходимо защищать не только атмосферу, но и воду, и почву. И в этом отношении те животрепещущие проблемы, которые поднимались на международном форуме «Экология больших городов», до сих пор имеют существенное значение для жизнеобеспечения мегаполисов странах.

Но экология – это и новые технологии, которые позволили бы обеспечить меньшую нагрузку на природу. Может быть, подчас это связано даже с элементарными понятиями, с системой НЭП, то есть наведения элементарного порядка, который приучит наконец нас к бережному отношению к природе. Она не может утилизировать самостоятельно, к примеру, пластиковые пакеты, которые мы в огромном количестве выбрасываем на свалку. Поэтому вопросами экологии в быту надо заниматься в не меньшей степени, чем промышленными выбросами, в том числе выбросами сернистых газов, углекислого газа.

В последние годы Инженерные академии активно работают в области развития нанотехнологий. **Нанотехнологии** – это не просто красивое слово. Мелкозернистые структуры материалов, как давно известный факт имеют гораздо более высокую прочность, чем крупнозернистые. Например, гранит, который традиционно добывался для Москвы в районах Карелии, имеет не самое лучшее качество из-за крупных включений различного вида зерен. А другой гранит на Украине, - мелкозернистый, отличного качества и обеспечивает длительную, на многие сотни лет, сохранность в условиях воздействия атмосферы. То же самое и с любым другим материалом: если мы создаем более мелкую зернистую структуру, то получаем материалы высокого качества. По этим принципам уже десятки лет работает порошковая металлургия. Когда нам от металлургических изделий требуется высокая трещиностойкость, высокая сопротивляемость различного рода динамическим нагрузкам, то мы такой материал изготавливаем (обычно для турбин, для самолетостроения) в условиях порошковой металлургии.

Применяемые нанотехнологии в основном сегодня – это порошки. Но порошки еще в сотни раз более мелкие, чем в порошковой металлургии. Соответственно качество таких материалов, их технические характеристики возрастают на порядок, в десятки раз. Вопрос нанотехнологий как структур, которые обеспечат качество изделий в дальнейшем, связан с получением таких материалов. И прежде всего с такого рода

структурами мы сталкиваемся в биотехнологии: там растения, все живое обеспечивают себя как бы произвольно, то есть самой природой создается эта структура. Нам остается только подстроиться под природу.

То же самое в электронике: память в электронике увеличивается в сотни раз, если мы вместо микроструктур, электронных чипов, создаем структуру на наноуровне. Например, такого рода материал в устройстве размером всего лишь со спичечный коробок обеспечивает хранение всей информации, например, для Национальной библиотеки Соединенных Штатов Америки.

Мы отдаем себе отчет, что **будущее всегда создается сейчас**, в данный момент времени, а когда разделяют: будущее – это будущее, а сейчас - это вот сейчас, это неправильное представление. Все наши собрания МИА были построены на том, чтобы комплексно обсуждать развитие всех отрасли. И нас особенно волновало, самодостаточное развитие пищевой, перерабатывающей, текстильной промышленности. Именно здесь, при создании предприятий малого бизнеса можно обеспечить высокую экономичность развития промышленности. И при таком комплексном развитии, когда мы вместо сосредоточения на использовании лишь сырьевой базы, вместо исключительно добычи сырой нефти, начнем получать бензин и все остальные виды переработки топлива, мы получим уже не в 10 раз, а в десятки раз более высокую стоимость.

То же касается комплексной переработки древесины. Если просто-напросто продавать кругляк - мы получаем одну стоимость, а за переработанную древесину, особенно модифицированную, защищенную от всякого рода заражений грибами, от возгораний - мы можем получить в сотни раз более высокие цены. Поэтому, конечно, не сырьевой вариант технологии, а вариант создания комплекса переработки сырьевых ресурсов, обеспечит стране в сотни раз более высокие доходы по сравнению с существующими в нынешней экономике.

В последние годы большие работы были проведены в области энергетики по использованию ветроэнергетики и солнечных батарей. Следует отметить также существенное повышение коэффициента полезного (КПД) при переходе на мобильные системы отопления, которые позволили повысить КПД до 10 раз.

В области **материаловедения** ведутся работы по наномодифицированию бетонов, что позволило существенно повысить прочность в 2,5-3 раза и, особенно, долговечность в 5-7 раз за счет измельчения минеральных добавок на гидродинамических установках (кавитаторах) и их введения в состав бетонной смеси.

В области машиностроения успешно ведутся работы по роботизации технологических процессов в кораблестроении.

Можно отметить работы в области решения экологических проблем. Одной из уникальных работ является создание биогазовых установок, которые позволяют получать биогаз из органических отходов при критических температурах до 500°C и давлениях порядка 150 атмосфер.

В начале 2019 года по инициативе ООН мировая общественность отметила 150-летие периодической таблицы Д.И.Менделеева. В Российской инженерной академии ведутся работы по созданию цифровой модели таблицы Д.И.Менделеева. Предложена Объемная матрица химических элементов в виде 3D-спирали, которая позволяет создать такую цифровую модель, спрогнозированы новые 100 элементов: описаны их атомные массы и электронные строения оболочек.

Основная концепция академии на всех этапах ее развития основывается на содействии укреплению инженерного потенциала стран, в которых работают члены академии, с целью улучшения духовной, экономической, экологической и социальной жизни человека. Направления деятельности МИА определяются особенностями и по-

требностями духовного, экономического, научно-технического развития каждого из государств.

Основные итоги работы национальных академий, отделений и представительств МИА за последние годы

Азербайджанская инженерная академия - созданы озонаторы, используемые для дезинфекции зернохранилищ и предпосевной обработки. В результате обеспечены экологические условия для сохранности зерновых культур, как для пищевого применения, так и генетического фонда. В соответствии с требованиями по обеспечению сохранности овощей и фруктов созданы прецизионные озонаторные системы с автоматическим регулированием дозы озона. Разработан и внедрен в ПО «АзНефть» привод бесшатунного нефтяного компрессорного оборудования.

Инженерная академия Армении - разработаны и внедрены новые безотходные экологически чистые технологии, альтернативные энергетические установки (ветровые, геотермальные, солнечные). Реализованы задачи, связанные с мониторингом отрасли, составлением банка данных о научно-технических разработках, выполненных в Армении.

Инженерная академия Грузии - получены важнейшие результаты в области опытно-промышленных испытаний растворимости озона в воде и его распределения в водяном столбе, исследований деформации бетона методом голографической интерферометрии, мультифункциональных магнитных наносистем медицинского назначения, создания инновационных приборов для обнаружения утечки газа и др.

Инженерная академия Кыргызской Республики - выполнена НИР «Разработка новых принципов построения высокопроизводительных, многофункциональных машин аппаратов и устройств для энерго- и ресурсосберегающих технологий». Выполнена НИР «Инновационные технологии горнодобывающего и машиностроительного комплексов Кыргызской Республики».

Национальная инженерная академия Республики Казахстан - созданы инновационные технологии в области добычи и переработки полезных ископаемых, разработка технологической схемы контейнерного подъемно-перегрузочного пункта в карьере и на отвале. Отвалообразование с использованием подъемных машин при доставке породы в контейнерах оригинальной конструкции позволит снизить удельные затраты и сократить площади внешних отвалов. В результате применения, данная технология обеспечит: 80% извлечение золота, снижение затрат до 30%, рост производительности труда до 40%.

Выполнены разработки по созданию высокопроизводительных систем имитационного моделирования с использованием CUDA-технологии и технологии создания суперкомпьютерного гибридного кластера с применением GPU-процессоров, что позволит выйти на новые алгоритмы в решении технологических проблем и ресурсоемких 3D задач в геотехнологии и других сферах экономики.

Инженерная академия Республики Таджикистан - разработаны схемы обогащения сурьмяных, сурьяно-ртутных золотосодержащих, фосфоритовых, содержащих золотых и ряда других руд. На Адрасманском ГОКе при обогащении медно-висмутовых и свинцовых руд внедрена технология с применением реагента «Оксафор-1107» со значительным экономическим эффектом.

Инженерная академия Украины - создан новый высокоэкологичный и надежный турбоагрегат К-325-23,5. Авторский коллектив удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники. Разработана технология и освоено производство силовых кабелей из сшитого полиэтилена на напряжение до 330 кВ, что стало отечественной базой для изготовления стратегически важной и экономически эффективной

силовой кабельно-проводниковой продукции мирового уровня. Авторский коллектив удостоен Государственной премии Украины в области науки и техники.

Российская инженерная академия - получены важнейшие результаты по физико-химии процессов взаимодействия и структурные превращения в порошкообразных гетерогенных системах при создании материалов с заданными свойствами; по химическому наноконструированию композиционных самосмазывающихся материалов и износостойких коррозионностойких покрытий с заданными техническими характеристиками, отработка технологии их производства и внедрение разработок в промышленность.

Совместно с Правительством Кемеровской области в Кузбассе успешно реализован первый проект по безлюдной выемке угля в условиях шахты «Распадской» на запасах не пригодных для отработки подземным или открытым способом, построен разрез «Распадский» и выведен на мощность по добычи угля в 3 млн.т.

В Дальневосточном отделении разработаны новые принципы, подходы и методы синтеза адаптивных, самонастраивающихся и оптимальных систем управления подводными роботами в условиях переменности их параметров с учетом ограничений мощности исполнительных элементов и дефектов их элементов.

Разработаны предложения по модернизации Периодической таблицы химических элементов Д.И.Менделеева.

Созданы первые опытные образцы Установок утилизации органических отходов.

Инженерная Федерация Узбекистана - выполнен цикл научно-исследовательских и опытно - конструкторских работ по развитию теории и практики применения возобновляемых источников энергии в Узбекистане. По заказу ГАК «Узбекэнерго» была разработана «Концепция использования возобновляемых источников энергии в Узбекистане», определившая пути развития и меры стимулирования использования ВИЭ в республике. Благодаря этим работам в настоящее время в Республике бурно развивается строительство электрических станций с применением ВИЭ, получен значительный экономический эффект от внедрения.

Выполнены исследования по развитию сейсродинамической теории сложных систем подземных сооружений. На базе результатов этих исследований были разработаны эффективные методы оценки сейсмического риска для городов Республики Узбекистан и практические рекомендации по уменьшению ущерба от землетрясений, а также скорректированы нормативно-технические базы проектирования и строительства зданий и сооружений в сейсмоопасных районах, что значительно способствовало дальнейшему развитию сейсмостойкого строительства в Республике.

Разработана и внедрена в нефтегазовой отрасли Узбекистана многоуровневая информационная система мониторинга и оперативного управления технологическими и организационно-производственными процессами в территориально распределенных сложных объектах. В результате внедрения получен значительный экономический эффект.

Отделение МИА в Словении - разработано новое поколение высокоэффективных материалов по звукоизоляции.

Отделение МИА на Тайване выполняет большую совместную работу по проблемам: переработке отходов органики в электрическую энергию, в решении важнейших задач в области сейсмологии по созданию высокоэффективных демпфирующих материалов, строительству уникальных сооружений при высокой сейсмической активности, в создании высокоскоростного транспорта и многих других.

Центрально-Европейское отделение МИА - создана сеть «Синергия» научно-образовательных центров по мехатронике, робототехнике и интеллектуальным произ-

водственным системам в ведущих технических университетах стран Центральной Европы (Польша, Румыния, Словакия) и стран бывшего Советского Союза: (Россия, Республики Казахстан, Кыргызская Республика, Украина).

Реализована Международная программа стажировки «Новые технологии и образование: мехатроника, робототехника и современные цифровые технологии» для представителей и руководителей школ, межшкольных образовательных центров и университетов.

Представительство МИА в Республике Беларусь - исследована технология NANOSPIDER™ при получении нановолокон методом электроформования. Изучены критерии фирмы «ELMARCOs.r.o.» при подтверждении возможности размещения закупаемого оборудования NSLAB 5600 S на ОАО «Завод горного воска». Определены научные и производственно-коммерческие организации, охваченные в ходе маркетинговых исследований рынка фильтрующих материалов и материалов с нанопокрытием. Выделены и проанализированы этапы исследований для внедрения технологии электроформования волокон в промышленность.

Определены полезные свойства хитина/хитозана, как биологически высоко активных биополимеров. Показано, что исследованиями хитозана в настоящий период занимаются в 15 странах, а также, что использование продукции на основе хитозана будет носить глобальный характер - известно более 70 направлений использования хитина и хитозана в различных сферах жизнедеятельности человека.

Создание новых структур МИА. В 2015 году на заседании Президиума Совета президентов Международной инженерной академии было принято решение о создании отделения Международной инженерной академии в Республике Перу. Для реализации этого направления была сформирована рабочая группа из членов Академии и представителей общественности Республики Перу. Члены рабочей группы провели большую работу по решению организационных и технических вопросов. В результате проделанной работы процедура регистрации Отделения Международной инженерной академии в Перу завершена в марте 2016 года.

В настоящее время составе МИА более 1300 членов из 40 стран, среди которых президенты зарубежных государств и руководители правительств, видные ученые, общественные деятели и руководители крупных научных и промышленных структур.

Успешная работа членов МИА заслужила высокое международное и межгосударственное признание. Так, в 1993 году академия получила консультативный статус при ЮНИДО (Организация Объединенных Наций по промышленному развитию), а в 1997 году – статус наблюдателя при Постоянной комиссии Межпарламентской Ассамблеи государств – участников СНГ по вопросам культуры, науки, образования и информации.

МИА укрепляет связи и взаимодействует с более чем 20 инженерными академиями мира. Имеет постоянное организационное и творческое сотрудничество с Международным Союзом научных и инженерных обществ, Федерацией инженерных институтов исламских государств, активно взаимодействует с Международным Советом академий инженерных и технологических наук, Всемирной Федерацией научных работников, Международным союзом экспертов и лабораторий строительных материалов (RILEM), Национальными лабораториями прикладных исследований (Тайвань) и целым рядом других авторитетных организаций.

МИА выступала и выступает активным организатором крупных международных форумов, конференций и конгрессов. Среди них: Форумы «Использование космоса в мирных целях», «Международные Косыгинские чтения «Современные задачи инженерных наук»; Тайване-Российские чтения. Конференции – «Перспективные задачи инженерной науки», «Теория и практика технологий производства изделий из

композиционных материалов и новых металлических сплавов», «Малая и нетрадиционная энергетика, энергоэффективность», «Бетон и железобетон – взгляд в будущее».

Всемирный конгресс инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации» прошел в Казахстане. На конгрессе выступали 4 нобелевских лауреатов и более 10 лауреатов премии «Глобальная энергия» и была развернута широкая дискуссия.

С участием МИА издаются более 50 научных и информационных периодических изданий, в числе которых: Среди них: «Авиакосмическая техника и технология», «Бетон и железобетон», «Вестник Азербайджанской инженерной академии», «Вестник Инженерной академии Армении», «Вестник Национальной инженерной академии Республики Казахстан», «Вестник Инженерной академии Украины», журнал «Инженер» Инженерной академии Кыргызской Республики, «Вестник Политехнического института Таджикского технического университета», **«Вестник науки и образования Северо-запада России»**, «Инженерный вестник Дона», «Инженерные проблемы стабильности и конверсии», «Инновации и инвестиции», «Нанотехнологии в строительстве», «Наука и техника в Якутии», «Промышленное и гражданское строительство», «Энергобезопасность и энергосбережение», «Экономика и право», «EngineeringinKazakhstan», «International Journal of Simulation Modeling», «Mechannics of Time Dependent Materials» и многие другие. К 30-летию Инженерной академии СССР и Российской инженерной академии вышла книга «100 выдающихся ученых и инженеров Российской инженерной академии».

В настоящее время МИА совместно с национальными академиями, отделениями и представительствами выполняет ряд крупных межгосударственных программ, объединяющих усилия инженеров разных стран для решения важнейших задач в экономике, промышленности, строительстве, энергетике, экологии, сфере безопасности, инженерного образования и других направлениях инженерной деятельности.

**О МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ
БАЛОК С ПЕРЕМЕННЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ
ON THE MATHEMATICAL MODEL OF BENDING VIBRATIONS OF
BEAMS WITH VARIABLE CROSS-SECTION**

**Гусев Борис Владимирович^{1,3,4}, Саурин Василий Васильевич^{2,3,4}
Gusev Boris Vladimirovich^{1,3,4}, Saurin Vasily Vasilyevich^{2,3,4}**

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)», г. Москва

¹ Russian University of Transport (MIIT)", Moscow

²Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия

² Institute of Problems of Mechanics named after A. Y. Ishlinskiy of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

³Международная инженерная академия, Москва, Россия

³ International Engineering Academy, Moscow, Russia

⁴Российская инженерная академия, Москва, Россия

⁴ Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

Аннотация: Работа состоит из введения и пяти разделов. Во введении обсуждается актуальность вопросов, связанных с моделированием колебаний упругих неоднородных тел. Проводится анализ публикаций и полученных результатов в данной области. Вторая часть посвящена формулировке краевой задачи нахождения собственных частот упругого тела в рамках линейной теории упругости. В отличие от традиционной в данной формулировке граничные условия задаются специальным образом, что позволяет в четвертой части преобразовать уравнения в частных производных к системе обыкновенных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Так же для этих целей применяется проекционный алгоритм, описанный в третьей части статьи. В дальнейшем исследуются спектральные свойства системы уравнений наименьшей размерности (в данном случае система двух уравнений второго порядка). Далее исследуются возможности построения различных двусторонних энергетических оценок качества приближенных решений, вытекающих из метода интегродифференциальных соотношений. В пятом разделе, на примере свободных колебаний балки переменного сечения исследуются численные аспекты построения приближенного решения краевых задач, описываемые обыкновенным дифференциальным уравнением с переменными коэффициентами. В завершающей части делаются некоторые выводы.

Abstract: The work consists of an introduction and five sections. The introduction discusses the relevance of issues related to the modeling of vibrations of elastic inhomogeneous bodies. The analysis of publications and the results obtained in this field is carried out. The second part is devoted to the formulation of the boundary value problem of finding the natural frequencies of an elastic body in the framework of the linear theory of elasticity. In contrast to the traditional one, in this formulation, the boundary conditions are set in a special way, which allows in the fourth part to convert partial differential equations to a system of ordinary differential equations with variable coefficients. The projection algorithm described in the third part of the article is also used for these purposes. In the future, the spectral properties of a system of equations of the smallest dimension (in this case, a system of two second-order equations) are investigated. Further, the possibilities of constructing various two-sided energy

estimates of the quality of approximate solutions resulting from the method of integro-differential relations are investigated. In the fifth section, the numerical aspects of constructing an approximate solution of boundary value problems described by an ordinary differential equation with variable coefficients are studied using the example of free oscillations of a beam of variable tension. In the final part, some conclusions are made.

Ключевые слова: динамика, балка переменного сечения, собственные колебания, численные методы, структурная неоднородность, линейная теория упругости.

Keywords: dynamics, beam of variable cross-section, natural oscillations, numerical methods, structural inhomogeneity, linear theory of elasticity.

Исследования динамики конструкций очень важны в гражданском строительстве, поскольку высотные здания относительно гибки, что, как правило, приводит к увеличению амплитуды колебаний зданий. В связи с этим в некоторых случаях необходимо рассчитывать динамические характеристики высотных сооружений уже на стадии проектирования. При анализе свободных колебаний высотных зданий их можно в первом приближении моделировать балками с переменным поперечным сечением.

Можно также выделить несколько работ [2-4], посвященных динамическому анализу структурно-неоднородных балок.

Значительно меньше исследований было проведено в области структурного динамического анализа с использованием методов линейной теории упругости. Одна из первых работ [5] в этой области показала эффективность применения методов интегро-дифференциальных соотношений для построения систем обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих собственные колебания балок переменного сечения.

Подробный обзор методов решения таких задач можно найти в [6]. Однако до сих пор эти проблемы являются достаточно привлекательными для исследования в связи с тем, что пока нет надежных аналитических методов для получения решений линейных дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Рациональное применение конкретных численных подходов, таких как вариационные или проекционные методы, предполагает соответствующие ответы на следующие вопросы:

- 1) какое из определяющих соотношений будет ослаблено, а какое будет выполняться в точности;
- 2) какие приближения неизвестных функций следует выбрать для построения приближенного решения;
- 3) каким образом можно оценить точность приближенного решения.

Один из возможных ответов на эти вопросы дается в данной статье на примере решения двумерной задачи линейной теории упругости о нахождении собственных колебаний балки переменного сечения. Основные идеи этого подхода также подробно обсуждаются в работе [6].

Основное внимание при этом уделяется разработке простейшей системы обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих боковые собственные движения балки с переменным сечением, на основе линейной теории упругости и метода интегро-дифференциальных соотношений, достаточно полно описанных в книгах [7, 8].

Постановка Задачи

Рассмотрим изотропную пластину, занимающую некоторую область в плоскости $Ox_1 x_2$, симметричной относительно оси Ox_1 :

$$\mathbf{V} = \{\mathbf{x}: -L/2 < x_1 < L/2, -h(x_1) < x_2 < h(x_1)\} \quad \text{with} \quad \mathbf{x} = (x_1, x_2).$$

Как видно из Рис.1, граница области $\mathbf{V} = \mathbf{\Omega}$ состоит из четырех частей:

$$\Gamma = \partial V = \bar{\Gamma}_1 \cup \bar{\Gamma}_2 \cup \bar{\Gamma}_3 \cup \bar{\Gamma}_4.$$

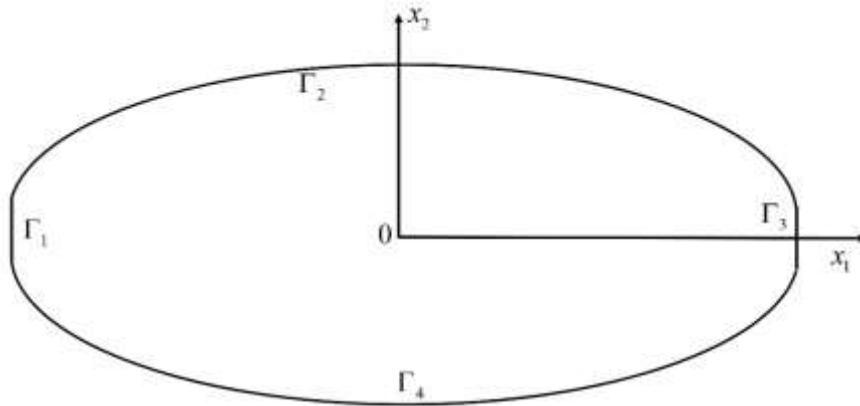


Рис. 1. Упругая пластина

Предполагается, что части границы Γ_2 и Γ_4 , ($\Gamma_2(x_1, x_2) = x_2 - h(x_1) = 0$ и $\Gamma_4(x_1, x_2) = x_2 + h(x_1) = 0$) свободны нагрузок. Здесь $h(x_1)$ - функция формы. При этом границы Γ_1 и Γ_3 при $x_2 = -L/2, L/2$ испытывают нулевые напряжения. Далее считается, что длина L пластины (балки) намного больше ее высоты $2h(x_1)$ в любой точке x_1

Напряженно деформированное состояние тела описывается уравнениями линейной теории упругости

$$\xi = \sigma - \mathbf{E}\varepsilon, \quad \mathbf{f} = \nabla \cdot \sigma - \rho \frac{\partial^2 \mathbf{u}}{\partial t^2}. \quad (1)$$

Здесь σ - тензор напряжений, ε - тензор деформаций, \mathbf{E} - тензор модулей упругости, ξ - тензор невязки закона Гука, \mathbf{u} - вектор перемещений, \mathbf{f} - вектор невязки уравнения динамического равновесия, ρ - объемная плотность материала. Также считается, что все границы свободны от нагрузок.

Краевая задача: состоит в нахождении собственных частоты ω , перемещения $\mathbf{u}(x)$ и напряжения $\sigma(x)$, которые минимизируют энергетический функционал:

$$\Phi^\omega[\mathbf{u}, \sigma, \omega] = \frac{1}{2} \int_V (\rho \omega^2 \mathbf{u} \cdot \mathbf{u} + \xi : \mathbf{E} : \xi) dV \quad (2)$$

при точном выполнении граничных условий.

ПРОЕКЦИОННЫЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ О НАХОЖДЕНИИ СОБСТВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Алгоритм поиска приближенного решения динамических задач основан на проекционном подходе и полудискретизации. Применим эту методику для построения приближенных систем уравнений, описывающих собственные колебания балки в рамках модели плоского напряженного состояния упругого тела.

Рассмотрим задачу в перемещениях $\mathbf{u}(x)$ и напряжениях $\sigma(x)$, чтобы найти собственные значения ω . Введем полиномиальные приближения малой размерности неизвестных функций компонент вектора \mathbf{u} и тензора σ относительно одной из координат x_2 в следующем виде:

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \sum_{k=0}^N \hat{x}^k \sigma_{11}^{(k)}(x_1), \quad \sigma_{12} = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}^k \sigma_{12}^{(k)}(x_1), \quad \sigma_{22} = \sum_{k=0}^N \hat{x}^k \sigma_{22}^{(k)}(x_1), \\ u_1 &= \sum_{k=0}^N \hat{x}^k u_1^{(k)}(x_1), \quad u_2 = \sum_{k=0}^{N-1} \hat{x}^k u_2^{(k)}(x_1), \quad \hat{x} = \frac{x_2}{h}.\end{aligned}\quad (3)$$

В проекционном подходе (модификация метода Петрова – Галеркина) требуется, чтобы перемещения и напряжения давали нулевые значения интегральным проекциям определяющего вектора и тензора на выбранные тензорные (Γ) поля тестовые функции $\tau(x)$:

$$\Theta_{\xi} = \int_{-h(x_1)}^{h(x_1)} \xi(\mathbf{u}, \boldsymbol{\sigma}) : \boldsymbol{\tau} dx_2, \quad \forall \boldsymbol{\tau} \in \Gamma. \quad (4)$$

Здесь $\boldsymbol{\tau}(x)$ - тензор виртуальных напряжений, Θ_v и Θ_{ξ} - интегралы невязки определяющих уравнений с размерностью линейной плотности мощности.

ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ БАЛКИ

Рассмотрим упругую пластину (см. Рис. 1), которая сделана из однородного изотропного материала, т. е. $E = \text{const}$, $\rho = \text{const}$, $\nu = \text{const}$. Учтем также свойства симметрии области и граничные условия. Как было показано в [9], исходная система дифференциальных уравнений может быть разбита на две независимые подсистемы, которые описывают продольные или поперечные колебания пластины в плоскости. Для этого неизвестные функции с несоответствующими степенями переменной $\hat{x} = x_2$ (см. Таблицу 1) должны быть удалены из выражений для перемещений и напряжений в уравнении (3). Верхние индексы нечетности характеризуют симметричность (антисимметричность) функций перемещений и напряжений относительно оси x_1 . Из-за ортогональности нечетных и четных степенных функций соответствующие проекции в интегралах (4) автоматически обнуляются.

Таблица 1. Функции продольных и поперечных колебаний

Колебания	u_1	u_2	σ_{11}	σ_{12}	σ_{22}
продольные	$u_1^{(2j)}$	$u_2^{(2j+1)}$	$\sigma_{11}^{(2j)}$	$\sigma_{12}^{(2j+1)}$	$\sigma_{22}^{(2j)}$
поперечные	$u_1^{(2j+1)}$	$u_2^{(2j)}$	$\sigma_{11}^{(2j+1)}$	$\sigma_{12}^{(2j)}$	$\sigma_{22}^{(2j+1)}$

Напряжение и сжатие центральной линии ($x_2 = 0$), которые задаются функцией $u_1^{(0)}(x_1)$, являются определяющими смещениями для продольных колебаний. Напротив, боковые движения в плоскости характеризуются поперечными отклонениями $u_2^{(0)}(x_1)$ относительно этой линии.

Исследуем поперечные колебания. Нечетность степеней функций в разложениях (3) по переменной задана в Таблице 1. При минимально возможной степени приближения система уравнений сводится к четырем дифференциальным уравнениям первого порядка, а полиномиальные приближения имеют вид

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \hat{x} \sigma_{11}^{(1)}(x_1), \quad u_1 = \hat{x} u_1^{(1)}(x_1), \quad \sigma_{12} = \sigma_{12}^{(0)}(x_1) + \hat{x}^2 \sigma_{12}^{(2)}(x_1), \\ u_2 &= u_2^{(0)}(x_1) + \hat{x}^2 u_2^{(2)}(x_1), \quad \sigma_{22} = \hat{x} \sigma_{22}^{(1)}(x_1) + \hat{x}^3 \sigma_{22}^{(3)}(x_1), \quad \hat{x} = \frac{x_2}{h(x_1)}.\end{aligned}\quad (5)$$

Видно, что приближения (5) содержат 8 неизвестных функций по x_1 .

Последовательно удовлетворяя граничные условия, соотношения закона Гука и уравнения динамического равновесия, краевая задача нахождения собственных частот балки переменного сечения сводится к двум связанным обыкновенным дифференциальным уравнениям второго порядка с переменными коэффициентами

$$\frac{d\sigma_{11}^{(2)}}{dx_1} - \sigma_{12}^{(2)} + \rho\omega^2 h^2 \left[\frac{h}{\rho\omega^2} \frac{d}{dx_1} \left(\frac{1}{h} \frac{d\sigma_{12}^{(2)}}{dx_1} \right) - \frac{2}{3} \frac{dh}{dx_1} u_2^{(2)} + \frac{2(1+\nu)}{3E} \sigma_{12}^{(2)} \right] = 0 \quad (6)$$

$$3Eh \frac{du_2^{(3)}}{dx_1} - 2E \frac{dh}{dx_1} u_2^{(2)} - 2(1+\nu)\sigma_{12}^{(2)} + \frac{3Eh}{\rho\omega^2} \frac{d}{dx_1} \left(\frac{1}{h} \frac{d\sigma_{12}^{(2)}}{dx_1} \right) - 2E \frac{dh}{dx_1} u_2^{(2)} + 2(1+\nu)\sigma_{12}^{(2)} = 0, \quad (7)$$

с переменными в качестве функций напряжений $\sigma_{11}^{(2)}$ и $\sigma_{12}^{(2)}$.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРИБЛИЖЕННОГО РЕШЕНИЯ

В предлагаемом подходе вместо определяющих соотношений (3) вводится только одно интегральное соотношение, связывающее составляющие напряжений σ_{11} , σ_{12} и σ_{22} с компонентами деформаций ε_{11} , ε_{12} и ε_{22} .

В [8] следующая интегродифференциальная постановка задачи о движении упругого тела (2) – (7) заключается в нахождении таких неизвестных полей перемещений и напряжений, которые удовлетворяют следующему интегральному соотношению

$$\Phi = \int_{\Omega} \varphi(\sigma, u) d\Omega = 0, \quad \varphi = \frac{1}{2} (\xi_{11}^2 + 2\xi_{12}^2 + \xi_{22}^2), \quad (8)$$

при условиях (4), (5), (7). Здесь вводится пространственно-временная область $\Omega = (0,1) \times (0,T)$ с границей $\partial\Omega$ по пространственной координате и времени. Интеграл (8) вычисляется по области Ω ($\partial\Omega = dxdt$).

Подынтегральная функция, определяемая формулой (8) по функции ξ неотрицательна. Из этого свойства следует, что интеграл Φ также неотрицателен для произвольных функций u^* и σ^* . Эти свойства дают возможность свести интегродифференциальную задачу (8), (4), (5), (7) к следующей минимизационной: найти такие допустимые функции u и σ , которые обеспечивают минимальное (нулевое) значение функционалу:

$$\Phi = \min_{\sigma, u} \Phi(\sigma, u) = 0 \quad (9)$$

при точных ограничениях (4), (5), и (7).

Функционал можно переписать в виде

$$\begin{aligned} \Phi &= \Psi_1 - 2\Psi_2 + \Psi_3, \quad \Psi_i = \int_{\Omega} \psi_i(u, \sigma) d\Omega, \quad i = 1, 2, 3, \\ \psi_1 &= \frac{1}{2} (\varepsilon_{11}^2 + \varepsilon_{12}^2 + \varepsilon_{22}^2), \\ \psi_2 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E} \varepsilon_{11} (\sigma_{11} - \nu\sigma_{22}) + \frac{1+\nu}{E} \varepsilon_{12} \sigma_{12} + \frac{1}{E} \varepsilon_{22} (\sigma_{22} - \nu\sigma_{11}) \right), \\ \psi_3 &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{E^2} (\sigma_{11} - \nu\sigma_{22})^2 + \frac{(1+\nu)^2}{E^2} \sigma_{12}^2 + \frac{1}{E^2} (\sigma_{22} - \nu\sigma_{11})^2 \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Подынтегральные выражения Ψ_i , $i=1,2,3$ представляют собой различные представления линейной плотности полной механической энергии упругой балки. Функция Ψ_1 зависит только от перемещений u , а выражение для Ψ_3 квадратично по σ . Смешанная билинейная функция плотности энергии Ψ_2 не зависит явно от инерционных и упругих свойств балки.

Используя функционал Φ и интегралы энергии Ψ_i , $i=1,2,3$ (введенные в уравнение (10)) для произвольных допустимых полей напряжений σ и перемещений u , удовлетворяющих ограничениям (4), (5), и (7), можно предложить ряд критериев, которые могут характеризовать совершенство приближенного решения. Интегральное качество приближенных функций σ и u можно оценить, например, в соответствии с безразмерным соотношением

$$\Delta_1 = \frac{\Psi_1 + \Psi_3}{2\Psi_2} - 1. \quad (11)$$

Подынтегральное выражение $\varphi(\sigma, u)$, определенное в формуле (8) характеризует точность распределения энергии для некоторого допустимого движения (σ, u) в области Ω .

ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР

В качестве примера рассмотрим различные алюминиевые балки со следующими геометрическими характеристиками. Все балки имеют одинаковую длину $L=1$ м и прямоугольное поперечное сечение с шириной $b=0.1$ м = *const* и высотой $h=h(x)$, изменяющейся по длине балки

$$h(x) = \left(\frac{6}{5} + 12h_0 \right) x^2 + h_0. \quad (12)$$

Здесь управляющий параметр h_0 , который может изменяться в следующих пределах $0 \leq h_0 \leq 0.15$ м, представляет значения высоты балки в ее средней точке $x=0$. Из (12) следует, что все рассматриваемые балки имеют одинаковый объем конструкционного материала

$$V = 0.01 \text{ м}^3. \quad (13)$$

Отметим, что форма поперечного сечения балки не меняется по длине, если $h(x) = h_0 = 0.1$ м = *const*. Момент инерции поперечного сечения рассчитывается по следующей формуле

$$J(x) = \frac{bh^3(x)}{12} = \frac{h^2(x)S(x)}{12}, \quad S(x) = bh(x). \quad (14)$$

Здесь $S(x)$ площадь поперечного сечения. Балка с заданными параметрами показана на Рис.1.

Считается, что все балки изготовлены из алюминия с модулем упругости $E = 70 \text{ GPa}$, коэффициентом Пуассона $\nu = 0.34$ и линейной массовой плотностью $\rho(x) = \rho_V bh(x)$, где $\rho_V = 2700 \text{ kg/m}^3$ - объемная плотность алюминия. Граничные условия на концах балки задаются уравнением (5).

Собственные частоты были найдены с использованием вариационного и проекционного подходов, обсуждаемых в этой статье. Следует отметить, что все обыкновенные дифференциальные уравнения, следующие из проекционного подхода, имеют переменные коэффициенты. Это, как указано в [1], существенно ограничивает возможности построения аналитических решений и выполнения полного анализа свободных движений балки с переменным поперечным сечением.

Без ограничения общности представительные расчеты выполнены для балки с главным параметром $h_0 = 0.12\text{m}$.

На Рис. 2 показано поведение первых трех собственных частот в зависимости от числа степеней свободы N_d для двух различных математических моделей, описывающих свободное движение балки с переменным поперечным сечением. Сплошные линии соответствуют собственным частотам, полученным из уравнений (6) и (7), а пунктирные линии показывают частоты, полученные из классического уравнения балки

$$\rho(x) \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EJ(x) \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (15)$$

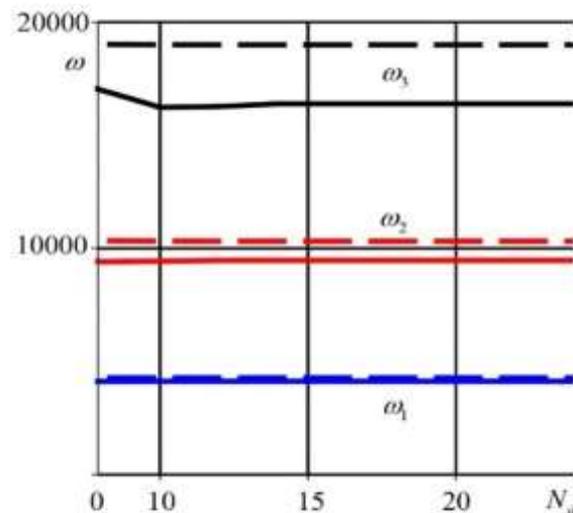


Рис. 2. Сходимость собственных частот

Из представленных зависимостей видно, что с ростом номера собственного числа различия в частотах, полученных для разных моделей, быстро увеличиваются. Так что уже для пятой частоты разница достигает более 30%. Значения первых пяти частот для этих двух моделей (ω^i для предложенной модели, ω_c^i для классического уравнения) и их относительные различия (Δ_{ω^i}) в процентах, полученные при $N_d = 24$, приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Собственные частоты и их различия

Modes	1	2	3	4	5
ω	4127.165	9467.842	16386.83	24473.37	33373.27
ω	4281.459	10313.37	18995.08	30419.58	44023.85
Δ_{ω}	3.73	8.93	15.9	24.3	33.7

Важным вопросом является то, как установить связь между приближенными и более точными моделями балок с переменным поперечным сечением, например, между моделью балки Бернулли и линейной теорией упругости.

В связи с тем, что уравнения балки (6) и (7) непосредственно следуют из уравнений линейной теории упругости, любое приближенное решение можно оценить, используя критерий (11).

На рис. 3 показано поведение относительной энергетической ошибки для первых 5 собственных частот, полученных из системы уравнений (6) и (7).

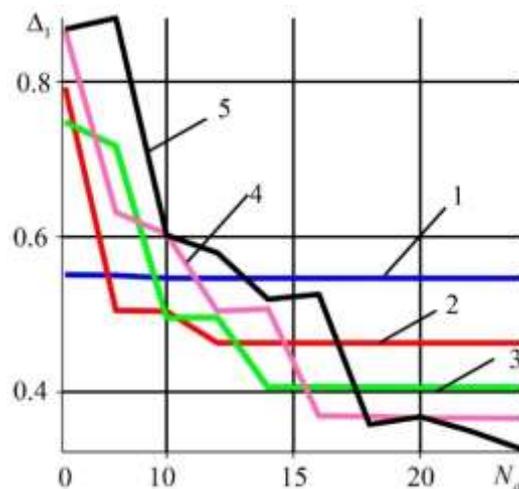


Рис. 3. Относительная энергетическая ошибка Δ_1 в зависимости от числа степеней свободы N_d для 5 первых собственных частот

Следует отметить достаточно быструю сходимость. Таким образом, уже при количестве степеней свободы больше 20 все линии становятся горизонтальными для первых четырех собственных частот. И только 5-я частота требует более высокой степени приближения.

Что касается точности приближенного решения, то здесь ситуация не так хороша, как предполагалось изначально. В рамках этой математической модели для первой собственной формы может быть достигнута только 50-процентная точность. В то же время верхние частоты находятся с более высокой точностью. Эта тенденция полностью согласуется с результатами, которые приведены в книге [8] для собственных частот балок постоянного сечения. Это связано с тем, что модель с нулевым порядком аппроксимации не имеет достаточной мощности для построения решений (собственных форм) с более высокой точностью. Однако, как показано в той же книге, собственные частоты довольно точны.

Более показательная картина представлена на Рис. 4, на которой показано поведение относительных ошибок в зависимости от числа степеней свободы. В этом случае в качестве характеристики точности решения используется отношение мнимой части собственной частоты к ее действительной [9]. Как показано в данной работе, это соотношение полностью соответствует величине относительной погрешности решения в рамках рассматриваемой модели. Как видно из представленных зависимостей, приближенные значения частот были найдены с высокой точностью даже при небольшой размерности задачи. Это характеризует метод нахождения приближенных частот. В то же время как высокие значения относительной ошибки, показанные на рис. 3, отражают возможности математической модели балки нулевого порядка в линейной теории упру-

гости. Для построения более точных решений следует выбрать более высокую степень приближения математической модели.

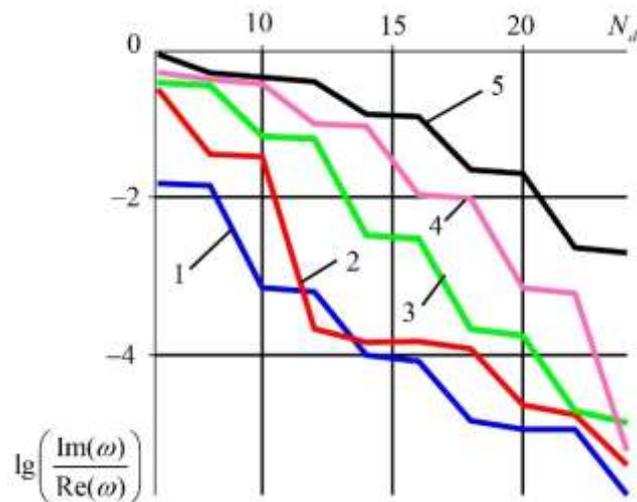


Рис. 4. Относительная ошибка в логарифмическом масштабе в зависимости от числа степеней свободы N_d для 5 первых собственных частот

Как отмечалось выше, еще одной характеристикой приближенного качества решения является распределение относительных ошибок в балке. Подынтегральная функция $\varphi(\sigma, u)$ из уравнения (8) отвечает за это. В качестве примера на рис. 5 показана функция, рассчитанная для первой частоты ω_1 при $N_d = 24$. Можно отметить довольно сложное поведение этой функции, ее значительное биение, что свидетельствует в первую очередь о довольно низком качестве решения.

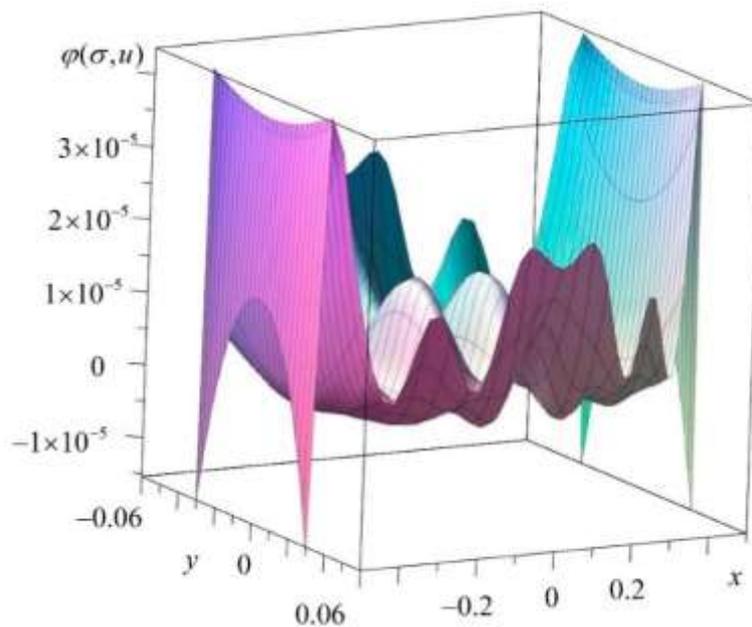


Рис. 5. Распределение локальной относительной погрешности $\varphi(\sigma, u)$ при $N_d = 24$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен регулярный проекционный подход к построению системы обыкновенных дифференциальных уравнений для нахождения собственных частот и форм колебаний неоднородных балок на основе принципов линейной теории упругости и метода интегродифференциальных соотношений. Изучены и обсуждены свойства квадратичных соотношений и их значение для решения различных спектральных задач. В качестве примера представлены интегродифференциальные постановки задачи о собственных колебаниях балки с высотой балки, квадратично изменяющейся по ее длине.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных научных исследований Минстроя России и РААСН.

Список литературы

1. Chaudhari T.D., Maiti S.K. Modelling of transverse vibration of beam of linearly variable depth with edge crack // *Engineering Fracture Mechanics*. – 1999. – V. 63. – P. 425–445.
2. Jang S.K., Bert C.W. Free vibration of stepped beams: Exact and numerical solutions // *Journal of Sound and Vibration*. – 1989. – V. 130. – P. 342–346.
3. Simsek M., Cansiz S. Dynamics of elastically connected double-functionally graded beam systems with different boundary conditions under action of a moving harmonic load // *Composite Structures*. – 2012. – V. 94, – No. 9. – P. – 2861–2878.
4. Calim F.F. Free and forced vibrations of non-uniform composite beams // *Computers and Structures*. – 2009. – V. 88, – No. 3. – P. 413–423.
5. Kostin G.V., Saurin V.V. Asymptotic approach to free beam vibration analysis, *Journal of Aerospace Engineering*, –2009. –V. 22, No. 4, –P. 456–459.
6. Gusev B.V., Saurin V. V. On vibrations of nonhomogeneous beams. *Ingenery vestnik Dona*. –2017. – No. 3 (46). – P. 50.
7. Kostin G.V., Saurin V. V. *Integrodifferential relations in linear elasticity*. De Gruyter, Berlin. – 2012
8. Kostin G.V., Saurin V. V. *Dynamics of solid structures. Method using integrodifferential relations*. De Gruyter, Berlin. –2017.
9. Saurin V.V. *Analysis of Dynamic Behavior of Beams with Variable Cross-section*, – 2019. – V 40, –P. 364–374.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ НЕСТАЦИОНАРНОЙ
ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ДИФФУЗИИ В ТЕЛАХ
КАНОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА
«МИКРОПРОЦЕССОВ»
MODELING THE PROCESSES OF UNSTEADY HEAT CONDUCTION
AND DIFFUSION IN BODIES OF CANONICAL SHAPE USING THE
«MICROPROCESS» METHOD**

**Федосов Сергей Викторович *, Баканов Максим Олегович **
Fedosov Sergey Viktorovich *, Bakanov Maksim Olegovich ****

**Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, Москва, Поволжский государственный технологический университет, Россия, г. Йошкар-Ола*

**Moscow State University of Civil Engineering, Russia, Moscow, Volga State University of Technology, Russia, Yoshkar-Ola
(E-mail: FedosovSV@mgsu.ru)*

*** Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Россия,
Иваново*

*** Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Russia, Ivanovo
(E-mail: mask-13@mail.ru)*

Аннотация: В работе показано, что во многих технологических процессах сырьевые материалы подвергаются высокотемпературной термической обработке и, в большинстве своем, имеют геометрическую форму канонического вида: пластина, цилиндр и сфера. В качестве типового тепломассообменного процесса в работе рассмотрен процесс конвективной сушки. Процессы, протекающие в условиях термической обработки, приведены к задачам переноса для неограниченной пластины, цилиндра и шара с граничными условиями первого рода, когда на поверхности твердого тела задан потенциал переноса (температура, влагосодержание). Представлены выражения для расчетов в условиях произвольного распределения начальных значений потенциалов переноса, так и для равномерных распределений.

Abstract: The paper shows that in many technological processes, raw materials are subjected to high-temperature heat treatment and, in most cases, have a geometric shape of the canonical form: a plate, a cylinder and a sphere. The convective drying process is considered as a typical heat and mass transfer process. Processes occurring under heat treatment conditions are reduced to transfer problems for an unbounded plate, cylinder, and ball with boundary conditions of the first kind, when the transfer potential (temperature, moisture content) is set on the surface of a solid. Expressions for calculations under arbitrary distribution of initial values of transfer potentials and for uniform distributions are presented.

Ключевые слова: термическая обработка, тепломассоперенос, пластина, цилиндр, сфера, «зональный» метод, метод «микропроцессов».

Keywords: heat treatment, heat and mass transfer, plate, cylinder, sphere, “zonal” method, “microprocesses” method.

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в технологических процессах химической [1], строительной [2, 9], пищевой [11], текстильной [3] и других отраслях промышленности формирование исходного материала до конечного продукта сопровождается его температурной обработкой. Исходный материал, как правило, имеет геометрическую форму, сходную с так называемым каноническим видом: пластина, цилиндр и сфера.

В данных условиях в телах, не зависимо от конкретной технологии, например, сушка фанеры (доски), на предприятиях деревообработки или сушки тканевого полотна на текстильных комбинатах, проходящий обработку материал с геометрической точки зрения может быть представлен в виде неограниченной пластины. Вместе с тем моделирование явлений теплопроводности и массопроводности (диффузии в твердой фазе) может проводиться на базе единой теории тепломассопереноса [4, 5, 7, 8].

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

В качестве математической основы для решения краевых задач тепломассопереноса используется дифференциальное уравнение нестационарного переноса субстанции (теплоты или массы вещества) с соответствующими краевыми (начальными и граничными) условиями:

$$\frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau} = \text{div}[K_{tr}(x, \tau) \text{grad} \theta(x, \tau)] \pm q_v(x, \tau) \quad (1)$$

Здесь: $\theta(x, \tau)$ - потенциал переноса субстанции для теплопереноса; θ - температура, K ; для массопереноса - ν , концентрация, $\text{кг}/\text{м}^3$, K_{tr} - коэффициент переноса субстанции, в общем случае зависящий от потенциалов переноса ($K_t - a$ - температуропроводность, $\text{м}^2/\text{с}$; $K_r - k$ - массопроводность (диффузия в твердой фазе), $\text{м}^2/\text{с}$; $q_v(x, \tau)$ - удельный объемный источник (сток) теплоты или массы вещества, соответственно, $\text{К}/\text{с}$; $\text{кг}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$, обусловленный фазовым переходом вещества.

В качестве типового тепломассообменного процесса будем рассматривать термическую конвективную сушку [4, 19], при которой происходит рост температуры - t , и снижается массо- (влаго-) содержание - u . При этом изменяются коэффициенты температуропроводности и массопроводности:

$$a = a(t, u); \quad k = k(t, u) \quad (2)$$

Анализ методологии в дальнейшем рассмотрении проводим применительно к задаче переноса для неограниченной пластины, цилиндра и шара с граничными условиями первого рода, когда на поверхности твердого тела задан потенциал переноса (температура, влагосодержание). Примеры такой задачи для неограниченной пластины приведены в [5, 6].

При этом для упрощения будем рассматривать условие отсутствия внутреннего источника.

Решения задач невзаимосвязанного внутреннего переноса теплоты и массы вещества при условии постоянства коэффициентов переноса запишутся в виде [7, 8]:

- для пластины;

$$\theta(x, \tau) = \frac{2}{R} \sum_{n,m=1}^{\infty} \sin(\mu_{n,m} \cdot \bar{x}) \exp(-\mu_{n,m}^2 F_{0n,m}) \int_0^R \theta_0(x') \sin(\mu_{n,m} x'^{-1}) dx' \quad (3)$$

- для цилиндра;

$$\theta(x, \tau) = \frac{2}{R^2} \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{J_0(\mu_{n,m} \cdot \bar{x})}{J_1^2(\mu_{n,m})} \exp(-\mu_{n,m}^2 F_{0n,m}) \int_0^R x' \theta_0(x') J_0(\mu_{n,m} x'^{-1}) dx' \quad (4)$$

- для шара;

$$\theta(x, \tau) = \frac{2}{R} \sum_{n,m=1}^{\infty} \frac{1}{x} \sin(\mu_{n,m} \cdot \bar{x}) \exp(-\mu_{n,m}^2 Fo_{n,m}) \int_0^R x' \theta_0(x') \sin(\mu_{n,m} x'^{-1}) dx' \quad (5)$$

Здесь: R - половина толщины для неограниченной пластины; радиус, для цилиндра, шара; $\mu_{n,m}$ - корень соответствующего характеристического уравнения; индекс n относится к задачам теплопереноса (μ_n, Fo_n), а индекс m - к задачам массопереноса (μ_m, Fo_m); x - размерная координата, x' - текущая координата в интервале интегрирования $[0-R]$; $\bar{x} = x/R$ - безразмерная координата; J_0, J_1 - Бесселевы функции нулевого и первого порядка. Важно отметить, что расчеты по выражениям (3) - (5) позволяют получить результаты при произвольном начальном распределении потенциала переноса.

В частном случае при равномерных начальных распределениях температур и массосодержаний для выражений (3) - (5) в безразмерной форме можно записать:

- для пластины:

$$\theta(\bar{x}, Fo_{n,m}) = \sum_{n,m=1}^{\infty} A_{n,m}^p(\mu_{n,m}) \cdot \cos(\mu_{n,m} \bar{x}) \exp(-\mu_{n,m}^2 Fo_{n,m}) \quad (6)$$

- для цилиндра:

$$\theta(\bar{x}, Fo_{n,m}) = \sum_{n,m=1}^{\infty} A_{n,m}^c(\mu_{n,m}) \cdot J_0(\mu_{n,m} \bar{x}) \exp(-\mu_{n,m}^2 Fo_{n,m}) \quad (7)$$

- для шара:

$$\theta(\bar{x}, Fo_{n,m}) = \sum_{n,m=1}^{\infty} A_{n,m}^s(\mu_{n,m}) \cdot \frac{1}{x} \cdot \sin(\mu_{n,m} \bar{x}) \exp(-\mu_{n,m}^2 Fo_{n,m}) \quad (8)$$

Здесь: $A_{n,m}(\mu_{n,m})$ - коэффициенты характеристических уравнений и соответственно, для тепло и массообменных задач будет:

$$\theta(\bar{x}, Fo_n) \rightarrow T(\bar{x}, Fo_n) = \frac{t(x,\tau) - t_c}{t_0 - t_c} \quad (9)$$

$$\theta(\bar{x}, Fo_m) \rightarrow U(\bar{x}, Fo_m) = \frac{u(x,\tau) - u_0}{u_p - u_0} \quad (10)$$

Здесь: $t(x, \tau)$ и $u(x, \tau)$ - значения физических величин температуры и массо- (влаго-) содержания; t_0, u_0 - значения в момент времени принимаемый начальным; t_c - температура среды; u_p - равновесное массо- (влаго-) содержание

Важно отметить, что расчеты по выражениям (3) - (5) позволяют получить результаты при произвольном распределении потенциалов переноса, а вычисления по формулам (6) - (8) - только для равномерных начальных распределений потенциалов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для моделирования тепловых и массообменных процессов, в которых теплофизические характеристики твердого тела существенно меняются во времени процесса термообработки вследствие изменения t и u использование решений становится весьма проблематичным.

На рис. 1 приведены типичные кривые изменения температуры и влажности материала в процессе конвективной сушки [4]. На рис. 2 показаны соответствующие этому решению данные по изменению коэффициента температуропроводности от температуры [9, 10], а также коэффициента массопроводности как функция массосодержания [8].

Трудности при использовании приведенных решений заключаются в существенной зависимости коэффициентов переноса от значений локальных температур и массосодержаний в произвольный момент времени процесса.

При этом выражения (6) - (8), позволяющие рассчитывать динамику полей потенциалов тепло - и массопереноса по результатам известных величин коэффициентов в начале процесса (при $\tau = 0$), с течением времени станут выдавать все большую погрешность расчетов. Применение формул (3) - (5) приведет к затруднениям при заданном начальном условии.

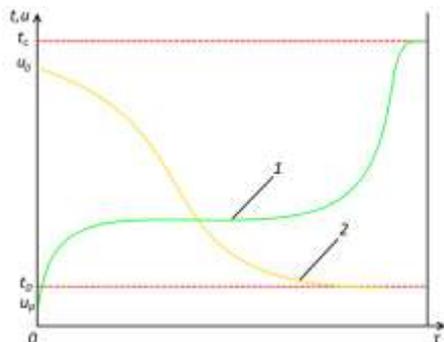


Рис. 1 - 1 - температурная кривая; 2 - кривая изменения влажности

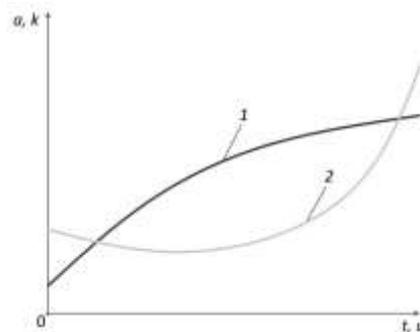


Рис. 2 - Тепловые кривые изменения коэффициента температуропроводности - 1 (от температуры) и массопроводности - 2 (от массосодержания)

Однако, принципиальные прежде [18-20] трудности, особых проблем в расчетах и проектировании не представляют, при использовании «зонального» метода [8] или метода «микропроцессов» [9]. По обоим методам предварительно получается экспериментальная информация об изменении температуры и массо - (влажносодержания) материала во времени процесса (при сушке - кинетические кривые), определяются зависимости вида выражений (2) (как правило, в виде степенных формул).

Следующим этапом расчетов по «зональному» методу является формализация результатов в форме гистограмм значений коэффициентов массопроводности от средних значений массосодержаний. По методу «микропроцессов» в расчетах одновременно задействуется и кинетическая кривая.

При этом, чем меньше диапазон измеряемых значений температур и массосодержаний, тем большая адекватность расчетных и экспериментальных данных.

Однако, возникает и еще одна практическая сложность: аналитические случаи задачи теплопереноса в большинстве своем для неравномерных начальных условий представляются в форме бесконечных рядов Фурье. Сходимость ряда Фурье ухудшается с уменьшением временных интервалов (Fo). Преодоление этого затруднения может быть осуществлено либо методом усовершенствования решений [7, 8], либо применением приближенного метода [9], точность расчетов, по которому возрастает с уменьшением времени «микропроцесса».

ВЫВОДЫ

Ценность представленных методов возрастает при моделировании процессов тепломассопереноса, в которых происходят интенсивные процессы фазовых переходов. Примерами тому являются результаты, приведенные в работах [12-18, 20].

Список литературы

1. Айнштейн В.Г., Захаров Н.К., Носов Г.А. Общий курс процессов и аппаратов химической технологии: в 2-х книгах. М.: Химия, 1988.887 с.

2. Богданов В.С., Ильин А.С., Семикопенко И.А. Основные процессы в производстве строительных материалов: учебник для студентов, обучающихся по направлению 270101 «Строительство». Белгород: Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2008. 551 с.
3. Моделирование, расчет и оптимизация тепломассообменных процессов в текстильной промышленности: монография / В.Е. Мизонов В.Е. [и др.]; науч. ред. В. А. Зайцев. Иваново: ГОУ ВПО Ивановский гос. химико-технологический ун-т, 2010. 203с.
4. Кришер О. Научные основы техники сушки: учебное пособие. М.: Иностранная литература, 1961. 232 с.
5. Fedosov S.V., Kotlov V.G. Dynamics of heat and moisture transfer in wooden structures tied with metallic fasteners. *Journal Drying Technology*, 2020, vol. 38, ISSUE 1–2. DOI:10.1080/07373937.2019.1604543
6. Fedosov S.V., Bakanov M.O., Nikishov S.N. Modeling of macro-physical parameters of foam glass under exposure of cyclic thermal effects. *Materials science forum*, 2020, vol. 974 MSF, pp. 464–470.2019. DOI: 10.4028 / www.scientific.net/MSF.974.464.
7. Карташов Э.М., Кудинов В.А. Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. Изд. 4, перераб. и сущ. доп. М.: URSS: ЛЕНАНД, 2018. 1078 с.
8. Рудобашта С.П.; Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. М.: КолосС, 2013. 478 с.
9. Федосов С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии: монография. Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. 363с.
10. Федосов С. В., Bakanov M. O. Разработка комплексного подхода к математическому моделированию процесса термической обработки пеностеклянной шихты. Ч.1: Физические представления о процессе // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Материалы. Конструкции. Технологии. 2017. № 2. С. 95–100.
11. Rudobashta S.P., Zueva G.A. On-farm heat pump-assisted fluidized bed dryer and its kinetics calculation. *Drying Technology*, 2020, vol. 38, issue 1–2, pp. 6–18. DOI: 10.1080/07373937.2019.1591436.
12. Fedosov S.V., Bakanov M.O. Modeling of temperature field distribution of the foam glass batch in terms of thermal treatment of foam glass. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 3 (2017), pp. 112-118. DOI: 10.22337 / 1524-5845-2017-13-3-112-118.
13. Fedosov S.V., Bakanov M.O., Nikishov S.N. Kinetics of structural transformations at pores formation during high-temperature treatment of foam glass. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2018, vol. 14, issue 2, pp. 158–168. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-14-2-158-168.
14. Fedosov S.V., Nikishov S.N., Bakanov M.O. Kinetics of cellular structure formation at thermal treatment processes simulation in the cellular glass technology. *Materials Science Forum*, 2018, vol. 931 MSF, pp. 628–633. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.628.
15. Fedosov S.V., Bakanov M.O., Nikishov S.N. Study and simulation of heat transfer processes during foam glass high temperature processing. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 2018, vol. 14, issue 3, pp. 153–160. DOI: 10.22337/2587-9618-2018-14-3-153-160.
16. Rudobashta S., Zuev N., Zueva G. Mathematical modeling and numerical simulation of seeds drying under oscillating infrared irradiation. *Drying Technology*, 2014, vol. 32, issue 11, pp. 1352–1359. DOI: 10.1080 / 07373937.2014.892508.
17. Rudobashta S., Zueva G. Drying of seeds through oscillating infrared heating. *Drying Technology*, 2016, vol. 34, issue 5, pp. 505–515. DOI: 10.1080 / 07373937.2015.1060997.

18. Mizonov V., Yelin N., Kotkov A., Fedosov S. Theoretical study of sheet construction materials drying with reversible supply of drying gas. JP Journal of Heat and Mass Transfer, 2017, vol. 14, issue 3, pp. 411–420. DOI: 10.17654 / HM014030411.

19. Комплексное математическое описание тепло- и массопереноса в процессе сушки неограниченного тела цилиндрической формы аналитическими методами теории теплопроводности / В.А. Падохин, Г.А. Зуева, Г.Н. Кокурина [и др.] // Теоретические основы химической технологии. 2015. Т. 49. № 1. С. 54. DOI: 10.7868/S0040357115010108.

20. Нестационарный массоперенос в процессах коррозии второго вида цементных бетонов. Малые значения чисел Фурье, с внутренним источником массы / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Н.С. Касьяненко [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2015. Т. 58. № 1. С. 97–99.

УДК 53.096

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННЫХ ТЕРМОДИФФУЗИИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ В ВОЗДУХЕ DETERMINATION OF THERMAL DIFFUSION CONSTANTS OF NOBLE GASES IN AIR

Немзер Борис Владilenович * ** Григорьев Борис Афанасьевич ** *,
Nemzer Boris Vladilenovich * ** Grigoriev Boris Afanasievich ** *****

** Университет штата Иллинойс, Урбана, Иллинойс, США*

** University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana, IL 61801, USA*

(e-mail: bnemzer@futureceuticals.com)

*** Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина,
Россия, Москва*

*** Gubkin Russian State University of Oil and Gas, Russia, Moscow*

(e-mail: gba_41@mail.ru)

****Российская инженерная академия, Россия, Москва*

****Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia*

Аннотация: Термодиффузионные константы в воздухе для соотношений изотопов инертных газов были измерены при различных температурах. В лаборатории впервые были измерены тепловые диффузионные факторы $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$, $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ и $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе.

Abstract: Thermal diffusion constants in air for the noble gas ratios have been measured at different temperatures. The thermal diffusion factors of $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$, $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$, and $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ in air were measured in the laboratory for the first time.

Ключевые слова: термодиффузия, фракционирование изотопов, изотопы газа, чувствительность к термической диффузии.

Keywords: thermal diffusion, isotope fractionation, gas isotopes, thermal diffusion sensitivity.

Определение характеристик инертных газов в воздухе, включая пузырьки воздуха ледяных кернов очень важно для изучения климата прошлого и понимания механизмов его изменения [1-9] Явление термодиффузионного фракционирования отражает

наличие градиентов температуры в древнем фирне (снежном покрове) на вершине полярного ледника [4, 5, 9, 10]. Воздух в фирне удерживается в пузырьках, поскольку фирн сжимается с образованием льда, регистрируя сигнал во фракционированных газах и изотопах, который пропорционален величине градиента температуры. По этому сигналу, измеренному в ледяных кернах, можно реконструировать величину быстрого климатического потепления или похолодания в прошлом. Этот индикатор изменения палеотемпературы особенно полезен при сравнении периодов изменений температуры в прошлом с быстрыми изменениями атмосферных парниковых газов, таких как метан и углекислый газ, которые удерживаются в пузырьках воздуха одновременно с сигналом термодиффузии [4, 8].

Величина термодиффузионного фракционирования с использованием обычного геохимического обозначения «дельта» для выражения относительного фракционирования двух изотопных форм выглядит следующим образом:

$$\delta = (q - 1) \cdot 10^3, \quad (1)$$

где $q = (X_{cold}/Y_{cold})/(X_{hot}/Y_{hot})$ «фактор разделения» [11]; X и Y – мольные доли компонентов при температурах T_{cold} и T_{hot} . Значение «дельта» для фракционирования выражается в промилле (‰). В данных измерениях состав «холодного» газа напрямую сравнивается с составом «горячего» газа.

Фактор термодиффузии при средней эффективной температуре T_{av} определяется как:

$$\alpha(T_{av}) = \ln(1 + 0.001\delta) / \ln\left(\frac{T_{hot}}{T_{cold}}\right), \quad (2)$$

где T_{av} определяется как [12]:

$$T_{av} = \left(\frac{T_{hot}T_{cold}}{T_{hot}-T_{cold}}\right) \times \ln\left(\frac{T_{hot}}{T_{cold}}\right), \quad (3)$$

В уравнении (3) все температуры выражаются в градусах Кельвина.

Новый геохимический и палеоклиматический индикатор, который называется «термодиффузионная чувствительность» Ω был предложен в работах [9,10]:

$$\Omega(T_{av}) \equiv \delta / (T_{hot} - T_{cold}), \quad (4)$$

где $T_{hot} - T_{cold}$ – это разность температур между верхней и нижней частью диффузионной колонки, а $\Omega(T_{av})$ – «термодиффузионная чувствительность» между двумя изотопными видами при температуре T_{av} . Это эмпирическая квазипостоянная характеристика газовой пары X/Y , которая измеряется в лабораторных условиях путём уравнивания воздуха при известном градиенте температуры и измерения фракционирования. Константа Ω измеряется в ‰/°C. Отношение между $\Omega(T_{av})$ и $\alpha_T(T_{av})$ определяется [13] как:

$$\Omega(T_{av}) \approx \alpha_T(T_{av}) \times 10^3 / T_{av} \quad (5)$$

Целью данной работы является экспериментальное определение значений факторов термодиффузии и термодиффузионной чувствительности для Kr/Ar , Xe/Ar и Ne/Ar в воздухе в диапазоне температур от -60 до $-10^\circ C$, соответствующих целям палеорекострукции.

Экспериментальная часть. Конструкция устройства и экспериментальный метод, использованные в настоящей работе, подробно описаны в работах [13, 14]. Для отношений газов $^{40}Ar/^{36}Ar$, Kr/Ar и Xe/Ar термодиффузионные измерения проводились при средней температуре $-33,2^\circ C$, а для измерений Ne/Ar средние температуры составляли $-33,3^\circ C$, $-6,2^\circ C$ и $+19,2^\circ C$.

В данных экспериментах был использован сухой воздух, полученный путём за- качки чистого воздуха с пирса Института Океанографии Калифорнийского университета (Сан Диего, Калифорния). Перед масс-спектрометрией пробу воздуха в ячейке обраба- тывали для того, чтобы удалить из неё кислород и азот. Образец подвергали воздей- ствию алюминий-циркониевого геттера (SAES) в кварцевой печи для поглощения хи- мически активных газов, как описано в [9].

Для определения значений δ использовали масс-спектрометр FinniganMAT 252 изотопного стабильного соотношения с двумя входами. Перед анализом давление в сильфоне масс спектрометра было отрегулировано до ~ 38 мбар. Значения δ были по- лучены 150 раз для каждой пары образцов. Точная балансировка ионных токов на стан- дартной стороне и стороне образца выполнялась вручную для измерений $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ и автоматически для $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$. Поправки на неравновесие давлени- я и химический градиент [9] были рассчитаны при помощи калибровочных экспери- ментов.

Результаты и обсуждение

Анализ изотопного отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$. Результаты термодиффузионных экс- периментов для $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ представлены в Таблице 1. Определёнными прямым измере- нием параметрами в этих экспериментах являлись температуры в «холодной» и «горя- чей» частях ячейки (T_{cold} и T_{hot}), а также разница изотопных составов после термодиф- фузионного фракционирования (δ_{TD}).

Таблица 1. Экспериментальные значения коэффициентов термодиффузии $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$

#	δ_{blank} , (‰)	δ_{TD} , (‰)	T_{cold} , (°C)	T_{hot} , (°C)	$\langle T \rangle$, (°C)	$\alpha_T \times 10^3$	$\Omega \times 10^3$, (‰)/°C	$\Omega_C^* \times 10^3$, (‰)/°C
1	0,016	1,589	-52,1	-12,2	-	9,67	40,29	40,04
					33,26			
2	0,003	1,617	-52,0	-11,4	-	9,69	40,31	40,09
					32,84			
3	0,011	1,559	-52,3	-12,3	-	9,46	39,45	40,03
					33,39			
4	0,009	1,587	-52,2	-12,2	-	9,63	40,15	40,04
					33,28			
5	-0,003	1,580	-52,3	-12,1	-	9,54	39,78	40,04
					33,29			
6	0,038	1,594	-52,2	-12,1	-	9,66	40,28	40,05
					33,24			
7	0,001	1,600	-52,1	-12,0	-	9,69	40,38	40,06
					33,16			
8	0,059							
9	0,010							
10	0,000							
сред:	$0,014 \pm$ $0,006$				-	$9,62 \pm 0,03$	$40,09 \pm 0,13$	$40,05 \pm$ $0,01$
					33,21			

* – значения термодиффузионной чувствительности Ω_C , рассчитанные по уравнению (6) [12]

При «бланковых или чистых» измерениях для обеих торцов ячейки использова- лись одинаковые температуры, и ожидалось, что разница изотопных составов будет

равна нулю. Ненулевые значения δ_{blank} (Таблица 1) указывают на наличие небольшого отклонения от «истинного» нуля в показаниях масс-спектрометра. Это значение было вычтено из результатов термодиффузионных экспериментов. Для расчёта констант термодиффузии использовалась величина $\langle\delta_{blank}\rangle$, которая представляет собой среднее значение всех величин δ_{blank} . Для аргоновых измерений мы провели десять холостых экспериментов, для которых среднее значение составило $0,014\pm 0,006\%$. Средняя эффективная температура T_{av} была рассчитана по уравнению 3. Значение фактора термодиффузии α_T было получено по уравнению 2, где $\delta = \delta_{TD} - \langle\delta_{blank}\rangle$. Величина холостой поправки к величине δ_{TD} не превышала $\sim 1\%$.

Термодиффузионная чувствительность Ω рассчитывалась по уравнению 5. Средние значения α_T и Ω для изотопного отношения $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ при $T_{av} = -33,21^\circ\text{C}$ составили $9,62\pm 0,03$ и $40,09\pm 0,13(\%)/^\circ\text{C}$ соответственно. Коэффициент термодиффузии $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе измерялся ранее [9] и его измерение в настоящей работе служит проверкой целостности экспериментального метода. Предыдущие результаты были получены на том же оборудовании при различных средних эффективных температурах. Термодиффузионная чувствительность Ω как функция средней эффективной температуры для этих экспериментальных данных описывается методом наименьших квадратов:

$$\Omega_C \times 10^3 = 26.08/T_{av} - 3952/(T_{av})^2 \quad (6)$$

Разница между средним значением Ω из экспериментальных данных, представленных в настоящей работе, и значением Ω_c , рассчитанным по уравнению 6 [9] при $T_{av} = -33,21^\circ\text{C}$, составляет $0,04\% / ^\circ\text{C}$ или $\sim 0,02\%$.

Анализ изотопных отношений $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$

Насколько нам известно, термодиффузионные эксперименты для изотопных отношений $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе проводились впервые. Все измерения для этих пар были проведены в одних и тех же пробах воздуха для каждого изотопного отношения. Результаты этих экспериментов представлены в Таблице 2 для отношения криптон/аргон и в Таблице 3 для отношения ксенон/аргон.

Таблица 2. Экспериментальные значения коэффициентов термодиффузии $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$

#	Δ_{blank} , (%)	δ_{TD} , (%)	T_{cold} , ($^\circ\text{C}$)	T_{hot} , ($^\circ\text{C}$)	$\langle T \rangle$, ($^\circ\text{C}$)	$\alpha_T \times 10^3$	$\Omega \times 10^3$, (%) / $^\circ\text{C}$
1	0,261	9,31	-52,1	-12,2	-33,3	57,95	239,8
2	0,111	9,84	-52,0	-11,4	-32,8	60,26	248,9
3	0,431	9,79	-52,3	-12,3	-33,4	60,71	251,5
4	0,240	10,10	-52,2	-12,2	-33,3	62,62	259,4
5	0,020	9,33	-52,3	-12,1	-33,3	57,66	239,0
6	0,190	10,18	-52,2	-12,1	-33,2	62,96	260,8
7	0,450	10,03	-52,1	-12,0	-33,2	62,08	256,7
<i>сред:</i>	$0,243 \pm 0,059$				-33,2	$60,61 \pm 0.81$	$247,7 \pm 1,2$

Семь термодиффузионных экспериментов δ_{TD} были заменены семью холостыми экспериментами δ_{blank} , где разница температур между «горячей» и «холодной» частями ячейки равнялась нулю. Среднее значение $\langle\delta_{blank}\rangle$ для всех холостых измерений для $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ было равно $0,243 \pm 0,059\%$ и $1,095 \pm 0,299\%$ соответственно. Как упоминалось выше, эти ненулевые значения указывают на отклонения от «истинного» нуля в показаниях масс-спектрометра.

Разность температур во всех термодиффузионных измерениях составила $\sim 40^\circ\text{C}$, что позволило получить достаточные сигналы для масс-спектрометрических измерений

данных изотопных пар. Температуры «холодной» и «горячей» части ячейки составили $\sim -52,2^\circ\text{C}$ и $\sim -12,2^\circ\text{C}$ соответственно. Средняя эффективная температура T_{av} для каждого измерения была рассчитана по уравнению 3, а среднее значение $\langle T_{av} \rangle$ для всех термодиффузионных экспериментов составило $-33,2^\circ\text{C}$.

Фактор термодиффузии α_T вычислялся по уравнению 2. Среднее значение ($\times 10^3$) α_T для семи измерений составило $60,61 \pm 0,811$ для $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $71,06 \pm 4,83$ для $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$. Значения термодиффузионной чувствительности Ω рассчитывались по уравнению 4. Средние значения Ω по всем экспериментам составили $247,7 \pm 1,2 \text{ } \text{‰}/^\circ\text{C}$ и $294,0 \pm 19,8 \text{ } \text{‰}/^\circ\text{C}$ для $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ соответственно.

Таблица 3. Экспериментальные значения коэффициентов термодиффузии $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$

#	Δ_{blank} , (‰)	δ_{TD} , (‰)	T_{cold} , ($^\circ\text{C}$)	T_{hot} , ($^\circ\text{C}$)	$\langle T \rangle$, ($^\circ\text{C}$)	$\alpha_T \times 10^3$	$\Omega \times 10^3$, (‰)/ $^\circ\text{C}$
1	2,363	11,11	-52,1	-12,2	-33,3	73,97	305,8
2	0,277	10,18	-52,0	-11,4	-32,8	67,25	277,6
3	1,375	9,52	-52,3	-12,3	-33,4	64,11	265,4
4	0,899	9,18	-52,3	-12,1	-33,3	61,76	257,5
5	0,018	11,28	-52,2	-12,1	-33,2	74,66	308,6
6	1,550	12,91	-52,1	-12,0	-33,2	84,60	349,2
7	1,180						
сред:	$1,095 \pm 0,299$				-33,2	$71,06 \pm 4,83$	$294,0 \pm 19,8$

Анализ изотопного отношения $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$

Эти измерения проводились при разностемператур $\sim 40^\circ\text{C}$ с использованием трёх значений средней эффективной температуры $\langle T_{av} \rangle$, рассчитанных по уравнению 3. Все термодиффузионные измерения были заменены на шесть холостых экспериментов, среднее значение $\langle \delta_{blank} \rangle$ которых составляло $-0,518 \pm 0,180 \text{ } \text{‰}$. Было проведено четыре термодиффузионных эксперимента при $\langle T_{av} \rangle = -33,35^\circ\text{C}$, и средние значения фактора термодиффузии α_T и термодиффузионной чувствительности Ω для этой температуры составили $96,380 \pm 1,208$ и $401,930 \pm 5,023 \text{ (‰)}/^\circ\text{C}$ соответственно. Было проведено три термодиффузионных эксперимента при $\langle T_{av} \rangle = -6,04^\circ\text{C}$. Рассчитанные средние значения α_T и Ω для этой температуры составили $100,30 \pm 0,232$ и $375,50 \pm 0,902 \text{ (‰)}/^\circ\text{C}$ соответственно. При средней эффективной температуре $\langle T_{av} \rangle = 19,06^\circ\text{C}$ были проведены четыре термодиффузионных измерения, для которых средние значения α_T и Ω составили $106,60 \pm 1,056$ и $375,50 \pm 3,631 \text{ (‰)}/^\circ\text{C}$ соответственно.

Приведённые в настоящей работе экспериментальные данные фактора термодиффузии $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе могут быть описаны с помощью уравнения регрессии

$$\alpha_T = 152.11 - 13470/T_{av}, \quad (7)$$

где средняя эффективная температура T_{av} измеряется в градусах Кельвина. Отклонение данных, представленных здесь, от данных, рассчитанных по уравнению 7, не превышает $\pm 2,7\%$. Получив уравнение (7), мы можем записать аналогичное уравнение для термодиффузионной чувствительности, используя связь между α_T и Ω , задаваемую уравнением (5): $\Omega (^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar} \text{ в воздухе}) = 152,11/T_{av} - 13470/T_{av}^2$, (\pm прибл. $2,7\%$) (‰)/ $^\circ\text{C}$.

Мы приводим экспериментальные данные о коэффициентах термодиффузии благородных газов в воздухе с использованием высокоточного метода и современного масс-спектрометра. Разница между средним экспериментальным значением термодиффузионной чувствительности Ω для $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе, указанным в настоящей работе, и ранее измеренным значением Ω_c с использованием уравнения 6 [13,14] при средней экспериментальной температуре $T_{av} = -33,21^\circ\text{C}$ составляет $0,04 \text{ (‰)}/^\circ\text{C}$ или $\sim 0,02\%$. Были впервые определены значения коэффициента термодиффузии α_T $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$, $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$

и $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе. Константы термодиффузии для $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ были определены при температуре припл. -33°C . Константы для отношения $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ охватывают диапазон температур припл. от -35 до 20°C , что в данном случае позволяет нам показать небольшую зависимость термодиффузионной чувствительности от температуры. Мы обнаружили, что абсолютные значения термодиффузионной чувствительности при $-33,2^\circ\text{C}$ составляют $(247,7 \pm 1,2) \times 10^{-3}(\%) / ^\circ\text{C}$ и $(294,0 \pm 19,8) \times 10^{-3}(\%) / ^\circ\text{C}$ для $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ и $^{132}\text{Xe}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе соответственно. Чтобы учесть температурное изменение термодиффузионной чувствительности для $^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar}$ в воздухе в диапазоне температур от -35 до 20°C , можно использовать уравнение: $\Omega (^{22}\text{Ne}/^{36}\text{Ar} \text{ в воздухе}) = 152,11/T_{\text{av}} - 13470/T_{\text{av}}^2$, $(\%) / ^\circ\text{C}$.

Список литературы

1. Sowers T., Bender M., and Raynaud D. Elemental and isotopic composition of occluded O_2 and N_2 in polar ice // J. Geophys. Res. 1989. T. 94. C. 5137.
2. Sowers T., Bender M. L., Raynaud D., and Korotkevich Y. S. (1992) ^{15}N of N_2 in air trapped in polar ice: A tracer of gas transport in the firm and a possible constrain on ice age-gas age differences // J. Geophys. Res. 1992. T. 97. C. 15683.
3. Craig H. and Wiens R. C. Gravitational enrichment of $^{84}\text{Kr}/^{36}\text{Ar}$ ratios in polar ice caps: A measure of firm thickness and accumulation temperature // Science. 1996. T. 271. C. 1708.
4. Severinghaus J. P., Sowers T., Brook E. J., Alley R. B., and Bender M. L. Timing of abrupt climate change at the end of the Younger Dryas interval from thermally fractionated gases in polar ice. // Nature. 1998. T. 391. C. 141.
5. Severinghaus J. P. and Brook E. J. Abrupt climate change at the end of the last glacial period interfered from trapped air in polar ice // Science. 1999. T. 286. C. 930.
6. Leuenberger M. C., Lang C., and Schwander J. Delta(^{15}N) measurements as a calibration tool for the paleothermometer and gas-ice age differences: A case study for the 8200 BP event on GRIP ice // J. Geophys Res. 1999. T. 104. C. 22163.
7. Lang C., Leuenberger M., Schwander J., and Johnsen S. (1999) 16°C rapid temperature variation in Central Greenland 70,000 years ago // Science. 1999. T. 286. C. 934.
8. Caillon N., Jouzel J., and Chappellaz J. Reconstruction of the surface temperature change in Central Greenland during D/O 12, 45 Kyr B.P. // Eos (Transactions, AGU). 2001. T. 82. №47. C. F23 (abstr.).
9. Severinghaus J. P., Grachev A., Luz B., and Caillon N. A method for precise measurements of argon $^{40}/^{36}$ and krypton/argon ratios in trapped air in polar ice with applications to past firm thickness and abrupt climate change in Greenland and at Siple Dome, Antarctica // Geochem. Cosmochim. Acta. 2003. T. 67 №3. C. 325.
10. Severinghaus J. P., Grachev A. M., Battle M. Thermal fractionation of air in polar firm by seasonal temperature gradients // Geochem. Geophys. Geosyst. 2001. T. 2, paper #2000GC000146.
11. Grew K. E. and Ibbs T. L. Thermal Diffusion in Gases. Cambridge Univ. Press, New York, 1952. 143 p.
12. Mason E.A., Munn R.J., and Smith F./J/ Thermal diffusion in gases // Adv. At. Mol. Phys. 1966. T. 2, C. 33
13. Grachev A. M. and Severinghaus J. P. Laboratory determination of thermal diffusion constants for $^{29}\text{N}_2/^{28}\text{N}_2$ in air at temperatures from -60 to 0°C for reconstruction of magnitudes of abrupt climate changes using the ice core fossil-air paleothermometer // Geochim. Cosmochim. Acta. 2003. T. 67. C. 345
14. Grachev A. M. and Severinghaus J. P. Determining the thermal diffusion factor for $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ in air to aid paleoreconstruction of abrupt climate change. // J. of Phys. Chem. A. 2003. T. 107. C. 4636

**ЭЛЕКТРОТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЕ ФРИКЦИОННОЕ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРИ КРЕКИНГ-ПРОЦЕССЕ
ELECTROTHERMOMECHANICAL FRICTIONAL INTERACTION
DURING THE CRACKING PROCESS**

**Пашаев А.М. * ** * ** , Джанахмедов А.Х. * ** , Джавадов М.Я. * ** * ** * **
Pashaev A.M. * ** * ** * ** , Janahmadov A. Kh. * ** , Javadov M. Ya. * ** * ** * ****

**Азербайджанская Национальная академия авиации, Азербайджан, Баку*

***Азербайджанская инженерная академия, Азербайджан, Баку*

****Национальная академия наук Азербайджана, Азербайджан, Баку*

*****ОАО «АзерАлюминум», Азербайджан, Баку*

(E-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com)

** Azerbaijan National Aviation Academy, Azerbaijan, Baku*

*** Azerbaijan Engineering Academy, Azerbaijan, Baku*

****National Academy of Sciences of Azerbaijan, Azerbaijan, Baku*

***** JSC "AzerAluminium", Azerbaijan, Baku*

Аннотация: Материалы статьи относятся к испытательной технике, используемой для исследования процессов трибокрекинга пар трения. Эти процессы сопровождаются выделением газопаровых смесей и воды, которые при высоких температурах, превышающих допустимую для материалов полимерных накладок, интенсифицируют водородный износ рабочих элементов пар трения.

По результатам исследований трибокрекинга пятен контактов микровыступов металлополимерных пар трения оценена их энергонагруженность с учетом окислительно-восстановительных процессов, происходящих на рабочих поверхностях. Установлены закономерности изменения динамического коэффициента трения в зависимости от энергонагруженности металлополимерных пар трения, подверженных воздействию электрических, тепловых и химических полей. Показано, что трибокрекинг носит сложный трибохимический характер с выгоранием с поверхностного слоя полимерной накладки формальдегидной смолы. Этот процесс сопровождается выделением воды, водорода, кислорода и других газовых смесей.

Abstract: The materials of the article refer to the testing technique used to investigate the tribo-cracking processes of friction pairs. These processes are accompanied by the release of gas vapor mixtures and water, which, at high temperatures exceeding those allowed for polymer patch materials, intensify hydrogen wear of the friction pair working elements.

According to the results of tribo-cracking studies of contact spots of microprotrusions of metal-polymer friction pairs, their energy loading is estimated taking into account redox processes taking place on working surfaces. There are established regularities of change of dynamic coefficient of friction depending on energy loading of metal-polymer friction pairs exposed to electric, thermal and chemical fields. Tribo-cracking is shown to be of complex tribochemical character with burnout from the surface layer of the polymer patch of formaldehyde resin. This process is accompanied by the release of water, hydrogen, oxygen and other gas mixtures.

Ключевые слова: испытательный стенд, процессы крекинга, изменение эксплуатационных параметров, соотношение компонентов газовой среды, энергонагруженность, динамический коэффициент трения.

Key words: test bench, cracking processes, change of operational parameters, ratio of gas medium components, power loading, dynamic coefficient of friction.

Введение. Водородное изнашивание обусловлено интенсивным выделением водорода из полимерной накладки в результате возникновения трибокрекинга. При этом обеспечивается непрерывное поступление водорода в поверхностный слой стального элемента трения, его адсорбция на поверхностях металлополимерных пар трения и диффузия в деформированный слой металла. Ее темп зависит от величины градиента напряжений, степенью деформирования и накопления водорода. Все это сопровождается особым видом разрушения поверхности, обусловленным одновременным увеличением количества зародышей микротрещин по всей зоне контакта [1, 2].

Постановка задачи. В материалах статьи рассмотрены следующие вопросы: общие принципы энергетических процессов в полях фрикционного взаимодействия пар трения тормозных устройств; конструкция и работа испытательного стенда для исследования крекинг-процесса в рабочем слое полимерной накладки; установление закономерностей влияния восстановительно-окислительных процессов на динамический коэффициент трения в паре трения «металл-полимер»; особенности компьютерного моделирования энергонагруженности металлополимерных пар трения тормозов; представлен анализ результатов экспериментальных исследований.

Цель работы – установление закономерностей и очередности фазовых переходов в рабочих слоях пары трения «полимер-металл» для определения количества и состава выделившейся газопаровой смеси и воды и их влияние на окислительно-восстановительные процессы на поверхностях взаимодействующих пар трения и на закономерности изменения динамического коэффициента трения.

Для исследования крекинг-процесса используют специальные испытательные стенды.

Испытательный стенд работает следующим образом. Приводят во вращение держатель с заданной угловой скоростью. Между цилиндрическим металлическим образцом и диском-коллектором в зоне контакта происходит фрикционное взаимодействие, при котором возникает определенное фоновое газовыделение – систематическая погрешность эксперимента. Она фиксируется газопароанализатором. Затем при помощи радиального прижимного устройства к контрообразцу, выполненному в виде полимерной вставки, прикладывают нагрузку, величина которой предусмотрена программой испытаний. Это способствует фрикционному взаимодействию его внутренней цилиндрической поверхности с внешней цилиндрической поверхностью цилиндрического металлического образца. Штатными средствами машины трения и износа фиксируются основные трибологические параметры процесса: динамический коэффициент трения, температура в зоне трения, величина износа элементов пары трения. Для испытаний цилиндрический металлический образец изготавливают из различных металлов, в том числе и с защитными покрытиями.

Общие принципы энергетических процессов в полях фрикционного взаимодействия пар трения тормозных устройств. Чтобы выяснить смысл совокупности понятий рассмотрим каждый вид энергии как произведение двух величин: интенсивности (фактор интенсивного свойства) и емкости (фактор экстенсивного свойства). Так, механическая энергия определяется величиной Fdl , т. е. произведением силы на проразращение пути; электрическая – Edq , т. е. произведением э.д.с. на количество переносимого электрического заряда; магнитная – Bdl , т. е. произведением магнитной индукции на намагниченность; объемная – PdV ; поверхностная энергия – $\sigma d\omega$, т. е. произведением поверхностного натяжения на изменение площади поверхности; потенциальная – $mgdh$; кинетическая – $(v^2/2)dm$; химическая – μdn , она определяет изменение химиче-

ского потенциала по толщине вещества. Факторы интенсивности нередко объединяют под общим названием обобщенных сил, а фактор емкости называют обобщенным путем. Так, в случае механической энергии величина силы является множителем напряжения (так же, как p , σ , μ и т.д. в соответствующих видах энергии), а величина пройденного пути (т.е. изменения v , ω , n и т.д.) показывает, в какой степени проявляется действие силы.

Энергию в общем виде можно записать следующим образом:

$$dU = TdS - (Xdx + Ydy + \dots), \quad (1)$$

где X , Y ... – факторы интенсивности; x , y ... - соответствующие им факторы емкости. Если допустить, что $dx=dy=\dots=0$, т.е. система не подвержена действию никаких внешних сил, то уравнение (1) примет вид: $dU = TdS$. В этом случае пары трения в тормозе разомкнуты.

Факторы интенсивности являются потенциалами (T – потенциал тепловой энергии; μ – потенциал химической энергии и т.д.), т.е. напряжениями действующего вида энергии.

Каждый раз, когда две системы с различными потенциалами вступают во взаимодействие, происходит выравнивание потенциалов за счет изменения соответствующих факторов емкости. Так, давление выравнивается за счет изменения объема, температура – за счет изменения энтропии и т.д.

Величина $(\partial u / \partial n_i)_{V,S,n_j}$ является химическим потенциалом (μ_i). Это справедливо для случая, когда происходит приращение внутренней энергии жидкой фазы трибосистемы при уменьшении массы поверхностного и приповерхностного слоя полимерной накладке при крекинг-процессе на единицу при постоянной энтропии, а объем и массы компонентов накладки являются переменными. Тепловой поток является движущей силой при теплопередаче, а химический потенциал – при фазовом переходе массы верхнего слоя полимерной накладки. Фазовый переход приводит к установлению химического равновесия (и фазового, если уменьшение массы происходит в гетерогенной системе, т.е. между фазами). Подобно другим факторам интенсивности в крекинг-процессе химический потенциал веществ по мере протекания процесса выравнивается. В момент наступления равновесия он становится одинаковым во всех существующих фазах, в которых находятся компоненты верхнего слоя полимерной накладки. Таким образом, химической переменной является количество компонентов накладки, взаимодействующих с материалом металлического элемента трения. В отличие от других факторов интенсивности непосредственно измерить химический потенциал нельзя, что делает это понятие не таким наглядным, как, например, удельная нагрузка, поверхностная и объемная температуры и др.

Ниже приведены уравнения, описывающие бесконечно малое изменение U , H , F и G для фазы, масса и концентрация которой может измениться в результате обмена с другими фазами.

Если считать, что при фрикционном взаимодействии на трибосистему действуют лишь удельные нагрузки, то при независимых переменных S , V и $n_1, n_2, n_3 \dots$ получаем уравнение:

$$dU = TdS - PdV + \sum \mu_i dn_i . \quad (2)$$

При независимых переменных S , P и $n_1, n_2, n_3 \dots$ имеем:

$$dH = TdS - VdP + \sum \mu_i dn_i . \quad (3)$$

Применяя в качестве переменных T , V и $n_1, n_2, n_3 \dots$, имеем:

$$dF = - SdT - PdV + \sum \mu_i dn_i . \quad (4)$$

Наконец, при независимых переменных P , T и $n_1, n_2, n_3 \dots$ имеем:

$$dG = -SdT - VdP + \sum \mu_i dn_i. \quad (5)$$

Взяв частные производные из уравнений (2)-(5), получаем аналитические выражения для различных термодинамических параметров. Кроме того, из этих выражений следует, что:

$$\begin{aligned} \mu_i &= (\partial u / \partial n_i)_{V,S,n_j} = (\partial H / \partial n_i)_{P,S,n_j} = (\partial F / \partial n_i)_{V,T,n_j} = \\ &= (\partial G / \partial n_i)_{P,T,n_j}, \end{aligned} \quad (6)$$

т.е. химический потенциал верхнего слоя рабочей поверхности полимерной накладки при фрикционном взаимодействии с металлическим элементом трения равен частной производной от любого термодинамического потенциала данной фазы по числу молей данного компонента при условии, что соответствующие термодинамические параметры и число молей остальных компонентов накладки остаются постоянными. Другими словами, химический потенциал является парциальным мольным значением термодинамического потенциала при условии неизменности соответствующих параметров состояния трибосистемы.

Особенности компьютерного моделирования энергонагруженности металлополимерных пар трения тормозов. Конструктивные микро- и миллигеометрические параметры фрикционного соединения оказывают влияние на все основные характеристики теплового режима электротермомеханического трения: закономерности распределения тепловых потоков, поверхностную температуру, температурные градиенты и объемное распределение температур в элементах фрикционного взаимодействия. Топография поверхности трения влияет на общие закономерности генерирования и аккумуляции электрических и тепловых токов через динамический коэффициент трения, а через податливость элементов трения – на равномерность распределения аккумуляруемой теплоты в поверхностных слоях пар трения в пределах номинальной площади контакта [4, 5].

Исходные предпосылки модели следующие: материалы пятна контакта микровыступов однородны и изотропны; контакт носит дискретный характер и происходит по вершинам отдельных микровыступов шероховатостей, деформация микровыступов имеет упругий характер и описывается зависимостью Герца для контакта двух криволинейных гладких тел с первоначальным касанием в точке; размеры единичных пятен контакта малы по сравнению с размерами зоны взаимодействия и радиусами кривизны микровыступов в точке касания; в зоне контакта действуют только импульсные нормальные силы и силы трения; распределение пятен контакта по поверхности пар трения равномерное. Исходными данными для расчета являются характеристики микрогеометрии поверхностей – максимальная высота микровыступов над средней линией профиля R_p и максимальный радиус закругления микровыступов r_{max} ; физико-механические характеристики материала – модуль упругости (модуль Юнга) E , коэффициент Пуассона μ , удельное электрическое сопротивление материала p ; эксплуатационные характеристики, импульсная нормальная сила, сжимающий контакт. В табл. 1 представлены основные зависимости для расчета характеристик единичного контакта двух сферических микровыступов пятна контакта.

В табл. 1 в зависимостях (7)-(15) использованы следующие обозначения: N – импульсное нормальное усилие, кН; E – приведенный модуль упругости материалов контактирующих микровыступов, МПа; a_1, a_2 – коэффициенты температуропроводности материалов контактирующих микровыступов, м²/с; τ – время фрикционного взаимодействия, с; μ_1, μ_2 – коэффициенты Пуассона материалов контактирующих микровыступов; ν – частота колебаний микровыступов, с⁻¹; μ_3 – относительная магнитная проницаемость материалов микровыступов; t_{max} – максимальная температура на пятне кон-

такта микровыступов, °С; α_m – коэффициент внешней теплоотдачи, Вт/(м²·°С); R_k – термическое сопротивление контакта, °С/Вт; l_k – длина контакта, мм.

Компьютерная модель практически реализована в виде Windows-приложения, написана на языке С++ с использованием библиотеки классов Borland. Программно модель входит в основной расчетный модуль, в который включена оценка внешних и внутренних параметров металлополимерных пар трения на макро-, микро- и наноуровнях. Кроме основного имеется дополнительный модуль, отвечающий за удобство представления данных и пользовательский интерфейс. В результате исследований получены эксплуатационные характеристики контакта (см. табл. 1).

Таблица 1. Механические и электрические характеристики пятна контакта двух сферических микровыступов металлополимерных пар трения

Название параметра			Расчетная зависимость
Радиус единичного пятна контакта			$a = (0,75 Nr/E)^{2/3}$; (7)
Деформация контактирующих микровыступов			$\delta = \frac{a^2}{r} = \left[(0,56 N^2 / (r E^2)) \right]^{0,25}$; (8)
Удельная нагрузка на пятне контакта микровыступов	максимальная		$P_1 = \left(\frac{6NE^2}{\pi^2 a^2} \right) = 1,5N/\pi a^2$; (9)
	средняя		$P_2 = 0,66P_1 = N/\pi a^2$; (10)
Приведенный модуль Юнга			$1/E = (1 - \mu_1^2)/E_1 + (1 - \mu_2^2)/E_2$ (11)
Средняя глубина проникновения в тело элементов	полимерного	теплоты	$b_1 = 1,73\sqrt{a_1\tau}$; (12)
	металлического		$b_2 = 1,73\sqrt{a_2\tau}$; (13)
		электрического тока	$b_3 = 0,05\sqrt{\frac{p}{v\mu_3}}$; (14)
Сила тока			$I = \sqrt{\frac{t_{\max}\alpha_m l_k}{R_k p}}$. (15)

Для большей наглядности на основе предложенных формул предусмотрена возможность построения графических зависимостей характеристик контакта от внешних факторов, которыми являются параметры потоков омывающего воздуха и компонентов смесей. В рамках компьютерной модели расчет характеристик контакта происходит следующим образом. Генерируется пара случайных чисел, распределенных по заданному закону, соответствующих высоте и радиусу микровыступа шероховатой поверхности. Логику работы программы иллюстрирует блок-схема основного расчетного модуля для параметров механического, электрического и теплового полей (рис. 1).

Программа связана с базой данных MS Access, состоящей модуля из двух таблиц, каждая из которых включает в себя 33 поля. Первая таблица содержит значения исходных промежуточных данных, а вторая – значения результатов. Таблицы используются для построения графиков. При этом первое поле каждой таблицы зарезервировано для проверенной начальной комбинации исходных параметров и используется только в начале работы и только для чтения. Прежде всего программа считывает начальную комбинацию исходных параметров из базы данных и дополняет этими значениями поля исходных данных. Затем пользователь редактирует их, выполняет расчет,

после чего заполняется таблица значений и по ней строится график. Адекватность модели проверялась путем сравнения результатов моделирования с данными работ других авторов, полученными на основании аналитических моделей для некоторых частных случаев [2, 6, 7].



Рисунок 1. Блок-схема основного расчетного модуля

Обсуждение результатов исследований.

Результаты экспериментальных исследований изменения количества и состава газопаровой смеси, образовавшейся в межконтактном пространстве пар трения, указывает на то, что процесс трения носит сложный трибохимический характер (табл. 2) [3].

Таблица 2. Процентное соотношение компонентов газовой смеси, образовавшейся в межконтактном пространстве пары трения сталь 30ХГСА – ФК-24А

Номер пробы	Марка компонента	Температура, °С	Содержание газа, мас. доля, %						
			H ₂	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	ΣC _n H _m	Другие газы***
1	ФК-24А	150	*	19,8	78,8	0,28	*	*	Остальное
2	—	215	*	19,8	78,8	0,23	*	*	
3**	—	420	0,123	19,1	79,5	0,13	*	*	
4**	—	500	0,171	16,3	81,6	0,24	0,24	0,24	
5	—	730	0,308	9,8	81,2	0,08	0,08	1,06	

Примечание:

* Наличие следов указанных газов

** Отбор проб осуществлялся из четырех зон (точек) одновременно.

*** Под другими подразумевается Ar, Ne, He, Kr, N₂O, Xe, O₂, Rn.

Количество воды, оказавшейся в мерной трубке вакуумного насоса, составило 35,4 мл. Приведена энергонагруженность дискретного контакта микровыступов металлополимерных пар трения трибосистем с учетом изменения динамического коэффициента трения (рис. 2).

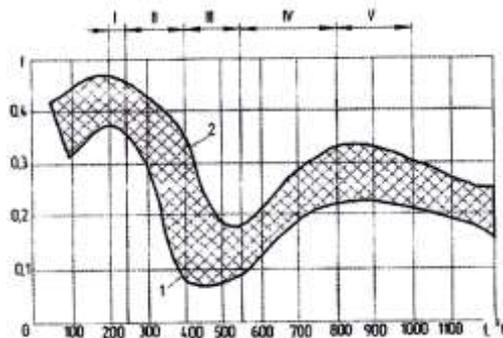


Рисунок 2 – Эталонное изменение коэффициента трения материала «Ретинакс» ФК-24А в функции температуры поверхности трения по зонам: I – 200-250°C; II – 250-400°C; III – 400-550°C; IV – 550-800°C; V – 800-1000°C

Заключение. Разработан и испытан стенд, позволивший исследовать образец из фрикционного материала ФК-24А весом 125 г на крекинг-процесс его верхнего слоя с применением термогравиметрического и дифференциально-термического методов анализа.

Термодеструкция образца начиналась при температуре 300°C при рассчитанной энергии активации 85,5 кДж/моль. При этом поверхностный слой образца распадался в течение примерно 15-ти минут при температуре 400°C. Количество воды, оказавшейся в мерной трубке вакуумного насоса, составило 35,4 мл. До температуры 320°C преобладали окислительные процессы, а потом начали проявляться восстановительные процессы; замедлителями химических реакций выступили инертные газы.

Для достижения максимальной степени протекания реакции превращения необходим избыток исходных веществ; при этом если расход одного из них по эксплуатационным соображениям ограничен, то возрастание исходной концентрации других реагентов увеличивает число молей образующихся продуктов и тем самым степень протекания реакции.

Выяснено, что энергонагруженность дискретного контакта микровыступов металлополимерных пар трения с учетом электрических, тепловых и химических полей до и выше допустимой температуры для верхних слоев полимерной накладке при окислительно-восстановительных процессах существенно влияет на динамический коэффициент трения и интенсивность износа полимерной накладке.

Предложен метод для определения контактного электротеплового сопротивления при фрикционном взаимодействии пятен контактов микровыступов пар трения тормозных устройств для более точной оценки их энергонагруженности с целью выявления зародышей микротрещин во всей зоне контакта.

Список литературы

1. Trenie, iznos i smazka (tribologiya i tribotekhnika) / Pod obshch. redakciej A.V. Chichinadze. – М.: Mashinostroenie, 2003. – 575 s. (Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / Под общ. редакцией А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2003. – 575 с.).
2. Tribologiya: trenie, iznos, smazka / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, N.A. Volchenko [i dr.] // Baku, «Apostroff – A», 2019. – 640 s. (Трибология: трение, износ, смазка / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, Н.А. Вольченко [и др.] // Баку, «Апострофф – А», 2019. – 640 с.).
3. А. s. 1377665 SSSR, MKI G 01 N 3/56. Sposob kontrolya iznashivaniya poverhnostej treniya / I.M. Bogatchuk, V.Ya. Belousov, M.I. Burda i dr.; zayavitel i patentooblada-tel Ivano-Frankovskij institut nefti i gaza. – №3848200/25-28; zayavl. 28.01.85; opubl.

29.02.88, Вул. № 8. – 3 с. (А. с. 1377665 СССР, МКИ G 01 N 3/56. Способ контроля изнашивания поверхностей трения / И.М. Богатчук, В.Я. Белоусов, М.И. Бурда и др.; заявитель и патентообладатель Ивано-Франковский институт нефти и газа. – №3848200/25-28; заявл. 28.01.85; опубл. 29.02.88, Бюл. № 8. – 3 с.).

4. The characteristic analysis of changes in the processes, phenomena and effects with in working layers of metal polymer pairs during electro-thermo-mechanical friction / Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Javadov M.Y., Volchenko N.A., Janahmadov E.A. // Science&Applied Engineering quarterly. – London, UK, 2014. №02. Pp. 6-17.

5. The frictional interaction in electrical and thermal fields of metal friction pairs / Janahmadov A.Kh., Volchenko A.I., Pirverdiev E.S., Volchenko N.A., Zhuravlev D.Y. // Science&Applied Engineering quarterly. – London, UK, 2014. №03. Pp.5-19.

6. Hajnike G. Tribologiya / G. Hajnike. – М.: Mir, 1987. – 584 s. (Хайнике Г. Трибология / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 584 с.)

7. Kupershtoh A.L. Razrushenie plenok zhidkosti, nahodyashchihya na tverdoj i zhidkoj podlozhkah, v pole dejstviya obyemnyh sil / A.L. Kupershtoh, N.V.Gavrilov, E.V. Ermanyuk // Sovremennaya fizika. - №1(12), 2013. – S.389-405. (Куперштох А.Л. Разрушение пленок жидкости, находящихся на твердой и жидкой подложках, в поле действия объемных сил / А.Л. Куперштох, Н.В.Гаврилов, Е.В. Ерманюк // Современная физика. - №1(12), 2013. – С.389-405).

УДК 622.833.5; 622.831.32

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО И ЭФФЕКТИВНОГО
ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ
КЫРГЫЗСТАНА
SCIENTIFIC SUPPORT FOR SAFE AND EFFECTIVE DEVELOPMENT
OF MINERAL DEPOSITS OF KYRGYZSTAN**

**Кожогулов Камчибек Чонмурунович
Kozhogulov Kamchibek Chonmurunovich**

*Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской
Республики (НАН КР), Инженерная академия Кыргызской Республики, Бишкек,
Кыргызстан,*

*Institute of Geomechanics and Development of Subsoil of the NAS KR, Engineering Academy of
the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan
(e-mail: eakr.info@gmail.com)*

Аннотация: В работе приведено обобщение многолетних научных исследований по обеспечению безопасного и эффективного освоений месторождений угля, ртути, сурьмы, олово, золото, нерудных полезных ископаемых, выполненных при непосредственном участии и руководстве автора.

Abstract: The paper summarizes many years of scientific research to ensure safe and efficient development of coal, mercury, antimony, tin, gold, non-metallic mineral deposits, carried out with the direct participation and guidance of the author.

Ключевые слова: полезные ископаемые, уголь, ртуть, сурьма, олово, золото, природный камень, переработка, технология, рудное тело, горный удар, удароопасность.

Keywords: minerals, coal, mercury, antimony, tin, gold, natural stone, processing, technology, ore body, rock impact, impact hazard.

Кыргызстан является одной из богатых республик в мире на различные полезные ископаемые. На ее территории разведаны, разрабатывались и разрабатываются месторождения угля, ртути, сурьмы, урана, редких металлов, меди, олово, серебра и золота. При этом, известно, что горные работы по добыче полезных ископаемых велись в Кыргызстане еще в древние времена. Об этом убедительно свидетельствуют сохранившиеся в горах до настоящего времени древние разработки. Расцвета горнодобывающая промышленность в республике достигла в период существования СССР. В то время в Кыргызстане функционировали ряд угольных предприятий (Сулюкта, Кызыл-Кия, Таш-Кумыр, Кок-Янбак, Жергалан, Каджисай и др.), Хайдарканский ртутный комбинат, Кадамжайский сурьмяный комбинат, Кыргызский горнорудный комбинат, Актюзское рудоуправление. В это время возникла также острая необходимость создания в республике научно-исследовательского учреждения горного профиля и в 1960 году в системе Академии наук Кыргызской республики был открыт Институт горного дела и металлургии, позже преобразованный в Институт физики и механики горных пород. С этого времени берет начало зарождение и становление горной науки в Кыргызстане. В данной работе проведено обобщение многолетних исследований автора по научному обеспечению безопасного и эффективного освоения месторождений полезных ископаемых Кыргызстана.

Уголь. Добыча угля в Кыргызстане была начата еще в XIX веке в угольных регионах Кызыл-Кия, Таш-Кумыр, Шураб, Сулюкта и Кок-Янбак. При этом ускоренное развитие угольная отрасль в республике получила с шестидесятых годов XX века. Причем, в 1965 году добыча угля составила 3662 тыс. т., а в 1979г. она возросла до 4508 тыс. тонн. Однако, начиная с восьмидесятых годов до настоящего времени, в угольной промышленности Кыргызстана наблюдается значительный спад со снижением добычи угля первоначально до 3148 тыс. т. в 1991г., в 1993г. было добыто 1526 тыс. т., в 1994г. – 658 тыс. т., в 1995г. – 532 тыс. т. и в последующие время вплоть до 2018г. годовая добыча угля снизилась до 360 тыс. т. А в 2012 году производственная мощность угольных предприятий достигла 1,1 млн. тонн. [1]. Однако в обстановке сложившейся экономической ситуации в республике роль угля и продуктов его переработки в национальном топливно-энергетическом балансе неизбежно будет возрастать. При этом удовлетворение потребности экономики республики в угольном топливе будет связано с развитием добычи угля в бассейнах южного региона страны – Узгенского, Южно-Ферганского и Алайского. Межреспубликанское значение будут иметь угольные месторождения Кавакского бассейна [2]. При этом, угольные пласты имеют сложные горно-геологические условия, характеризующиеся переменными мощностями и углами падения, слабыми неустойчивыми вмещающими породами, геологическими нарушениями.

Кавакский буроугольный бассейн имеет межреспубликанское значение и является одним из крупных в Центральной Азии [2]. На данной площади выявлен ряд буроугольных месторождений: Каракечинское на востоке, Минкуш и Кок-Мойнок в центральной части с большими запасами угля. Несомненный интерес представляет Узгенский каменноугольный бассейн. В нем наиболее изученными являются месторождения коксующего угля Туук и Карагаши. При этом на базе этих углей в перспективе можно организовать коксохимическую промышленность.

Ртуть. Добыча ртути в Кыргызстане производится Хайдарканским ртутным комбинатом на месторождениях Хайдаркан, Чаувай, Чон-Кой. В 60-70 годах прошлого столетия происходит дальнейший рост добычи ртути в республике. При этом стало происходить дальнейшее увеличение глубин разработок, что в свою очередь вызвало ухудшение условий очистной выемки, главным образом, за счет возрастания горного

давления. При этом, на интенсивность и формы проявления горного давления в процессе разработки месторождений в значительной степени оказывает влияние естественное напряженное состояние массива горных пород. Учитывая, что решение многих горно-технических задач также должно базироваться на оперативной и надежной информации о напряженном состоянии массива горных пород, нами был проведен значительный объем экспериментальных исследований на ртутном месторождении Чон-Кой [6-10]. Выбор этого месторождения обусловлен тем, что оно в то время являлось одним из перспективных месторождений Средней Азии. Месторождение Чон-Кой находилось в начальной стадии разработки и отработка велась на глубинах 200-300м. Глубокие горизонты месторождения были вскрыты двумя стволами шахт Глубокой и Центральной. Глубина стволов соответственно 685м и 860м. Приуроченность месторождения к зоне Чон-Койского разлома глубокого заложения и к опрокинутой Чон-Койской антиклиналью обусловило сложное геологическое строение рудных залежей месторождения в целом. Экспериментальные исследования напряженного состояния массива горных пород на Чон-Койском месторождении были приведены на четырех горизонтах. Это горизонты 1100 (Н=160м), 1060 (Н=200м), 960 (Н=280м) и 900 (Н=360м). В дальнейшем исследования напряженного состояния были проведены на горизонтах 820м и 740м. В результате выполненных работ установлено, что наибольшее главное сжимающее напряжение горизонтально и действует в субмеридиональном направлении. По своей величине оно в 1,7-2,5 раз превышает вертикальное напряжение, которое обусловлено весом вышележащей толщи пород. Изменение напряжений с глубиной на Чон-Койском месторождении показано на рис. 1.

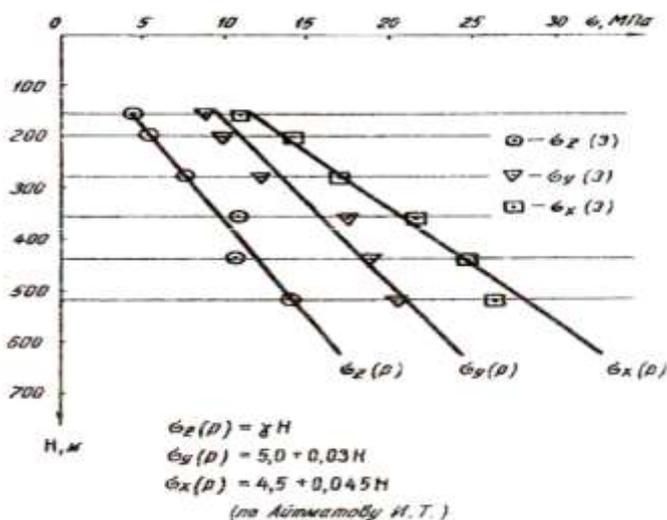


Рис 1. Изменение напряжений с глубиной на Чон-Койском месторождении

По результатам исследований естественного напряженного состояния массива горных пород, его трещиноватости и физико-механических свойств горных пород Чон-Койское ртутное месторождение отнесено к склонным к горным ударам и были разработаны и внедрены «Указания по безопасному ведению горных работ на участках Чон-Койского месторождения, склонных к горным ударам»[11].

Сурьма. Добыча сурьмы в Кыргызстане производится Кадамжайским сурьмяным комбинатом на Кадамжайском месторождении. Проблема безопасной разработки данного месторождения остро возникла в начале 70-х годов прошлого столетия, когда впервые было зафиксировано два горных удара, где причиной послужили сдвигание породных блоков по тектонической трещине и внезапное обрушение потолочины в очистной камере. При этом с углублением работ на Кадамжайском месторождении стали увеличиваться площади выработанных, возросли трудности добычи полезных

ного ископаемого, что еще больше усугубило безопасное ведение горных работ. Причем на руднике все чаще стали отмечаться динамические формы проявления горного давления в виде «стреляний», «толчков» и внезапных вывалов горной массы при проходке горно-капитальных выработок, в зонах тектонических нарушений, а также при ведении очистных работ. Район Кадамжайского месторождения отличается сложным строением, обусловленным интенсивно развитой тектоникой, различием механических свойств руд и вмещающих пород. Сложное строение месторождения обуславливает и сложное напряженное состояние массива пород, которое неоднородно и в значительной степени связано со структурными особенностями как месторождения в целом, так и его отдельных участков. Наибольшее напряжение наблюдается вблизи активных тектонических разломов и составляет до 2 - 4γН. Максимальные напряжения ориентированы в горизонтальной плоскости в субмеридио-нальном направлении, вкрест простирания основных складчатых и разрывных структур [12-14]. На основе лабораторных исследований выявлены склонные к динамическому разрушению разновидности горных пород Кадамжайского месторождения, к которым отнесены джаспероидно-кварцевые и роговиково-кварцевые брекчии. В результате натурных экспериментов удароопасности участков пород месторождения разработаны мероприятия по безопасному ведению горных работ на глубоких горизонтах Кадамжайского месторождения (рис.2).

Наименования	Наиболее безопасные	Наиболее опасные
При пологом залегании рудного тела (каперино-столбовая система разработки)		
<i>Вкрест простирания нарушений</i>		
<i>Раздельная выемка рудного тела</i>		
При крутом залегании рудного тела (система разработки с маганизированной руды) (система подэтажного обрушения)		
<i>Форма поперечного сечения камеры</i>		
<i>Днища - потолочины:</i>	<i>1. Со скрепленной доставкой</i>	
	<i>2. С трапезной подготовкой плоская</i>	
<i>Форма и направление фронта очистных работ</i>		

Рис.2. Элементы технологических решений при ведении горных работ

При интенсивном заколообразовании, вывалах горной массы, шелушениях, необходимо изменить форму сечения выработки. Для снижения концентрации напряжений в приконтурной части предложены оптимальные параметры разгрузочных скважин.

Разработанные мероприятия вошли в «Указания по безопасному ведению горных работ» на участках Кадамжайского месторождения, склонных к горным ударам [15], которые позволили повысить безопасность горных работ и внедрены на Кадамжайском сурьмяном комбинате. В ближайшей перспективе при позитивных стечениях обстоятельств должны заработать важные для экономики республики проекты.

Олово. Месторождение олова и вольфрама «Трудовое» в Аксыйском районе Кыргызстана. Месторождение «Трудовое» расположено в приосевой части и на северо-западном крыле Кургакской горст-антиклинами – восток – северо-восточного простириания Ташкоринской интрузией гранитов, и приуроченности простириания с диагональным разломом – восток – северо-восточного направления. Рудные тела на месторождении «Трудовое» представлены жилами различного состава, развитыми в гранитных массивах. Исследования показали, что все разновидности гранитов месторождения «Трудовое» являются удароопасными. Установлено, что главное напряжение в массиве горных пород месторождения «Трудовое» горизонтально и ориентировано вкрест простириания хребта и в 2-3,5 раза превышает вертикальное [16-17].

На месторождении «Трудовое» во время его детальной разведки отмечены отдельные случаи динамических проявлений горного давления, а дискование керн распространено достаточно широко на больших глубинах в горизонтальных и вертикальных скважинах, пробуренных из горных выработок. Большое количество интервалов дискование керн в массиве горных пород месторождения характеризует его как массив, имеющий участки с высокой степенью напряжений. В результате геомеханических исследований месторождение «Трудовое» отнесено к удароопасным месторождениям.

Комплексные исследования на месторождении «Трудовое» по исследованию напряженного состояния, физико-механических свойств пород трещиноватости участков дало возможность определить комплекс параметров для расчета количественных величин критериев геомеханического подобия участков месторождения. Это позволило разработать метод геомеханической аналогий для прогноза удароопасности участков крутопадающих жильных месторождений, на стадии проектирования и отработки глубоких горизонтов и выявить удароопасные участки, на основе установления степени их аналогичности [18]. На рис. 3 представлена общая схема прогнозирования удароопасности участков крутопадающих месторождений жильного типа по методу геомеханической аналогии.

С использованием данного метода осуществлен прогноз степени удароопасности участка «Центральный» месторождения «Трудовое».

Золото. Добычу золота в Кыргызстане ведут ОАО «Кыргызалтын» и ряд зарубежных компаний на месторождениях Макмал, Солтон Сары, Тереккан, Кумтор. Золоторудное месторождение Макмал расположено в юго-западной части Чаарташского массива гранитоидов и приурочено к экзоконтактовой части, представленной кремнисто-карбонатными отложениями визейского яруса. Горно-подготовительные работы на месторождении начались в 1985 году. Карьер был принят в эксплуатацию в 1986 году и выведен на проектную мощность в конце 1987г. Первые самообрушения предохранительных берм в Северном борту карьера с гор. +2635м и в Западном борту с гор. +2682,2м произошли в 1995 году. Ранее оставленные предохранительные бермы на нижних горизонтах оказались засыпанными обрушившимися породами. В 1996 году в Северном и Западных бортах карьера на горы. 2552м были выявлены трещины отрыва шириной 15-20 см. В 1997 году между бермами на горы. 2605–2560м произошла подвижка блока пород объемом порядка 60 тыс. м², а продольная трещина на горы. 2605 м раскрылась до 3 м. В результате расчетов устойчивости Северного и Западного бортов и непосредственных инструментальных исследований за деформациями этих бортов, проведенных специалистами Института физики и механики горных пород НАН КР проведена оценка их устойчивости и с участием ОсОО «Интерсервис-НТВ» обеспечена безопасность доработки запасов [19, 20].

Карьерные запасы месторождения уже отработаны и с 2003 года начата добыча руды подземным способом т.е. комбинированным способом. Обычно комбинированная разработка месторождений приводит к перераспределению напряжений вызывая повышенную их концентрацию ниже дна карьера и смещение массивов в сторону выработанного пространства. Поэтому с целью установления закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния прибортового массива и дна карьеров, ока-

зывающих непосредственное влияние на технологию разработки была выполнена оценка напряженного состояния прибортового массива перед Северными и Южными линзами Макмальского месторождения до и после начала подземной отработки [9, 21, 22].

А для предотвращения резкого спада производительности рудника Макмальского месторождения на переходном этапе, снижения потерь и разубоживания, создания условий для рациональной выемки нижележащих подэтажей, предложена технология комбинированной отработки открыто-подземного яруса, позволяющая частично совместить работы на карьере и в подземных выработках.

Контакты рудных тел с вмещающими сланцами в основном четкие. На контактах наблюдаются многочисленные глинки трения, вследствие чего рудные тела становятся неустойчивыми при вскрытии их горными выработками. Физико-механические свойства основных петрографических и литологических разностей разновозрастных метаморфических, интрузивных пород месторождения были определены в лабораторных условиях ИГиОН НАН КР и приведены в табл. 1 [23].

Таблица 1.

№ п/п	Порода	Прочность при сжатии МПа	Прочность при растяжении МПа	Сцепление МПа	Угол внутреннего трения град.
1	Метасоматиты кварцполевош патовые	17-65	1,4-3,1	0,6	45
34			1,6		
2	Метасланцы амфиболиты слюдястые	76-94	3,8-4,7	0,85	51
85			4,3		
3	Метасланцы	13-23	0,65-1,2	---	---
17			0,9		
4	Метасоматиты кварцполевош патовые	28-68	1,4-3,4	0,64	18
52			2,6		
5	Метасоматиты	82-110	4,1-5,7	0,67	49

Рудные залежи месторождения Иштамберды имеют жилообразную форму. Мощность жил колеблется от 0,15-1 метра. Освоение таких запасов с применением традиционных систем разработки в большинстве случаев экономически нецелесообразно из-за высокого разубоживания руды и низкого уровня механизации работ. Малая мощность рудных тел и ограничения ширины очистного пространства, связанные с условиями безопасности, послужили причиной доминирования на рудниках множества вариантов маломеханизированных технологий с присутствием человека непосредственно в очистном пространстве, отличающихся низкой производительностью труда [24]. Применение этих технологий связано также с управлением горным давлением путем самообрушения выработанного пространства или его поддержанием распорной крепью. В первом случае подработанные участки нарушают земную поверхность, что наносит необратимый ущерб экосистеме природно-территориального комплекса. Во втором случае негативные экологические последствия связаны с необходимостью заготовки лесоматериалов.

Проведенный анализ эксплуатации маломощных залежей полезных ископаемых с высоким извлечением из недр и производительности труда позволил установить возможность применения технологии добычи руд из таких рудных жил выбуриванием скважин большого диаметра, обеспечивающим требуемое извлечение полезного ископаемого без присутствия людей в очистном пространстве [26]. Это позволило сформулировать концепцию новой технологии подземной разработки маломощных залежей

мягких руд выбуриванием скважин большого диаметра, без присутствия человека в очистном пространстве и создание предпосылок для дистанционного управления всеми процессами горных работ. В качестве бурового оборудования для отработки жильных руд месторождения Иштамберды используется станок БГА-2а [25, 26]. Данный буровой станок проходит опытно-технологическое испытание на горизонте 2215м, где отрабатывается Северное рудное тело Западного участка месторождения Иштамберды.

Месторождение Тереккан разрабатывается рудником Терексай ОАО Кыргызалтын.

Добыча золотых руд производится с 2001 года на месторождении Терек (рудное тело Межпластовое). На рядом расположенном месторождении Тереккан отработка ведется комбинированным последовательным открыто-подземным способом. Многие рудные тела выходят на дневную поверхность. Руда и вмещающие породы устойчивы, за исключением зон тектонических нарушений. При отработке карьера за пределами его бортов остается часть запасов руды. Малая мощность рудных тел, с крутыми углами залегания, основная масса которых сосредоточена на нижних горизонтах, делают нецелесообразным их отработку открытым способом. В связи с этим предусматривается отработка запасов руды, расположенных за пределами борта карьера подземным способом. Отработка рудных тел проектируется в нисходящем порядке, т.е. работы ведутся, начиная с верхних горизонтов, а на горизонтах – от флангов, к устьям откаточных штолен.

Открытые горные работы были остановлены на отметке 1560м. Правый борт карьера имеет высоту 300м, угол наклона борта карьера составляет 47° . Левый борт – 66,3м, угол наклона - 45° . Ширина дна карьера составляет 66м. Ширина бермы безопасности составляет – 12м, высота уступов – 30м. Рудное тело №1 расположено в правом высоком борту. Расчеты напряженного состояния породного массива прибортовой зоны неоднородного сложения, проведенные методом конечных элементов применительно к условиям комбинированной отработки Терекканоместорождения, показали, что при комбинированной отработке мощных наклонных рудных тел до начала подземных горных работ наибольшая концентрация горизонтальных напряжений наблюдается в пределах рудной зоны на уровне и ниже уровня дна на глубине, равной $0,5N_d$ (где N_d – ширина дна карьера). Под дном и в правом борту до высоты от дна карьера, равной $0,16 N_d$ возникает зона растягивающих горизонтальных напряжений. По глубине эта зона распространяется до $0,5N_d$ [27].

Для безопасной и эффективной отработки прибортовых запасов месторождения Тереккан разработана технология выемки, которая позволяет вести очистную выемку в зависимости от горно-геологических условий в направлении от центра к флангам, или от одного фланга блока к другому флангу, что обеспечивает повышение интенсивности отработки запасов подэтажа, почти в 1,5 - 2 раза. Потери отбиваемой руды на очистных работах снижается до 5-6%. Качество добываемой руды улучшается путем снижения разубоживания до 3-4% [28]. Разработанная комбинированная система разработки внедрена в филиал «Терексайский рудник» ОАО Кыргызалтын при выемке прибортовых запасов месторождения Тереккан. В итоге исследований разработан способ комбинированной разработки полезного ископаемого в прибортовой зоне карьера, на который получен патент КР на изобретение [29].

Рудное тело 10-ю месторождения Тереккан расположено в южной части месторождения на левобережье реки Терексай и приурочено к крутопадающей зоне дробления близдолготного простирания. Часть рудного тела 10-ю расположено под дном карьера. Верхняя часть отработана карьером до отметки 1605м. Угол падения рудного тела - 55° . Мощность рудного тела варьирует от 0,7 до 10м и в среднем составляет порядка 3м.

На основании оценки напряженного состояния массива горных пород Терекканского месторождения при отработке подкарьерных запасов установлено, что горизон-

тальные напряжения концентрируются в пределах рудного тела в местах пересечения лежачего бока залежи с дном карьера, а также на месте пересечения дна карьера и левого борта [30].

Малые месторождения представляют собой самую многочисленную группу месторождений, относящихся к нерудным и расположенных большей частью в районах с гористым рельефом на значительном удалении от транспортных магистралей. При этом в сфере нерудной промышленности к малым мы относим месторождения строительных материалов с запасами менее 1 млн. м³. В Кыргызстане также имеется большое количество месторождений нерудного сырья в виде «бросовых» месторождений природного камня, до сих пор не разрабатывались промышленностью в силу различных причин (малых запасов, особых горно-геологических условий, низкой блочности, повышенной трещиноватости массива и т.д.). Именно за счет таких месторождений в современных экономических условиях возрастает количество осваиваемых и перспективных маломасштабных месторождений.

По горнотехническим условиям маломасштабные месторождения могут обрабатываться открытым способом, что может обеспечить максимальную производительность при низких капитальных затратах и создает благоприятные возможности для полной механизации горных работ и создать предпосылки для разработки инновационных технологий переработки отходов добычи нерудных полезных ископаемых.

Таким образом, по результатам исследований сделаны следующие выводы:

– Уточнено содержание понятия о маломасштабных месторождениях, которое должно включать в себе не только количество запасов, но и комплексную геотехнологическую оценку, а также критерии экономической целесообразности разработки.

– Сформулированы первоочередные задачи комплексного освоения малых месторождений, связанные с составлением кадастра и разработкой научно-обоснованной методологической базы по разработке указанной группы месторождений.

– Установлено, что эффективность освоения группы маломасштабных месторождений повышается посредством максимизации чистого дисконтированного дохода с учетом прос-транственного взаимного расположения добычных участков и перерабатывающего цеха.

Список литературы

1. Камчыбеков Д.К. Угольная промышленность Кыргызстана: пути развития и перспективы реорганизации. –Б., 2011 – 314с.
2. Кожогулов К.Ч., Камчыбеков Д.К., Абдибаитов Ш.А. Кавакский угольный бассейн: состояние и пути развития. // Известия НАН. –Бишкек, –№2, 2013, – С. 21-25.
3. Кожогулов К.Ч., Камчыбеков Д.К., Абдибаитов Ш.А. Основные направления переработки и комплексного использования углей Кыргызстана. // Вестник КРСУ, №7, том 13 – Б, 2013.– С. 111-114.
4. Крапчин И.П. Экономика переработки угля. –М,: Недра, 1989. – 216 с.
5. Джаманбаев А.С. Угли Киргизии – основа производства синтетического топлива // Проблемы использования углей Киргизии. /Сборник научных трудов, –Ф., 1987. –С.3-12.
6. Вдовин К.Д., Кожогулов К.Ч., Тилегенов К.Т. Исследование напряженного состояния горных пород Чон-Койского месторождения // Горные удары, методы оценки и контроля удароопасности массивов горных пород. –Фрунзе: Илим, 1979. –С.270-277.
7. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Напряженное состояние и прочность элементов систем разработок крутопадающих месторождений Средней Азии. –Фрунзе: Илим, 1988.
8. Кожогулов К.Ч., Пугачева Т.Н. Исследование механических свойств и трещиноватости пород на контуре подготовительных выработок Чон-Койского месторождения // Крепление, охрана и поддержание подготовительных выработок. –Новосибирск, 1990.– С. 77-81.

9. Кожогулов К.Ч., Усенов К.Ж., Алибаев А.П. Геомеханические основы и технология при комбинированной разработке крутопадающих месторождений. Бишкек, 1999 – 185 с.
10. Айтматов И.Т., Ялымов Н.Г., Кожогулов К.Ч., Ялымов Р.Н. Напряженное состояние пород в различных структурных элементах месторождения Чон-Кой // Геодинамика и напряженное состояние недр земли. –Новосибирск, 2004.
11. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч. Указания по безопасному ведению горных работ на участ.Чон-Койскогоместорожд., склонных к горным ударам. –Б., 1991 – 48 с.
12. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Касимов Б.И. Исследования напряженного состояния массивов горных пород некоторых пологопадающих месторождений Центральной Азии геофизическими методами // Управление напряженно-деформированным состоянием массива горных пород при открытой и подземной разработке месторождений полезных ископаемых. Новосибирск – Екатеринбург, 1994. – С.4-5.
13. Кожогулов К.Ч., Касимов Б.И. Экспериментальное определение напряжений в массиве горных пород Кадамжайского месторождения // Информационный листок №43 (7150) Национальный информационный центр КР. – Б., 1995. – С. 1 – 2.
14. Кожогулов К.Ч., Ялымов Н.Г. Оценка удароопасностиКадамжайского месторождения // Перспективы развития и использования минеральных ресурсов КР. –Б., 1995. –С. 94-95.
15. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч.Указания по безопасному ведению горных работ на участках Кадамжайскогоместорожд. склонных к горным ударам.–Б., 1995. – 46 с.
16. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Напряженное состояние массива горных пород консолидированных участков горноскладчатых областей // Проблемы разработки полезных ископаемых в условиях высокогорья.– Фрунзе, 1990.Ч. I. – С.51-52.
17. Кожогулов К.Ч., БактиевБ.Д.Напряженное состояние массива пород месторождения Трудовое // Напряженное состояние и разрушение горных пород. –Б.: Илим, 1991. – С. 23-31.
18. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Пугачева Т.Н. Метод геомеханических аналогий для прогноза степени удароопасности участков жильных крутопадающих месторождений // Физико-техн. проблемы разработки полезных ископаемых. –Новосибирск, 1991. – С. 26-30.
19. Кожогулов К.Ч., Дронов Н.В., Джороев Т.Д., Усенов К.Ж., Ставинский В.А. Оценка устойчивости бортов карьера «Макмал» и обоснование мероприятий по безопасности и эффективной доработке запасов // Перспективные технологии добычи минеральных ресурсов в высокогорных районах. –Б., 1999. – С. 25-36.
20. Кожогулов К.Ч., Кудайбергенов К.К., Даниленко Е.Н., Никольская О.В., Тюбеев Н.Б. Доработка запасов золоторудного карьера «Макмал» в условиях самообрушения предохранительных берм на бортах. // Горный журнал, №10, –М., 2002.
21. Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П., Усенов К.Ж. Развитие геотехнологий при комбинированной разработке нагорных рудных месторождений. – Жалалабат, 2008 – 190 с.
22. Кожогулов К.Ч., Куваков С.Ж. Напряженное состояние подкарьерных целиков при комбинированной разработке месторождения «Макмал» // Научно-техническое обеспечение горного производства. № 87, –Алматы, 2015.
23. Ганиев Ж.М., Кожогулов К.Ч. Физико-механические свойства руд и вмещающих пород месторожд.Иштамберды // Современ.пробл. механики сплошных сред. Б., 2014.– С.30-38.

24. Курсакин Г.А. Технология разработки золоторудных жильных месторождений. – Владивосток: Дальнаука, 2002.
25. Кожогулов К.Ч., Ганиев Ж.М., Технологическая схема отработки руд месторождения Иштамберды на основе бурового станка типа БГА-2А. // Инженер. Минеральные ресурсы, подготовка инженерных кадров и проблемы освоения недр КР. Б., – №9, 2015.– С. 231-236.
26. Кожогулов К.Ч., Ганиев Ж.М. Обоснование нового направления развития геотехнологии при разработке крутопадающих жильных месторождений Кыргызстана // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. №3, –Новосибирск, 2016.– С. 80-83.
27. Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П., Маматова Г.Т. Оценка напряженно-деформированного состояния бортов карьера при доработке прибортовых запасов руды подземным способом // Наука и новые технологии. №8, Б., 2012.– С. 9-12.
28. Кожогулов К.Ч., Алибаев А.П. Отработка запасов прибортовой зоны при комбинированной разработке месторожд. // Наука и новые технологии №8, –Б., 2012. –С. 18-19.
29. Кожогулов К.Ч., Маматова Г.Т., Никольская О.В. Способ комбинированной разработки полезного ископаемого в прибортовой зоне карьера // Патент КР. №1571, – Б., 2013.
30. Кожогулов К.Ч., Осмонова Н.Т. Оценка напряженного состояния массива пород при комбиниров. отработке подкарьер. запасов // Наука и новые технологии. – Б., 2011. –С. 7-11.

УДК 658.52

GAS CONSUMER INTELLIGENT SAFETY SYSTEM ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА БЕЗОПАСНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ГАЗА

Prangishvili A. * **, Iashvili N. *, Khutashvili I. *
Прангишвили А.* **, Иашвили Н. *, Хуташвили Ю.*

**Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia*

**Грузинский Технический Университет, Грузия, Тбилиси.*

***Инженерная академия Грузии*

***Национальной академии наук Грузии*

***Международная инженерная академия*

(e-mail: n.iashvili@gtu.ge)

Abstract: The issues of creating a safe intelligent system for the consumption of natural and carbonated gases in residential apartments and houses are discussed. A system structure designed to ensure the safety of gas consumers is proposed. Unlike existing systems and devices, it differs in several ways, which contributes to its high sensitivity and accuracy, most importantly the safety of the gas user.

Keywords: Natural gas; Gas leakage; Gas detector; Identification; Intelligent system.

Introduction. The importance of detecting (identifying) leaks and accumulation of household and sparkling gases and protecting human safety is clear to everyone. Alarms, de-

tectors, monitoring devices and safety systems are designed for the safety of people in residential apartments and houses.

Various gas identification devices are currently being developed in European countries, the USA, Japan and China. Gas leak detectors and detectors occupy a large place among them. They differ from each other in purpose, functions to be performed, and obviously in price.

The increasing number of accidents in our country in recent years has raised the need to address these issues in order to avoid explosions, fires, poisoning and death. The statistics are very deplorable. For example, in 2014, 2,089 people were poisoned with natural gas in Georgia, and in 2015, 3356 people. Twenty-seven people have been killed by gas in those two years. All this indicates the urgency and necessity of detecting gas leaks and warning people about it. Extensive implementation of gas alarms, detectors and monitoring systems in multi-storey residential buildings can be said to practically solve this problem.

Main part. A new microprocessor system (device) for ensuring the safety of gas consumers created by a group of scientists and specialists of the Automation Scientific-Research and Engineering-Technical Center of the Georgian Technical University.

The system consists of three main parts (blocks):

1. Primary transmitter (semiconductor sensor);
2. Electromagnetic shut-off valve.
3. Microprocessor electronic unit;

The technical documentation of the processed system, the test samples of the device have been prepared, the laboratory test of the methane leak detection device has been carried out, the works for the serial production of the devices for fixing the leakage and accumulation cases of household and exhaust gases in residential apartments have started. Three samples have been prepared to be tested for compliance with international standards, after which it will be possible to obtain the ISO standard.

Several variants of the system electrical circuit have been developed. At this stage, a circuit based on a single semiconductor sensor (Figaro sensor TGS and one microcontroller) was selected; three test samples of the system were made using a PIC12F675 type microcontroller.



Electronic circuit of the gas detector test sample (printed tape)

The proposed new system has several advantages over other existing alarms, detectors and devices:

- Using stabilized current to heat the sensor reduces the degradation rate of the sensor and increases its operating time;

- Two-dimensional measuring circuit ensures high sensitivity of the device to both small and large air pollution;
- The power consumed by a semiconductor sensor is almost 100 times less than the limit value;
- Due to periodic automatic calibrations it is possible to avoid annual periodic verification and calibration.
- Additional automatic periodic calibration eliminates the negative impact of sensor degradation and contamination process, which increases its working resource.

A systematic approach was used to solve the problem of safe gas consumption, which provides for the separation of the component of the problem. Processing of the first component. At this time, a new device or system is processed and constructed. The second component - "production", refers to the serial production of leak detectors for natural gas (and then other gases).

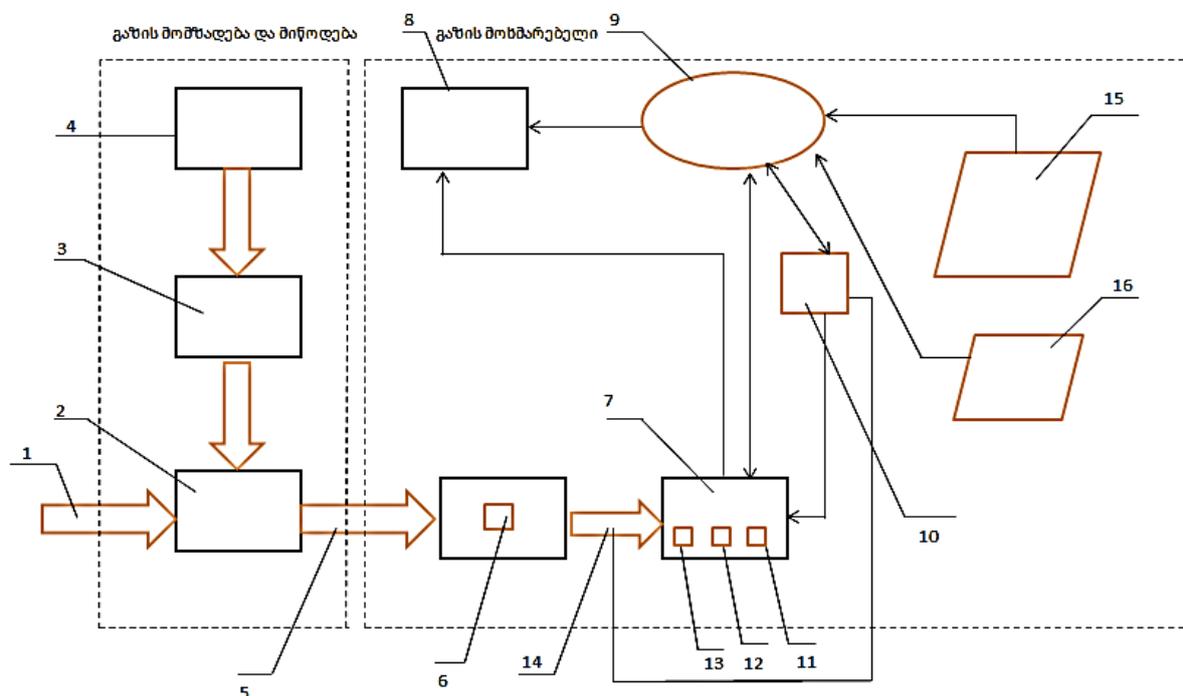


Fig.1. Structure of household gas consumption

1. Main gas, 2. Gas distributor, 3. Odorant; 4. Odorization device; 5. Odorized gas; 6. Gas flow meter; 7. Gas household appliances; 8. Smoke-ventilation ducts; 9. User (resident); 10. Gas detector; 11. Gas stove; 12. Gas heater; 13. Gas heater; 14. Locking electromagnetic valve; 15. Rules for operation of gas installations; 16. Gas consumption rules

Here we will use the outsourcing method. "Outsourcing" generally means using external resources. This term was first used in 1989 to refer to the transfer of any particular activity or function to another company. One of the basic principles of outsourcing can be: "Instruct someone else to do what they do best and cheaply to you." Outsourcing has gained a foothold in almost every field. It is especially widely used in instrumentation as well as in information technology. In order for a new innovative device, device or system to work, we need to place (load) the software product we created in a programmable microcontroller. After that, the system will be installed, assembled, initialized and final checked. Then another component of the problem will be involved in the work - "certification" (or "metrological certification stand"). The system should be checked for compliance with international standards.

Conclusion. Thus, in order to solve the problem, it is necessary to develop and manufacture a special metrological stand, on which the tools made in the first stage will be tested and certified. Only then should it take place in the trading network of manufactured systems. The stand created by us will be able to test not only natural gas leak detectors, but also other gas control devices and devices. It is also advisable to consider the test of electromagnetic shut-off valves at the same stand.

Particular consideration should be given to the fact that users do not experience discomfort. To fully solve the problem, it is necessary to create a special service that will install tools directly in apartments, houses and buildings, as well as check them at intervals specified by technical conditions. Obviously without this component it is impossible to carry out the "technical services" provided for the performance of all these works.

A specialized service – “Technical Service Center” will be established. These components completely cover the range of issues that need to be addressed in order to avoid accidents, fires, explosions, human injuries and possible casualties caused by gas leaks.

The new system has no competitors in the domestic market of the country; It can also be used in other neighboring countries; The device complies with modern European analogues with basic technical parameters and it is protected by our country's patent.

Список литературы

1. Iashvili N., “On a systemic approach to the problem of natural gas leakage”. TSU. Collection of works. "Automated Management Systems". No. 1 (23);2017.(Georgian language).

2. Iashvili N., Azmaiparashvili Z. and others. “On the need to equip apartment buildings with natural gas leak alarms and monitoring systems”. TSU. Collection of works. "Automated Management Systems". N 1 (17), p. 105-110; 2014.(Georgian language).

3. Iashvili N., Khutashvili I. “New microprocessor system for natural gas leak control, alarm and shut-off valve management”. Tbilisi, "Science and Technology". N3, p. 59-65; 2016. (Georgian language).

4. Surov B.B. “Air pollution alarm”. Moscow, Radio Magazine, № 9,2009.(Russian language)

**МЕТОДЫ АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ УЯЗВИМОСТИ ЗДАНИЙ И
СООРУЖЕНИЙ ИСТОРИЧЕСКОГО НАСЛЕДИЯ
METHODS FOR ANALYSIS OF SEISMIC VULNERABILITY OF
BUILDINGS AND FACILITIES OF HISTORICAL HERITAGE**

Каримов Фаршед Хилолович * ** , Абдусаматов Муниджон Абдусаматович * *,
Мукимов Рустам Саматович * ****
Karimov Farshed Hilolovich * ** , Abdusamatov Munimdjan Abdusamatovich * ***,
Mukimov Rustam Samatovich * ******

** Инженерная академия Республики Таджикистан (ИАРТ), Таджикистан, Душанбе
Engineering Academy of the Republic of Tajikistan

***Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной
академии наук Таджикистана (ИГССС НАНТ), Таджикистан, Душанбе*

***Institute of Geology, Earthquake-Resistant Construction and Seismology, Tajikistan,
Dushanbe*

****Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной Академии
наук Таджикистана (ИВПГЭ НАНТ) Таджикистан, Душанбе*

****Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, Tajikistan, Dushanbe*

*****Таджикский технический университет имени М.С. Осими (ТТУ), Таджикистан,
Душанбе*

*****Tajik Technical University named after M. S. Osimi, Tajikistan, Dushanbe*

(e-mail: eartadj@mail.ru)

Аннотация: Рассмотрены методические вопросы антисейсмических мероприятий для сохранения исторических, культурных памятников на территории Таджикистана: оценки сейсмической опасности, восстановления строительных конструкций, создания защитных инженерных сооружений, а также укрытий от неблагоприятных воздействий окружающей среды.

Abstract: Methodical issues of the antiseismic measures for the conservation of historical, cultural monuments on the territory of Tajikistan have been considered: seismic hazard assessments, restoring of the building constructions, erection of the protection engineering constructions and as well as the shelters against the environmental medium's negative influence.

Ключевые слова: памятники исторического наследия, антисейсмические мероприятия, сейсмическая опасность, защитные инженерные сооружения, укрытия.

Keywords: historical heritage monuments, antiseismic measures, seismic hazard, protection engineering constructions, shelters.

Многочисленные памятники строительства и архитектуры в Таджикистане, сохранившиеся до наших дней, показывают, что в целом правильно выбрана государственная политика охраны и сохранения исторического, культурного наследия народов. Ряд из этих объектов получил статус Всемирного наследия ЮНЕСКО, что во многом содействует успешному проведению мероприятий по охране этих памятников. Настоящая работа посвящена методам анализа действия землетрясений на ИП, методам мониторинга физического состояния ИП, методам восстановления повреждений и поддержания инфраструктуры, связанной с ИП.

В настоящее время в Таджикистане официально зарегистрировано около 1500

исторических памятников. Самый древний – комплекс объектов Саразм, находящийся в 15 км от г. Пенджикента. Этот комплекс с 2010 г. внесён в список исторического наследия ЮНЕСКО. ИП городов Пенджикента, Худжанда, Куляба, Истравшана, Исфары, Канибадама и др. насчитывают более 2000 лет. Возраст большинства других ИП – 500 лет. ИП построены в основном из глиняных материалов, камня, дерева, песка, извести. В последние десятилетия усилилось техногенное и антропогенное влияние на физическое состояние ИП, а также глобальных климатических изменений. Прямо или косвенно это влияние отражается на сейсмической уязвимости ИП, поскольку они способствуют ослаблению строительных материалов, конструкций и снижению прочности сейсмостойкости зданий и строений.

В Таджикистане для поддержания ИП в нормальном физическом состоянии прежде всего ведётся государственный учёт состава строений, входящих в ИП, с указанием их географического местоположения, планировки и площадей расположения. Начата работа по проведению паспортизации ИП, в которую помимо общих характеристик ИП включаются такие данные, как физическое состояние строений, наличие разрушений и оценка их степени. В частности в рамках пилотного Проекта ЮНЕСКО в 2015 г. произведена оценка физического состояния и сейсмической уязвимости 21 объекта ИП на территории Таджикистана [1] и этот опыт можно применить для оценки сейсмических последствий для других ИП для составления «сейсмических паспортов» данных, в которые включены характеристики сейсмической уязвимости на случай воздействий землетрясений той или иной интенсивности.

Прежде всего для оценки сейсмической опасности мест расположения объектов ИП необходимо знание закономерностей проявления землетрясений, процессов, которые сопровождают подготовку землетрясений, основную фазу сотрясений в момент землетрясения, и постсейсмические эффекты [2-10]. Землетрясения бывают естественные и искусственные, техногенные. Естественные, в свою очередь, бывают тектоническими, вызванными тектоническими подвижками в земных недрах, обвальными – в результате обвалов пород горных склонов, и вулканическими – в моменты извержений вулканов. Техногенные вызываются работой машин, механизмов, других промышленных устройств, или искусственными взрывами. Для ИП в регионе ЦА главную опасность представляют тектонические землетрясения, которые в среднем за 50 лет бывают катастрофическими. Иногда разрушительные землетрясения не происходят столетиями, тысячелетиями. Затем, когда они случаются, происходит катастрофа (пример – землетрясение в историческом городе Бам, в Иране в 2003 г.). Однако и постоянные слабые вибрации микроземлетрясений и микросейсм естественного и искусственного происхождения также представляют угрозу для сохранности и устойчивости ИП (известен пример отрицательного воздействия вибраций трамваев и метро на исторические здания в г. Ленинграде/ Санкт-Петербурге, РФ).

Для количественных оценок сейсмических воздействий на территории ЦА в настоящее время используются две шкалы – шкала интенсивностей в баллах по 12-балльной МСК-64 и модифицированной МСК, и шкала ускорений грунтов в м/с^2 . Первая шкала – целочисленная, дискретная, вторая – непрерывная. При использовании первой дискретность и зависимость от типов сооружений (типа строительных материалов, наличия армирования, сейсмошвов и сейсмопоясов, этажности и др. параметров) приводят к разбросу в оценках сейсмических воздействий. При использовании второй – ускорение грунтов в процессе землетрясения не остаётся постоянным – есть пиковое ускорение ($\text{PGA}=\text{PeakGroundAcceleration}$), есть среднее, есть спектр колебаний и закон их затухания во времени, которые зависят от типа грунтовых условий, от реакции здания, от взаимодействия сейсмических колебаний с основаниями сооружений и др. – поэтому также возникает некоторая неопределённость в оценках сейсмических воздей-

ствий. Между шкалами интенсивностей имеются пересчётные зависимости, однако и они из-за разбросов в оценках интенсивностях вносят некоторый произвол. Поэтому очень важно знать детальные закономерности проявления сейсмических сотрясений для конкретных мест расположения ИП.

Сейсмические интенсивности неодинаковы по территориям. Наибольшие сотрясения грунтов происходят в окрестностях очагов тектонических землетрясений, которые, как правило, образуют кластеры. Очаги землетрясений возникают вдоль линий крупных разломных зон, но группируются в окрестностях кластеров. На территории Таджикистана известны 8 таких кластеров. Усреднения интенсивностей землетрясений в масштабах территории страны характеризуют сейсмическую опасность в целом по республикам, которая определяется в виде карт сейсмической опасности, карт сейсмического районирования. В пределах крупных населённых пунктов также максимальная сила землетрясения распределяется неравномерно, и такая неравномерность указывается в виде карт сейсмического микрорайонирования. Для уточнения возможной силы землетрясений на конкретном участке расположения объекта, в частности ИП, также проводятся специальные работы по микрорайонированию.

Сейсмические волны, действующие на здания и сооружения, характеризуются амплитудами, периодами, законом спада колебаний во времени, продолжительностью действия. Каждая волна обладает своим спектром, от которого зависит действие землетрясений. В некоторых случаях именно длительность колебаний, а не столько амплитуда и период, сыграла решающую роль в разрушении зданий и сооружений (пример Спитакского землетрясения в Армении 1989 г. – землетрясение продолжалось около 2 минут). В случае землетрясения в Скопле, Македонии, в 1963 г., важным было совпадение периода колебаний с собственными частотами одноэтажных строений, что привело к резонансу и разрушению этих зданий, – при этом минарет, которому несколько столетий, устоял, т.к. не попал в резонанс с высокочастотными колебаниями землетрясения.

Сейсмическая опасность не остается неизменной, например, подъём уровня грунтовых может привести к росту балльности на 1-2 [11], или из-за изменения состава грунтов при фильтрации подземных вод с образованием карста может произойти ослабление пород, как это было в случае Спитакского землетрясения [12]. Кроме того, действуют перепады температур, особенно большие в ЦА – иногда до 20⁰С между ночью и днём, и это приводит к изнашиванию материалов в виде термодеструкции – разрушению за счёт различий в термических коэффициентах деформаций [13]. Действие влажности окружающей среды и её перепадов также приводит к разрушению строительных материалов и изнашиванию. Любое здание ИП находится под воздействием гравитации, сил тяжести. Поэтому, в соответствии с представлениями кинетической теории прочности, оно постепенно разрушается за счёт пластических деформаций и ползучести-крипа. Если же здание и отдельные его элементы находятся в перенапряжённом состоянии, то скорость разрушения существенно увеличивается. Обнаружено, что даже сезонные вариации атмосферных давлений около 20 мбар могут влиять на скорости крипа предельно напряжённых образцов [14, 15].

Как правило, после основного толчка сильного землетрясения следуют толчки меньшей силы – это афтершоки, они отражают стадию релаксации напряжений и возвращения геосреды в регулярное состояние [16]. Интенсивность афтершоков меньше, чем у основного толчка. Как правило, чем сильнее главное землетрясение, тем дольше длятся афтершоки. Число афтершоков спадает со временем по Закону Омори (с поправками для конкретных географических мест) [16]. Для сильных землетрясений обычно они начинаются в первые часы и длятся год и более. Афтершоки могут быть не

менее опасными, чем основной толчок, который производит основное разрушение, а афтершоки действуют на уже ослабленное здание.

Как правило, сильнейшие землетрясения происходят сравнительно редко, раз в столетия, тысячелетия, поэтому важно учитывать исторический опыт встреч с этой грозной стихией, который отражён в древних рукописях и книгах. Некоторые обзорные сведения о последствиях землетрясениях прошлого на территории Таджикистана и антисейсмических мероприятиях приведён в книгах [10, 17].

Итоговая оценка сейсмической опасности и риска отображается в виде распределение интенсивностей землетрясений по площади с помощью карт районирования и микрорайонирования сейсмической опасности и риска.

В настоящее время существуют вычислительные программы, которые дают возможность рассчитать степень разрушения того или иного здания при сейсмическом воздействии, например, 7, 8, 9 баллов, заранее, ещё до того, как землетрясение произошло [18]. Для этого принимаются во внимание вид и качество строительных материалов, конструкций, узлов, элементов, каркаса, тип строения и т.д. Опыт оценок последствий землетрясений различной балльности для объектов социального назначения г. Душанбе (школ, больниц, дошкольных учреждений) накоплен в ходе выполнения работ по проекту ПРООН [19]. Однако степень точности оценки этих последствий также имеет некоторый разброс. Знание степени возможных повреждений даёт возможность провести необходимые мероприятия по укреплению наиболее уязвимых к землетрясениям узлов, конструкций, каркаса и др. элементов здания, а также выбирать соответствующие методы инженерной защиты ИП. Кроме того, знание последствий сейсмических воздействий даёт возможность оценить сейсмический риск, который прямо пропорционален факторам сейсмической опасности и уязвимости сооружения и обратно пропорционален потенциалу реагирования на преодоление последствий [20] (известно например, что Японии понадобились годы на ликвидацию последствий землетрясения Кобе 1995 г., а для Гаити – десятилетия после землетрясения 2011 г.). Знание сейсмического риска даёт основание для оценки экономического ущерба и планирования бюджета на преодоления последствий землетрясения и расходы на мероприятия по сохранению ИП.

В настоящее время, в связи со значительным прогрессом в области создания новых материалов, в частности, композитных, возникли совершенно новые возможности по укреплению наиболее уязвимых к землетрясениям элементов и конструкций. В распоряжении строителей сейчас имеются лёгкие, прочные, эластичные, долговечные строительные материалы. Поэтому возможности укрепления ИП в настоящее время уникальные. Однако и традиционные методы усиления сооружений на основе применения глины, камня, дерева не потеряли своего значения, поскольку именно из таких материалов построены ИП. Исторически при возведении объектов использовались такие антисейсмические мероприятия, как каркасные конструкции типа синдж, специальные блоки из тёсаных каменных материалов, скрепляемые песчаным или глиняным раствором с добавлением извести, замки в верхних частях арок, прослойки из камыша или дерева в основаниях стен или башен, песчано-гравийные «подушки» в основаниях, фигурные опорно-несущие столбы, увеличивающие гибкость всего здания, перекрёстное, перекрёстное складывание вытянутых деревянных прослоек в потолках (Бадахшанские конструкции) [10, 17]. В Академии наук Республики Таджикистан испытаны методы усиления местных построек на основе армирования сухими тузовыми прутьями. По деформациям, особенно на растяжение, такие прутья не уступают по прочности многим металлическим стержням и проволокам (фонды ИГССС АН РТ, [1]).

Действие как сильных, так и слабых землетрясений, в т.ч. микросейсм, опасно для сооружений ИП: сильные землетрясения бывают относительно редкими, но слабые бы-

вают частыми, микросейсмы же действуют постоянно. В последние десятилетия разрабатываются различные инженерные антисейсмические защитные устройства: демпферы различной конструкции, рвы вокруг зданий с заполнителями внутри в виде песка. По активности исследований в этой области можно судить по 150 докладам, представленным на 16^{-ой} Международной научной конференции по сейсмической изоляции, рассеянию энергии и активному вибрационному контролю сооружений, которая проходила 1-6 июля 2019 г. в Санкт-Петербурге, РФ. В докладах отражён богатый мировой опыт, накопленный в области защиты различных инженерных сооружений, однако лишь один доклад из них посвящён защите ИП – КауаМ. РО-048: Techniques for Seismic Strengthening of Historical Monuments. Поэтому предстоит ещё сделать очень многое в области сейсмозащиты зданий ИП.

Известно, что действие окружающей среды в общем приводит к изнашиванию строительных материалов, конструкций, каркасов зданий, тем самым снижается сейсмическая прочность и устойчивость элементов и зданий в целом. Поэтому в соответствующих случаях создание искусственных укрытий может существенно предотвратить разрушение ИП. Мировой опыт создания таких укрытий, в т.ч. в ЦА имеется (например, ИП Саразма в Таджикистане, включён в список Всемирного наследия ЮНЕСКО, 5500-летие которого отмечено на государственном уровне 12 сентября 2020 года), однако необходимо совершенствовать методы создания таких укрытий по пути лёгкости конструкций, эффективности и дешевизны. В последние десятилетия происходят существенные изменения климата, это особенно явно проявляется в ЦА, где большое скопление ледников, горных местностей и пустынь, активно влияющих на погоду и климат, и это несомненно будет сказываться на физическом состоянии ИП. В этой связи вопросы создания укрытий для ИП становятся особенно актуальными.

Т.о., в аспекте сейсмической защиты и физического сохранения объектов культурного, исторического значения необходимы:

- Постоянный мониторинг физического состояния ИП с использованием автоматизированных систем контроля;
- Создание специализированных групп по проведению антисейсмических мероприятий в области сохранения ИП;
- Составление для каждого объекта ИП сейсмического паспорта, в который включены характеристики сейсмической уязвимости на случай воздействий землетрясений той или иной интенсивности;
- Подготовка специалистов, способных проводить оценку сейсмической опасности территорий ИП, укреплять элементы и конструкции ИП, восстанавливать повреждённые ИП, создавать инженерные защитные сооружения для ИП.

Список литературы

1. Каримов Ф.Х., Мамаджанов Ю.М., Саломов Н.Г., Мукимов Р.С., Муродкулов Ш.Я., Ниязов Д.Б., Сангинов А.М., Якубов Ш. Оценка сейсмической уязвимости зданий культурного исторического наследия в Таджикистане //Тр. института геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН РТ. Пилотный проект ЮНЕСКО. Душанбе: ИГССС АН РТ, 2015.152 С.
2. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т.1-2. Пер. с англ. М.: МИР, 1983.520 с.
3. Болт Б. В глубинах Земли. Пер. с англ. М.: МИР, 1984. 189 с.
4. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. Пер. с англ. М.: ИИЛ, 1963. 672 с.
5. Яновская Т.Б. Основы сейсмологии. Санкт-Петербург: СПбУ, 2008. 222 с.
6. Каримов Ф.Х. Землетрясения: научно-популярный обзор. Душанбе: ТаджикНИИНТИ, 1992. 60с.

7. *Shearer P.M.* Introduction to Seismology. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2009. 396 p.
8. *Chapman C.H.* Fundamentals of Seismic Wave Propagation. New York: Cambridge Univ. Press, 2004. 608 p.
9. *Zhou H.-W.* Practical Seismic Data Analysis. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2013. 481 p.
10. International Handbook of Earthquakes and Engineering Seismology. Edited by *W.H.K. Lee, H. Kanamori, P.C. Jennings, and C. Kisslinger.* Amsterdam...: Acad. Press, 2003. Part A – 1-936 p.; Part B – 937-1942 p.
11. *Медведев С. В.* Инженерная сейсмология. М.: Госстройиздат, 1962. 284 с.
12. *Никонов А.А.* Спитакская катастрофа 1988 года – сроки и уроки // Вестник Отделения наук о Земле РАН. 2003. Т. 21. № 1. С. 6,7.
13. *Каримов Ф.Х.* К физическим механизмам эрозии горных пород // Тр.междун. конф. «Философия математики, естествознания и образования: проблемы и перспективы». Курган-Тюбе: Курган-Тюбинский Госуниверситет имени Носира Хисрава, 2012. С. 239-248.
14. *Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г.* Сезонные вариации деформаций предельно напряжённых модельных образцов горных пород // Сб. XIII международной сейсмологической школы «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. С. 115-119.
15. *Каримов Ф.Х., Саломов Н.Г., Манский В.Н., Хужаев Х.Ш., Окилиев Х.Ш.* Годовой ход некоторых геофизических параметров на территории Таджикистана // Российский сейсмологический журнал. 2019. Т. 1. № 1. С. 75–83.
16. *Пшеничков К.В.* Механизм возникновения афтершоков и неупругие свойства земной коры. М.: Наука, 1965. 88 с.
17. *Каримов Ф.Х.* Антисейсмические мероприятия в древней архитектуре Средней Азии // Труды науч.-тех. и инженерных работников Республики Таджикистан, посвящённые 1100-летию государства Саманидов. Инженерная академия РТ. Душанбе: МЭВЭС РТ, №54(1296), 1999. С.75-84. -Деп. в НПИЦентре РТ.
18. European Macroseismic Scale 1998. Ed. by G. Grunthal, Luxembourg, 1998. P.1.
19. *Каримов Ф.Х., Низомов Д.Н., Саломов Н.Г., Шарифов Х.А.* Опыт оценки сейсмической уязвимости зданий социального назначения г. Душанбе, столицы Таджикистана (по проекту ПРООН, ДИПЕКОВ) // Мат. XV Международной научно-практической конференции «Проблемы защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций». М.: МЧС РФ Ю ФГУ ВНИИ ГОЧС РФ, 2010. С.253-262.
20. *Каримов Ф.Х.* Проблемы оценки сейсмического риска в Таджикистане // Известия Академии наук Республики Таджикистан, Отд. физ.-мат., хим. и геол. н. 2006. Т. 124. №1-2. С.70-75.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ МИГРАЦИИ ВОЛОКОН ПО ПОВЕРХНОСТИ
БАРАБАНА КАРДОЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ
MODELING OF FIBER MIGRATION OVER THE SURFACE OF A
CARDING MACHINE CYLINDER**

**Севостьянов Петр Алексеевич, Самойлова Татьяна Алексеевна,
Маркова Мария Львовна
Sevostyanov Petr Alekseevich, Samoylova Tatyana Alekseevna,
Markova Maria Lvovna**

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: petrsev46@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены особенности и результаты компьютерного имитационного статистического моделирования динамики миграции волокон по поверхности барабана кардочесальной машины с учетом длины, протяженности, извитости и положения волокон.

Abstract: The features and results of computer statistical simulation of fiber migration dynamics along the carding machine cylinder surface are considered, taking into account the length, range, tortuosity and position of the fibers

Ключевые слова: кардочесание, миграция, извитость, динамика, имитационное статистическое моделирование.

Keywords: carding, migration, tortuosity, dynamics, statistical simulation.

При взаимодействии с гарнитурами шляпок и барабана волокна не только частично распрямляются, разъединяются и ориентируются в направлении движения настила, но и могут быть перенесены по ширине настила в направлении, перпендикулярном к движению настила. Такое перемещение связано с захватом волокон зубьями. Волокно может быть захвачено сразу многими зубьями. Сопротивление их действию на волокно может быть различным на разных участках волокна. В результате волокно может изменить не только свою форму, но и положение на гарнитуре. Такие изменения в положении волокна относительно его первоначального положения в настиле называют миграцией волокон в настиле [1, 2, 3].

Экспериментальные подтверждения явления миграции и математическая модель этого явления на аналогии с процессом диффузии приведены в работе А.Е. Черкасского [4]. К волокнистому настилу добавлялся поток волокон в виде узкой струйки, окрашенный в цвет, отличный от цвета основной массы волокон. Затем через определенное время машину останавливали, снимали настил с барабана и определяли степень миграции «меченых» волокон по ширине барабана.

Эффективность миграции сказывается на перемешивании волокон и способствует повышению однородности волокнистой массы. Процесс миграции подобен процессу диффузии. Главным параметром этого процесса является коэффициент диффузии, или, для волокон, коэффициент миграции. Поэтому для моделирования миграции можно воспользоваться математическими моделями диффузии.

Выберем в качестве такой модели модель одномерного дискретного случайного блуждания. В этой модели точка на каждом шаге по случайному выбору с заданными вероятностями смещается по оси на величину d вправо, влево или остается на месте.

Длина шага смещения либо постоянная, либо тоже случайная. Изучается положение точки после n шагов. Координата точки после n шагов равна $x = x_0 \pm d_1 \pm d_2 \pm \dots \pm d_n$, где x_0 – координата стартовой точки. Очевидно, что дисперсия координаты равна сумме дисперсий смещений. Если все смещения – независимые и одинаково распределенные случайные величины с одинаковой дисперсией Dd , то дисперсия координаты равна $Dx = n Dd$. Следовательно, среднеквадратическое отклонение координаты точки пропорционально квадратному корню из числа шагов. Для расширения возможностей и гибкости исследований построим компьютерную модель статистической имитации одномерного случайного блуждания точки по оси.

Обозначим $y(k)$ координату «блуждающей точки» на оси после k -го шага, d – длину шага блуждания, которая имеет положительное значение, если точка смещается на k -м шаге вправо, отрицательное значение, если смещение происходит влево, и равна нулю, если точка остается на месте. Вероятности соответствующих смещений обозначим p , q и r . Чтобы получить статистически усредненную картину блуждания, повторим эти блуждания для большого числа точек N , каждая из которых совершает Tm шагов. Программная реализация модели блуждания оформлена в виде скрипта Matlab. С целью сокращения затрат компьютерного времени на моделирование в скрипте использованы логические и другие векторные операции, для которых в системе имеются эффективные встроенные функции. Это позволило существенно ускорить моделирование.

Теория случайного блуждания детально и в разных аспектах изучалась многими исследователями. В частности, как уже отмечалось выше, в большинстве случаев, независимо от начальных условий и особенностей блуждания, среднеквадратическое отклонение (СКО) нарастает как корень из числа шагов, а конечное распределение координат точек подчиняется нормальному закону. Этот результат иллюстрируют графики на рис.1.

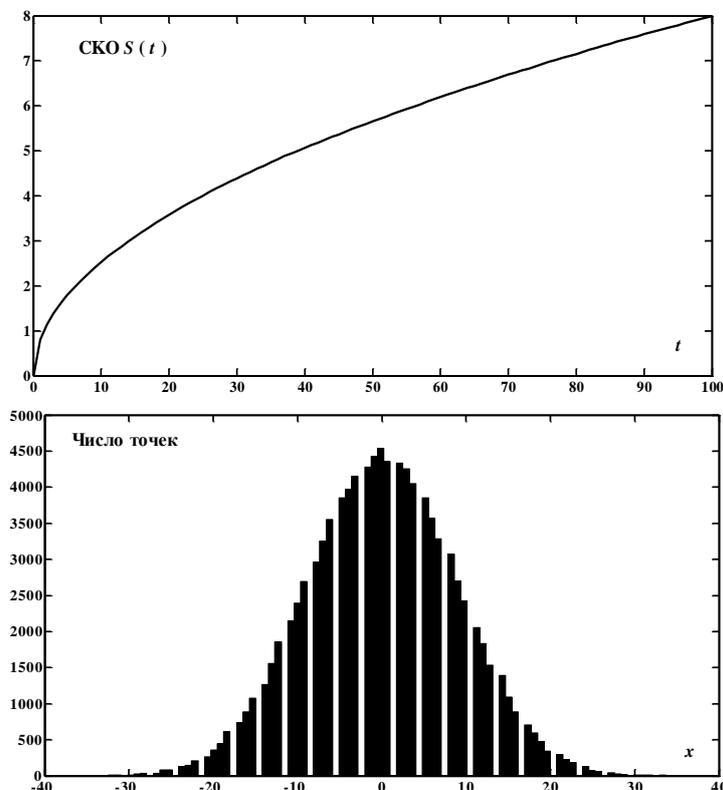


Рис.1. Динамика нарастания среднеквадратического отклонения блуждания от начальной точки и предельное распределение удаленности от начальной точки при постоянной длине шага

Заметим, что при фиксированной длине шага d и дискретной схеме блуждания не все целые значения x могут появляться в конечном распределении, что подтверждают пропуски в гистограмме.

Миграция волокон имеет особенности, которые следует учесть при использовании схемы блуждания в качестве базовой модели. Ось миграции обозначим буквой Y . Фиксировать координату некоторой характерной точки волокна будем после каждого его прохода через рабочую область. В качестве характерной точки волокна можно использовать, например, точку середины волокна. Координату этой точки по оси Y обозначим $y(t)$, $t = 0, 1, 2, \dots$. Индекс t означает номер оборота, при котором волокно находилось в рабочей области. Ширину барабана обозначим $2b$, длину волокна в распрямленном состоянии L_0 , коэффициент распрямленности вдоль направления движения кардной поверхности η , протяженность волокна в этом направлении Lx .

Вероятности блуждания зависят от распрямленности волокна вдоль направления движения кардной поверхности (ось X): чем больше распрямлено волокно, тем меньше вероятность миграции этого волокна влево или вправо [5]. Кроме того, эти вероятности зависят от длины волокна: чем больше длина волокна, тем больше вероятность его захвата и миграции вдоль оси Y . Миграция ограничена пределами ширины барабана. Все перечисленные факторы миграции и закономерности были учтены в алгоритме моделирования.

На рис.2 и 3 показаны результаты моделирования миграции волокон на основе схемы случайного блуждания с учетом различной протяженности волокон, ее изменения в процессе миграции и разной длины волокон. Сравним кривые изменения среднеквадратического отклонения и оценки распределения для случайного блуждания точки и миграции волокон (рис.1 и 2).

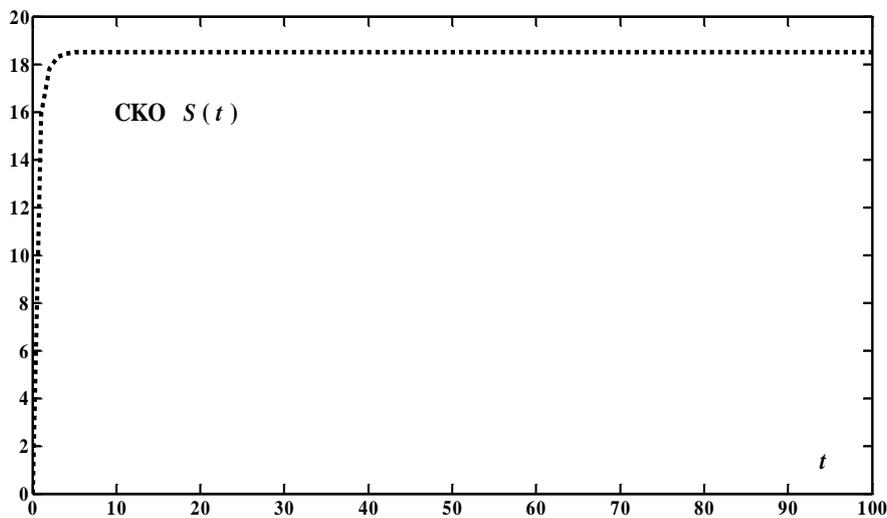


Рис.2. Динамика нарастания среднеквадратического отклонения блуждания от начальной точки для волокон разной протяженности и длины

Видно существенное различие в динамике сравниваемых процессов. У процесса миграции для дисперсии смещения волокон существует наибольшее предельное значение, которого дисперсия достигает за относительно небольшое число оборотов барабана, тогда как у процесса блуждания никакого предельного значения не существует. Существование предельной дисперсии у миграции волокон объясняется включением в модель эффекта сокращения величины смещения волокна по мере его распрямления, который, очевидно, должен оказывать влияние на миграцию.

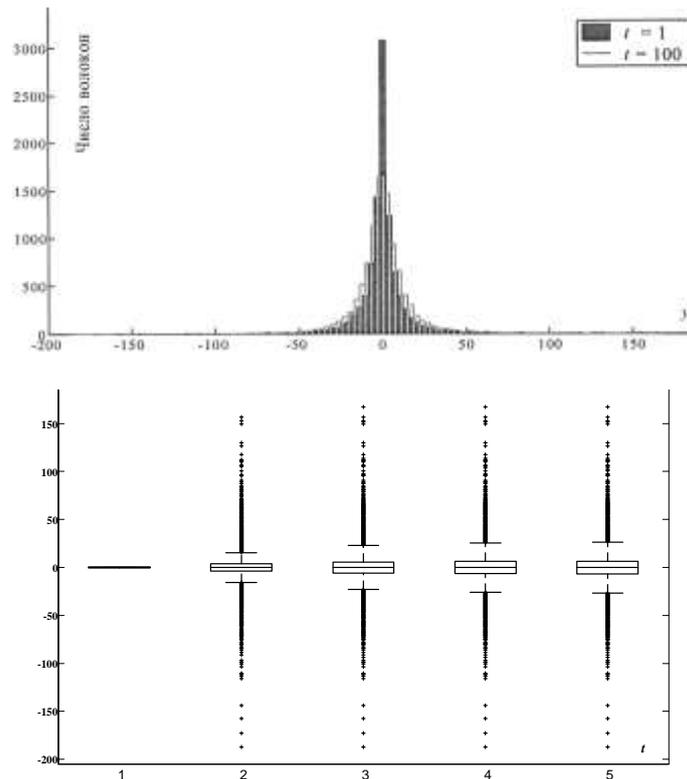


Рис.3. Динамика изменения распределения миграции волокон разной протяженности и длины. BoxWhiskers – диаграмма динамики изменения распределения величины миграции волокон в поперечном направлении по поверхности барабана, показывающая существенное отличие распределений от нормального закона

Эти же факторы – зависимость миграции от распрямленности волокон и их длины – приводят и к существенному изменению формы распределения смещений волокон относительно их начального положения, а также и диапазона значений этих смещений. Величина миграции заметно уменьшилась. Зависимость СКО от числа шагов отличается от классической зависимости $S(t) \sim t^{0,5}$. Скорость выхода к предельному распределению также значительно выше классического варианта. При миграции волокон из середины барабана его границы не достигаются. Закон распределения смещений (гистограмма на рис.3) сильно отличается от нормального распределения. Проверка по статистическим критериям согласия показала, что полученное распределение смещений волокон (миграция) хорошо согласуется с двойным экспоненциальным распределением Лапласа. Существуют аналитические обоснования, подтверждающие справедливость такого вывода.

Таким образом, разработанная компьютерная модель миграции волокон по поверхности барабана кардочесальной машины показывает существенные отличия процесса миграции от классической диффузионной модели и показывает, что причины отличий связаны с конечной длиной волокон, их извитостью и расположением на поверхности барабана.

Список литературы

1. Ашнин, Н.М. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса кардочесания волокнистых материалов. - Дис. ... д-ра техн.наук. – Л., 1979. – 474 с.
2. Карасев, Г.И. Исследование процесса обработки хлопковых волокон в различных узлах шляпочных чесальных машин. - Дис. ... д-ра техн.наук. – Иваново, 1968. – 289 с.

3. Зарубин, В.М., Белоголовцев, С.Д. Анализ процесса образования прочеса. - Изв. ВУЗов: Технология текстильной промышленности, 1990, №2, с.22-24.

4. Черкасский, А.Е., Белоголовский, А.М. Двумерная модель выравнивающего действия чесальной машины. - Изв. ВУЗов: Технология текстильной промышленности, 1988, №1, с.18-21.

5. Севостьянов, П.А. Компьютерное моделирование длины и тонины волокон шерсти в топсе и ленте на основе данных натуральных экспериментов / П.А. Севостьянов, К.В. Ордов, Е.И. Битус, Т.А. Самойлова, В.В. Монахов - Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2015 - №6, С.185-189.

УДК 53.535.5+ 330.101.541

КОНТРОЛЬНЫЙ ИДЕНТИФИКАЦИОННЫЙ ЗНАК С КОМБИНИРОВАННОЙ ЗАЩИТОЙ CONTROL IDENTIFICATION MARK WITH COMBINED PROTECTION

**Танин Леонид Викторович, Моисеенко Петр Васильевич,
Бобореко Александр Георгиевич, Лушчиков Михаил Николаевич,
Танин Вячеслав Андреевич
Tanin Leonid Victorovich, Moiseenko Petr Vasilyevich,
Boboreko Alexandr Georgievich, Lushchikov Mihail Nikolaevich,
Tanin Viacheslav Andreevich**

*Представительство Международной инженерной академии в Республике Беларусь,
ЗАО «Голографическая индустрия», Республика Беларусь, Минск
CJSC Holography Industry, Republic of Belarus, Minsk
(e-mail:leonidtanin@gmail.com)*

Аннотация: В статье рассмотрен вопрос использования голографических нанотехнологий для защиты от подделок и копирования носителей цифровых кодов идентификации товаров.

Abstract: The article investigates the issue of using holographic nanotechnology to protect against counterfeiting and copying of carriers of digital codes for identifying goods.

Ключевые слова: кристаллограмма, защитный элемент, рельефно-фазовая голограмма, цифровая маркировка, машиносчитываемая информация.

Keywords: crystallogram, protection element, relief-phase hologram, digital labelling, machine-readable information.

Создание национальных средств защиты документов, ценных бумаг и особо ценных объектов является одной из важных государственных задач, обеспечивающих ее национальную и экономическую безопасность [1]. По мере создания нормативной и производственной базы, подготовки кадров, приобретения опыта встал вопрос о создании производства специальных средств защиты ценных бумаг и документов.

Широкое внедрение голографических элементов защиты различных видов продукции и ценных бумаг, а так же постоянно развивающаяся техника и технология производства голограмм, создаёт предпосылки для появления поддельных аналогов голографических защитных элементов. Для эффективного контроля защитных голограмм

необходимо решить две задачи. Первая задача состоит в разработке различных схем голографического кодирования защитных элементов, вторая – в создании компактных устройств декодирования этой информации.

Сегодня в мире используются различные технологии защиты голограмм. Это и запись различного рода скрытых изображений [2], и внесение микротекста в общую картину записываемой голограммы, и создание определённых эффектов, обеспечивающих уникальность создаваемого защитного элемента.

Кристаллограмма является средством защиты на базе рельефно-фазовой голограммы и полимерных слоёв со скрытым поляризационным изображением [1]. Уникальность данного защитного средства обусловлена тем, что в процессе визуализации закодированной информации при вращении идентификатора скрытых изображений происходит смена одних элементов на другие, а также меняется цветовая гамма элементов скрытого поляризационного изображения. Формирование скрытого поляризационного изображения происходит в слое жидкокристаллического материала, который наносится на защитную голограмму.

Для повышения защитных свойств рельефных голограмм в них специально сформированы скрытые защитные элементы. Известен целый ряд технологий создания скрытых изображений, причем число методов и технологий постоянно растет [3]. Также совершенствуются и методы оригинации, среди которых одно из ведущих мест занимает цифро-аналоговая технология.

Рассмотрим формирование цветных скрытых изображений, которые имеют место в кристаллограмме. Эти области можно визуализировать при помощи поляризатора и анализатора. Классическая схема полярископа показана на Рис.1.



Рис.1. Схема полярископа

Свет, проходя через поляризатор, становится линейно поляризованным. Анализатор, пропускающий свет только с одним направлением колебаний светового вектора, устанавливают так, чтобы свет не выходил, т.е. скрещивают оси поляризатора и анализатора. В рабочее пространство, между поляризатором и анализатором вводят слой полимеризованных жидких кристаллов (ПЖК). Параллельный пучок естественного света, направленный на поляризатор 1, превращаясь в линейно-поляризованный, падает на ПЖК перпендикулярно его поверхности. При нормальном падении пучка лучей на одноосный кристалл, оптическая ось в котором параллельна преломляющей поверхности, возникают два луча e и o . Эти лучи, обыкновенный и необыкновенный будут распространяться в одном направлении, но с разными скоростями. Лучи, обыкновенный и необыкновенный, созданные линейно-поляризованным светом, являются когерентными, а пройдя анализатор будут иметь колебания векторов E_o и E_e в одной плоскости.

Различие в скоростях обыкновенного и необыкновенного лучей внутри ПЖК приводит к возникновению некоторой разности фаз, а, следовательно, к оптической разности хода между двумя когерентными лучами. Таким образом, вышедшие из ана-

лизатора два луча удовлетворяют всем условиям, необходимым для осуществления интерференции.

При выходе из вещества оба луча приобретут соответственно дополнительные фазы

$$\varphi_e = \frac{2\pi}{\lambda} dn_e \varphi_0 = \frac{2\pi}{\lambda} dn_0(1);$$

где n_e и n_0 - показатели преломления необыкновенного и обыкновенного лучей; λ - длина световой волны в вакууме; d - толщина слоя ПЖК; dn_e или dn_0 - оптический путь в веществе.

Тогда разность фаз, которую приобрели два луча по выходе из вещества, будет равна

$$\Delta\varphi = \varphi_0 - \varphi_e = \frac{2\pi}{\lambda} d(n_0 - n_e)(2)$$

Максимумы интенсивности будут иметь место, если

$$\frac{2\pi}{\lambda} d(n_0 - n_e) = 2\pi k \quad (3)$$

и

$$\Delta = d(n_0 - n_e) = k\lambda \quad (4)$$

т.е. оптическая разность хода обыкновенного и необыкновенного лучей равна целому числу волн. Т.к. колебания $E_0\phi$ и $E_e\phi$ когерентны, то они интерферируют, в результате чего выходящий из анализатора свет будет иметь максимальную интенсивность.

Минимумы интенсивности будут иметь место, если

$$\frac{2\pi}{\lambda} d(n_0 - n_e) = (2k + 1)\pi(5)$$

и

$$\Delta = d(n_0 - n_e) = (2k + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (6)$$

т.е. оптическая разность хода двух лучей будет равна нечетному числу половолн. Происходит гашение, но не полное. Следовательно, и исходящий из анализатора свет будет меньшей интенсивности.

Если на пластинку направлять не монохроматический, а белый свет, то благодаря частичному гашению некоторых участков спектра прошедший свет уже будет не белым, а окрашенным.

Поскольку кристаллограмма является сложным многокомпонентным элементом защиты, основной задачей являлось освоение серийного производства данного изделия. Особую сложность составляли такие этапы производства как:

- Синтез мономеров и приготовление анизотропной поляризуемой композиции;
- Получение слоя ПЖК с контрастной визуализацией скрытого изображения;
- Блокирование слоя ПЖК защитными лаковыми слоями;
- Организация эффективного контроля на всех этапах изготовления и использования ПЖК.

В отличие от достаточно широко распространенных обычных голографических наклеек, которые подделываются, например, в Польше или в Китае, подделка и копи-

рование кристаллограммы практически невозможна. По официальным данным не было выявлено ни одного случая подделки кристаллограмм.

Под защитой от копирования понимается наличие в составе идентификационного знака средств, позволяющих различить оригинальный экземпляр идентификационного знака от его копии, выполненной, например, с применением множительной техники любой разрешающей способности и любой возможности передачи цветовых оттенков. Под защитой от подделки понимается создание такого идентификационного знака, который характеризуется признаками, базирующимися на знаниях из разных областей науки и техники, и, для изготовления которого требуются специализированное дорогостоящее оборудование и высококвалифицированные специалисты из разных областей науки и техники. Стопроцентной защиты от подделки не может быть, имеется лишь возможность максимально затруднить ее выполнение для того, чтобы экономические выгоды от подделки не превышали материальные затраты на ее осуществление.

Из уровня техники известно много решений для предупреждения копирования и изготовления подделок, и их можно разбить на три группы. К первой группе относятся устройства, которые несут машиносчитываемую переменную информацию в двух кодах, выполненных с разными разрешающими способностями по печати кодов, их считывания и последующей интерпретации содержания. В этих устройствах используется прием создания «грубого» и «тонкого» кодов. Недостатком таких устройств является то, что в них защита от копирования основана не на физических принципах, а на разрешающей способности воспроизводящих устройств, т.е. злоумышленник должен для копирования таких кодов взять сканер и печатающие устройства соответствующей разрешающей способности.

Ко второй группе относятся устройства, которые наряду с машиносчитываемой информацией содержат «невоспроизводимую картинку» [4] или случайно расположенные видимые частицы [5]. Однако эти приемы не спасают от появления копий таких устройств, т.е. от тиражирования «невоспроизводимой картинки» или воспроизведения случайно расположенных видимых частиц.

К третьей группе относится способ защиты продукции от подделки [6], который базируется на том, что каждую единицу товарной продукции оснащают информационно-защитной этикеткой, на которую наносят штриховой код, содержащий постоянную и машиносчитываемую переменную информацию, и данная этикетка предназначена для размещения на защищаемой от контрафакта товарной продукции. Этикетка оснащена также дифракционным элементом защиты от копирования и подделки с поверхностным микрорельефом, создающим эффект оптической дифракции. В качестве дифракционного элемента защиты от копирования, имеющего поверхностный микрорельеф, использована голограмма Бентона или голограмма, выполненная методом электронно-лучевой записи, или «Кинеграмма».

Классическим методом защиты продукции от подделки является ее маркировка защитными идентификационными знаками [7]. На защитный идентификационный знак возлагаются три основные функции: прямо или косвенно защитить объект маркировки, выявлять несанкционированный доступ к объекту и информировать о происхождении и движении (обороте) объекта маркировки.

Сегодня перед экономикой и обществом остро стоит вопрос о потребности в цифровизации, в связи с этим появилась необходимость создания идентификационного знака с комбинированной защитой, содержащего постоянную и машиносчитываемую переменную информацию о товарной продукции. Данный знак обеспечит полное обнаружение собственных копий, а также минимизацию возможностей изготовления подделок заявляемого идентификационного знака.

Идентификационный знак с комбинированной защитой предназначен для индивидуализации каждой единицы товарной продукции, информацию о которой он содержит, и может быть использован в качестве составной части автоматизированных информационных систем маркировки или маркировки и прослеживания товарной продукции. Для надежной идентификации товаров целесообразно сочетать защитную маркировку с информационно-учетными операциями по прослеживаемости. [8]. Важнейшей функцией системы прослеживания является маркировка и прослеживание групповых упаковок товаров (ящиков, коробок, тюков, паллет и т.п.). Учет маркированных групповых упаковок позволяет идентифицировать товар без распаковки, что значительно упрощает процедуру идентификации.

Кроме нанесения ущерба авторам или владельцам авторских прав, оборот контрафактной и фальсифицированной продукцией также способствует недополучению налогов в государственный бюджет. Разработка и внедрение в практику эффективных методов противодействия обороту контрафактной продукции, товаров и документов является важнейшей задачей, направленной на обеспечение экономической безопасности государства. Системы прослеживания товаров в сочетании со средствами защитной маркировки являются эффективным инструментом защиты рынка от контрафакта и подделок. Экономическая целесообразность внедрения системы прослеживания должна основываться на обоснованном выборе перечня продукции и товаров, а также структуры системы, состава участников и степени охвата цепочек поставок.

В заключение статьи следует отметить, что ведущие ученые и специалисты из России, Армении, Казахстана и Кыргызстана поддерживают идею создания идентификационного знака с комбинированной защитой, поскольку это обезопасит потребителя и добросовестного производителя от поддельной продукции, дав возможность распознать некачественный товар и отказаться от его потребления.

Список литературы

1. *Танин Л.В.* Этапы развития наукоемких защитных технологий в Республике Беларусь — голограмма, юниграмма, RFID-метка, кодограмма, кристаллограмма, комбиграмма — 1998-2019 годы // Тез. докл. XVI Международной конференции по голографии и прикладным оптическим технологиям HOLOEXPO 2019. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2019. С. 11-15.
2. *Танин Л.В., В.К. Ероховец.* Голографические защитные элементы: синтез и анализ // Тез. докл. Междунар. конф. «Лазерная физика и применения лазеров». Минск: НАН Беларуси, Ин-т физики, 2003. - С. П -17у.
3. *Танин Л.В., Короленко А.А.* Методы формирования комбинированных объемных плоских изображений // Тез. докл. третьей Междунар. науч.-практ. Конф. Москва: М, 2006. - С. 19-20.
4. *Шкилёв В.Д.* Способ изготовления штрих-кода. Патент РФ № 2408929 С2. Кл. МПК: G06K 1/12.10.01.2011 Бюл. №1.
5. *Медведев П.М.* Устройство для защиты товара от подделки. Патент РФ 2477531 С1. Кл. МПК-G09F 3/00.В32В 7/10 G06K 10/06. 10.03.2013 Бюл. №7.
6. *Золотухин М.О., Максимовский А.С.* Способ контролируемой реализации продукции и ее защиты от подделки. Патент РФ № 2144220. Кл. МПК: G09F3/02. G06K19/16. 10.01.2000.
7. *Богданов В.Н., Вихлянец П.С., Симонов М.В.* Защита товаров от контрафакта и подделок. Изд. Дом LAPLAMBERT Academic Publishing, 2015, 142 с.
8. *Блудов Д.А., Богданов В.Н., Вихлянец П.С., Карахотин С.Н., Симонов М.В.* Система прослеживания товаров как инструмент защиты рынка от контрафакта и подделок. // Журнал "Микроэкономика". 2015. № 1. С. 52-65.

INDUSTRIAL INFORMATION INTEGRATION ENGINEERING ИНЖЕНЕРНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Li Da Xu
Ли Да Сюй

*Old Dominion University, Norfolk, Virginia, USA,
Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE),
Университет Олд Доминион, г. Норфолк, Вирджиния, США,
Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE),
Foreign member of the Russian Academy of Engineering, academician
of the European Academy of Sciences
Иностраннный член Российской инженерной академии,
академик Европейской академии наук
(e-mail: lxu@odu.edu)*

Abstract: Rapid advances in industrial information integration methods have spurred tremendous growth in the emerging subject of Industrial Information Integration Engineering. Various techniques have been developed for probing industrial information integration. These techniques include business process management, workflow management, EAI, SOA, and others. Many applications require a combination of these techniques, which gives rise to the emergence of the subject called Industrial Information Integration Engineering. In this paper, we briefly introduce the emerging subject called Industrial Information Integration Engineering.

Keywords: Industrial Information Integration Engineering, IIIЕ, emerging technologies.

INTRODUCTION

In the first part of the first decade of 2000, the impact of ICT (Information and Communication Technology) on industry has been going beyond the traditional paradigm. It affects industrial processes and production in an unprecedented way. It became more and more clear the emergence of Industrial Information Integration grew out from a new era of ICT. Due to the strategic importance of the subject, there has been a growing demand for research on Industrial Information Integration to provide insights on issues, challenges, and solutions.

In June 2005, at a meeting of the *International Federation for Information Processing* (IFIP) Technical Committee for Information Systems (TC8) held at Guimarães, Portugal, a scientific sub-discipline called Industry Information Integration Engineering (IIIЕ), was initially proposed [1, 2, 3].

IFIP is a multinational organization in ICT recognized by United Nations and other world bodies, representing IT Societies from 56 countries/regions, covering five continents with a total membership of over half a million. The IFIP TC 8 committee members from many different countries intensively discussed the innovative and unique characteristics of IIIЕ as a scientific sub-discipline [2].

IIIЕ is a set of foundation concepts, techniques, and technology that facilitate the industrial information integration process; specifically speaking, IIIЕ comprises methods/techniques for solving complex information integration problems in industrial sectors. IIIЕ has been proposed and studied through identifying its theoretical foundation, body of knowledge, frameworks, theories, and technologies at multiple levels. IIIЕ interacts with

computer science and engineering, industrial systems engineering, information systems engineering, and other engineering subjects. IIIE is defined as a complex system which can advance and integrate the concepts, theory, techniques, and technology in each relevant discipline and open up a new discipline for industry information integration purposes which is characterized by its interdisciplinary nature.

Figure 1 shows IIIE at the top level; relevant scientific, engineering, management, and social science disciplines at the second level; and application engineering fields at the third level. At the fourth level and the levels below, many relevant frameworks, theories, techniques, and technology can be listed. Some existing frameworks are interdisciplinary themselves, for example, interoperability is related to science, engineering, management, and others. Figure 1 can be extended in size, in order to cover all of the details involved. For example, interoperability is involved with frameworks such as the ATHENA Interoperability Framework, Business Interoperability Parameters, the CEN/ISSS eBusiness Roadmap, C4 Interoperability Framework (C4IF), the IDEAS Interoperability Framework, the European Interoperability Framework, Levels of Conceptual Interoperability, Levels of Information System Interoperability (LISI) C4ISR, NATO C3 Technical Architecture (NC3TA), and the Organizational Interoperability Maturity Model [4].

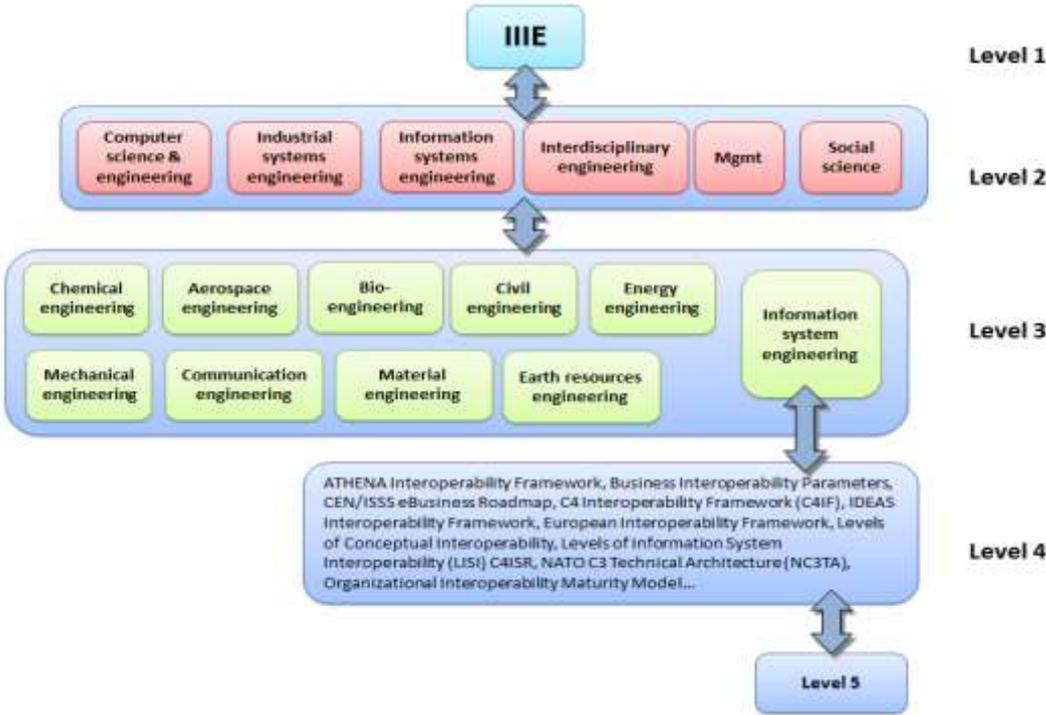


Figure 1 Discipline Structure of IIIE [5, 6]

INDUSTRIAL PARADIGM SHIFT

The proposal on IIIE has profound industrial background, literature basis, as well as industrial drive as a paradigm shift.

According to Kaynak [7], “If we had a look at the industrial developments that took place in the 20th century, the first half could be said to be hardware dominated in the sense that the improvements in productivity and product quality were mostly due to improvements in ‘the hardware.’ The operational speed and the accuracy of the industrial machinery steadily increased, mostly due to the improvements in the precision of the mechanical parts. Along the same lines, the early second half could be said to be software dominated. It was the software used in microprocessor based control systems that enabled a production line to operate faster and more accurately. Even the improvements in industrial machinery (the hardware) were due

to the possibilities offered by Computer-Aided Design and Manufacturing. The era of industrial electronics got started around this period, industrial automation in the form of mechanical controls and switches, slowly giving way to electronic controls and signal processing. The last few decades of the century, on the other hand, are characterized by the fusion of different technologies, the first example of which may be (going back almost to the start of the century) electromechanics, then optoelectronics, then mechatronics, then telematics, then bioinformatics, and so on. As a result of this, the boundaries between industrial sectors and academic disciplines have eroded very rapidly. In the new millennium, it is very difficult to put clear boundaries between industrial sectors, between products and services, between producers and users, between IT, communications, media, consumer electronics and even between IT and non-IT industries. The area of industrial automation and control has had its share of the changes too”.

Kaynak [7] further discussed the exhilarating journey from industrial electronics to industrial informatics. He wrote “The area of industrial automation and control has had its share of the changes too. It is easy to see how dominant IT has become in industrial electronics if one considers the changes in time spent by an engineer in designing a controlled drive system:

- Before the 1960s: 80% for designing a control system with mechanical switches.
- After the 1960s: 80% for designing power electronics converters.
- After the 1980s: 80% for designing digital hardware and software.
- Currently: 90% for software and IT!”

SUMMARY

Due to such industrial practice paradigm shift, the new subject Industrial Information Integration have risen, directly resulting in the formal proposal on Industrial Information Integration to IFIP and IEEE [1, 2].

Since Industrial Information Integration Engineering was initially proposed in 2005, awareness for Industrial Information Integration has been increased. In 2015, Ministry of Industry and Information Technology of China launched the *China Manufacturing 2025 Plan*. This 10-year action plan calls for increasing integration of industrialization and information technology. Nine tasks have been identified as priorities, one of them is integrating Information Technology and Industry.

The subject on Industrial Information Integration has significant grounding in industry and literature. The quantity of engineering literature in Industrial Information Integration Engineering has increased in recent years. Following Industrial Information Integration Engineering's initial proposal in 2005, awareness for Industrial Information Integration has steadily increased. In recent years, the number of literature on Industrial Information Integration grow at a fast pace. In 2016, a paper entitled “Industrial information integration-A literature review 2006–2015” was published [8]. This year, 2020, a paper entitled “A Survey on Industrial Information Integration 2016-2019” has been recently published [9]. Both papers show the growth trend of the related literature. IIIE is expected to have great potential to play a major role in industries in future.

We believe that the successful industrial information integration applications including Industry 4.0 or *China Manufacturing 2025 Plan* relies upon more sophisticated technologies than that are available now. With more advanced technologies, the overall quality of information integration will improve.

Despite advancements in the field of IIIE, both in academia and industry, significant challenges still remain. IIIE will continue to embrace cutting-edge technology and techniques, and open up new applications that will impact industrial sectors. IIIE can and will contribute to the success of this endeavor.

REFERENCES

1. Roode, D. IFIP General Assembly September 2005 Gaborone, Botswana Report from Technical Committee 8 (Information Systems), August 27, 2005.
2. Raffai, M. New working group in IFIP TC8 Information Systems Committee: WG 8.9 Working Group on Enterprise Information Systems. *SEFBIS Journal*, 2, 4-8, 2007.
3. Xu, L. Enterprise Systems: State-of-the-Art and Future Trends. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(4), 630-640, 2011.
4. Goncalves, R., Grilo, A., Agostinho, C., Lampathaki, F., Charalabidis, Y. Systematisation of interoperability body of knowledge: the foundation for enterprise interoperability as a science. *Enterprise Information Systems*, 7(1), 7-32, 2013.
5. Xu, L. Engineering Informatics: State of the Art and Future Trends. *Frontiers of Engineering Management*, 1(3), 276-288, 2014.
6. Xu, L. Enterprise Integration and Information Architectures, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
7. Kaynak, O. The exhilarating journal from industrial electronics to industrial informatics. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 1(2), 73, 2005.
8. Chen, Y. Industrial information integration—A literature review 2006–2015. *Journal of Industrial Information Integration*, 2, 30-64, 2016.
9. Chen, Y. A survey on industrial information integration 2016–2019. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(1), 33-163, 2020.

УДК 62

CRACK GROWTH IN THREE-POINT BEND SPECIMENS MADE OF POLYMERIC FOAMS РОСТ ТРЕЩИН В ОБРАЗЦАХ ТРЕХТОЧЕЧНОГО ИЗГИБА ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ ПЕНОПЛАСТОВ

Gdutos Emmanuel
Гдутос Эммануэль

Office of Theoretical and Applied Mechanics of the Academy of Athens, Athens, Greece
Отделение теоретической и прикладной механики Афинской академии наук,
Афины, Греция
International Academy of Engineering
Международная инженерная академия
(e-mail: egdoutos@civil.duth.gr)

Abstract: The problem of crack growth in a three-point bend specimen made of polymeric foams is investigated. Polymeric foams are anisotropic materials and cracks, generally, propagate under mixed-mode loading. The axes of material anisotropy are inclined with respect to the crack plane. Due to the anisotropy of the material crack kinking occurs even though the applied load is symmetrical with respect to the crack plane. The study will take place within the frame of linear elastic fracture mechanics of anisotropic media. The strain energy density criterion will be used for the determination of the critical load of crack initiation and crack growth path under mixed-mode loading. The opening-mode and sliding-mode stress intensity factors are determined by a finite element program. A special circular core el-

ement surrounding the crack tip with 19 nodes is used. The core element is joined to the conventional 12-node quadrilateral element by requiring that the displacement at the nodes on the circumference of the core element match the corresponding singular solution. Results are obtained for the critical load of crack initiation and crack growth trajectories as a function of the orientation of the axes of material symmetry and the anisotropy of the material.

Keywords: critical load, strain energy density, linear elastic fracture mechanics, crack plane, polymeric foam

INTRODUCTION

Cellular materials have extensively been used in sandwich construction due to their excellent properties, such as high specific modulus and strength, low weight, good thermal insulation and low cost. The mechanical behavior of cellular materials has been studied in [1-4]. It was found that the compressive stress-strain behavior of PVC cellular foams consists of an initial relatively small and stiff elastic regime, an extended stress plateau regime and a final regime in which densification of the material takes place. In the stress plateau regime the cells of the foam collapse, while the average stress remains almost constant during the instability spread through the material. Axial compression produces little lateral spreading resulting to almost zero Poisson's ratio. When all of the cells collapse the material is densified and its stiffness increases. As a consequence of such behavior foams change their volume during plastic compression. This is contrary to dense solids which are incompressible during plastic deformation. On the contrary, the uniaxial stress-strain behavior in tension is nonlinear elastic without any identifiable yield region.

The objective of this work is to study the problem of crack growth in a three-point bend specimens in a cross-linked polymeric foam under the commercial name Divinycell H250 with a density of 250 Kg/m^3 . The problem is analyzed by finite elements. The results of stress analysis are coupled with the strain energy density theory to obtain crack growth trajectories for various values of the angle of orientation of the axes of anisotropy of the material with respect to the loading direction.

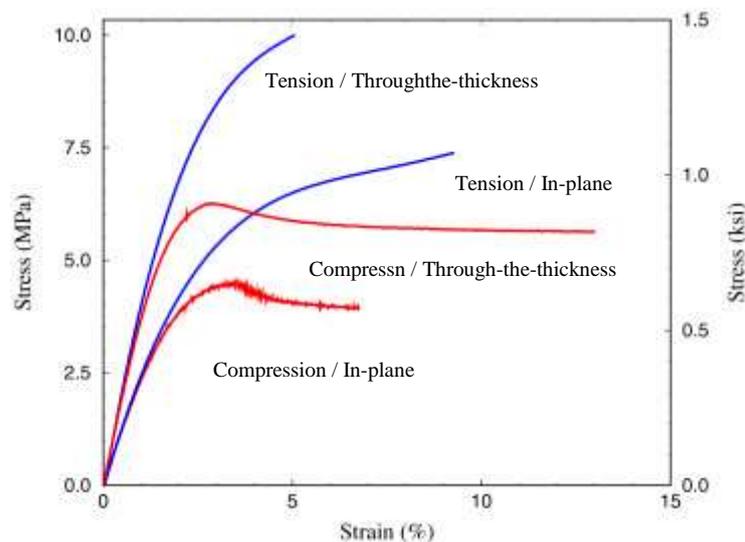


Fig. 1. Stress-strain curves of Divinycell H250 PVC foam, in tension and compression.

MECHANICAL CHARACTERIZATION OF FOAM MATERIALS

The study will include many types of fully cross-linked PVC closed-cell foams under the commercial name Divinycell H80, H100, H160, H250 with densities of 80, 100, 160 and 250 kg/m^3 , respectively, and balsa wood. Figure 1 shows the stress-strain curves of Divinycell H250 in tension and compression. Note that the uniaxial stress-strain behavior in tension is

nonlinear elastic without any identifiable yield region. In uniaxial compression the material is nearly elastic-perfectly plastic in the initial stage of yielding. All Divinycell H80, H100, H160 and H250 materials exhibit axisymmetric anisotropy with much higher stiffness and strength in the cell (3-direction) than the in-plane direction. The ratio of the stiffness in the cell (e-direction) to the in-plane direction is of the order of 1.5. The anisotropy of balsa wood is more pronounced with the above ratio equal to 42. All materials display different behavior in tension and compression with tensile strengths much higher than corresponding compressive strengths.

STRAIN ENERGY DENSITY CRITERION

The basic quantity in the strain energy density theory for crack problems is the strain energy density function dW/dV , which can be put in the form [5-7]:

$$\frac{dW}{dV} = \frac{S}{r} \quad (1)$$

where S is the strain energy density factor and r is the distance measured from the crack tip.

For plane elastic problems under conditions of plane stress the strain energy density function is given by

$$\frac{dW}{dV} = \frac{1}{2} (\sigma_x \varepsilon_x + \sigma_y \varepsilon_y + \tau_{xy} \gamma_{xy}) \quad (2)$$

where σ_x , σ_y , τ_{xy} are the stress and ε_x , ε_y , γ_{xy} are the strain components.

The strain energy density factor S is given by [5-7]:

$$S = A_{11} k_1^2 + 2A_{12} k_1 k_2 + A_{22} k_2^2 \quad (3)$$

where

$$A_{11} = \frac{1}{4} [\alpha'_{11} A^2 + \alpha'_{22} C^2 + \alpha'_{66} E^2 + 2\alpha'_{12} AC + 2\alpha'_{16} AE + 2\alpha'_{26} CE] \quad (4a)$$

$$A_{12} = \frac{1}{4} [\alpha'_{11} AB + \alpha'_{22} CD + \alpha'_{66} EF + \alpha'_{12} (AD + BC) + \alpha'_{16} (AE + BE) + 2\alpha'_{26} (CE + DE)] \quad (4b)$$

$$A_{22} = \frac{1}{4} [\alpha'_{11} B^2 + \alpha'_{22} D^2 + \alpha'_{66} F^2 + 2\alpha'_{12} BD + 2\alpha'_{16} BF + 2\alpha'_{26} DF] \quad (4c)$$

with

$$A = \operatorname{Re} \left[\frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} \left(\frac{s_2}{z_2} - \frac{s_1}{z_1} \right) \right], \quad B = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{s_1 - s_2} \left(\frac{s_2^2}{z_2} - \frac{s_1^2}{z_1} \right) \right] \quad (5a)$$

$$C = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{s_1 - s_2} \left(\frac{s_1}{z_2} - \frac{s_2}{z_1} \right) \right], \quad D = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{s_1 - s_2} \left(\frac{1}{z_2} - \frac{1}{z_1} \right) \right] \quad (5b)$$

$$E = \operatorname{Re} \left[\frac{s_1 s_2}{s_1 - s_2} \left(\frac{1}{z_1} - \frac{1}{z_2} \right) \right], \quad F = \operatorname{Re} \left[\frac{1}{s_1 - s_2} \left(\frac{s_1}{z_2} - \frac{s_2}{z_1} \right) \right] \quad (5c)$$

and

$$k_1 = \frac{K_1}{\sqrt{\pi}} \quad k_2 = \frac{K_2}{\sqrt{\pi}}. \quad (6)$$

In the above equations α_{ij} are the compliance coefficients of the anisotropic material relating stress and strain, K_1 and K_2 are the stress intensity factors which dictate the stress field in the neighborhood of the crack tip, $z_1 = x_1 + iy_1$, $z_2 = x_1 - iy_1$ are complex numbers, and the other coefficients are related to the anisotropic behavior of the material [4-6].

Consider a plate with a through-the-thickness crack of length $2a$ that is subjected to a uniaxial stress σ perpendicular to the crack plane. The axis x' of orthotropy of the material makes an angle φ with the crack axis, x (Figure 1).

The compliance coefficients α_{ij}' referred to the system $x'y'$ (Figure 1) are related to the coefficients α_{ij} referred to the system xy by the following equations [5-7].

$$\begin{aligned} \alpha'_{11} &= \alpha_{11} \cos^4 \varphi + (2\alpha_{12} + \alpha_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \alpha_{22} \sin^4 \varphi + (\alpha_{16} \cos^2 \varphi + \alpha_{26} \sin^2 \varphi) \sin 2\varphi, \\ \alpha'_{22} &= \alpha_{11} \sin^4 \varphi + (2\alpha_{12} + \alpha_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \alpha_{22} \cos^4 \varphi - (\alpha_{16} \cos^2 \varphi + \alpha_{26} \cos^2 \varphi) \sin 2\varphi, \\ \alpha'_{12} &= \alpha_{12} + (\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12} - \alpha_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{1}{2}(\alpha_{26} - \alpha_{16}) \sin 2\varphi \cos 2\varphi, \\ \alpha'_{66} &= \alpha_{66} + 4(\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12} - \alpha_{66}) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + 2(\alpha_{26} - \alpha_{16}) \sin 2\varphi \cos 2\varphi, \\ \alpha'_{16} &= [\alpha_{22} \sin^2 \varphi - \alpha_{11} \cos^2 \varphi + \frac{1}{2}(2\alpha_{12} + \alpha_{66}) \cos 2\varphi] \sin 2\varphi + \alpha_{16} \cos^2 \varphi (\cos^2 \varphi - 3\sin^2 \varphi) \\ &\quad + \alpha_{26} \sin^2 \varphi (3\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi), \\ \alpha'_{26} &= [\alpha_{22} \sin^2 \varphi - \alpha_{11} \sin^2 \varphi - \frac{1}{2}(2\alpha_{12} + \alpha_{66}) \cos 2\varphi] \sin 2\varphi + \alpha_{16} \sin^2 \varphi (3\cos^2 \varphi - \sin^2 \varphi) \\ &\quad + \alpha_{26} \cos^2 \varphi (\cos^2 \varphi - 3\sin^2 \varphi), \end{aligned} \quad (7)$$

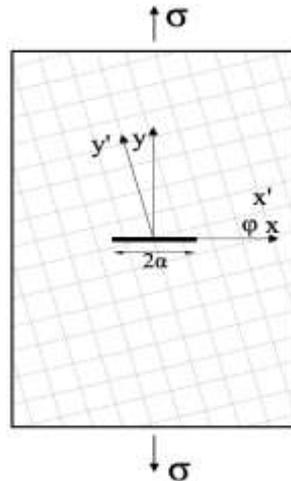


Fig. 2. A cracked plate with a crack perpendicular to the applied load at an angle with the direction of the axis of material orthotropy of the material

According to the strain energy density theory unstable crack growth takes place in the radial direction along which S becomes minimum. This condition is mathematically put in the form:

$$\frac{\partial S}{\partial \theta} = 0, \quad \frac{\partial^2 S}{\partial \theta^2} > 0. \quad (8)$$

This equation is used for the determination of the critical angle θ_c of initial crack growth.

Unstable crack growth occurs when $S_{\min}(\theta_c)$ takes its critical value S_c which is an intrinsic material parameter, that is,

$$S_{\min}(\theta_c) = S_c. \quad (9)$$

Equations (8) and (9) will be used for the determination of the critical quantities at crack instability for the case of Figure 1.

RESULTS

Results were obtained for a three-point bend specimen with a symmetrical crack. The axis of material symmetry made an angle φ with respect to the crack axis (Figure 2). The stress analysis of the plate was performed by the ABAQUS computer program. Figure 3 presents the variation of strain energy density function dW/dV along the circumference of a circle centered at the crack tip for $\varphi = 0, 30^\circ$ and 60° . The values of θ at which dW/dV presents local minima are the critical values of the angle of initial crack growth.

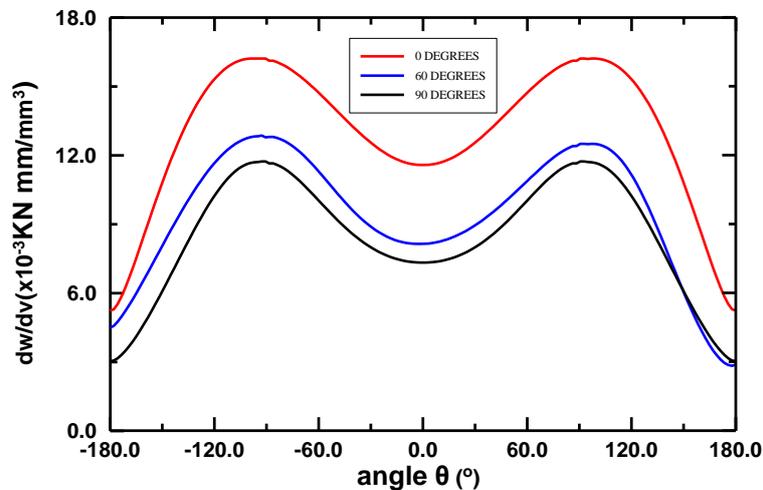


Fig. 3/ Variation of strain energy density function dW/dV versus polar angle θ around the circumference of a circle surrounding the crack tip at a distance of 0.012 mm from the crack tip for $\varphi = 0, 30^\circ$ and 60° . Crack grows in the direction of local minimum of strain energy density function.

CONCLUSIONS

The crack growth in polymeric foams which present mechanical anisotropic behavior was studied. The case of a three-point bend specimen with the axes of material anisotropy at an angle with respect to the crack plane is analyzed. From the results of stress analysis in conjunction with the strain energy density theory the mixed-mode crack growth behavior of the plate was obtained. Results for the angle of initial crack growth for various orientations of the axes of anisotropy of the material with respect to the loading direction were reported.

References

1. Gibson L.J., Ashby, M.F. Cellular Solids. Cambridge University Press, 1997.
2. Gdoutos, E.E., Daniel, I.M., Wang, K.-A. Multiaxial Characterization and Modelling of a PVC Cellular Foam // Journal of Thermoplastic Composite Materials. 2001. Vol. 14. Pp. 365-373.
3. Gdoutos, E.E., Daniel, I.M., Wang, K.-A. Failure of Cellular Foams under Multiaxial Loading Composites Part A: Applied Science and Manufacturing. 2002. Vol. 33. Pp. 163-176.
4. Gdoutos E.E., Abot, J.L. Indentation of a PVC Cellular Foam. In: Recent Advances in Experimental Mechanics - In Honor of Isaac M. Daniel. Kluwer Academic Publishers. 2002. Pp. 55-64
5. Gdoutos, E.E. Problems of Mixed-Mode Crack Propagation. Martinus Nijhoff Publishers, 1984.
6. Gdoutos, E.E. Fracture Mechanics Criteria and Applications. Kluwer Academic Publishers, 1990.
7. Gdoutos, E.E. Fracture Mechanics – An Introduction, 3rd ed. The Netherlands: Springer, 2020.

УДК 338.28

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В АРКТИКЕ CURRENT STATUS AND FUTURE DIRECTION OF ARCTIC OIL AND GAS ENERGY DEVELOPMENT

Ванг Цян*, Писаренко Жанна Викторовна ***
Wang Qiang*, Pisarenko Zhanna Viktorovna ** *****

** Китайский нефтяной университет, г. Циндао, Китай
* China University of Petroleum, Qingdao, China
(e-mail: wangqiang7@upc.edu.cn)*

*** Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
** Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia
(e-mail: z.pisarenko@spbu.ru)*

**** Российская инженерная академия, г. Москва, Россия
*** Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia*

Аннотация: По данным независимого агентства Energy Information Administration (EIA) с 2018 по 2050 годы глобальные энергетические выбросы CO₂ будут увеличиваться на 0,6% ежегодно, в то же время увеличение спроса на энергию будет напрямую стимулировать добычу нефти и газа в Арктическом регионе. В Арктике находятся около одной пятой мировых запасов нефти и газа, и этот регион является одним из пограничных районов глобальной добычи. Чтобы лучше понять текущее состояние, наиболее обсуждаемые темы и будущие направления развития исследований Арктической нефтегазовой энергетики, в данной статье проводится анализ научных публикаций по данной тематике в базе данных Web of Science (WoS) с 1990 по 2019 годы. Используя Citespace (приложение в свободном доступе для визуализации анализа тенден-

ций в научной литературе) для проведения библиометрического анализа, установлено, что современные исследования Арктической нефтегазовой энергетики в основном сосредоточены на трех аспектах: (1) Изменение климата привносит новую ситуацию в использование Арктической энергетики. (2) Исследование взаимосвязи между использованием энергии экономическим развитием. (3) Влияние добычи энергоресурсов на первоначальную Арктическую окружающую среду. Это дает возможности для разработки рекомендаций для последующих тщательных исследований влияния эпидемии COVID-19 на изменение добычи в этом регионе и воздействие на окружающую среду.

Abstract: Energy Information Administration predicts that from 2018 to 2050, global energy-related CO₂ emissions will increase by 0.6% annually, the increase in energy demand will directly stimulate the extraction of Arctic oil and gas energy. The Arctic region contains about one-fifth of the world's oil and gas resources and is one of the frontier areas of global oil and gas exploitation. In order to better understand the current status, hotspots and future development directions of Arctic oil and gas energy research, this article searches the web of science database for related literature on Arctic oil and gas energy from 1990 to 2019. Using Citespace to conduct a bibliometric analysis, it is found that the current research on Arctic oil and gas energy is mainly concentrated in three aspects : (1) Climate change brings a new situation in the use of Arctic energy. (2) The relationship between energy utilization and economic development. (3) The impact of energy exploitation on the original Arctic environment. This provides guidance for subsequent researchers to systematically and thoroughly study the impact of COVID-19 on the environment.

Ключевые слова: Арктика; нефть и газ; энергетика; библиометрия; визуализация
Keywords: Arctic; oil and gas; energy; bibliometrics; visualization

1. Introduction

With the melting of Arctic glaciers, the resources of the region have attracted the attention of more countries besides the eight countries of the Arctic, and its geopolitical and strategic importance has gradually changed. In 2019, Arctic Council proposed to build a Community Energy Plan (CEP) to define energy-related matters in its "Arctic Community Energy Planning And Implementation [5]; In 2020, United States Arctic Research Commission (USARC) [2] proposed in the "Report on the Goals and Objectives for Arctic Research 2019–2020" to fully implement the "10-year Arctic renewable energy plan" and "Remote Alaska Communities Energy Efficiency" to better understand the distribution of minerals and the potential of natural gas hydrate resources. However, the Arctic strategies and the exploration policies after 2020 formulated by the United States, Canada, Russia, and Norway are not balanced [11]. Oil and gas exploration in the Arctic is still full of uncertainties in the future. There is a two-way interaction between the development of energy mining in the Arctic and academic research [3]. The findings and conclusions of scholars can provide policymakers with a better theoretical basis. Therefore, it is necessary to systematically review the literature on energy exploitation in the Arctic to explore the future development of oil and gas in the Arctic.

Bibliometrics is generally considered to be able to understand the development profile of a specific field in depth and systematically [6]. Through systematic review, it can determine the basic structure, development hotspots, development trends and other information of the field. This article selects the web of science database, uses "TS=(Arctic OR north pole) AND TS=(oil and gas OR energy)" as the search formula, and restricts the categories to "Meteorology Atmospheric Sciences", "Environmental Sciences", and "Energy Fuels". Data is organized through Excel, and Citespace is used for visual data analysis. As shown in the fig. 1, it is a flow chart of bibliometric analysis.

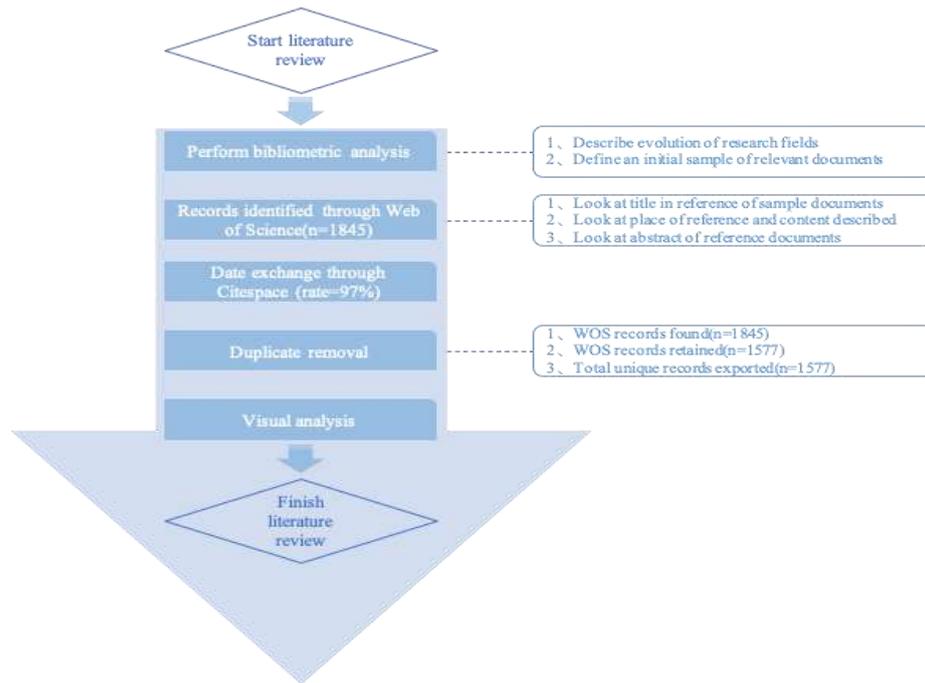


Fig. 1. Bibliometric method of processing documents

Finally, 1577 records are obtained after data deduplication processing using Citespace. The results of the visual map analysis cover the overall trend, core countries, core institutions, core authors, co-cited and keyword knowledge maps. The next section will conduct a recent review of the current status of Arctic oil and gas resources. Sections 3 is bibliometric analysis and result evaluation, and section 4 is for conclusive discussion and evaluation.

2. Development status and problems

2.1. Distribution and exploitation status of Arctic oil and gas resources

The United States Geological Survey (USGS) surveyed 33 provinces in the Circum-Arctic Resource Appraisal (CARA) and determined the probability that 25 provinces have at least one undiscovered significant oil accumulation in any composition assessment unit (AU) It is estimated that the undiscovered resources in the Arctic region account for about 22% of the world [10]. Among these resources, natural gas resources account for about 30% of the total undiscovered natural gas in the world. Oil resources account for about 13% of undiscovered oil resources [1]. Although Arctic is rich in oil and natural gas reserves, huge development costs hinder production. Severe winter and harsh soil conditions require special equipment design. Limited transportation channels and long supply lines increase transportation costs. The humid Arctic tundra may prevent exploration activities in the warm months of the year. The protection of tundra vegetation, reindeer, polar bears, seals and other Arctic animals and plants has become obstacles to the oil and gas industry [7].

3. Bibliometric analysis

3.1. Annual trend

Figure 2 shows the changes in the number of documents in the Arctic oil and gas exploration field. From the overall quantitative analysis, it has shown an overall upward trend from the first article in this field in 2000 to 2019. From 2001 to 2009, the fluctuation of the quantity was small, and the average rate of change remained at 8.33%. From 2010 to 2019, the quantity changed greatly, with the average rate of change reaching 16.98%. Due to the incomplete time selection in August 2020, it has no reference significance. Fitting with the trend line, obtain the exponential function $y=2E-61E^{0.0715X}$, which shows that the field of

oil and gas exploration in the Arctic has received extensive attention from energy policy departments and related scholars, the research interest will continue to rise in the future.

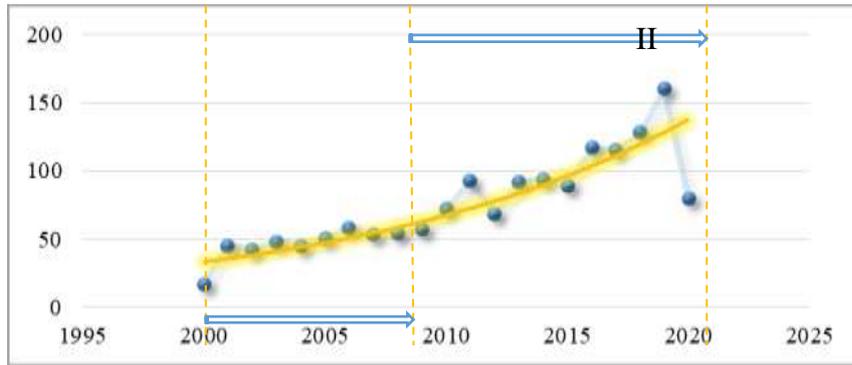


Fig. 2. Annual number of documents in Arctic oil and gas exploration

3.2. Subject category

Figure 3 shows the category distribution of oil and gas resource development literature in the Arctic. The first gradient is Meteorology atmospheric sciences, Environmental sciences, and Ecology. The second gradient is Oceanography, Marine freshwater biology, and Biodiversity ocean conservation. The rest include Engineering and Energy fuels, Engineering mechanic, Engineering environmental, etc. This shows that energy use in the Arctic is an interdisciplinary research field, and natural science is still the subject of research. At the current stage, although environment and biology are the main research categories, the field has expanded to research in many disciplines such as energy and fuels, geography, and engineering electrical. These documents use qualitative research and quantitative technical analysis methods to place energy development in the Arctic region in a multi-dimensional and comprehensive research framework.



Fig. 3. Distribution of documents in the field of Arctic oil and gas exploration

3.3. Country\region analysis

3.3.1 Country\region distribution analysis

The number of published documents can reflect the research level of the country or region in this field to a certain extent. The height of the bars in Figure 4 represents the amount of papers issued by the country. From the perspective of the total number of intercontinents, there are more countries in North America and Europe participating in the research in this field, and some Asian countries also participate in the research. As shown in Table 1, this may be related to the territories and populations of these countries in the Arctic. As early as 1996,

the United States, Canada, Russia and the five Nordic countries (Norway, Sweden, Denmark, Finland, and Iceland) established the Arctic Council to promote cooperation, coordination and interaction (Council). As of 2020, the Arctic Council has successively accepted France, Germany, Italy, Japan, the Netherlands, China, Poland, India, South Korea, Singapore, Spain, Switzerland and the United Kingdom as observers to the Arctic Council. This provides non-Arctic countries with the opportunity to participate in the development of the region, so the number of publications from these countries has also increased.



Fig. 4. Global distribution of oil and gas development literature in the Arctic

Tab. 1. Information about the Arctic region of the relevant country

Country	Arctic and North Territory	Population	Arctic Indigenous Peoples
Canada	Northwest Territories, Nunavut, Yukon, and Northern parts of numerous provinces, including Manitoba, Newfoundland and Labrador, and Québec	150,000	Athabaskan, Inuit and Gwich'in
The Kingdom of Denmark	Greenland	80000	Inuit
Finland	Northern Ostrobothnia, Kainuu and Lapland	180,000	Saami
Iceland	All of Iceland	365,000	—
Norway	Nordland, Troms and Finnmark, Svalbard and Jan Mayen	490,000	Saami
The Russian Federation	Murmansk, Nenets, Yamal-Nenets, Chukotka Autonomous Okrugs and northern municipalities of Arkhangelsk, Komi Republic, Krasnoyarsk Territory, Republic of Sakha (Yakutia)	2500000	Dolgan , Ngana , Nenets , Saami , Khant, Chukchi , Evenk , Even , Enets , Eskim , Yukagir
Sweden	Västerbotten County and Norrbotten County	520 000	Saami
The United States	All United States territory north and	50,000	Aleut, Alutiiq,

States	west of the boundary formed by the Porcupine, Yukon, and Kuskokwim Rivers; all contiguous seas, including the Arctic Ocean and the Beaufort, Bering and Chukchi Seas; and the Aleutian chain.		Yup'ik, Iñupiaq, Athabaskan, Tlingit and Haida
--------	---	--	--

3.3.2 Country\region quantitative analysis

Figure 5 provides a quantitative analysis of articles in the field of energy development in the Arctic. The figure shows the top ten countries in terms of the number of posts and the centrality of posts. The United States has issued far more articles than other countries. This is related to the United States' pursuit of its national interests in the Arctic, the importance of enhancing its strategy in the Arctic, as well as its scientific research capabilities and talent reserves. The top ten countries with the number of publications are Canada, Norway, China, the United Kingdom, and the United Kingdom. Sweden, Russia, Denmark, France. Intermediary centrality was proposed by American scholar Freeman [15], which is an important reference indicator for social network analysis. It represents the degree of control of a certain network node to surrounding resources in the research network, and the importance of the point in the network is evaluated by studying the frequency of the node as the shortest path intermediary between the other two nodes in the network. Intermediary centrality can be expressed by the formula:

$$C_B(n_i) = \sum_j^1 \sum_k^1 \frac{g_{jk}(n_i)}{g_{jk}} (j \neq k \neq i) \quad (1)$$

Where g_{jk} in formula (1) represents the shortest distance between nodes j and k .

Comparing the countries with the top ten centrality and the countries with the top ten publications, Finland, the United Kingdom, Switzerland, New Zealand, Australia, Chile, Scotland, Austria, the Netherlands, Germany, and Belgium are among the top ten in the world. Among these countries, countries in Oceania and South America have appeared. Although these countries are far away from the Arctic, they also produce high-quality research results. This shows that with changes in climate conditions, the Arctic's strategic importance, natural resources and business Waterway has become a highly political issue [3]. Countries all over the world have a keen interest in the economic, energy, and logistics development that the Arctic region may bring.

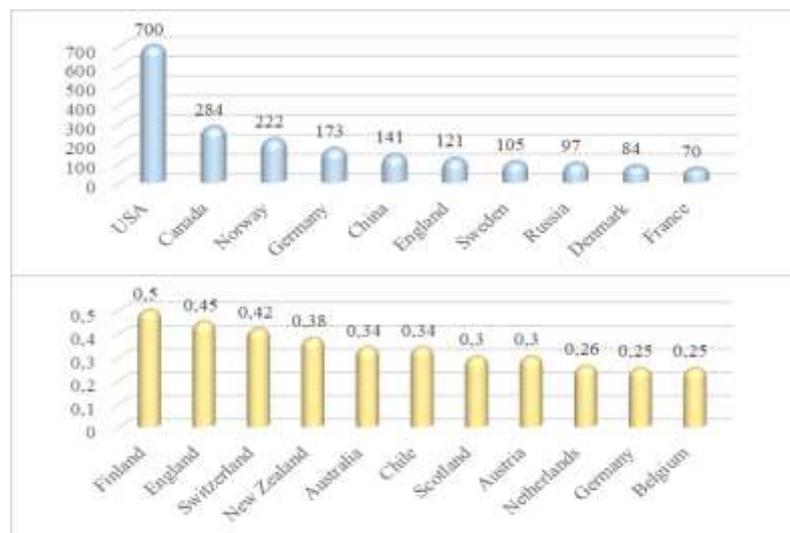


Fig. 5. Quantitative analysis of national publications

3.3.3. Country\region cooperation analysis

In this section, the cooperation network between countries is analyzed through Citespace, and the final visualized map includes 34 nodes and 314 links. Figure 6 shows the cooperation network between countries. Each node represents a country. The nodes are composed of annual rings with different shades of color. The time from inside to outside ranges from far to near. The thickness of the annual ring represents the amount of posts issued by the country in the time zone. The connection between the two countries indicates that there is a cooperative relationship between the two countries, and the weight of the connection indicates the frequency of cooperation between the two countries. It can be seen from the visual map that the United States has a leading position in the field of research, Canada, Germany, the United Kingdom, Norway, and China are research groups with certain influence. In terms of cooperation between countries, European countries such as Germany, Finland, Netherlands, and the United Kingdom are relatively closely related to each other. This is related to the similarity of language and cultural background. The joint research project benefits from the intellectual investment and multi-faceted collaboration of both parties. Therefore, more high-quality academic results can be produced. Canada and China are more inclined to independent research.

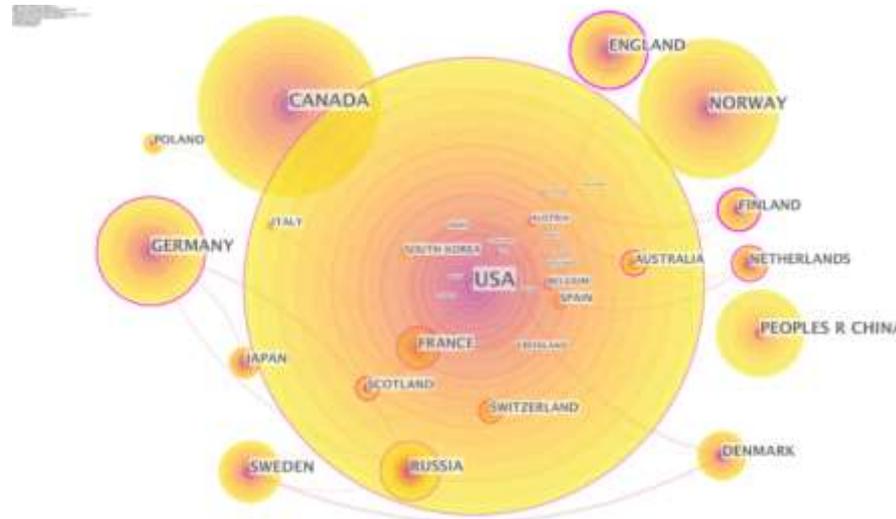


Fig. 6. Visual map of national cooperation network

3.4. Institution analysis

The number of articles issued by research institutions and the frequency of citations reflect to a certain extent the research scale and research capabilities of the field. Table 2 shows the top ten institutions and related information. First of all, in the area where the institution belongs, it involves the five northern hemisphere countries of the United States, Russia, Switzerland, Canada, and Norway. The University of Alaska Fairbanks and University of Tromso are the two universities located in the northernmost part of Alaska and Norway respectively. The distance from the Arctic region seems to be a factor affecting the research investment of institutions. Secondly, in terms of types of institutions, it includes three types: universities, government departments, and research institutions. This shows that international actors from different agencies are gradually increasing their interest in energy development in the Arctic. There is a good two-way flow between scientific research institutes and decision-making departments: The academic literature of different dimensions is constantly increasing, which provides a theoretical basis for decision makers to deal with the relationship between energy extraction and environmental protection, equipment maintenance, and climate change more reasonably.

Tab. 2. Top ten institutions and related information

Institution	Country	Major category	Type	Number
Colorado State University	United States	Agricultural Science	College	105
University of Alaska Fairbanks	United States	Natural science	College	104
Noaa	United States	Ecosystem; Marine science	Administration	93
Russian Academy of Sciences	Russian	Environmental science	Research institutions	73
Chinese Academy of Sciences	China	Natural science	Research institutions	70
University of Washington	United States	Atmospheric science	College	67
Nasa	United States	Astronomy	Administration	64
Stockholm Univ	Sweden	Natural science	College	64
Environm Canada	Canada	Environmental science	Administration	52
University of Tromso	Norway	Fisheries Management	College	

3.5. Science mapping analysis

3.5.1. Keyword analysis

Keywords as a refined expression of research topics in academic papers, their relevance can reveal the distribution and evolution of research topics to a certain extent, can intuitively reflect the changes in hot areas, analytical perspectives, and research methods in different time series, and reveal knowledge in subject areas Inner connection. In Fig. 7, this article uses keyword analysis to identify the main research directions and hotspots of energy mining in the Arctic, and make judgments on the development and change of the subject structure of the research field. The specific operation method is as follows: Year per slice is set to 1, the node type is Keyword, and the threshold is TOP50 as the threshold. Finally, the obtained map contains 425 nodes and 3513 links. The classification of keywords can be divided into three categories: natural, economic, and social.

(1) Nature : Early keywords focused on climate change, which is a catalyst for energy research in the Arctic. Keywords include climate change (0.09), temperature (0.04), climate (0.09), sea ice (0.05), snow (0.02), carbon dioxide (0.01), forest (0.01), etc. Arctic in the past century, sea ice has decreased by 12% every ten years, and the increase in temperature is more than twice the global average. The increase in temperature has led to changes in the Arctic water and land environment, and new routes created by melting glaciers have reduced transportation costs, which has aroused more people's interest in energy extraction in the Arctic. All in all, the feedback loop between climate change and resource extraction has attracted wide attention from researchers [9].

(2) Economic: With the development of research, it can be found that the research on energy in the Arctic is not limited to exploration and development, but energy budget (0.02), energy expenditure (0.02), energy allocation, energy transport, energy storage, energy mobilisation keywords. This shows that the relationship between the potential of Arctic energy resources and regional economic and industrial activities has begun to gain widespread attention.

(3) Social: Increasing energy industry activities are bound to have an impact on the indigenous peoples and biodiversity of the Arctic region. As a result, keywords such as community, feedback (0.01), biodiversity, bidirectional reflectance, population, primary productivity, air pollution, etc. have emerged. The emergence of "United States", "Canda", and "China" reflects the important position occupied by the United States and Canada as the leading countries and China as an emerging country in the study of the Arctic.

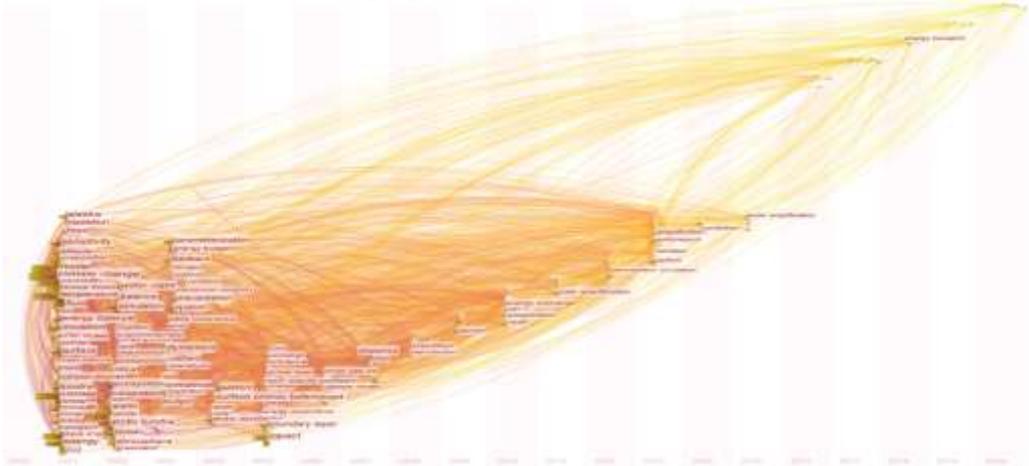


Fig. 7. Keywords evolutionary timezone graph

3.5.2. Co-citation analysis

The cited documents in the original records constitute the knowledge base of the research field. The cluster analysis and evolution of the knowledge base are the basis for distinguishing the research frontiers in this field, which can reveal the research frontiers and thematic turning points, and clarify the research frontier topics and fields. The research network in the whole field is relatively weakly concentrated, and the distribution is relatively scattered. The edge of the map is mostly linear, which indicates that there are more research branches. The network formed between nodes has no obvious boundaries, and many key nodes with high centrality play a transitional role between groups.



Fig. 8. Co-cited Knowledge Graph

The correlation between different nodes is relatively high, and the adjacent nodes have strong explanatory properties. The analysis results show that climate change [12] #3cam 3temperature is at the center of the visualization network, and the original Arctic terrain brought about by climate change #9alaskan arctic tundra, #5complex arctic terrain [16], #8kuparuk riverbasin, animal #7polar bear, plant 0#shrub expansion [8] and #3 There is a close connection. It is worth noting that the researchers did not lock the research scope within the Arctic Circle. The appearance of cluster tags such as #17global surface air temperature increase and #21global model [14] indicates that related research has been extended to the global field [13].

4. Conclusions

This article uses the bibliometric tool Citespace to analyze the academic results of the Arctic energy utilization in the web of science database as of August 2020. In this article, a systematic review of the existing literature on energy utilization in the Arctic region, and a knowledge map is drawn to illustrate the current research hotspots and development paths in this field. The conclusions of this article are summarized as follows:

1. In terms of overall trends, although the number of documents related to energy utilization in the Arctic fluctuates in a short period of time, they still show a continuous upward trend in a longer period of time. This means that changes in climate conditions have caused a series of changes in the Arctic region, which has gradually increased the research interest in energy use in the Arctic region. In terms of discipline distribution, Meteorology atmospheric sciences, Environmental sciences, and Ecology are the most popular research disciplines. In addition, this field also involves many natural disciplines such as engineering, environment and biology. The interest of interdisciplinary research is gradually rising. Some scholars conduct research from the perspective of social sciences and humanities, with the purpose of investigating the resource potential of the Arctic region and related environmental, technological, and political issues.

2. At the national level, most of the eight Arctic countries are in the forefront of the world in terms of the number of publications and the centrality of publications. The geographical advantage determines that these countries place the Arctic strategy in a more important position. Climate change has created a new energy and economic environment for the Arctic region, which encourages more non-Arctic countries to start pursuing their national interests in the Arctic. Therefore, many non-Arctic countries, especially the member countries of the Arctic Council observers, have shown great enthusiasm for the study of energy utilization in the Arctic region. Therefore, Germany, Britain, China and other countries have also become important research forces. From the perspective of national cooperation, the United States occupies a leading position in the research community, and it has shown the scatter equipment in cooperation with other countries in the map. European countries conduct more collaborative research, while Asian countries tend to conduct independent research.

3. At the institutional level, geographic location seems to be one of the factors affecting institutional investment. Institutions close to the Arctic Circle have more publications. Secondly, universities and research institutions account for a large proportion of the type of institutions, which provides an opportunity for the scientific community to participate in the future energy development of the region.

4. The co-citation map and the keyword co-occurrence network reveal the current hotspots and development trends of energy research in the Arctic. The current literature research in this field mainly focuses on three aspects: (I) The climate change that the Arctic region is experiencing and the new energy utilization situation that it brings. (II) The development of oil and gas exploration as an economic activity. (III) The impact of emerging industrial activities on the original ecology and traditional culture of the Arctic. Therefore, we infer

that the development trends of the region in the future will mainly include: (i) Explore ways to solve the technical challenges and high costs of exploration in this area. (ii) Reduce the negative impact of energy mining activities on the local indigenous culture and ecological balance of the Arctic. (iii) Formulate an overall strategy for the Arctic region.

Reference

1. Arctic oil and natural gas resources. (2012). from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4650>.
2. Report on the Goals and Objectives for Arctic Research 2019–2020. (2020). from https://arctic.gov/reports_goals.html.
3. Biresselioglu, M. E., et al. (2020). Investigating the trends in arctic research: The increasing role of social sciences and humanities. *Science of the Total Environment* 729.
4. Council, A. from <https://arctic-council.org/en/about/states/>.
5. Council, A. (2019). Arctic Community Energy Planning And Implementation.
6. De Moya-Anegón, F., et al. (2007). Coverage analysis of Scopus: A journal metric approach. *Scientometrics* 73(1): 53-78.
7. Dell, J. and P. Pasteris (2010). Adaptation in the Oil and Gas Industry to Projected Impacts of Climate Change.
8. Eugster, W., et al. (2000). Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: available data and feedbacks to climate. *Global Change Biology* 6: 84-115.
9. Forbis, R. and K. Hayhoe (2018). Does Arctic governance hold the key to achieving climate policy targets? *Environmental Research Letters* 13(2).
10. Gautier, D. L. (2011). U.S. Geological Survey circum-arctic resource appraisal, United States Geological Survey.
11. Harsem, T., et al. (2011). Factors influencing future oil and gas prospects in the Arctic. *Energy Policy* 39(12): 8037-8045.
12. Holl, D., et al. (2019). A long-term (2002 to 2017) record of closed-path and open-path eddy covariance CO₂ net ecosystem exchange fluxes from the Siberian Arctic. *Earth Syst. Sci. Data* 11(1): 221-240.
13. Lenton, T. M. (2001). The role of land plants, phosphorus weathering and fire in the rise and regulation of atmospheric oxygen. *Global Change Biology* 7(6): 613-629.
14. Livneh, B., et al. (2014). A long-term hydrologically based dataset of land surface fluxes and states for the conterminous United States: Update and extensions (vol 26, pg 9384, 2013). *Journal of Climate* 27(1): 477-486.
15. Mengelkamp, E., et al. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy* 210: 870-880.
16. Serreze, M. C., et al. (2000). Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climatic Change* 46(1-2): 159-207.2012). "Arctic oil and natural gas resources." from <https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=4650>.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТЕХНОЛОГИИ
ВИЗУАЛИЗАЦИИ КВАНТОВОГО ОБНАРУЖЕНИЯ В
МОНИТОРИНГЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ
RESEARCH ON APPLICATION OF QUANTUM DETECTION
IMAGING TECHNOLOGY IN GEOLOGICAL DISASTER
MONITORING**

**Би Сивен*, Кузин Виктор **
Bi Siwen*, Kuzin Victor****

**Институт аэрокосмических информационных инноваций Китайской академии наук,
Пекин*

*(Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing)
(e-mail: bisw@irsa.ac.cn)*

*** Российская инженерная академия, г. Москва, (Russian engineering Academy, Moscow)
(e-mail: vfkuzin@mail.ru)*

Аннотация: В последние годы во всем мире участились геологические катастрофы, что серьезно ограничило социально-экономическое развитие и экологическую среду региона. Внезапность геологических бедствий и срочность оказания помощи при бедствиях требуют от нас использования технологий дистанционного зондирования для обнаружения и уменьшения потерь, вызванных бедствиями. Опираясь на квантовые преимущества, технология обработки изображений с помощью квантового дистанционного зондирования может значительно улучшить чувствительность обнаружения и качество изображения.

Abstract: In recent years, the geological disasters happens more frequently around the world, which has severely restricted social and economic development and damaged regional ecological environment. The suddenness of geological disasters and the urgency of disaster relief require us to use remote sensing technology to detect so as to minimize losses. Relying on quantum advantages, quantum remote sensing detection imaging technology can greatly improve detection sensitivity and imaging quality.

Ключевые слова: квантовое обнаружение, получение изображений, обработка изображений, геологические катастрофы.

Key words: Quantum detection, imaging, image processing, geological disasters.

С развитием науки и техники насущные потребности экономического строительства и других областей выдвинули более высокие требования к исследованиям в области обнаружения дистанционного зондирования; требуется решение научно-теоретических задач на новом уровне, таких как теория информации дистанционного зондирования, модель передачи излучения электромагнитных волн и количественная оценка дистанционного зондирования, алгоритмы инверсии и т. д. Требования к повышению разрешающей способности приборов обнаружения и возможности всестороннего использования информации, разработки усовершенствованных удаленных датчиков, оборудования для передачи и обработки информации, а также расширения возможностей защиты от помех технологических систем обнаружения дистанционного зондирования, необходима разработка установок с точки зрения воздействия приложений дистанционного зондирования. Более подробная и обширная информация об обнаружении требует углубленных исследований и приложений в областях наблюдения Земли,

исследования дальнего космоса, глобальных изменений, национальной безопасности и в аэрокосмической промышленности. Улучшение разрешения и всестороннее применение дистанционного зондирования являются основными требованиями для развития науки и технологий квантового обнаружения, таких как разведка ресурсов, мониторинг окружающей среды, прогнозирование бедствий и т. д. Технология визуализации квантового обнаружения может удовлетворить эти области со своими уникальными преимуществами.

Квантовое дистанционное зондирование – это теория и метод, отражающий законы движения дистанционного зондирования на квантовом уровне. Основные технические системы дистанционного зондирования и приложений квантового дистанционного зондирования - это содержание исследования, изучающего, как использовать квантовые состояния для выражения и передачи информации до тех пор, пока люди не начнут изучать и воспринимать весь процесс.

По сравнению с традиционным дистанционным зондированием преимущества в основном проявляются в низком уровне шума, высоком разрешении и высоком качестве изображения, что позволяет получать более глубокую, богатую и микроскопическую информацию дистанционного зондирования. Целью исследований в области квантового дистанционного зондирования является использование квантовых состояний для разработки практических датчиков, которые можно использовать вне лаборатории. Разрешение этого датчика будет превышать разрешение традиционных датчиков. Используя технологию квантового дистанционного зондирования, можно быстрее и удобнее определять состояние земли, а наземную информацию можно передавать с высокой скоростью и точностью, что будет играть жизненно важную роль в принятии последующих чрезвычайных мер.

На основе вышеупомянутого изложения мы провели экспериментальное исследование квантового изображения и предложили новую концепцию квантового изображения. Эксперимент направлен на повышение разрешения для реализации теории квантовой визуализации и технологических исследований сжатого и запутанного состояния квантового светового поля. Это малошумная и даже бесшумная технология квантовой визуализации, которая превращает её из теоретических исследований в экспериментальные. Технология реализует экспериментальную поддержку для получения изображений с помощью квантового дистанционного зондирования.

На основе экспериментов с квантовыми изображениями и других исследований мы завершили проектирование системы квантовых изображений и разработку первого в мире прототипа принципа построения изображений с помощью квантового дистанционного зондирования (Рис. 1), [1].



Рис. 1. Тестовый эксперимент на разрешение

Модель, используемая в этом эксперименте, представляет собой тестовую версию разрешения USAF 1951 года, а экспериментальные данные преобразуются в стандартное разрешение LP / CM, (Рис. 2).

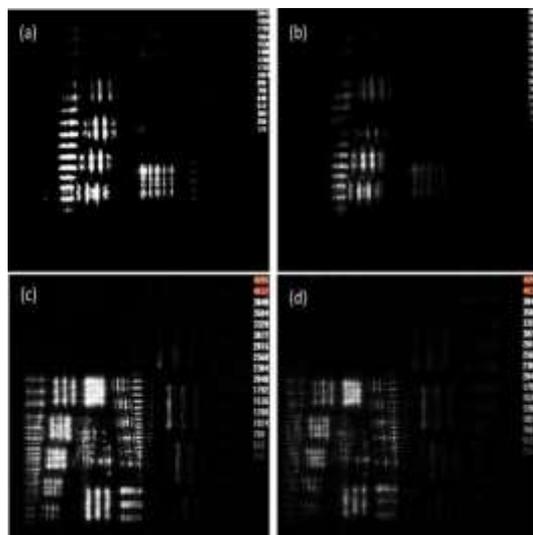


Рис. 2. Квантовое изображение Лазерная визуализация

Экспериментальные результаты показывают, что квантовое изображение в 1,71 раза больше, чем у традиционного. Квантовая визуализация – это основное содержание квантового дистанционного зондирования. Технология получения изображений с помощью дистанционного зондирования с высоким разрешением остро нуждается во многих областях применения. Однако существующая технология получения изображений с помощью дистанционного зондирования столкнулась с узким местом в дальнейшем улучшении пространственного разрешения. Независимо от того, как оптимизировано оборудование для визуализации, разрешение существующей визуализации не может быть улучшено после достижения предела. Исследования показали, что основной причиной этого узкого места является влияние квантового шума. Общие технические мероприятия могут быть использованы для подавления различных классических шумов (тепловых шумов, схемных шумов и т. д.) Устройства и квантовый шум стали основными источниками шума.

Устройства для обработки изображений с квантовым обнаружением в основном состоят из лазерного источника света, системы оптического пути и системы визуализации.

Лазерная система состоит из двух монохроматических источников света, света накачки и когерентного света. Лазерная система обеспечивает необходимый основной источник света для преобразования квантового света. Две длины волны лазера - 532 нм и 1064 нм, соответственно. Система оптического пути - это основная система устройства, в которой полость ОРА является ядром сердечника. Два монохроматических источника света лазера завершают преобразование света в полости ОРА, и здесь генерируется сжатый свет, который является квантовым источником света. В то же время несколько модулей обнаружения и преобразования интегрированы в систему оптического пути, чтобы обеспечить поддержку преобразования квантового света.

Эта система квантовой визуализации состоит из нескольких линз. Система полностью сжимает структуру линзы для обеспечения качества изображения. Общая длина системы формирования изображения составляет менее 120 мм (первое зеркало до поверхности изображения) в случае поверхности изображения 1 дюйм. Кроме того, система визуализации является активной системой визуализации, а источником освеще-

ния является квантовый инфракрасный свет с длиной волны 1064 нм. Чтобы удовлетворить требованиям сценариев визуализации, освещение источника света расширяется до определенной степени. Поскольку энергия квантового источника света относительно мала, интенсивность дополнительно рассеивается после расширения луча. После полного учета характеристик квантового светового поля эта система сводит к минимуму оптические потери системы формирования изображения. После оптимизации общее поглощение системы составляет менее 0,3%, а общий коэффициент пропускания системы составляет более 98%, что обеспечивает полное использование изображений при слабом освещении, а максимальное преимущество изображения квантового источника света значительно снижает системные aberrации. В области применения оборудования для создания квантовых изображений, помимо учета поля зрения и точки пересечения измеряемой цели, также полностью продемонстрирована среда использования продукта.

С географической точки зрения применимые сценарии системы визуализации могут охватывать большую часть внутренних территорий. Ядром лазерной системы является уникальный двух волновой непрерывный твердотельный и волоконный лазерный источник.

Программное обеспечение системы квантовой обработки изображений разделено на три модуля: модуль квантового улучшения, модуль квантового шумоподавления, модуль квантовой сегментации, и эти три модуля могут работать независимо [2]. На Рис. 3 приведены данные экспериментальной производительности.



(a) Исходное изображение (b) Вейвлет-преобразование
(c) Гомоморфная фильтрация (d) Квантовая вероятностная статистика
(e) Квантовый метод

Рис. 3. Аэрофотоснимок тумана дистанционного зондирования

В таблице 1 приведено сравнение параметров оценки эффекта усиления этих нескольких алгоритмов. Среди них два параметра: энтропия изображения и функция измерения качества, квантовые алгоритмы выше, чем у других алгоритмов. Результат показывает, что после улучшения изображения с помощью квантового алгоритма, описанного в этой статье, информации и содержания изображения становится больше и распределение серого в улучшенном изображении становится равномерным, а качество изображения лучше. Среди них энтропия изображения выше, чем 3,72% лучшего алго-

ритма квантовой статистики вероятности, основанного на трех других алгоритмах, а функция измерения качества выше, чем у трех других алгоритмов, лучше всего основанных на алгоритме квантовой статистики вероятностей, 15,26% (Рис. 3-d, Рис. 3-e), [3].

Таблица 1. Сравнение параметров оценки эффекта усиления различных методов измерения

Метод	Энтропия изображения	Улучшен процент показателей (%)	Функция измерения качества	Улучшен процент показателей (%)
Квантовый метод	7.7100	0.00	3622.9	0.00
Вейвлет-преобразование	7.3412	5.02	2789.5	29.87
Квантовая вероятностная статистика	7.4330	3.72	3142.2	15.26
Гомоморфная фильтрация	6.9706	10.6	2028.3	44.01

Быстрое развитие технологий дистанционного зондирования обеспечивает мощную техническую поддержку для мониторинга геологических катастроф, а технология квантовой визуализации, как новое высокотехнологичное средство, может использоваться на протяжении всего процесса расследования, мониторинга, раннего предупреждения и оценки геологических катастроф. С постепенным улучшением технологии дистанционного зондирования, технология квантовой визуализации неизбежно превратится в макроскопическое исследование геологических катастроф и их среды, вызывающей бедствия, а также для динамического мониторинга катастроф и оценки ущерба от них.

Список литературы

1. Сивен Би. Исследование концепции, основы и смысла квантового дистанционного зондирования, Журнал инфракрасных и миллиметровых волн, 2003 г., 22, С. 1-9.
2. Сивен Би, Виктор Кузин. Распределение энергии в квантовом спектре, Proc. SPIE 9795, Избранные доклады конференций Комитета по фотоэлектронным технологиям, состоявшихся в июне-июле 2015 г., 97952M (5 ноября 2015 г.); DOI: 10.1117 / 12.2218281.
3. Сивен Би, Сюлин Линь, Сон Ён, Чжицян Ву. Исследование технологий получения изображений с помощью квантового дистанционного зондирования. Proc. SPIE 9755, Quantum Sensing and Nano Electronics and Photonics XIII, 97552J (13 февраля 2016 г.); DOI: 10.1117 / 12.2212379.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ
УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА
MODERN PROBLEMS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF
COAL DEPOSITS IN KYRGYZSTAN**

**Кожоголов Камчибек Чонмурунович¹, Камчибеков Дуйшенбек Кыргызбаевич²
KamchibekChonmurunovichKozhogulov¹, DuishenbekKyrgyzbaevichKamchibekov²**

¹*Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики (НАН КР),*

¹*Institute of geomechanics and development of subsoil NAS KR, Engineering Academy of the Kyrgyz Republic,*

Инженерная академия Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызстан,

Национальная академия наук Кыргызской Республики,

Международная инженерная академия

²*Ассоциации горнопромышленников и геологов КР, Бишкек, Кыргызстан*

²*Association of Miners and Geologists of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyzstan,
(e-mail: eakr.info@gmail.com)*

Аннотация: Приведены современные проблемы и перспективы освоения угольных месторождений. Рассмотрены вопросы переработки углей.

Ключевые слова: уголь, промышленность, месторождение, гидрогенизация, спецкокс, переработка, газификация.

Abstract: Presented are the current problems and prospects for the development of coal deposits.

Key words: coal, industry, deposit, hydrogenation, special coke, processing, gasification.

Кыргызская Республика располагает огромными запасами угля. При этом более половины промышленных запасов сосредоточено в мощных полого-наклонных пластах, имеющих сложное горно-геологическое строение.

Угольная промышленность страны в период существования СССР достигла максимальной добычи угля в 1979г. – 4508 тыс. тонн. Однако в настоящее время она находится в кризисных условиях, прежде всего связанных с переходом к рыночным отношениям. Из 26 известных угольных месторождений эксплуатируются только 8. При этом добыча угля снизилась в 12 раз в 1994 – 1998 годах [1].

Производство угля на сегодняшний день осуществляют свыше 20 угледобывающих предприятий. Наиболее крупными из них являются ОсОО «Беш Сары», ЗАО «Шарбон», ОсОО «Сардар», АО «Сулуктакомур», ОсОО «Тегене», ОсОО «Перити Кол», которые обеспечивают потребность Нарынской, Баткенской, Ошской и Жалалабадской областей. Однако, эти предприятия не могут обеспечить потребность ТЭЦ города Бишкек. Поэтому значительную роль, как и прежде, играет привозное топливо из Казахстана.

Вследствие этого, в перспективе необходимо увеличить добычу угля на действующих предприятиях и освоение новых участков, прежде всего в бассейнах Южного региона республики – Узгенского, Южно-Ферганского и Алайского, угольных месторождений Кавакского бассейна [2].

Однако, кризисное состояние угольной промышленности Кыргызстана настоятельно требует коренного изменения государственной политики в области техниче-

го переоснащения предприятий. Это обусловлено, прежде всего, дороговизной нового горнотехнического оборудования и материалов. Большинство шахт и разрезов длительное время не подвергались реконструкции. Горно-шахтное и горнотранспортное оборудование в настоящее время морально и физически устарело и требует коренного обновления. Они длительное время, практически с 90-х годов прошлого столетия, не обновлялись, износ которых уже достиг около 90 %. Поэтому, главной задачей государства на ближайшую перспективу в области технической политики является всемерное оказание помощи в изыскании и внедрении малозатратных технологий, дешевых материалов, в использовании технологических процессов, не требующих высокой квалификации горнорабочих. Большое значение также имеет принятие мер по снижению затрат на перевозку угля.

Для развития и поддержания угольной промышленности республики и повышения производственного потенциала отрасли настоятельно необходимо привлекать иностранных и отечественных инвесторов. Без привлечения инвестиций дальнейшее развитие угольной промышленности является проблематичным.

Стратегическими целями развития угольной промышленности Кыргызстана в перспективе является надежное обеспечение экономики и населения страны продуктами переработки углей республики [3].

Одним из методов переработки углей является их полукоксование. При этом одним из крупных потребителей продуктов термического разложения бурых углей, в частности полукокса, может стать производство кокса. В этом случае полукокс в какой-то мере может заменить дефицитные коксующиеся угли, которые расходуются в металлургической промышленности - в доменном производстве, при агломерации руд, на ферросплавных заводах и т.д.

В этом плане в перспективе одним из районов добычи и переработки каменных углей в республике должен стать Узгенский бассейн, запасы которого с учетом прогнозных геологических (коксующихся и энергетически высококалорийных углей) оцениваются в почти 1 млрд. тонн. При этом полученные из узгенских углей коксы могут быть использованы для литейных нужд, переработки руд цветных металлов, коксовый газ может служить сырьем для получения азотных удобрений, а также использоваться в энергетических целях. А создание в перспективе коксохимической промышленности на базе Узгенского каменноугольного бассейна позволит в будущем освоить производство пластических масс, искусственных волокон, красителей, удобрений, ядохимикатов и другой продукции, необходимой для удовлетворения не только потребностей республики, но и соседних государств.

В настоящее время изучаются также вопросы получения спецкокса из неспекающихся углей месторождения Кара-Кече, который по реакционной способности превосходит в 7,5 – 9,5 раза, а по удельному электросопротивлению в 2,0 – 2,5 раза используемые в России коксовые доменные орешки.

В связи с ограниченными запасами нефти и газа в Кыргызстане перспективным направлением переработки углей является получение жидких (гидрогенизация) и газообразных (газификация) синтетических топлив и химических продуктов.

Гидрогенизацию углей в настоящее время можно рассматривать как наиболее перспективный путь решения проблемы увеличения ресурсов жидкого топлива. Для максимального перехода органической части угля в жидкое топливо можно использовать технологические схемы, в основу которых положен метод гидрогенизации углей. При этом в жидкие продукты могут переходить до 90% органической массы угля, что обеспечивает меньший его расход на производство 1 т. бензина, дизельного топлива и сжиженных газов по сравнению с другими вариантами [4].

При газификации углей можно получить энергетические газы для сжигания на электростанциях, восстановительные газы для металлургических процессов и синтез-газы, на основе которых производятся жидкие и газообразные синтетические топлива (бензин, метан, водород, метанол и др.) и разнообразные химические продукты.

В этом направлении первые научные разработки были выполнены в конце восьмидесятых годов в Фрунзенском политехническом институте [5]. В настоящее время необходимо продолжить такие исследования. А в ближайшей перспективе возможны газификация углей, получение моторного топлива и производство удобрений путем увеличения мощности разрезов Кара-Кече и Мин-Куш до 3 млн. тонн в год.

В настоящее время назрела необходимость создания собственной отрасли энерготехнологической переработки угля, для производства синтетического жидкого топлива (СЖТ) из угля, получении из него производных ГСМ и промышленного газа, с целью восполнения рынка республики отечественными энергоносителями.

В процессе изучения пригодности месторождений бурых углей Кыргызстана для производства синтез газа и СЖТ их качественные характеристики, параметры которых подходят требованиям к исходному сырью для их энерготехнологической переработки. Наиболее приемлемым месторождением бурого угля для энерготехнологической переработки сырья методом подземной газификации угля с учетом географического и инфраструктурного расположения является месторождение Кок-Мойнок, расположенное в центральной части Кавакского буроугольного бассейна.

Сущность технологии подземной газификации угля заключается в бурении с поверхности земли скважин до угольного пласта, со сбойкой их в пласте одним из известных способов, в последующем розжиге (создание управляемого очага горения) угольного пласта и обеспечении условий для превращения угля непосредственно в недрах в горючий газ и в выдаче произведенного газа по скважинам на земную поверхность [6]. Таким образом, все технологические операции по газификации угольного пласта осуществляются с земной поверхности, без применения подземного труда работающих, а разработка угольного пласта происходит экологически приемлемым способом.

Основными стадиями подземной газификации бурых углей являются:

1. Бурение наклонно-горизонтальных скважин для подводки дутья и отвода полученного горючего газа в сеть.
2. Создание в угольном пласте между этими скважинами реакционных каналов (путем прожигания угольного пласта).
3. Газификация угольного пласта нагнетанием дутья во входящие каналы и отвод полученного газа из отводящих каналов.
4. Зола топлива, содержащая естественные радиоактивные нуклиды, остается под землей.
5. Окончательная очистка газа.

Таким образом, одним из перспективных направлений переработки углей, который дает возможность использовать угольные месторождения для получения тепла и электроэнергии с большей радиационной безопасностью является подземная газификация углей и очистка полученных газов в подземных газогенераторах.

Список литературы

1. Кабирова Э.С. Угледобывающие отрасли Кыргызстана: состояние и перспективы// Вестник КРСУ, – Б., Том 9, – №7, 2009. – С.168-170.
2. Камчибеков Д.К. Перспективы развития угольной промышленности Кыргызской Республики// Вестник КРСУ. – Б., Том 10, – №7, 2010. – С.31-34.
3. Кожогулов К.Ч., Камчибеков Д.К., Абдибаитов Ш.А. Основные направления переработки и комплексного использования углей Кыргызстана// Вестник КРСУ, №7, том 13 - Бишкек, 2013, с.111-114.

4. Крапчин И.П. Экономика переработки угля// – М.: Недра, 1989. – 216с.
5. Джаманбаев А.С. Угли Киргизии – основы производства синтетического топлива// Проблемы использования углей Киргизии// Сб. научн. трудов, – Фрунзе, 1987,– С.3-12.
6. Ремезов А.В.Подземная газификация углей как альтернатива существующим технологиям добычи угля// Вестник Куз ГТУ. – Алматы, –№2, 2005. – С. 110-113.
7. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А. и др. Проблемы и перспективы развития угольных энергоресурсов России, безопасных и экологически чистых технологий их освоения. Доклад на научной сессии РАН 20-21 декабря 2005г. // Энергетика России: проблемы и перспективы. – М., 2005. –С.15-21.
8. Степанов С.Г.Тенденции развития и новые инженерные решения в газификация угля // Уголь. – М., 2002, – №11, – С. 53-57.

УДК 658.52

**AGROCHEMICAL AND SANITARY-VETERINARY MOBILE
ANALYTICAL LABORATORY
АГРОХИМИЧЕСКАЯ И САНИТАРНО-ВЕТЕРИНАРНАЯ
МОБИЛЬНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ**

**Imnaishvili L., Makhashvili K., Goderdzishvili G., Bedineishvili M., Iashvili N.
Имнаишвили Л., Махашвили К., Годердзишвили Г., Бединеишвили М.,
Иашвили Н.**

*Georgian Technical University, Georgia, Tbilisi
Грузинский Технический Университет, Грузия. Тбилиси.
Инженерная академия Грузии
Международная инженерная академия
(e-mail: n.iashvili@gtu.ge)*

Abstract: Issues of organizing new forms of agrochemical, veterinary and sanitary services for peasants and farms are discussed. The necessary analyzes for agriculture will be taken directly in the laboratories moving on the farm, which will be located at the base of the minibus. The general scheme of operation of a mobile complex laboratory is presented.

Аннотация: Обсуждаются вопросы организации новых форм агрохимического, и ветеринарно-санитарного обслуживания крестьян и фермерских хозяйств. Необходимые для сельского хозяйства анализы будут взяты непосредственно на объектах на ферме аналитическими приборами, которые будут расположены в микроавтобусе.

Представлена общая схема работы передвижного комплекса-лаборатории.

Keywords: Agrochemical analysis; veterinary and sanitary services; express analysis; mobile laboratory.

Ключевые слова: агрохимический анализ; ветеринарно-санитарные услуги; экспресс-анализ; мобильная лаборатория.

One of the main functions of any state is to steer and develop the agricultural sector in the right direction to obtain ecologically clean agricultural products.

Among many other measures to ensure the development of peasant and farm farms, it is necessary to control the quality of agricultural soils, irrigation and drinking water, agricul-

tural products, as well as the condition of domestic animals and birds, and to conduct all this in the form of continuous monitoring.

Unfortunately, during the last 30-35 years, literally nothing has been done in our country in this direction, no inventory of contaminated agricultural soils has been carried out. No technical-biological recultivation of lands has been carried out, which clearly reduces soil fertility and hinders the production of environmentally friendly products. There are no ecological maps, and the study of soil contamination is episodic in nature. People employed in agriculture (peasants and farmers) do not have objective information about soil condition and irrigation water quality. Veterinary services are also not available.

The seriousness and urgency of the problem is underscored by the fact that the legislation of the EU and a number of other countries requires the introduction of food control, while the countries of the World Trade Organization restrict the admission of products in their countries that do not meet safety requirements and international standards. This applies to almost all products produced in the agricultural sector.

Georgian law on food safety has been in force in our country for a long time, which means continuous control of the quality of food produced in the country, imported and exported.

It is impossible to solve these problems without determining the main characteristics of agricultural products without measurement and control, for which it is necessary not only to use separate automatic control and analytical tools and equipment, but also to climb to a higher level to create an analytical computer system.

It is necessary to provide various types of agrochemical, veterinary and sanitary information-consulting services to the workers of the country's farms and farmers, which can be reflected in the rules of soil cultivation, sowing norms, selection of varieties, protection of agro-terms, determination of the type and quantity of fertilizers, plant protection products and etc.

The idea - to help peasants and farmers on the ground, by coming directly to them - consultations appeared in America at the end of the XIX century. George Washington Carver, an American inventor and agricultural specialist, decided to teach farming methods to farmers in the southern United States and gave them practical guidance. He formed the so-called The railroad "Agrarian Wagon," in which George Carver traveled to the southern United States, introduced farmers to new methods of growing agricultural products on the ground.

At present, in many countries there are various mobile control-diagnostic laboratories equipped with the necessary equipment.

There are mobile laboratories for the next purpose on the basis of various serial vehicles or vehicles designed specifically for this purpose.

- Veterinary;
- Soil control;
- Water and air monitoring;
- Environmental radiation background control;
- Complex medical;
- Occupational safety and health control;
- Sanitary-veterinary and others.

We offer a new, innovative mobile laboratory, whose purpose is to provide complex services to those employed in agriculture on the spot. This includes all stages of production of agricultural soils, irrigated water, agricultural products, as well as clarification of the sanitary-veterinary condition of domestic animals and birds.

The general structure of operation of a mobile complex laboratory is shown in the figure 1.

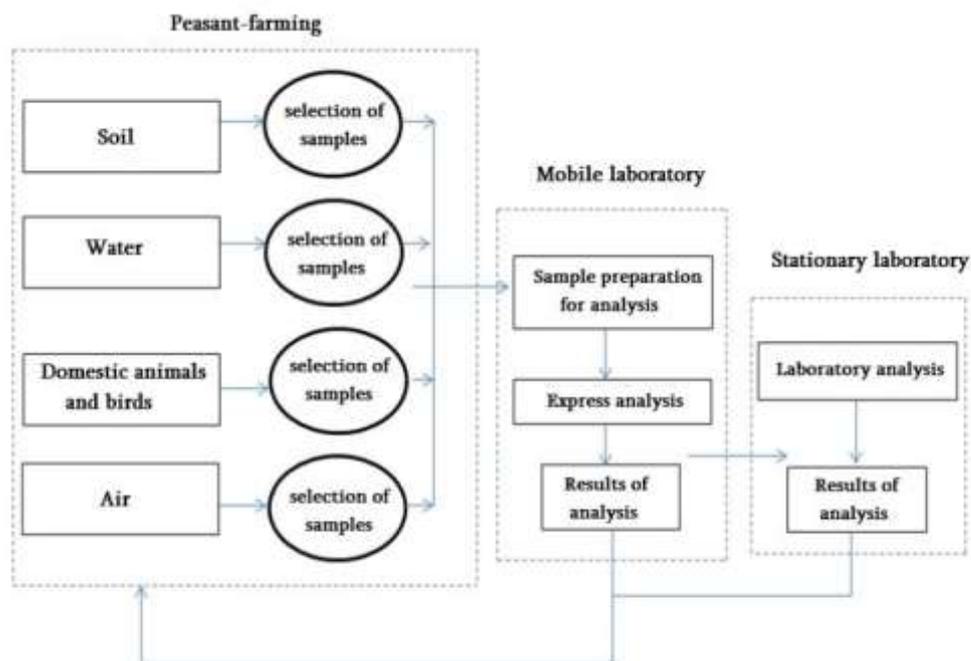


Figure 1. General scheme of operation of a moving complex laboratory

As can be seen from the drawing, laboratory tests will be performed in the mobile laboratory upon arrival at the site and the results will be communicated to the peasants and farmers with specific recommendations, in the case when some laboratory tests require a long time and other more complex instruments. The samples taken will be sent by the mobile laboratory to the stationary agrochemical laboratories and the analysis results will be transferred to the peasant farm a few days later.

The mobile, complex agro-sanitary-veterinary laboratory is an individually designed complex, which will be located in the vehicle for effective control of various parameters and will be equipped with modern measuring-analytical tools and equipment, as well as chemical reagents and overalls.

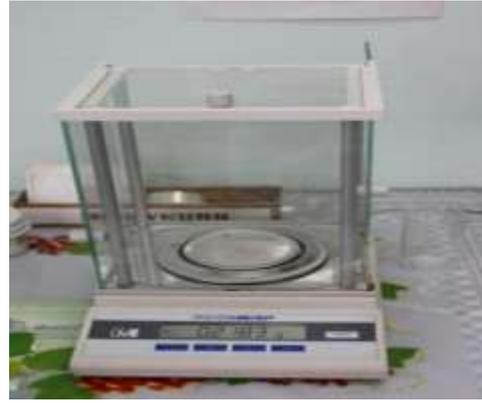
Measurement-analytical tools and equipment for the laboratory will be selected taking into account the purpose of the mobile laboratory and the tasks it faces. For example, in a laboratory moving in the sanitary-veterinary field, it is possible to diagnose diseases of domestic animals and birds, bacteriological, toxicological and biochemical studies, etc. And laboratory analysis of water obviously involves the study and laboratory analysis of its organoleptic, chemical and microbiological parameters.

The mobile lab can be placed on the base of various vehicles. It can be a bus, a minibus, a truck and a car with or without a trailer. For example, a control analytical mobile laboratory located in a truck can be divided into three sections:

- Veterinary-sanitary control;
- Quality control of agricultural products;
- Control and monitoring of environmental indicators.

It is understood that the requirements of international and relevant standards and methodological guidelines of the country must be observed when conducting analyzes in a mobile control-analytical laboratory.

The photos show the interior views of a mobile lab cabin created on the basis of a minibus with an analytical measuring instrument and a scale.



The laboratory will be staffed with relevant normative-methodological and reference materials and documents, which will provide complex agrochemical, veterinary and sanitary services directly to the farms and farms. Consultations by scientists and practitioners-specialists in various fields of agriculture will also be considered on specific issues.

All this will significantly contribute to the significant improvement and growth of the quality of agricultural products, significantly reducing the costs of peasants and farmers.

Equipped on the basis of a moving minibus, the laboratory, equipped with appropriate methods and modern control-measuring analytical tools, has no competitor in the domestic market.

References

1. A. Tkheldze, G. Danelia. Chemization of agriculture and protection of the environment. (Georgian language). Tbilisi, Education, 2009.
2. R. Asatiani. Information-consulting service in agro-industrial complex. (Georgian language) -Tbilisi, 2002.
3. T. Urushadze. Agroecology. (Georgian language). Tbilisi, Education, 2001.
4. P. Smirnov, A. Petersburgski. Agrochemistry. (Georgian language). Tbilisi, Education, part. 1-2, 1979, 1982.
5. E.V. Truffliak, E.I. Trubilin. Technical deprivation of exact land. (Russian language) –M., Last year, 2017.
6. A.H. Sheudzhen. Functional agrochemistry. Course lessons. (Russian language)-Krasnodar, KubGAU, 2014.
7. V.D. Barannikov. Economic safety of agricultural production. (Russian language) – M., Kolos, 2005.

**ВЫБОР ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО НОСИТЕЛЯ ДЛЯ
ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ТЕСТ-ПОЛОСКИ
THE SELECTION OF CELLULOSIC CARRIER FOR DIAGNOSTIC
TEST-STRIPS**

**Ерзунов Константин Андреевич¹, Есина Ольга Александровна¹,
Алексахина Елена Львовна², Петрова Людмила Сергеевна¹,
Одинцова Ольга Ивановна¹
Erzunov Konstantin Andreevich¹, Esina Olga Alexandrovna¹,
Aleksakhina Elena Lvovna², Petrova Lyudmila Sergeevna¹, Odintsova Olga Ivanovna¹**

¹*Ивановский государственный химико-технологический университет, Россия Иваново*

¹*Ivanovo State University of Chemistry and Technology, Russia Ivanovo*

(e-mail: erzunovk@mail.ru, odolga@yandex.ru)

²*ФГБОУ ВО ИГМА Минздрава РФ, Россия Иваново*

²*FSBEI HE IvSMA MOH Russia, Russia Ivanovo*

(e-mail: alexakhina2013@mail.ru)

Аннотация: Описана методика получения тест-полосок для определения содержания оксипролина в слюне. Изучены показатели капиллярности и механической прочности различных целлюлозных носителей, используемых при выборе основы тест-полосок. Определен сосав печатной композиции и изучены окислительные свойства выбранных компонентов.

Abstract: A method for obtaining test strips for determining the content of hydroxyproline in saliva is described. The indicators of capillarity and mechanical strength of various cellulose carriers used in choosing the base of test strips were studied. Determined by sucking the printed composition. The oxidizing properties of the selected components have been studied.

Ключевые слова: оксипролин, воспалительные процессы, текстильная печать, тест-полоски.

Keywords: hydroxyproline, inflammation, textile printing, test-strips.

В настоящее время выделяют несколько заболеваний пародонта такие, как гингивит, пародонтит, пародонтоз, вызывающие воспалительные и деструктивные процессы в тканях пародонта [1]. Однако, до сих пор диагностику заболеваний пародонта проводят, основываясь на субъективной оценке состояния пародонта самим пациентом, например, кровоточивость десен во время чистки зубов или болевые ощущения при приеме пищи и на данных рентгенографии. Воспаление десны характеризуется разрушением коллагена – основного белка соединительной ткани, что приводит к увеличению в слюне уровня аминокислоты оксипролина. Для того, чтобы повысить точность, объективность и оперативность диагностики воспалительных заболеваний следует использовать в качестве маркера величину концентрации оксипролина в слюне.

Целью данной работы является создание тест-полоски для количественного определения оксипролина в слюне при диагностики воспалительных процессов тканей пародонта.

Определение оксипролина с помощью тест-полосок предполагает нанесение последовательно нескольких слоев реагентов на целлюлозный носитель, а именно: загуститель, окислитель, специальный реагент.



Рис.1. Последовательность слоев реагентов тест-полоски

Специальный реагент был выбран на основе реакции, в результате которой характерно появление окраски при взаимодействии с пара-диметиламинобензальдегидом оксипролина в слабокислой среде.

Для получения тест-полоски был использован метод текстильной печати. Одним из основных свойств печатной поверхности для получения качественного оттиска и низкого расхода печатной композиции является ее адсорбционная способность. Однако, для при создании тест-полосок в настоящей работе адсорбционную способность материала рассматривали с двух позиций: не только как основу для качественного нанесения пигмента, где предпочтительна невысокая адсорбция носителя, но и как характеристику, обеспечивающую ее высокую капиллярность.

Для выбора печатной поверхности были изучены показатели капиллярности и механической прочности различных целлюлозных носителей, используемых в методе текстильной печати [2].

На основании проведенных исследований были выбраны следующие целлюлозные материалы: хроматографическая бумага марки «средняя» производства Санкт-Петербургской фабрики им. Володарского, хроматографическая бумага марки Ватман 54 SFC, целлюлозный нетканый материал (0,36 мм), а также салфетка вискозная. Образцы изученных марок хроматографической бумаги имеют удовлетворительную капиллярность и механическую прочность.

Таблица 1. Показатели капиллярности и прочностные характеристики целлюлозных носителей

Марка бумаги	Вид обработки бумаги	Капиллярность, мм/10 мин	Предел прочности на растяжение G, Н/мм ²	Удельное сопротивление разрыву, Н/мм	Примечание
Хроматографическая бумага марки «средняя» производства Санкт-Петербургской фаб-	Сухая. Без обработки / Влажная. Без обработки	70/-	-/90,3	-/32,5	
	Сухая. Печать МЦ 0,75 г/л / Влажная. Печать МЦ 0,75 г/л	55/-	-/95	-/33	

рики им. Володарского					
Целлюлозный нетканый материал	Сухой. Без обработки / Влажный. Без обработки	max 50 /-	-	- /> 35	граница поднимающейся воды не ровная. Испытуемый образец растягивается под весом воды.
	Сухой. Печать МЦ 1 г/л / Влажный. Печать КМЦ 1 г/л	max 35/-	-	- />35	
54 SFC	Сухая. Без обработки / Влажная. Без обработки	87/-	-/88	-/31	
	Сухая. Печать МЦ 0,75 г/л / Влажная. Печать МЦ 0,75 г/л	75/-	-/88	-/31,5	
Салфетка вискозная	Сухая	20/-	-	-	

Данные этой таблицы показывают, что образцы изученных марок хроматографической бумаги имеют удовлетворительную капиллярность и механическую прочность во влажном состоянии.

Поскольку композиция для определения оксипролина является многокомпонентной и требует послойного нанесения, значительное уменьшение капиллярности существенно сужает выбор окислителя и его концентрационный диапазон. В настоящей работе изучены окислительные свойства, таких окислителей оксипролина как пероксид водорода, гидроперит, хлорит натрия и хлорная кислота. Наилучшими окислительными свойствами обладают перекисные соединения, но для улучшения стабильности их действия, требуется подбор стабилизатора.

Таблица 2. Окислительные свойства перекисных соединений

Состав композиции (слоями)	Концентрация	Буферный период	Примечание
1. 0.5 см - пусто	1. -	Для свежееизготовленной полоски – 2-3 сек	4. Сначала готовится суспензия загустителя, а затем добавляется раствор Парадиметиламинобензальдегида в C_2H_5OH
2. Метилцеллюлоза + щавелевая к-та + H_2O_2 (37%)	2. 0,75гр+0,25гр+25мл		
3. Щавелевая к-та + H_2O	3. -		
4. Метилцеллюлоза + щавелевая к-та + H_2O +	4. 1,5гр+0,5гр+23мл+1гр+20		

Парадиметиламинобенз-альдегид + C ₂ H ₅ ОН	мл		
1. 0.5 см - пусто 2. Метилцеллюлоза+ аскорбиновая к-та + гидроперит + H ₂ O 3. Аскорбиновая/щавелевая к-та + H ₂ O 4. Метилцеллюлоза + аскорбиновая к -та + H ₂ O +Парадиметиламинобенз-альдегид + C ₂ H ₅ ОН	1. - 2. 0,75гр+0,25г р+1,51 гр+25мл 3. - 4. 1,5гр+0,5гр+ 23мл+ 1гр+20мл	Для свежеизготовленной полоски – 2 мин	4.Сначала готовится суспензия загустителя, а затем добавляется раствор Парадиметиламинобензальдегида в C ₂ H ₅ ОН

Выводы Изучены показатели капиллярности и механической прочности различных целлюлозных носителей, используемых в методе текстильной печати. По показателям капиллярности и механической прочности осуществлен выбор носителя для создания тест-полосок для определения оксипролина в биологической жидкости. В качестве носителя предложена хроматографическая бумага марки «средняя».

Изучены окислительные свойства окислителей оксипролина, таких как: пероксид водорода, гидроперит, хлорит натрия и хлорная кислота.

Список литературы

1. Барер Г.М. Терапевтическая стоматология: учебник: в 3 ч. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – Ч.2. – Болезни пародонта. – 224 с.: 236 ил.
2. Межгосударственный стандарт Бумага и картон. Определение прочности при растяжении. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации часть 1. Метод нагружения с постоянной скоростью. ИПК Издательство стандартов, Москва.

**СУПЕРКОМПЬЮТЕРНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ
МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРЯМЫХ И ОБРАТНЫХ
СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ ЗАДАЧ НА ПРИМЕРЕ
БИОТЕХНОЛОГИЙ И БИОИНФОРМАТИКИ
SUPERCOMPUTING APPLICATIONS FOR NEURONET MODELS
FOR SOLVING OF DIRECT AND REVERSE STEGANOGRAPHIC
PROBLEMS ON THE EXAMPLE OF BIOTECHNOLOGIES AND
BIOINFORMATICS**

**Раткин Леонид Сергеевич
Rathkeen Leonid Sergeevich**

*Совет ветеранов Российской академии наук, Россия, Москва
Veteran's Council of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow
Российская инженерная академия, Россия, Москва
Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: Rathkeen@bk.ru)*

Аннотация: Разработаны суперкомпьютерные приложения для нейросетевых моделей в сфере биотехнологий и биоинформатики. В качестве дополнительного инструмента применяется компьютерная стеганография, позволяющая решать прямые и обратные стеганографические задачи.

Abstract: Supercomputing applications for neuronet models in the field of biotechnologies and bioinformatics are developed. Additionally are used the computer steganography which may be used for solving of direct and reverse Steganographic problems.

Ключевые слова: суперкомпьютеры, биотехнологии, биоинформатика, нейросетевые модели, компьютерная стеганография, стеганографические задачи, Российская академия наук.

Keywords: supercomputing, biotechnologies, bioinformatics, neuronet models, computer steganography, Steganographic problems, Russian Academy of Sciences.

На факультете компьютерных наук и информационных технологий Университета имени Беназир Бхутто (г. Карачи, Пакистан) совместно с Финансовым университетом при Правительстве РФ, Российской экономической академией имени Г.А.Плеханова, ФГУ ФНИЦ «Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук» и Советом ветеранов Российской академии наук проведена научно-исследовательская работа с применением нейросетевых моделей на базе приложения EfficientNets. Система позволяет моделировать развитие различных процессов и явлений, например, в сфере биотехнологии и биоинформатики [1].

Развитием данной технологии является защищенная патентом на изобретение авторская разработка по применению компьютерной стеганографии для обработки данных [2], например, в сфере биотехнологии и биоинформатики, позволяющая решать прямые и обратные стеганографические задачи. Прямая стеганографическая задача предназначена, в частности, для сокрытия данных и хранения их в информационных структурах различных типов, называемых стеганографическими контейнерами (стегоконтейнерах). Степень сокрытия информации в стегоконтейнерах оценивается набо-

ром характеристик, среди которых, в частности, можно отметить уровень заполненности стегоконтейнера и стегоустойчивость ко взлому.

В отличие от прямой стеганографической задачи, связанной с сокрытием данных, обратная стеганографическая задача обеспечивает извлечение сведений на основании анализа частей информационных структур и выявления скрытых признаков. Среди параметров, оценивающих степень влияния суперкомпьютерных приложений для нейросетевых моделей для решения обратных стеганографических задач на примере биотехнологий и биоинформатики, следует, в частности, отметить суммарную скорость вычислений, количество распределенных информационных потоков, среднюю частоту обращений к стеганографическим контейнерам [3].

Для оптимизации процесса вычислений [4] предлагаются суперкомпьютерные приложения [5], разработанные специально для обработки больших объемов данных (Big Data) с пересчетом базовых показателей [6] биоинформационных нейросетевых моделей, которые при решении прямых и обратных стеганографических задач позволяют повысить эффективность реализации инвестиционных и инновационных проектов [7]. Развитием предлагаемой технологии является применение системы Big Data с целью повысить эффективность функционирования отраслевых предприятий, например, в сфере ЖКХ [8].

В заключение следует отметить, что суперкомпьютерные приложения для нейросетевых моделей для решения прямых и обратных стеганографических задач применимы не только в сфере биотехнологий и биоинформатики, но и в других сферах. Например, структуры и типы стеганографических контейнеров для строительной и дорожной отрасли [9-11] могут быть доработаны с учетом отраслевого программного обеспечения (ПО), уже применяемого в различных отечественных и зарубежных предприятиях и организациях. В последние годы наметился долгосрочный тренд на замену иностранного ПО на российское, не уступающее по тактико-техническим и финансово-экономическим характеристикам. Импортозамещающая тенденция предполагает также рост производства и российской компонентной базы, в частности, для промышленного выпуска суперкомпьютерных средств и систем. Нейросетевые модели и суперкомпьютерные приложения могут быть адаптированы к отечественным суперкомпьютерам, при этом дополнительное математическое моделирование повысит эффективность решения на российском ПО прямых и обратных стеганографических задач.

Список литературы

1. *Zaffad Ahmede Shaikh, Karar Ali, Alexey Mikhaylov, Diana Stepanova, Leonid Rathkeen* (2020) Multiclass Skin Cancer Classification using EfficientNets // PLoS ONE, № 15(8). – PP.1-15.
2. *Раткин Л.С.* Патент на изобретение РФ № 2322693.
3. *Раткин Л.С.* Продукция наноиндустрии и нанобиотехнологии для медицины и изучения мозга // Наноиндустрия. 2010. № 3. С.12-13.
4. *Раткин Л.С.* Проблемы и перспективы развития нанотехнологий в России // Нано- и микросистемная техника. 2012. № 1 (138). С.2-5.
5. *Раткин Л.С.* К 100-летию со дня рождения Ричарда Фейнмана: перспективы развития квантовых технологий и суперкомпьютерных вычислений // Электроника: наука, технология, бизнес. 2017. № 7 (168). С.158-159.
6. *Иволгина Н.В., Степанова Д.И.* Венчурное финансирование как инструмент инвестирования в новые идеи и научно-технические достижения // Бизнес в законе. Экономико-юридический журнал. 2015. № 6. С. 211-214.
7. *Степанова Д.И.* Текущие риски рынка труда в экономике России. В сборнике: «Проблемы и перспективы развития промышленности России. Сборник материалов

III Международной научно-практической конференции. Под общ. ред. А.В. Быстрова». – 2018. С. 469-475.

8. Степанова Д.И. Использование системы BIG DATA для повышения эффективности предприятий ЖКХ. Мирская экономика: проблемы безопасности. 2019. № 2. С. 70-78.

9. Иванов Л.А., Бокова Е.С., Мунинова С.Р., Катухин Л.Ф. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть I // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 1. – С. 27–33. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-1-27-33.

10. Иванов Л.А., Капустин И.А., Борисова О.Н., Писаренко Ж.В. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть II // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 2. – С. 71–76. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-71-76.

11. Иванов Л.А., Деменев А.В., Писаренко Ж.В., Ванг Ц. Изобретения, основанные на использовании нанотехнологий, позволяют получить принципиально новые технические результаты. Часть III // Нанотехнологии в строительстве. – 2020. – Том 12, № 3. – С. 140–146. – DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-3-140-146.

УДК 629.113.592.117

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СМАЧИВАЕМЫХ ПАР ТРЕНИЯ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ COMPARATIVE ANALYSIS OF WETTED FRICTION PAIRS OF DISC-PAD BRAKES VEHICLES

Джанахмедов А.Х.¹, Вольченко А.И.², Насирова М.М.¹
Janahmedov A. Kh.¹, Volchenko A.I.², Nasirova M.M.³

¹ Азербайджанская Национальная академия авиации, Азербайджан, Баку

² Азербайджанская инженерная академия, Азербайджан, Баку

³ Ивано-Франковский национальный университет нефти и газа, Украина,
Ивано-Франковск

(e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com)

Аннотация: Поведение пар трения дисково-, барабанно- и ленточно-колодочных тормозов, из которых первые два устанавливаются на транспортные средства, а последний – на буровую лебедку, зависит от толщины слоя воды, попадающей на рабочую (полированную) поверхность металлического элемента трения. В результате орошения пар трения тормозов необходимо создавать большее нормальное прижимное усилие, падает динамический коэффициент трения и, как следствие, катастрофически понижается тормозной момент, что отрицательно сказывается на безопасности движения транспортных средств. Уровень безопасности зависит от степени неравномерности орошения водой поверхностей тормозных дисков по осям и бортам транспортного средства.

В связи с этим представляет интерес определения количества воды, орошающей внутреннюю и наружную поверхности диска. Для этого проведены теоретические и экспериментальные исследования с использованием термовлагоизоляционного метода

при заданной толщине слоя воды на дорожном полотне и при движении транспортного средства с различными скоростями.

В стендовых и дорожных условиях показано, что присутствие воды в парах трения дисково-колодочного тормоза является основным дестабилизирующим фактором для его эксплуатационных параметров.

The behaviour of friction pairs of disc, drum and belt-shoe brakes, of which the first two are installed on vehicles and the last two on a drilling winch, depends on the thickness of the layer of water entering the working (polished) surface of the metal friction element. As a result of the irrigation of the friction pairs of the brakes, it is necessary to create a larger normal pressure gain, the dynamic coefficient of friction decreases and, as a result, the braking torque is catastrophic, which adversely affects the safety of the vehicles. The level of safety depends on the degree of non-uniformity of water irrigation of brake disc surfaces along the axes and sides of the vehicle. It is therefore of interest to determine the amount of water that sprinkles the inner and outer surfaces of the disc. For this purpose theoretical and experimental studies were carried out using a thermal-gas-insulating method at the specified thickness of a water layer on a road bed and when the vehicle is moving at different speeds.

In bench and road conditions, the presence of water in the friction pairs of the disc-shoe brake is shown to be a major destabilizing factor for its operational parameters.

Ключевые слова: транспортное средство, дисково-колодочный тормоз, пары трения, поверхности диска, количество воды.

Key words: vehicle, disc brake, friction pairs, disc surfaces, amount of water.

Введение. Незащищенность пар трения дисковых и барабанно-колодочных тормозов транспортных средств при работе во влажной среде отрицательно влияет на эффективность их действия. Особенно это заметно на транспортных средствах, в которых создается эффект аквапланирования, значительно снижающий величину тормозного момента. Смачивание водой рабочих поверхностей пар трения дисковых и барабанно-колодочных тормозов транспортных средств снижает безопасность их движения. При этом:

- нормальное усилие на тормозную педаль создает меньший тормозной момент, вследствие чего увеличивается тормозной путь транспортного средства;
- неодинаковая степень смачивания водой рабочих поверхностей металлических элементов трения тормозов транспортного средства вызывает дисбаланс тормозных усилий на его передней и задней осях или на парах трения тормозов левой и правой стороны, вследствие чего возможен занос или непредсказуемый увод в сторону транспортного средства, что может привести к тяжелым последствиям [1, 2, 3].

Анализ литературных данных и постановка проблемы. За последние годы на транспортных средствах все более широко применяются дисково-колодочные тормоза, обладающие некоторыми преимуществами по сравнению с барабанно-колодочными тормозами. Однако дисково-колодочные тормоза имеют и недостатки, главный из которых – повышенная склонность к загрязнению пояса трения диска, в результате чего уменьшается тормозной момент, возрастает опасность блокировки задней оси и заноса транспортного средства.

В [1] показано, что при сильном дожде и скорости транспортного средства 100 км/ч на внутренней поверхности трения диска его тормоза в минуту протекает 28,0 см³ воды. Количество воды, орошающей наружную поверхность диска значительно меньше, оно составляет 5,0–10% от объема воды, находящейся на его внутренней поверхности. С увеличением скорости движения или интенсивности дождя количество воды на наружной поверхности диска возрастает менее интенсивно, чем на его внутренней поверхности. Установлено, что на тормозные диски задней оси транспортного средства

попадает лишь до 60% воды, находящейся на дисках передней оси. Стендовые испытания дисково-колодочных тормозов показали, что нарастание тормозного момента при мокрых дисках тормозов происходит менее интенсивно, чем при сухих. К концу процесса термоэлектромеханического фрикционного взаимодействия мокрых пар трения тормозной момент значительно ниже значения, получаемого при сухих дисках тормозов.

Однако в выполненных исследованиях [1-8] не учитывалась шероховатость омываемых водой поверхностей; не установлена толщина слоя воды, попадающей на матовую поверхность диска; не исследованы процессы, происходящие при попадании воды на горячие пары трения тормоза; не рассмотрены термокинетические и теплообменные процессы, происходящие на рабочих поверхностях горячих пар трения тормозов; не изучено влияние влажного воздуха на триботехнические характеристики тормоза.

Водородное изнашивание как один из процессов разрушения рабочих поверхностей металлических элементов трения обусловлено присутствием воды на указанных поверхностях [8] и разрушением углеводородных связей. Это сопровождается выделением водорода, который диффундирует в поверхностный слой стали, вызывая его охрупчивание [1-5]. Установлено, что размеры продуктов износа после наводораживания поверхности резко (в 5-6 раз) возрастают [3], т.е. усиливается их абразивное действие. Кроме того, площади появляющихся в условиях электротермомеханического трения скольжения очагов схватывания, коррозии и микротрещин также увеличиваются [9-12]. Таким образом, проблемой в данных исследованиях является эффективное удаление влаги с рабочих поверхностей дисков тормозов транспортных средств.

Постановка задачи. В материалах статьи отражены следующие вопросы:

- влияние особенностей конструкции пар трения дисково-колодочных тормозов на их работу в среде влажного воздуха и орошения;
- лабораторные исследования влияния интенсивности орошения водой пар трения дисково-колодочного тормоза на его эффективность;
- определение количества воды, орошающей пары трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства;
- влияние смачиваемости пар трения дисково-колодочного тормоза на его эксплуатационные параметры.

Цель работы – оценка интенсивности орошения водой холодных пар трения дисково-колодочных тормозов транспортных средств и ее влияние на их эксплуатационные параметры.

Определение количества воды, смачивающей пары трения дисково-колодочного тормоза транспортного средства. Для определения количества воды, орошающей одну из поверхностей диска по известному количеству воды, попадающей на его другую поверхность, использовали величины отношений количеств воды, определенных при опытах температурным методом: i – отношение количеств воды, орошающей внутреннюю и наружную поверхности диска.

На рис. 1 представлена графическая зависимость величины отношения количеств воды, орошающей внутреннюю и наружную поверхности диска, от скорости движения транспортного средства и толщины слоя воды на дорожном полотне.

Установлено, что величина i почти не зависит от конструкции шины. При увеличении скорости движения транспортного средства на внутреннюю поверхность диска попадает большее количество воды, чем на наружную. Так, при увеличении скорости движения от 50 до 100 км/ч величина i возросла в 1,45. При увеличении толщины слоя воды на дорожном полотне наружная поверхность диска орошается интенсивнее (i уменьшается).

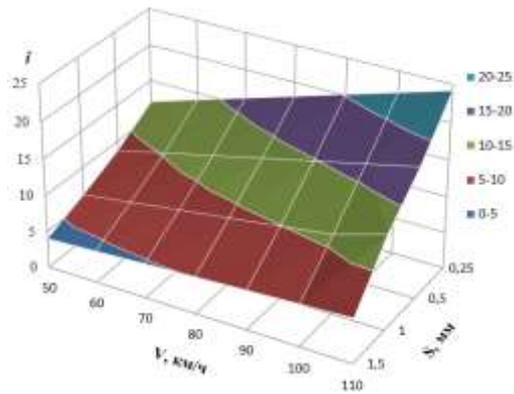


Рис. 1. Зависимость величины i от отношения количеств воды, орошающей внутреннюю и наружную поверхности тормозного диска, от толщины S слоя воды на дорожном полотне и скорости V движения транспортного средства

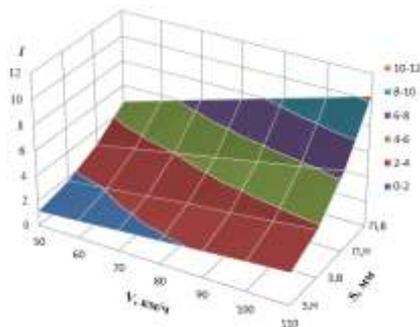
Опыты по влаго- и теплоизоляции поверхностей тормозных дисков транспортного средства производились на маршрутах длиной 10 км на дорогах с асфальтовым покрытием при дожде различной интенсивности. От опыта к опыту скорость движения транспортного средства изменялась, но за время одного опыта поддерживалась постоянной. Интенсивность дождя определялась визуально с разделением на сильные и слабые (осадки, соответственно, более и менее 10 мм за 10 мин).

Всего проведено 52 опыта, их результаты приведены на рис. 2 а, б. Количество воды (в виде отношения i), орошающей внутренние и наружные поверхности дисков заднего и переднего дисковых тормозов при слабом и сильном дожде при движении транспортного средства с различными скоростями, определялось по зависимости вида:

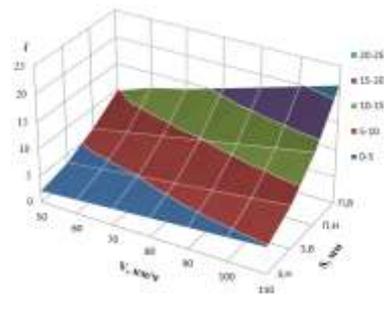
$$G_A = G_{A2} / G_{A1}; \quad G_{Ai} \dots$$

где G_{A2} , G_{A1} – количество воды, орошающей внутренние и наружные поверхности тормозного диска.

Данные о суммарных количествах воды, орошающей наружные и внутренние поверхности дисково-колодочных тормозов передних и задних осей транспортного средства, приведены в виде графических зависимостей на рис. 2 а, б. Количество воды, орошающей заднюю часть внутренней поверхности переднего тормоза получено расчетом по опытным данным количества воды, орошающей переднюю часть внутренней поверхности заднего тормоза. Количество воды, орошающей наружные поверхности тормозов, рассчитаны по количествам воды, орошающей внутренние поверхности дисков тормозов. Они, в свою очередь, определены методом влаго- и теплоизоляции.



а)



б)

Рис. 2 а, б Отношение i количеств воды, орошающей внутренние B и наружные H поверхности заднего Z и переднего P дисковых тормозов при слабом (а) и сильном (б) дожде при движении транспортного средства с различными скоростями

Анализ графических зависимостей, приведенных на рис. 2 а, б, показал следующее:

- отношение i при слабом дожде для переднего дискового тормоза составило 0,9, для заднего тормоза – 0,5; интенсивность орошения переднего тормоза в 1,8 раз больше, чем заднего тормоза (см. рис. 2 а);

- отношение i при сильном дожде для переднего дискового тормоза достигало 1,2, а для заднего тормоза – 0,65, интенсивность орошения переднего тормоза в 1,85 раз больше, чем заднего тормоза (см. рис. 2 б).

Все представленные графические зависимости (см. рис. 2 а, б) отображают средние величины опытных и расчетных данных. Рассеивание опытных точек велико, оно составило 25 % от средних значений.

Влияние интенсивности орошения пар трения дисково-колодочного тормоза на его эксплуатационные параметры. Эксплуатационные параметры для сухих и мокрых пар трения, изготовленных из различных материалов, были получены в лабораторных условиях на машине трения и износа для пары трения «колодочка-диск».

На рис. 3 приведена схема двух типов флуктуации динамического коэффициента трения в режиме избирательного переноса при мгновенном приложении и снятии дополнительной нагрузки ΔN применительно к сухим (сплошная линия) и мокрым (прерывистая линия) парам трения. После снятия нагрузки возросший динамический коэффициент трения снижается, причем переходит через границу равновесного состояния (предельного цикла) и снова подходит к этой границе.

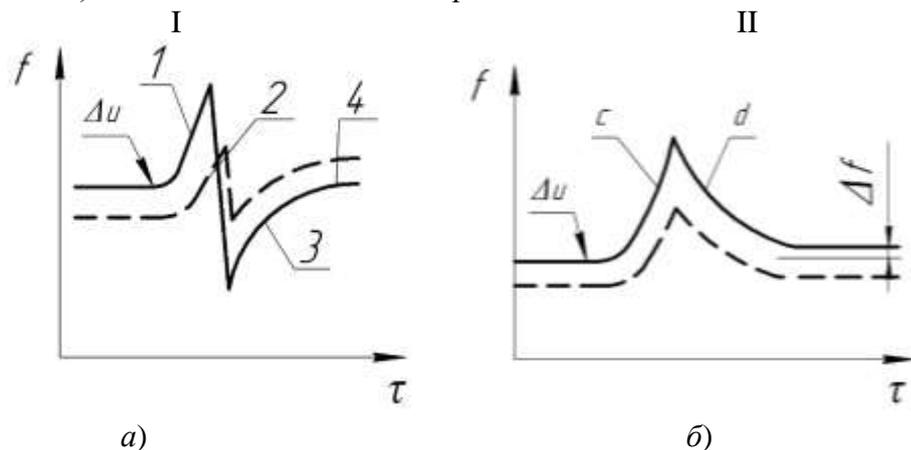


Рис. 3 а, б Закономерности изменения динамического коэффициента трения f (флуктуация) во времени t при мгновенном нагружении и снятии нагрузки:

I – на ниспадающей ветви; 1 – упрочнение и десорбция; 2 – избирательный износ и разупрочнение; 3 – восстановление равновесной концентрации вакансий; 4 – установившийся режим; II – на восходящей ветви; с – упрочнение и десорбция; d – релаксация и адсорбция; Δu , Δf – изменение: энергии процесса; динамического коэффициента трения

Проанализируем данные, касающиеся динамического коэффициента трения (табл.) [13].

Таблица. Изменение динамического коэффициента трения и тормозного момента в сухих (в числителе) и мокрых (в знаменателе) парах трения из различных фрикционных материалов

№ п/п	Пары трения	Динамический коэффициент трения, f		Интервалы измерения тормозного момента, M , Н·м
		I	II	
1	ФК-16Л-сталь 40ХН	0,325-0,480	0,480/0,325 ($t=100^{\circ}\text{C}$)	4,5/2,7

2	ФК-24А-чугун ЧНМХ	0,270-0,605	0,605/0,270 ($t=100^{\circ}\text{C}$)	6,0/3,6
3	ФК-16Л-чугун СЧ15	0,290-0,606	0,606/0,290 ($t=100^{\circ}\text{C}$)	7,5/4,5

*Примечание: f – колебание f в диапазоне поверхностных температур до 100°C .

Анализ данных таблицы показал следующее:

- изменение динамического коэффициента трения в зависимости от поверхностной температуры соответствует классической закономерности;
- при сухих парах трения величина тормозного момента в начале торможения практически мгновенно возросла от нуля до определенного значения M_T , далее тормозной момент возрастал по линейному закону до начала поглощения парами трения тормоза энергии вращающихся масс E стенда;
- при мокрых парах трения тормозной момент мгновенно возрастал до начального значения, после чего резко увеличивался, затем некоторое время оставался постоянным и, наконец, возрастал до остановки маховых масс стенда.

Закономерности изменения линейного износа фрикционного материала ФК-24А в зависимости от удельной нагрузки представлены на рис. 4. Максимальный износ соответствует удельной нагрузке 1,2 МПа, соответственно, при объемных температурах металлического элемента трения 20 и 150°C . При дальнейшем увеличении удельной загрузки линейный износ материала ФК-24А уменьшается, поскольку наблюдается стабилизация динамического коэффициента взаимного перекрытия, и, как следствие, уменьшение динамического коэффициента трения.

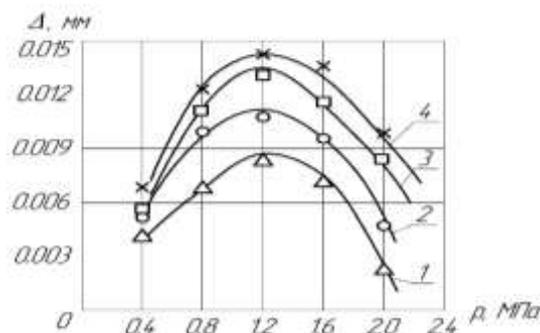


Рис. 4. Зависимость линейного износа Δ от удельных нагрузок p : 1, 2, 3, и 4 – при объемных температурах $t = 20, 40, 60, 80^{\circ}\text{C}$

Таким образом, орошение пар трения дисково-колодочных тормозов, подверженных испытаниям в стендовых и в дорожных условиях, является дестабилизирующим фактором для их эксплуатационных параметров.

Обсуждение результатов исследований. Обсуждение результатов экспериментальных исследований в стендовых и дорожных условиях применительно к орошению водой сплошных дисков в тормозах транспортных средств производим с позиций нового подхода к процессу орошения их поверхностей.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований холодных пар трения в условиях их орошения позволили установить и прогнозировать следующее:

- возможность полного удаления влаги с наружной и внутренней матовых поверхностей сплошного тормозного диска определяется его конструктивными параметрами (массой и внешним радиусом), шероховатостью поверхностей и действием центробежных сил. Полное удаление влаги происходит при частоте вращения диска не менее $3,0 \text{ c}^{-1}$;

- вытеснение воды, находящейся на поясе трения диска, происходит при его взаимодействии с рабочей поверхностью накладки, а также под действием тангенциальных сил, действующих на ранее образовавшуюся водяную пленку. Возникающие при этом капли воды заполняют микровпадины матовой поверхности диска по окружностям наружного и внутреннего радиусов его пояса трения и спереди нижней кромки накладки;

- закономерности изменения соотношения i количества воды на внутренней поверхности диска к наружной поверхности при толщине слоя воды (0,25-1,5 мм) на дорожном полотне при слабом и сильном дожде при движении транспортного средства со скоростями (50-110 км) с помощью термовлагоизоляционного метода;

- отношение i количества воды на полированном поясе трения внутренней поверхности диска к матовой его поверхности.

Заключение. В результате нового подхода к процессам орошения полированных и матовых поверхностей сплошных дисков в лабораторных и дорожных условиях тормозов транспортных средств с учетом действия на орошаемые слои воды центробежных сил и центробежного момента инерции с привлечением термовлагоизоляционного метода оценено количество воды, попадающей на поверхности дисков передней и задней оси транспортного средства. Это позволило установить: величину отношения i количеств воды между поверхностями диска: внутренней и наружной ($i = 0,8$); наружной полированной пояса трения и матовой ($i = 0,4$); внутренней полированной пояса трения и матовой ($i = 0,5$).

Установлено распределение количества воды между тормозными дисками передней ($i = 0,8$) и задней ($i = 0,55$) осей транспортного средства, а также по левому ($i = 0,6$) и правому ($i = 0,7$) его борту.

Выявлены закономерности срыва слоев воды с полированной и матовой наружной и внутренней поверхности тормозного диска, что позволило уменьшить толщину слоев воды и энергонагруженность поясов трения дисков.

При заданных величинах прижимных усилий рабочих поверхностей накладок к поясам трения диска определена энергонагруженность тормоза, удельные нагрузки, динамический коэффициент трения и тормозные моменты, развиваемые сухими и мокрыми парами трения тормозов и произведен их сравнительный анализ.

REFERENCES

1. Mitschke Manfred, Braun Horst, Das Verhalten von Scheibenbremsen bei Näss. "Dtsch. Kraftfahrtforsch. und Strassenverkehrstechn", 1970, №240, 31 s., ill. (нем.).
2. Jahn M. Zur Wirksamkeit der Scheibenbremse bei Nasseinfluss. "Kraftfahrzeugtechnik" ((Vliyanie vlazhnosti na rabotu diskovogo tormoza. Влияние влажности на работу дискового тормоза). 1976, №3, s. 74-77.
3. Diskovye i diskovo-kolodochnye tormoza v mashinostroenii. Monografiya. V 2 kn. Kn.2 / A.Kh. Jnahmadov, N.A. Volchenko, D.A. Volchenko [i dr.]. – Baku: «Apostroff-A», 2020. – 330 s. (Дисковые и дисково-колодочные тормоза в машиностроении. Монография. В 2-х кн. Кн.2 / А.Х. Джанахмедов, Н.А. Вольченко, Д.А. Вольченко [и др.]. – Баку: «Апострофф-А», 2020. – 330 с.).
4. Trenie, iznashivanie i smazka. Spravochnik. V 2 kn. Kn. 2 / Pod red. I.V. Kragelskogo i V.V. Alisina. – M.: Mashinostroyeniye, 1979. – 358 s. (Трение, изнашивание и смазка. Справочник. В 2-х кн. Кн. 2 / Под ред. И.В. Крагельского и В.В. Алисина. – М.: Машиностроение, 1979. – 358 с.).
5. Vliyanie vlagi na ekspluatatsionnyye parametry tribosopryazhenij tormoznykh ustrojstv i ee udalenie s ikh poverkhnostey / A.Kh. Janahmadov, A.I. Volchenko, M.Y. Javadov [i dr.] // Vestnik Azerbajdzhanskoj inzhenernoj akademii, 2019, T.11, №2. – S. 15-23. (Влияние влаги на эксплуатационные параметры трибосопряжений тормозных

устройств и ее удаление с их поверхностей / А.Х. Джанахмедов, А.И. Вольченко, М.Я. Джавадов [и др.] // Вестник Азербайджанской инженерной академии, 2019, Т.11, №2. – С. 15-23).

6. Proektnyj i proverochnyj raschet frikczionnykh uzlov barabanno- i diskovo-kolodochnykh tormozov transportnykh sredstv / A.Kh. Janahmadov A.I. Volchenko, A.V. Voznyj [i dr.]. Standart. – Baku: «Apostroff», 2016. – 272 s. (Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов транспортных средств / А.Х. Джанахмедов А.И. Вольченко, А.В. Возный [и др.]. Стандарт. – Баку: «Апострофф», 2016. – 272 с.).

7. Proektnyj i proverochnyj raschet frikczionnykh uzlov lentочно-kolodochnykh tormozov burovyykh lebedok / A.Kh. Janahmadov, D.A. Volchenko, I.Ya. Shirali [i dr.]. Standart. – Baku: «Apostroff», 2016. – 312 s. (Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов ленточно-колодочных тормозов буровых лебедок / А.Х. Джанахмедов, Д.А. Вольченко, И.Я. Ширали [и др.]. Стандарт. – Баку: «Апострофф», 2016. – 312 с.).

8. Vliyanie vlagi na tribotekhnicheskie parametry frikczionnykh uzlov tormoznykh ustrojstv i ee udalenie s ikh poverkhnostej treniya / M.V. Kindrachuk, D.A. Volchenko, P.A. Polyakov [i dr.] // Nauchno-tekhnicheskij sbornik: Problemy treniya i iznosa. 2010. Vyp. 54. – S. 95-105. (Влияние влаги на триботехнические параметры фрикционных узлов тормозных устройств и ее удаление с их поверхностей трения / М.В. Киндрачук, Д.А. Вольченко, П.А. Поляков [и др.] // Научно-технический сборник: Проблемы трения и износа. 2010. Вып. 54. – С. 95-105).

9. Features of the estimation of the intensity of heat exchange in self-ventilated disk-shoe brakes of vehicles / Volchenko N., Volchenko A. at al. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 1/5 (97). 2019. P. 47-53.

10. Kindrachuk M.V. Polymeres with enhanced energy capacity modified by semiconductor materials / M. Kindrachuk, A. Volchenko, D. Volchenko, O. Tisov, A. Kornienko / Functional Materials, 2019.

11. Kindrachuk M.V. Polymeric Materials Modified by Semiconductor Substances in Friction Units of Braking Devices / Kindrachuk M.V., Volchenko O.I., Volchenko D.O., Volchenko N.O., Polyakov P.O., Kornienko A.O., Yurchuk A.O. // Journal of Nano- and Electronic Physics. – Vol. 11. №3, 2019. – P. 03014-1 – 03014-8.

12. Volchenko N.A. Electrochemistry with double electrical layers in frictional interaction metal-polymer tribolink / Volchenko, N.A., Krasin, P.S., Volchenko, D.A., Voznyi, A.V. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018.

13. GOST 10851-94 GOST 10851-94. Izdeliya frikczionnye iz retinaksa. Tekhnicheskie usloviya. Minsk, 1996. – 20 s. (ГОСТ 10851-94 ГОСТ 10851-94. Изделия фрикционные из ретинакса. Технические условия. Минск, 1996. – 20 с.

МИКРОМАГНИТНЫЕ СТРУКТУРЫ ФЕРРОМАГНИТНОГО ТОРА MICROMAGNETIC STRUCTURES OF THE FERROMAGNETIC TORUS

Каримов Фаршед Хилолович
Karimov Farshed Hilolovich

*Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной
академии наук Таджикистана (ИГССС НАНТ)*

*Institute of Geology, Earthquake-Resistant Construction and Seismology of the National
Academy of Sciences of Tajikistan*

Инженерная академия Республики Таджикистан (ИА РТ), Таджикистан, Душанбе
Геологический факультет Таджикского национального университета (ТНУ)

(e-mail: eartadj@mail.ru)

Аннотация: На основе применения методов микромагнетизма получены аналитические выражения для различных магнитных структур ферромагнитного тонкого тора: однодоменной, однородной с кёрлингом, кольцевой замкнутой, радиальной, а также смешанных, и определены условия их устойчивости.

Abstract: Based on the application of the micromagnetic approach the analytical expressions for the diverse micromagnetic structures of the ferromagnetic torus, such as single domain, homogeneous with curling, ring closed, radial, and mixed as well, have been obtained and their stability conditions found.

Ключевые слова: ферромагнетики, микромагнитные структуры, обменные взаимодействия, магнитостатика, кристаллографическая анизотропия, поверхностная анизотропия.

Keywords: ferromagnets, micromagnetic structures, exchange interactions, magnetostatics, crystallography anisotropy, surface anisotropy.

В настоящей статье представлены аналитические расчёты для ряда микромагнитных структур ферромагнитного тора: однодоменная, с однородным кёрлингом, кольцевая замкнутая, радиальная (радиаль), а также смешанные. На рис. 1 показан тор, образованный вращением диска вокруг оси Oz в правой прямоугольной системе координат $Ozxy$ с началом в точке O . Радиус тора – R , внутренний радиус – R_1 , внешний – R_2 , радиус трубки тора, диска, – r . Для простоты будем рассматривать одноосно анизотропный материал тора – с одной осью «лёгкого намагничивания» ОЛН, которая расположена параллельно оси Oz . Вектор намагниченности тора будем обозначать символом J . На рис. 1 намагниченность соответствует структуре тора, однородно намагниченному вдоль оси Oz , однодоменному тору.

В полном термодинамическом потенциале будем учитывать следующие виды свободных энергий при нормальных физических условиях [1-8]:

Свободная энергия неоднородного обменного –

$$W_a = A \int \left[(\nabla \alpha_x)^2 + (\nabla \alpha_y)^2 + (\nabla \alpha_z)^2 \right] dV, \quad (1)$$

где A – постоянная неоднородного обменного взаимодействия, dV – элемент объёма в интегрировании по объёму ферромагнетика.

Свободная энергия магнитокристаллографической анизотропии –

$$W_a = K \int [\cos^2(\mathbf{Oz}; \mathbf{m})] dV, \quad (2)$$

где K – константа магнитокристаллографической анизотропии, \mathbf{Oz} – вектор соответствующей оси, \mathbf{m} – направляющий вектор локальной намагниченности.

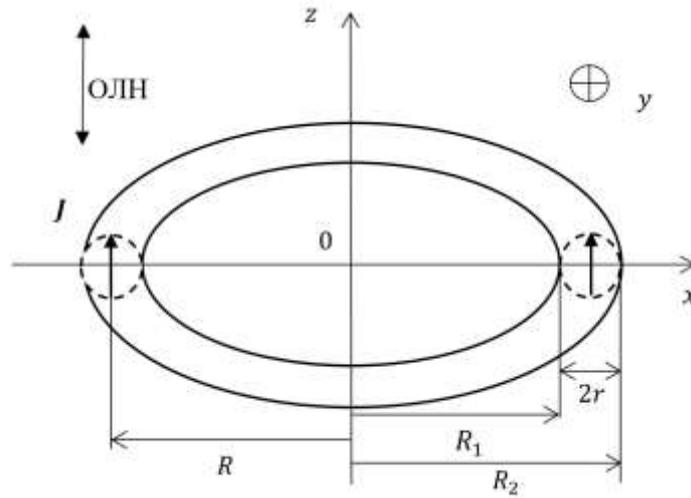


Рис. 1. Однородно намагниченный ферромагнитный тор.

Свободная энергия собственных магнитостатических взаимодействий –

$$W_m = \int (\mathbf{H}_o \mathbf{J}) dV, \quad (3)$$

где \mathbf{H}_o – магнитное поле собственных «магнитных зарядов» ферромагнетика, как объёмных, так и поверхностных.

Свободная энергия поверхностной анизотропии –

$$W_s = K_s \int \cos^2(\mathbf{n}; \mathbf{m}_s) dS, \quad (4)$$

где K_s – константа поверхностной анизотропии, \mathbf{n} – вектор нормали, направленный от ферромагнетика наружу в некоторой точке поверхности, \mathbf{m}_s – единичный вектор локальной намагниченности в этой же точке, dS – элемент поверхности в интегрировании по поверхности.

Постоянные, характеризующие материал ферромагнетика, A , K , модуль \mathbf{J} , K_s будем считать постоянными, как для физически однородных сред. В принципе K_s может быть и положительной, обратиться в нуль или отрицательной. Современные технологии дают возможность влиять на K_s путём обработки поверхности веществ или созданием специальных покрытий. По оценкам Л.Нееля, который ввёл эту характеристику, $|K_s|$ охватывает поверхностный слой толщиной около 100 \AA и по порядку величины составляет $0,1 - 1,0 \text{ эрг/см}^2$ [1, 3]. Для простоты рассмотрения будем считать, что тор тонкий, т.е. отношение $r/R \ll 1$ и углы между локальной намагниченностью и ОЛН по азимуту, ε , и радиали, ψ , не меняются существенно по его объёму.

Подставив выражения для направляющих косинусов локальной намагниченности (1) в выражения для свободных энергий (1), (2), (3), проинтегрировав в (4) по поверхности тора, получим после некоторых преобразований следующее выражение для объёмной плотности полного термодинамического потенциала ϕ без температурного фактора, вклад которого будем считать постоянным, как константу, не влияющую на вариации термодинамического потенциала:

$$\phi = \left[A/R^2 + K + \frac{1}{2} (N_r - N_z) J^2 + \left(\frac{1}{r} |K_s| - \frac{1}{2} N_z J^2 \right) \cos^2 \psi \right] \sin^2 \varepsilon, \quad (5)$$

в котором учтено, что магнитное поле H_0 для ферромагнитного тора можно приближённо представить с помощью размагничивающих факторов для направлений вдоль осей $Oz - N_z$, и $Or - N_r$ путём усреднения их по объёму тора, либо аналитически, без усреднения по объёму, при малых отношениях r/R – для тора с тонкой трубкой –

$$N_z = 2\pi \left(1 - r^2/2R^2\right); N_r = 4\pi \left(1 - r^2/2R^2\right). \quad (6)$$

Согласно принципу минимума полного термодинамического потенциала, которому отвечает энергетическая выгодность той или иной структуры, необходимыми стандартными условиями для её достижения будут обращения в нуль первых производных –

$$\frac{\partial \phi}{\partial \varepsilon} = 0, \frac{\partial \phi}{\partial \psi} = 0, \quad (7)$$

из которых определяются стационарные точки ε_i и ψ_i .

В результате подстановки (5) в выражения для этих условий стационарности (7) получаются пять пар стационарных точек:

- 1) $\varepsilon_1 = 0$, и $\psi_1 = 0$, однодоменный тор,
- 2) $\varepsilon_2 = 0$, и $\psi_2 = \pi/2$, однодоменный тор,
- 3) $\varepsilon_3 = \pi/2$, и $\psi_3 = 0$, кольцевая намагниченность,
- 4) $\varepsilon_4 = \pi/2$, и $\psi_4 = \pi/2$, радиальная намагниченность,
- 5) $0 \leq \varepsilon_5 \leq \pi$, $\psi_i = \arccos(-B/C)$, для смешанной структуры.

Структура однодоменного тора, намагниченного вдоль оси Oz , показана на рис. 1, на рис. 2 – кольцевая магнитная структура, на рис. 3 – радиально симметричная. В смешанной структуре углы ε и ψ – произвольные, принимающие значения для всех структур 1) – 4).

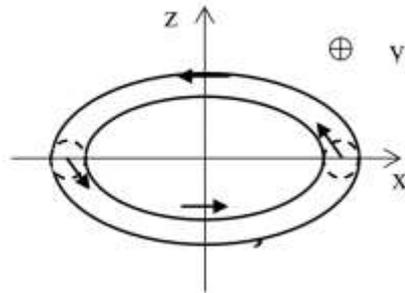


Рис. 2. Кольцевая структура

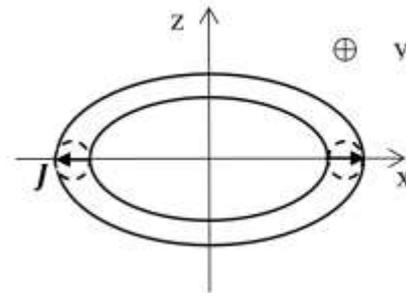


Рис. 3. Радиальная структура

Для определения возможности существования устойчивых структур исследуем достаточные условия достижения экстремумов – второй дифференциал должен быть отрицательно определённой квадратичной формой в стационарных точках. Если эта форма положительна, то структура обладает максимальным термодинамическим потенциалом, если обращается в нуль, то необходимо исследовать дифференциалы более высокого порядка. Общий вид квадратичной формы –

$$\begin{vmatrix} \ddot{\phi}_{\varepsilon\varepsilon} & \ddot{\phi}_{\varepsilon\psi} \\ \ddot{\phi}_{\psi\varepsilon} & \ddot{\phi}_{\psi\psi} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

где представлены вторые частные производные потенциала по параметрам углов ε и ψ – $\ddot{\phi}_{\varepsilon\varepsilon}, \ddot{\phi}_{\varepsilon\psi}, \ddot{\phi}_{\psi\varepsilon}, \ddot{\phi}_{\psi\psi}$.

Анализ стационарных точек 1) – 5) на устойчивость состояний по методу Ляпунова, на основе применения квадратичной формы (8), решения характеристического уравнения и анализа устойчивости при малых отклонениях углов ε и ψ от стационарных точек [9] структуры устойчивы если:

- 1) $-1 \leq C/B \leq 0, C \leq 0$ – однодоменный тор, 2) $C/B \geq 0, C \geq 0$ – однодоменный тор,
 3) $C/B \leq -1, C \leq 0$ – кольцевая структура, 4) $C/B \leq 0, C \geq 0$ – радиальная структура.

Решение характеристического уравнения для структуры (5) приводит к нулевым корням при $\varepsilon = 0$, или $\varepsilon = \pi/2$, к неопределённой квадратичной форме, не отвечает условиям устойчивости, и подобно положению неустойчивого равновесия твёрдого, недеформированного шарика на идеально гладкой горизонтальной плоскости без трения.

Принимая во внимание вид коэффициентов B и C из (8), можно прийти к следующим заключениям. Однодоменная структура 1), как показывает выражение для термодинамического потенциала (6), может быть устойчива, во-1-х, если коэффициент $C \leq 0$, действительно, тогда рост ψ энергетически невыгоден $\varepsilon_1 = 0$, и $\psi_1 = 0$ отвечают устойчивости. Отсюда следует соотношение для радиуса трубки –

$$r \geq r_k = \frac{2|K_s|}{N_r J^2}. \quad (9)$$

Во-вторых, из условия 1) также следует, что для устойчивости однодоменности наряду с (9) должно выполняться условие для радиуса тора:

$$R_1^2 \leq R_{1k}^2 = \frac{A}{-K + 1/2 N_z J^2 - 1/r |K_s|}. \quad (10)$$

Формально (11) имеет физический смысл при достаточно выполнении (9). Однако при некоторых r знаменатель в (10) становится отрицательным и возникает т.н. парадокс однодоменности, или парадокс коэрцитивной силы по Брауну – при любых радиусах однодоменность устойчива и разбивается на домены [3]. Разрешение парадокса, по-видимому, состоит в принятии во внимание солитоновых спиновых возбуждений в крупных ферромагнетиках. Это явление аналогично критическому продольному деформированию металлических стержней при достижении значения силы Эйлера – относительно короткие стержни деформируются намного труднее, чем достаточно длинные [9].

Т.о., однодоменная структура тора типа 1) устойчива при достаточно больших параметрах обменного взаимодействия, магнитокристаллографической и поверхностной анизотропии, малых намагниченностях, относительно больших радиусов трубки и относительно малых радиусах тора. Устойчивость структуры нарушается при условии (10) путём перехода в кёрлинг с $\psi_1 = 0$, т.к. $C \leq 0$ в (7) и выполняется (9).

Однодоменная структура 2), как показывает выражение для термодинамического потенциала (7), может быть устойчива, во-1-х, если коэффициент $C \geq 0$, действительно, тогда рост ψ энергетически невыгоден и $\psi_2 = \pi/2$ отвечают устойчивости. Отсюда следует соотношение для критического радиуса трубки –

$$r \leq r_k = \frac{2|K_s|}{N_r J^2}. \quad (11)$$

Во-вторых, из вида термодинамического потенциала (6) следует, что для устойчивости состояния равновесия по ε должно быть также $C \geq 0$, что выполняется всегда. Поэтому на радиус тора ограничений не налагается и условия (11) достаточно для ха-

рактеристики устойчивости. При превышении значения, определённого в (11), однодоменность нарушается путём перехода в радиальную структуру с $\psi_2 = \pi/2$, т.к. $C \geq 0$ в (6).

Итак, состояние устойчивости однодоменной структуры тора и тип её нарушения определяется прежде всего радиусом трубки. При $r \geq r_k$ нарушение происходит при значениях радиуса тора, больших критического R_{k1} (10) путём перехода в кёрлинг. При $r \leq r_k$ однодоменность устойчива. При превышении r_k однодоменность нарушается путём перехода в радиальную структуру, если радиус тора меньше R_{k1} , и, если радиус тора при этом больше R_{k1} , то путём перехода в кёрлинг, как в структуре 1).

Рассмотрим структуру 3). Для устойчивости по ψ необходимо, во-1х, чтобы $C \leq 0$ (6,8). Тогда для критического радиуса трубки следует, что

$$r \geq r_k = \frac{2|K_s|}{N_r J^2}, \quad (12)$$

аналогично однодоменной структуре 1).

Для устойчивости по ϵ должно быть $B + C \leq 0$, откуда следует условие для радиуса тора:

$$R_3^2 \geq R_{k1}^2 = \frac{A}{-K + 1/2 N_z J^2 - 1/r |K_s|},$$

которое противоположно (11) для устойчивости структуры 1). Т.о., действительно при выполнении (12) происходит переход между однодоменной структурой 1) путём кёрлинга в кольцевую, и кёрлинг представляет собой неустойчивую, промежуточную стадию между однодоменностью типа 1) и кольцом.

Кольцевая структура с замкнутым магнитным потоком внутри тора устойчива при достаточно малых параметрах обменного взаимодействия, магнитокристаллографической и поверхностной анизотропии, больших намагниченностях, относительно больших радиусах тора и радиусах трубки.

Рассмотрим структуру 4). Как показывает выражение для термодинамического потенциала (8), для устойчивости радиальной структуры необходимо, во-первых, чтобы $C \geq 0$, и, во-вторых, чтобы $B \leq 0$. Исходя из физического смысла коэффициента B , определённого в (8), можно заметить, что он не может быть отрицательным. Поэтому можно заключить, что в рассматриваемом приближении тора с тонкой трубкой существование устойчивой радиальной структуры невозможно. Это возникло потому, что в B входит разность размагничивающих факторов $N_r - N_z$, которая положительна в приближении тонкого тора [7]. Однако, это не относится к тору с широкой трубкой.

Оценим характерные размеры ферромагнитных торов по порядку величин. Пусть $A = 10^{-5}$ эрг/см², $K = 10^6$ эрг/см³, $K_s = -1$ эрг/см², $J = 10^5$ ед. СГСМ. Для $N_{x,y,z}$ примем значение 2π , для $N_r = 4\pi$. Для перехода от однодоменности к кольцевой структуре согласно (10) и (11) радиусы трубки должны удовлетворять условию $r \geq 16 \text{ \AA}$, а радиус тора – $R \geq 150 \text{ \AA}$. При меньших значениях радиусов сохраняется однодоменность с намагниченностью вдоль оси Oz . Следует иметь в виду, что оценки справедливы для тонких торов, нанотрубок, когда $r/R \ll 1$, и, кроме того, нижняя граница размеров зависит и от предела, при котором наступает суперпарамагнитное состояние, когда магнитный момент частицы совершает колебания под действием тепловых флуктуаций [1-4, 10, 11].

Список литературы

1. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. М.: Наука, 1971. 1032 с.
2. *Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.* Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 624 с.

3. Браун У.Ф. Микромагнетизм. Пер. с англ. М.: Наука, 1979. 160 с.
4. Aharoni A. Introduction to the theory of ferromagnetism. Oxford, UK: Oxford University Press, 2000. 319 p.
5. Bullity B.C., Graham B.C. Introduction to magnetic materials. Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, 2009. 568 p.
6. Кондорский Е.И. Микромагнетизм и перемагничивание квазиоднодоменных частиц // Изв. АН СССР, Сер. физ. Т. 42(8). 1978. С. 1638-1645.
7. Stano M., Fruchart O. Magnetic nanowires and nanotubes // Handbook of nanowires and nanotubes. Amsterdam: Elsevier. V. 27. 2018. P. 155-267.
8. Каримов Ф.Х. Магнитная структура и свойства ферромагнитных частиц: Обзорная информация. Душанбе: ТаджикНИИНТИ, 1991. 25 с.
9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. М.: Наука, 1987. 248 с.
10. Каримов Ф.Х. Однодоменность ферромагнетиков и поверхностная анизотропия // Изв. АН Тадж. ССР. №3 (113). 1989. с. 89-91.
11. Karimov F.H. Assessments for the coupling of superparamagnetic particles // Proceedings. 16th Intl Conf. «SERBIATRIB 2019». Kragujevac: University of Kragujevac. 2019. P. 316-320.

УДК 677.017

**РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА
МАТЕРИАЛОВ ЗА СЧЕТ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ
К СТАНДАРТНОМУ ОБОРУДОВАНИЮ
SOLVING PROBLEMS OF IMPROVING THE QUALITY
ASSESSMENT OF MATERIALS DUE TO AUTOMATED DEVICES TO
STANDARD EQUIPMENT**

**Лапшин Валерий Васильевич, Смирнова Надежда Анатольевна,
Замышляева Вероника Владимировна, Ершов Владимир Николаевич
Lapshin Valery Vasilyevich, Smirnova Nadezhda Anatolyevna,
Zamyshlyayeva Veronika Vladimirovna, Yershov Vladimir Nikolaevich**

*Костромской государственный университет, Россия
Kostroma State University, Kostroma, Russian Federation
(e-mail: vlv1000@mail.ru, nadejda.smirnova.a@yandex.ru,
vverrona@yandex.ru, yvn@mail.ru)*

Аннотация: В статье рассмотрены современные проблемы оценки качества материалов. Показано, что использование автоматизированных устройств к стандартным разрывным машинам позволяет не только достоверно определять выходное качество текстильной продукции, но и создавать базу оцифрованных данных по малоизученным свойствам материалов, которые определяют технологичность и назначение материалов и улучшают оценку их качества.

Abstract: The article deals with modern problems of evaluating the quality of materials. It is shown that the use of automated devices for standard breaking machines allows not only to reliably determine the output quality of textile products, but also to create a database of digitized data on poorly studied properties of materials that determine the manufacturability and purpose of materials and improve the quality assessment.

Ключевые слова: автоматизированные устройства, разрывные машины, пространственное растяжение, трение, текстильные материалы.

Keywords: automated devices, breaking machines, spatial stretching, friction, textile materials.

Приоритет развития цифрового производства, установленный государственной программой РФ, обуславливает необходимость создания для производств легкой промышленности баз данных по малоизученным свойствам материалов. Процесс проектирования швейных изделий требует автоматизированного конфекционирования материалов для обеспечения заданных потребительских свойств изделий, которое возможно реализовать только при автоматизации измерений показателей качества [1, 2]. Использование зарубежной приборной базы, например, «Кавабата», не представляется возможным по причине введенных санкций. Поэтому расширение измерительных возможностей стандартного оборудования за счет создания автоматизированных устройств, обеспечивающих достоверность измерений [3] и создание баз данных актуально.

Автоматизация измерений возможна путем разработки устройств к существующему стандартному оборудованию, реализующих автоматизацию их функций, расширение информативности, обеспечение достоверности измерений и оценку малоизученных свойств, на которые отсутствуют ГОСТ.

Недостаточно изученным является пространственное растяжение материалов при нагрузках, которые присутствуют при изготовлении и эксплуатации швейных изделий.

Пространственное растяжение материалов продавливанием шариком является стандартным методом (ГОСТ 8847–85) при оценке прочности и растяжимости трикотажных и нетканых полотен и проводится на разрывных машинах типа РТ-250 и применяется для определения формовочной способности материалов при нагрузках меньше разрывных по циклу «нагрузка – разгрузка – отдых» [4].

Однако используемое оборудование не обеспечивает достоверность измерений при малых усилиях растяжения и не позволяет реализовать графическую запись изменения свойств. Стандартного метода определения трения полотен нет. Разработка автоматизированных устройств осуществлялась в соответствии с разработанной методологией (рис. 1).

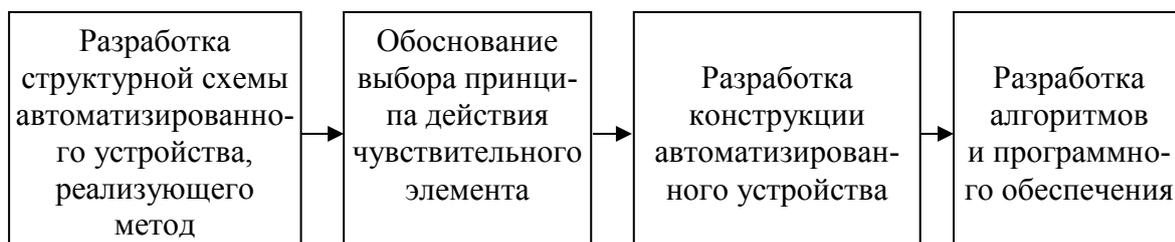


Рис. 1. Методология создания автоматизированных устройств для стандартного оборудования

Рассмотрим разработанные автоматизированные устройства к разрывным машинам для текстильных полотен и нитей, позволяющие определять характеристики формовочной способности (формуемость и пластичность) при пространственном растяжении (рис. 2) и коэффициенты тангенциального сопротивления методом Эдерлея.

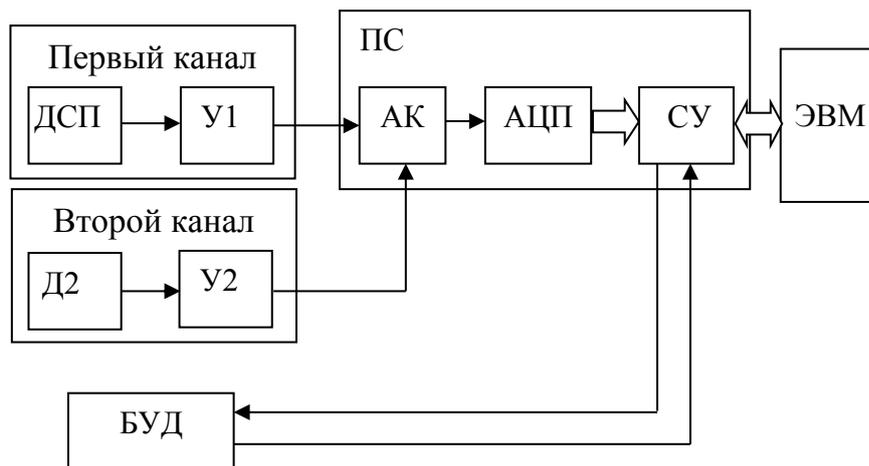


Рис. 2. Структурная схема автоматизированного устройства для разрывной машины

Устройство имеет два канала измерения, плату сопряжения аналоговых датчиков с ЭВМ (ПС), блок управления двигателем (БУД) и ЭВМ. Первый канал образуют бесконтактный датчик определения стрелы прогиба (ДСП) и усилитель (У1). Второй канал образуют тензодатчик (Д2), определяющий заданную нагрузку, и усилитель (У2). Плата сопряжения состоит из коммутатора аналоговых сигналов (АК), аналого-цифрового преобразователя АЦП и схемы управления (СУ) с логическими элементами. Блок управления двигателями включает и отключает двигатель как в ручном, так и в автоматическом режимах и тем самым управляет ходом эксперимента. Основным элементом автоматизированного устройства является датчик определения стрелы прогиба. Бесконтактный способ измерения перемещения (стрелы прогиба) реализован с помощью оптической пары: источник света фотопреобразователь. Приемник излучения (фотодатчик) преобразует световой поток в постоянный ток, по величине которого и судят о стреле прогиба пробы в определенный момент времени. Процессы деформирования пробы могут осуществляться как для получения стандартных характеристик, так и по циклу «нагрузка – разгрузка – отдых» с сопровождением автоматической записи измерений. Управление автоматизированным устройством и проведением эксперимента осуществляется с помощью разработанной программы для ЭВМ, которая формирует файлы цифровых данных и строит графики. Программное обеспечение осуществляет расчет характеристик формуемости и пластичности различных материалов при пространственном растяжении, позволяющих прогнозировать технологические свойства материалов [5] и выбирать рациональный метод проектирования изделий (табл. 1).

Практическая новизна устройства для определения коэффициентов тангенциального сопротивления методом Эдерлея подтверждена патентом РФ № 6813.

Устройство (рис. 3) содержит: два чувствительных элемента измерения усилий (ЧЭ1, ЧЭ2), которые закреплены на верхнем и нижнем зажимах разрывной машины, и двух нормирующих усилителей (НУ1, НУ2), создающих нормированный сигнал, пропорциональный усилию. Датчики подключаются к устройству сопряжения (УС) с ЭВМ, где происходит преобразование поступающих с измерителей аналоговых сигналов в цифровой код. По шине связи происходит передача цифровой информации в ЭВМ для ее дальнейшей обработки и преобразования. По этой же шине от ЭВМ к УС поступают управляющие сигналы, которые обеспечивают работу УС в необходимом режиме. По значениям обоих датчиков определяется коэффициент тангенциального сопротивления:

отношением усилия выдергивания пробы из зажимов к удвоенной силе нормального давления щечек зажимов на пробу.

Таблица 1. Характеристики формуемости и пластичности различных материалов при нагрузке 0,7 от разрывной

Материал	Стрела прогиба		Формуемость (увеличение площади) $\Delta S_{общ.}$, %	Пластичность, (остаточное уве- личение площа- ди) $\Delta S_{ост.}$, %
	При растя- жении, f , мм	После отдыха $f_{ост}$, мм		
Костюмная тонкосуконная ткань, 260 г/м ²	11,7	6,5	69,84	21,56
Чистольняная ткань, 206 г/м ²	10,5	8,0	56,25	32,69
Хлопчатобумажная джинсовая ткань, 350 г/м ²	9,3	7,0	44,13	25,0
Костюмная ткань (33% вискоза, 67% полиэфир), 210 г/м ²	6,65	2,5	22,56	3,19

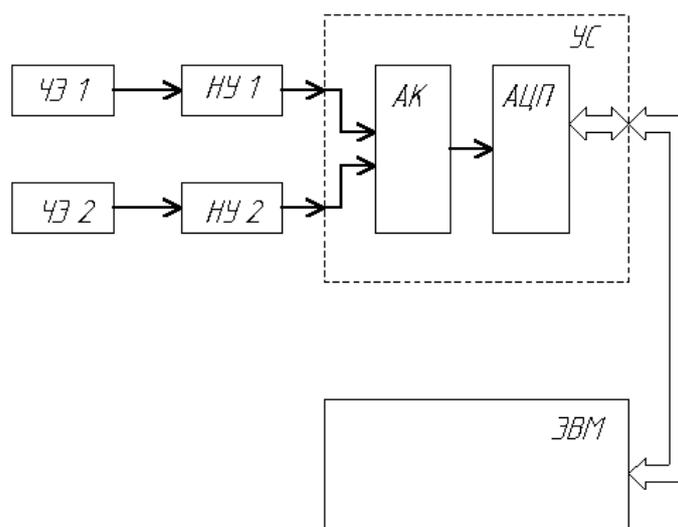


Рис. 3. Структурная схема автоматизированного устройства для определения коэффициента тангенциального сопротивления

Разработанное программное обеспечение позволяет получать, обрабатывать и представлять экспериментальные данные в удобном пользователю цифровом виде.

Автоматизированные устройства к разрывным машинам позволяют создать базу новых данных [6] по малоизученным свойствам материалов для изделий легкой промышленности и реализовать компьютерные технологии в конфекционировании [7], а также закладывают возможность создания цифровых двойников тканей.

В заключение статьи следует отметить целесообразность улучшения оценки качества материалов для швейных изделий, создания оцифрованных баз данных на осно-

ве существующего оборудования путем использования разработанных автоматизированных устройств, что обусловит возможность совершенствования технологии.

Список литературы

1. *Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Воронова Л.В.* Автоматизированные методы оценки свойств текстильных полотен и систем материалов как средство управления качеством изделий легкой промышленности // Сборник статей II Международной научно-практической конференции «Модели инновационного развития текстильной и легкой промышленности на базе интеграции университетской науки и индустрии образование–наука–производство» Казань: КНИТУ, 2016. С. 207–214.

2. *Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Ершов В.Н., Замышляева В.В., Воронова Л.В., Чагина Л.Л., Иванова О.В.* Инновационные методы определения показателей качества текстильных материалов – основа создания конкурентоспособных отечественных изделий легкой промышленности // Сборник докладов Третьего международного научно-практического симпозиума «Научно-производственное партнерство: взаимодействие науки и текстильных предприятий и новые сферы применения технического текстиля», в рамках «Российской недели текстильной и легкой промышленности». Москва: Изд-во «БОС», 2018. С. 48–59.

3. *Лапшин В.В.* Определение динамической погрешности автоматизированных устройств контроля качества текстильных материалов // Вестник КГТУ, 2013. № 1. С. 29–31.

4. *Смирнова Н.А., Денисова О.И., Смирнова Е.Е.* Способ испытания текстильного материала на формовочную способность. Патент на изобретение № 2171987. МКП G01N 33/36. Опубл. 10.08.2001. Бюл. № 22.

5. *Замышляева В.В., Смирнова Н.А., Лапшин В.В.* Новые методы оценки формоустойчивости материалов и систем материалов // 2nd World & Science: materials of the international research and practice conference. Brno, Czech. Rep., 2014. С. 62–67.

6. *Белгородский В.С., Смирнова Н.А., Гусева М.А., Андреева Е. Г., Разбродин А.В., Разумеев К.Э., Гетманцева В.В., Петросова И.А.* Базовые цифровые шкалы формообразующих свойств льносодержащих тканей. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019620689. Зарег. в реестре баз данных Федеральной службы по интеллектуальной собственности (ФСИС) 26.04.2019.

7. *Смирнова Н.А., Лапшин В.В., Замышляева В.В.* Цифровизация конфекционирования на базе создания интеллектуальных систем // Всероссийская научно-технич. конференция «Фундаментальные и прикладные проблемы создания материалов и аспекты технологий текстильной и легкой промышленности». Казань: КНИТУ, 2019. С. 270–276.

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОКОНТУРНЫХ МЕХАНИЗМОВ
УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННЫМИ ПРОЕКТАМИ
SYSTEM ANALYSIS OF MULTI-CIRCUIT MECHANISMS FOR
MANAGING INNOVATIVE PROJECTS**

**Гургенидзе Давид Ремикович * ** , Горгидзе Давид Алексеевич * ** * ** ,
Хуцишвили Сулхан Алексеевич * **
Gurgenidze David Remikjvich * ** , Gorgidze David Alekseevich * ** * **
Khutsishvili Sulkhan Alekseevich * ****

**Инженерная академия Грузии*

***Грузинский Технический Университет**
*Georgian Technical University**

****Международная инженерная академия*

(e-mail:sulkh-5@mail.ru, e-mail:d.gurgenidze@gtu.ge, e-mail:d.gorgidze@gtu.ge)

Аннотация. В статье рассмотрена сущность инноваций, инновационного процесса и инновационной деятельности. Инновационная деятельность определяется как система «субъект-объект», и с помощью метода структурной декомпозиции получается несколько „структурных разрезов” системы управления. В их числе функциональная структура управления инновационного процесса, где система управления представлена как контур управления (определённая последовательность функций управления). Также представлен функционально-технологический структурный разрез, когда происходит декомпозиция системы управления на функции управления, а инновационный процесс — на составные этапы. Для такой системы рассмотрены примеры одно контурных и многоконтурных структурных разрезов управления.

Abstract. The article examines the essence of innovation, innovation process and innovation. Innovation activity is defined as a “subject-object” system, and using the method of structural decomposition, several “structural sections” of the control system are obtained. Among them is the functional structure of management of the innovation process, where the management system is presented as a control loop (a certain sequence of management functions). Also presented is a functional and technological structural section, when the management system is decomposed into management functions, and the innovation process is divided into component stages. For such a system, examples of single-contour and multi-contour structural sections of control are considered.

Ключевые слова: инновации, инновационный процесс, этапы, декомпозиция, структурный разрез, контур управления.

Keywords: innovation, innovation process, stages, decomposition, structural section, control loop.

Вступление. Инновационный процесс представляет собой сложное, многоэтапное и многогранное событие, он является основной движущей силой современной экономики, которая материализует достижения научно-технического процесса.

Есть много разных подходов к объяснению понятия инноваций. Одни отождествляют инновацию как процесс создания новых элементов в практике, другие — как существенные целенаправленные изменения в технологическом процессе. Существует значительное расхождение взглядов в связи с тем, что инновации необратимы в про-

цессе, и так далее. Для наших целей объединим различные подходы и приведем следующее определение инноваций.

Инновации — результат получения нового эффективного продукта (услуги), их производства и, в последующем, процесса реализации на внутреннем и внешнем рынках. Это заключительный этап творческого процесса. Если креативность предполагает создание новизны, то в инновациях подразумевают возможность использования на практике созданного новшества. Инновация — конечный результат научного производственного цикла и рассматривается не оторванно от инновационных процессов.

Инновационный процесс — это процесс преобразования научных знаний в инновации. Она рассматривается как деятельность, которая обеспечивает постоянный поиск новых возможностей для решения поставленных задач путем привлечения и включения в процессе воспроизводства различных источников ресурсов, производство научно емких, конкурентноспособных продуктов с использованием новых подходов и технологии.

Существует определенное прерывание между этапами развитием единого инновационного процесса «Наука — Инновации — Производство — Продажи» и полученными от них доходами. Значительные противоречия между участниками процесса возникают при обосновании идеи, оценкой качества промежуточных результатов, при финансировании каждого этапа и особенно для начинающих компаний, на этапе обмена информацией и т.д. На самом деле проблемы существуют как на стадии производства, так и в организационной, финансовой, научной — преподавательской сферах. Как и любой процесс, инновационные процессы происходят под влиянием многих факторов, и это влияние различно в разных сферах деятельности. Однако инновационная модель каждого поколения в некоторой степени соответствует текущим изменениям и тенденциям в экономике.

И, наконец, можно сказать, что инновационный процесс представляет собой объединением средств, процедур, с помощью которого научного открытия идея превратится в социальную, в том числе и обучающим новшеством. Что касается деятельности, которая обеспечивает преобразование идеи в инновации и в то же время формирует систему управления процессами, то она называется инновационной деятельностью.

Таким образом, очень важной задачей является разработка различных моделей (в том числе структурных) для управления инновационными процессами, которые будут адаптированы к инновационной деятельности, целям конкретной организации и придет в соответствии внутренней и внешней среде фирмы.

Основная часть

С развитием инновационной теории так же эволюционировали модели инновационных процессов: от простых линейных моделей до сложных, сложных и сетевых моделей.

Первые исследования и этапы процесса, связанные с инновационными процессами, охватывают 1950-1960 годы. В этот период были распространены простые линейные модели (первое и второе поколения). Линейные модели, потому что, по мнению специалистов, инновационный процесс имеет линейный, последовательный характер и объединяет научные исследования и изобретения, промышленные исследования и разработку, маркетинг и, наконец, этап освоения рынка новым продуктом или процессом.

Начиная с 1970-х годов XX века линейные модели обоих поколений рассматривались как частные случаи более общих процессов (наука, технологии, рынок). Научные исследования Р. Росвэлл, К. Фирман, Н. Рознберга и других ученых подтвердили важность маркетинговых, рыночных и технических факторов для формирования успешных инноваций. Это привело к созданию нелинейных моделей третьего и следующего поколения инновационных процессов в 1970-х и 1980-х годах.

Исследования показали, что в современных экономических условиях инновации создаются в результате научных изменений и разработок, а также на этапах инновационного процесса меняет формы (см. Схему 1). Он имеет четкую ориентацию на конечный результат прикладного характера. ЕГО всегда надо рассматривать как сложный процесс, который обеспечивает некоторый технический и социально-экономический эффект.

Этапы инновационного процесса взаимосвязаны и обеспечивают эффективность процесса.

На этапе научных исследований (НИ) изучаются возможности рыночных реализации идей, а также разрабатываются методологические подходы к созданию и оценке нового проекта (технологии). Если полученные результаты будут положительными, то на их основе начинаются конструкторские работы (КС) и создаются испытательные образцы (прототип), которые проходят испытательный тест (испытательное производство, ИП). Если результаты испытаний положительные, начинается массовое производство новых продуктов (МП). Это этап освоения, которая необходимо для адаптации производственного процесса с новыми требованиями (освоение нового оборудования, освоение новых технологий и т.д.). Эффективность процесса освоения во многом определяет эффективность производства новых продуктов.

Этот этап так же охватывает решение проблем, связанных с рынком сбыта новым продуктом и проведением соответствующих работ для предоставления дополнительных услуг после реализации.

Инновационную деятельность можно представить как систему типа «субъект — объект», где: объект является инновационным процессом, а субъект — система управления инновационного процесса.

По аналогии принципами функционирования сложной системы (общая теория систем) можно определить основные закономерности инновационных процессов и их системы управления: чем выше «ранг» инноваций, тем больше требования к научно-обоснованному к системе управления инновационными процессами.

Метод структурной декомпозиции.

Инновационное управление процессами — сложная системная функция. Система управления, которая реализует эту функцию, имеет различные формы своих составляющих (организаций) (элементов, подсистем, функций, форм подключения внутри и с окружающей средой и т.д.).

Описание и визуализация форм системы управления могут быть сделаны с помощью структурных разрезов, которые представляют собой совокупность определенных компонентов (элементов) системы и связей между ними, разделенных в соответствии с заданным квалификационным знаком (учитывая заданную декомпозицию). Здесь важно отметить тот факт, что структура системы полностью характеризуется только целой совокупностью разрезов, а не какими-либо отдельно взятыми структурными разрезами, поскольку ни один из них не позволяет нам иметь адекватное представление о всей системе управления. По разным признакам декомпозиция возможен в желаемом количестве. Момент остановки процесса декомпозиция определяется целью описания и исследования системы управления и объективно ограничивается сложностью механизма управления (уровень, качество, точность), в данном случае инновационным процессом.

Выбор показателя декомпозиции должен быть ориентирован на информированность и наглядность структурного разреза, полученного в результате декомпозиции. Как правило, декомпозиции происходит до тех пор, пока не будут достигнуты те основные компоненты системы управления, которые имеют известные, заданные или подчиненное моделированию характеристики (скажем, начальное и конечное состояние

процесса.) Основная цель структурной декомпозиции — использование априорных данных о структуре системы управления при выборе квалификационного знака и упрощение задачи построения этой системы с желаемыми характеристиками. Элемент (подсистема, отдельная функция управления и т. д.), выделенный в соответствии с квалификационным знаком, и его связи с другими элементами должны быть проще исходной системы. В этом случае при правильном выборе знака декомпозиции, мы сможем существенно упростить процесс построения, описания и моделирования этих элементов и, наконец, описания, построения и моделирования всей системы управления.

Для практических целей описания системы менеджмента принято выделять несколько ключевых характеристик: организационная, функционально-технологический. В качестве основы для декомпозиции инновационного процесса могут быть использованы следующие классификационные знаки: по жизненному циклу новых продуктов, по отраслям, по регионам и т.д. Декомпозиция инновационного процесса и системы управления по разным признакам однозначно определяет соответствующий структурный разрез, с помощью которого можно достичь конкретной цели и задач.

Декомпозиция системы управления инновационного процесса на функции управления (планирование, контроль, формирование данных, стимулы и др.) приводят к формированию функциональной структуры. Последовательность функций создает «контур управления»; Подсистемы, представленные на схеме как «блоки», при необходимости могут быть дополнительно декомпозиция. Например: при декомпозиции целевого «блока» по признаку «цель-средство» строится «дерево целей» инновационной деятельности. По мере того как вы переходите от вершины к основанию целевого дерева, цели приобретают все более конкретный вид. Цели низкого уровня характеризуются, например, созданием нового оборудования, технологий, научно-технических, технико-экономических и технических показателей. Также возможно разделить другие блоки, хотя цель статьи на данном этапе не состоит в дальнейшей декомпозиции функций управления.

Важно фиксировать «существующие взаимоотношения» с окружающей средой и учесть их в процессе структурирования. На наш взгляд, для каждого структурного сечения это означает правильно понимать и фиксировать соответствующие факторы воздействия на окружающую среду.

Если декомпозиция инновационный процесс происходит на этапы жизненного цикла, а систему управления — на функции управления, тогда получим функционально-технологический структурный разрез.

Это тот случай, когда все этапы инновационного процесса реализуются с помощью единого контура управления (допустим, одна фирма управляет всем процессом). Такая фирма имеет возможность вести научную и проектную деятельность, имеет сильный отдел маркетинга и квалифицированных специалистов или имеем возможный закрытый инновационный процесс.

В крупных корпорациях этапы инновационного процесса могут реализовываться по территориальному принципу. В этом случае каждый этап может управляться своей собственной системой управления (контур управления), а для эффективного функционирования всего процесса допускается функционирование системы координации управления (контур). Он должен обеспечивать согласованные соединения контуров как по вертикали, так и по горизонтали.

Такая система инновационного процесса соответствует существованию иерархических уровней управления и соответствующих целей в иерархии. Инновационная структура управления процессами приобретает более сложный вид, когда становится необходимым учитывать динамику инновационной деятельности или реализовывать

сложные инновации с участием нескольких конкретных инноваций и сложных организаций.

Вывод. И наконец, можно сделать следующий вывод, что система управления инновационными процессами относится к так называемым сложным системам, поэтому единственный приемлемый способ описания, исследования и проектирования (организации) таких систем — это последовательное декомпозиция их на более простые подсистемы по квалификационному знаку. На последующем этапе должны быть решены задачи управления для таких подсистемами, а конкретные результаты должны быть объединены в общее решение для стартовой системы. С этой целью структурное представление практических ситуаций инновационной деятельности и создание библиотеки структурных разрезов является важным шагом в разработке системы управления инновационными процессами.

Список литературы

1. *Прангшвили И.В.* Системный подход и общесистемные закономерности. Серия «Системы и проблемы управления» - М.: СИНТЕГ, 2000.
2. *Дж. Гальошвили, С. Хуцишвили* «Задачи моделирования в открытых инновационных процессах» // Грузинский технический университет, Бизнес-инжиниринг, Направление и рецензируемый научный журнал №4, 2015 с. 152-156 (на грузинском).
3. *Курмангалиев А.М. Хиджакадзе А.Г., Хуцишвили С.А.* Некоторые примеры многоконтурного управления в активных системах. //В. кн.: «Механизмы управления социально – экономическими системами». Сборник трудов, ИПУ, Москва, 1988/

УДК 662.998

ИЗОЛЯЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СКАТНЫХ КРОВЕЛЬ ROOF INSULATION SYSTEMS

**Жуков Алексей Дмитриевич *, Тер-Закарян Карапет Арменович **,
Бессонов Игорь Вячеславович ***, Минаева Анна Михайловна *
Zhukov Alexey Dmitrievich *, Ter-Zakaryan Karapet Arменович **,
Bessonov Igor Vyacheslavovis ***, Minaeva Anna Mikhailovna ***

* *Национальный исследовательский «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ)*

* *National Research "Moscow State Construction University" (NRU MSCU)*

* *Российская инженерная академия (РИА)*

* *Russian Academy of Engineering (RAE)*

** *ООО «ТЕПОФОЛ»*

** *"TEPOFOL" LLC*

*** *Научно-исследовательский институт строительной физики (НИИСФ РААСН)*

*** *Research Institute of Building Physics (RIBPh RAABS)*

Аннотация: В статье изложены возможные варианты применения теплоизоляционных материалов, обладающих высокой эксплуатационной стойкостью в сочетании с низкой теплопроводностью и низкими паро- ветро- и влагопроницаемостью – изделиями на основе пенополиэтилена.

Abstract: The article describes possible options for the use of heat-insulating materials with high operational resistance in combination with low thermal conductivity and low vapor, wind and moisture permeability - products based on polyethylene foam.

Ключевые слова: скатная крыша, теплоизоляция, несшитый полиэтилен, энерго-сбережение, эксплуатационная стойкость.

Key words: pitched roof, thermal insulation, uncross linked polyethylene, energy saving, operational durability.

Задачами кровельных систем являются защита конструкции кровли и крыши от проникновения влаги и иных атмосферных воздействий, от перегрева конструкций и помещений в жаркий период, то есть минимизации тепловых потерь, а, следовательно, и расходов на обогрев в холодные периоды года. Являются важным так же формирование комфортного микроклимата в помещениях и обеспечение температурно-влажностных условий нормальной эксплуатации кровельной конструкции.

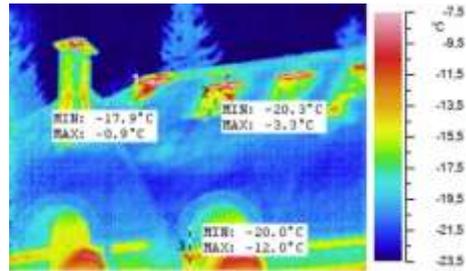
В качестве теплоизоляции используют минераловатные изделия, пенополиуретаны, плитные и рулонные изделия на основе вспененных пластмасс. В большинстве известных способов изоляции применяется конструктивное решение, когда теплоизоляция (любого типа) укладывается между стропилами на их полную высоту или с частичным заполнением по высоте. В этих системах возможно увлажнение теплоизоляционного слоя (в первую очередь это относится к минераловолокнистой теплоизоляции) как за счет паров влаги, поступающей из помещения, так и капельной влаги, попадающей на утеплитель в результате протечек. Поэтому является обязательной пароизоляция со стороны помещения и гидро- ветрозащита со стороны кровельного покрытия (т.е. с внешней стороны теплоизоляции, обращенной к кровельному вентилируемому зазору) [1–3].

Эффективность изоляционной оболочки, оценивается по величине термического сопротивления конструкции (в основном при использовании расчетных методов) или по тепловому потоку через единицу поверхности кровли, определяемому по результатам натурных экспериментов.

Эффективность изоляции зависит от комплекса факторов. Проектируя конструкцию и оперируя заявленными в технической документации свойствами, разработчик оценивает свое решение по надежности конструкции крыши и по итоговому термическому сопротивлению изоляционной оболочки, которое не может быть меньше нормативного.

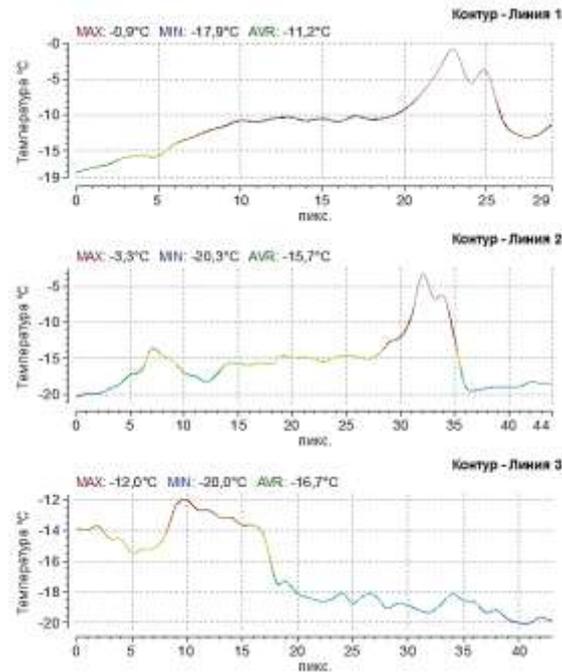
При этом нормативное термическое сопротивление определяют по гледи изолированной поверхности, тогда как необходимо учитывать и потери тепла через мансардное остекление, и через различные кровельные проходки (табл. 1). Такое термическое сопротивление можно назвать проектным или начальным, с учетом того, что его изменение может происходить во времени с учетом условий эксплуатации кровельной системы.

Опыт последних лет показал высокую эффективность тепловизионной съемки строительных конструкций для определения тепловых потерь (рис. 1). По результатам измерений ярко выражены участки с высоким и недостаточным термическим сопротивлением. В рассмотренном примере это места проходок трубы и кровельных аэраторов, а также мансардные окна. Исследования подтверждают необходимость учета и мансардного остекления и других конструктивных особенностей кровельного покрытия при оценке термического сопротивления оболочки в целом. Все виды нарушения сплошности изоляционной оболочки обуславливают изменение проектного термического сопротивления, что подтверждает расчет, приведенный в табл. 1.



а

б



в

Рис. 1. Оценка теплоэффективности кровельной изоляционной оболочки:
 а – общий вид кровли; б – результаты тепловизионной съемки; в – изменение температуры на критических участках с низким термическим сопротивлением. При данном обследовании выявлены значительные теплопотери в зоне конька (участок 1), обусловленные «проседанием» утеплителя с потерей теплозащитных свойств

Таблица 1. Термическое сопротивление систем изоляции кровли

№ п.п	Система утепления	Термическое сопротивление, м ² ·°C/Вт	
		По глади кровли	С учетом 20% мансардного остекления
1	Утепление мягкими минераловатными плитами на всю высоту стропил	4,08	1,89
2	Утепление мягкими минераловатными плитами на 3/4 высоты стропил	3,59	1,80
3	Утепление рулонным вспененным полиэтиленом	2,93	1,65

Важным фактором, влияющим на величину термического сопротивления конструкции, является эксплуатационная стойкость теплоизоляционного материала. Термическое сопротивление изоляционной оболочки в первую очередь зависит от теплопроводности изоляции и формостабильности теплоизоляционных изделий.

В первую очередь, теплопроводность изделий теплоизоляционной оболочки зависит от их влажности. Основным видом теплоизоляции являются минераловатные изделия, поэтому к этим изделиям и обращается особое внимание.

Проведенные исследования диффузионного влагопоглощения рулонного вспененного полиэтилена по ГОСТ EN 12088 были проведены в НИИСФ РААСН. Одновременно в приборе испытывали по два образца: один без шва, второй – с соединительным швом.

Исследовалось диффузионное водопоглощение пенополиэтилена как с теплоотражающим покрытием, так и без него (табл. 2).

Таблица 2. Результаты экспериментальных определений диффузионного влагопоглощения образцов вспененного полиэтилена

№	Образец	a , мм	b , мм	δ , мм	A , м ²	m_0 , г	m_D , г	W_{dp} , кг/м ²	W_{dv} , %
Вспененный полиэтилен без теплоотражающего покрытия									
1	Сплошной	499,5	498,7	55,84	0,249101	222,5	327,3	0,42	0,71
2	Со швом	500	497	62,16	0,248500	224,4	334,6	0,44	0,75
Вспененный полиэтилен с теплоотражающим покрытием									
1	Сплошной	500	503	51,07	0,251500	254,7	321,2	0,26	0,51
2	Со швом	502	508	52,84	0,262568	252,9	350,0	0,37	0,70

a , b , δ – длина, ширина и толщина образца; W_{dp} – количество поглощенной влаги по массе, кг/м²; W_{dv} – количество поглощенной влаги по объему, %; m_D – масса образца после выдержки в контейнере в течении 28 суток, г; m_0 – первоначальная масса образца г.

Сохранение стабильных свойств системы в целом и минераловатного теплоизоляционного слоя, в частности, достигается реализацией трех конструктивных приемов: вентиляцией теплоизоляционного слоя, его гидроизоляцией (снаружи) и в комбинации с пароизоляцией (изнутри), а также использованием ветрозащитных материалов в вентилируемых системах.

В процессе эксплуатации кровельных конструкций их теплотехническая неоднородность возрастает за счет расширения мостиков холода на стыках изоляционных плит, по поверхностям их контакта с несущими деревянными конструкциями; так же происходит деградация свойств изоляционных плит и в первую очередь повышение их теплопроводности за счет повышения влажности и усадки плит. С учетом всего комплекса деструктивных процессов термическое сопротивление изоляционной системы в первые 5 лет эксплуатации может снижаться на 22–26%; и составить (с учетом данных табл. 1), 2,7–3,1 м²·°C/Вт по глади кровельного покрытия или не более 1,7 м²·°C/Вт с учетом мансардного остекления.

Использование водонепроницаемых теплоизоляционных материалов, также материалов, имеющих низкую паро- и воздухопроницаемость, позволяет оптимизировать конструкцию «изоляционного пирога» и повысить долговечность системы в целом. Подобными свойствами обладают некоторые виды вспененных пластмасс, применение которых на скатной кровле допускается при использовании стропильных конструкций

и обрешетки из горючих материалов. В частности, применение рулонов из несшитого вспененного полиэтилена (рис. 1в) позволяет получить изоляционную оболочку скатной кровли без применения дополнительной ветрозащиты и пароизоляции.

Маты из пенополиэтилена (НПЭ) укладывают между стропилами враспор, далее по всей поверхности с внутренней стороны укладывают рулонный фольгированный пенополиэтилен, который закрепляется саморезами с шайбами и затем сваривается горячим воздухом по линиям стыка. Таким образом, формируется сплошная изоляционная оболочка, не имеющая мостиков холода по глади поверхностей. Далее на саморезах монтируется внутренняя обрешетка, к которой крепятся листы внутренней отделки.

Список литературы

1. Жук П.М., Жуков А.Д. (2018). Нормативно-правовая база экологической экспертизы строительных материалов: перспективы совершенствования, Экология и промышленность России. 2018. № 4. С. 52–57.

2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Математическая модель и инженерный метод расчета влажностного состояния ограждающих конструкций. М.: Academia. Архитектура и строительство. 2006, №2. С. 60–63.

3. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Заяфаров А.В., Петровский Е.С., Тучаев Д.Ю. Системы утепления скатных крыш // Кровельные и изоляционные материалы. 2017 № 6. С. 27–29.

4. A. D. Zhukov, K. A. Ter-Zakaryan, V. S. Semenov. Insulation systems with the expanded polyethylene application. ScienceDirect IFAC PaperOnLine Volume 51, Issue 30, 2018, Pages 803-807. DOI: 10.1016/j.ifacol.2018.11.191

5. Патент РФ № 2645190 «Замковая технология теплоизоляционного материала для бесшовной сварки соединительных замков» зарегистрирован 16 февраля 2018 г. БИ №5-2018.

6. A D Zhukov, K A Ter-Zakaryan, V S Semenov, S D Kozlov, E A Zinovieva and E D Fomina. Insulation systems for buildings and structures based on polyethylene foam. МГСУ. IPICSE. Published online: 14 December 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101014>.

ОСНОВЫ НОВОЙ ИНДУСТРИАЛИЗАЦИИ РОССИИ FUNDAMENTALS OF THE NEW INDUSTRIALIZATION OF RUSSIA

Оборин Лев Александрович*, **Сарченко Владимир Иванович****,
Прохоров Виктор Владимирович***
Oborin Lev Aleksandrovich*, **Savchenko Vladimir Ivanovich****,
Prokhorov Viktor Vladimirovich***

*Красноярское (Сибирское) региональное отделение Российской инженерной академии
Krasnoyarsk (Siberian) regional branch of the Russian Academy of Engineering*

** Сибирский государственный университет науки и технологий - СибГУ им. акад.
М.Ф. Решетнева, Россия, Красноярск*

** Siberian state University of science and technology-M. F. Reshetnev SibGAU, Krasnoyarsk,
Russia*

(e-mail: lev.oborin.47@mail.ru)

*** Сибирский федеральный университет – СФУ, Россия, Красноярск*

*** Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia*

(e-mail: bs-serge@yandex.ru)

**** Сибирский государственный университет науки и технологий - СибГУ им. акад.
М.Ф. Решетнева, Россия, Красноярск*

**** Siberian state University of science and technology-M. F. Reshetnev SibGAU,
Krasnoyarsk, Russia*

(prohorov.victor@yandex.ru)

Аннотация: Обоснована необходимость проведения новой индустриализации в Российской Федерации, на основе использования механизмов, связанных с инженерным делом с помощью реализации ряда важных мероприятий.

Abstract: The necessity of new industrialization in the Russian Federation is Justified, based on the use of mechanisms related to engineering through the implementation of a number of important measures.

Ключевые слова: новая индустриализация, инженерное дело.

Keywords: new industrialization, engineering.

В Российской Федерации из-за ухудшения ценовой конъюнктуры на мировых товарных рынках и проведением санкционной политики со стороны США и стран Европы в последнее время наблюдается снижение внутреннего валового продукта. Сейчас со всей очевидностью можно сказать, что резервы сырьевой модели развития страны уже исчерпаны. Необходима структурная перестройка экономики на основе инновационного возрождения промышленности и развития человеческого капитала, позволяющая дать новый импульс развитию страны. Фактически речь идет о скорейшем проведении новой индустриализации страны на качественно новой технологической основе.

Опыт стран, являющихся мировыми технологическими лидерами показывает, что переход к пятому и тем более к шестому технологическим укладам невозможен без проведения активной государственной промышленной политики, в том числе в инновационно-инвестиционной, институциональной и других областях [1, 2]. Для российской экономики в конкретно сложившихся условиях это требование становится безусловным императивом.

В этой связи необходимо отметить, что высшее руководство страны понимает данную проблему и пытается ее решить. Для этого в России принят ряд нормативных документов, направленных на развитие промышленности в стране. Одним из них является Федеральный закон «О промышленной политике в Российской Федерации», где поставлены цели и задачи развития экономики страны. В частности, одной из целей промышленной политики является создание высокотехнологичной и конкурентоспособной промышленности, которая должна обеспечить переход от сырьевой экономики к инновационной [3].

Другим нормативным документом, посвященным данной проблеме, является указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года». В нем предлагается Правительству страны обеспечить ускорение технологического развития России, создание в промышленности высокопроизводительного экспортно-ориентированного сектора, вхождение страны в число пяти крупнейших экономик мира и т.д. [4].

В этой связи одним из механизмов, который позволит осуществить структурную перестройку экономики страны, является инженерное дело. Именно оно во многом позволяет объединить в единый процесс науку, образование и производство, для достижения долгосрочных целей развития страны. При этом использование данного механизма следует осуществлять в рамках проведения пяти важнейших мероприятий [5].

Во-первых, необходимо провести комплексную инвентаризацию оставшегося советского и постсоветского научно-технического и технологического потенциала. Это позволит сопоставить имеющиеся технические и технологические возможности страны с перспективными планами развития, в том числе связанными с импортозамещением потребительских товаров, использованием новых и новейших технологий при производстве продукции внутри России и т.д.

Во-вторых, при проведении новой индустриализации следует уделить особое внимание анализу кадрового потенциала промышленности. Не является секретом тот факт, что весь постсоветский период времени в стране шел постоянный отток специалистов из промышленности и особенно в активном возрасте. Этот процесс продолжается и до сих пор. В результате в реальном секторе экономики имеется дефицит квалифицированных специалистов, в том числе инженерно-технических работников, рабочих и т.д. [6]. Поэтому требуется провести учет профессионально-квалификационного уровня задействованных в промышленности кадров, а также оценить возможности их переподготовки и повышения квалификации.

В-третьих, необходимо провести модернизацию организационных механизмов управления новой индустриализацией. Как известно, эффективность проведения промышленной политики в любой стране определяется не количеством государственных институтов, а их качеством, позволяющим правильно выбрать приоритеты развития, использования инструментов стимулирования деятельности предприятий и т.д. Именно здесь у Российской Федерации имеются серьезные проблемы. Можно констатировать, что действующие в стране государственные институты, в том числе институты развития, показывают свою низкую эффективность. И не случайно Счетная палата России отмечает сбой в реализации долгосрочных планов страны по вине государственных органов, в том числе и связанными с Национальными проектами, являющимися приоритетными для государства. Поэтому необходимо менять цели, выстраивая работу государственного аппарата в направлении организационной, координационной и ответственной за результаты реиндустриализации, взамен запретительно-разрешительной и статистической деятельности.

В-четвертых, необходимо сохранение и развитие Российской академии наук (РАН) в рамках концептуальных основ проведения новой индустриализации. Восстано-

вить иерархию продвижения фундаментальных открытий, изобретений, технологий и образцов по схеме: РАН (академические институты) – научно-исследовательские институты – научно-технические отраслевые центры разработчиков новой техники – вузовская наука (исследовательские университеты). Именно данная система позволяла нашей стране долгое время занимать одну из ведущих позиций в мире в научно-техническом секторе и промышленном производстве.

В-пятых, требуется развитие соответствующих финансовых механизмов, обеспечивающих в полном объеме процесс реиндустриализации страны. Наиболее эффективно данные механизмы могут действовать на основе государственно-частного партнерства. Использование механизмов государственно-частного партнерства позволит активизировать инвестиционную деятельность в России за счет более широкого использования внутренних частных инвестиций [7]. Использование внутренних частных инвестиций при реиндустриализации страны сделает более эффективным применение имеющихся государственных инвестиционных ресурсов, так как они их будут замещать.

В заключение можно сказать, что России необходима новая экономика, работающая на современной технологической базе, с конкурентоспособной промышленностью и инфраструктурой, с развитой сферой услуг, с эффективным сельским хозяйством. Только создав такую экономику, Российская Федерация сможет по-настоящему войти в группу наиболее развитых стран мира.

Список литературы

1. Стиглиц Дж. Новые пути развития. Семинар, 12-13 сентября 2002г. Рио-де Жанейро, Бразилия.
2. Сарченко В.И., Оборин Л.А. и др. Управление развитием. Методология регионального стратегирования. - Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2018. - 600 с.
3. Федеральный закон Российской Федерации «О промышленной политике в Российской Федерации» от 31.12.2014 № 488-ФЗ Консультант Плюс. [Электронный ресурс] http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_173119/ (Дата обращения: 05.09.2020).
4. Указ Президента РФ «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 7 мая 2018 № 204 [Электронный ресурс] <http://www.kremlin.ru/events/president/news/57425/> (Дата обращения: 03.09.2020).
5. Сарченко В.И., Оборин Л.А., Машуков Ю.Г. [и др.] Инженерное дело как основа устойчивого развития национальной экономики / Под ред. В.И. Сарченко, Л.А. Оборина – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2015. 194 с.
6. Сарченко В. И., Категорская Т. П. Методический подход к оценке качества профессиональной подготовки выпускников вузов в формате компетентностного подхода//Фундаментальные исследования. -2015. -№ 8-1. -С. 203-209.
7. Экономика и управление жилищно-коммунальным хозяйством/ Авилова И.П., Акристиный В.А., Банцеров О.Л., Грабовый П.Г., Грабовый К.П. Наумов А.С., Беляков С.И., Березка В.В., Бутырин А.Ю., Грабовый К.П., Демин А.В., и др./ Учебное пособие под общей редакцией Грабового П.Г., Кирилловой А.Н./ Москва, 2018. - 672 с.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СМЕСЕЙ ВОЛОКНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ STATISTICAL FEATURES OF FIBROUS MATERIAL BLENDS

Севостьянов Петр Алексеевич, Самойлова Татьяна Алексеевна,
Вахромеева Екатерина Николаевна
Sevostyanov Petr Alekseevich, Samoylova Tatyana Alekseevna,
Vakhromeeva Ekaterina Nikolaevna

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина, Россия, Москва
Russian state University after A.N. Kosygin
(e-mail: petrsev46@yandex.ru)

Аннотация: Приведены методы моделирования двухкомпонентных смесей волокон, позволяющие исследовать статистические особенности этих смесей.

Abstract: Methods for modeling two-component fiber blends that allow to study the statistical features of these mixtures are presented.

Ключевые слова: смешивание, моделирование, статистические особенности смесей.

Keywords: fiber blending, modeling, statistical features of blends.

Волокна отличаются большим разбросом числовых характеристик их свойств. Поэтому важно, как распределение волокон преобразуется при смешивании компонентов. Например, длина волокон хлопка лежит в диапазоне от 15 мм до 44 мм. Распределение асимметрично, причем имеет отрицательный коэффициент асимметрии: модальная длина волокон больше средневзвешенной длины. Наилучшим образом распределение длины L волокон хлопка аппроксимируется бета - распределением. Значения $\beta \sim Be(a; b)$ необходимо отмасштабировать в заданный диапазон длин волокон ($L_{min}; L_{max}$) по формуле $L = L_{min} + \beta * (L_{max} - L_{min})$. Значения β находятся в пределах от 0 до 1. Значения L будут находиться в пределах от L_{min} до L_{max} .

Для моделирования необходимо подобрать параметры a и b бета-распределения такими, чтобы значения L соответствовали L_m, sL, L_{min} и L_{max} . Для этого используются выражения математического ожидания $M\beta$ и дисперсии $D\beta$ случайной величины β

$$M\beta = \frac{a}{a+b}; \quad D\beta = \frac{a \cdot b}{(a+b) \cdot (1+a+b)^2}$$

Решение этой системы уравнений относительно a и b приводит к расчетным формулам

$$a = A \cdot \left(\frac{A \cdot (1-A)}{B} - 1 \right); \quad a = (1-A) \cdot \left(\frac{A \cdot (1-A)}{B} - 1 \right)$$

в которых

$$A = \frac{L_m - L_{min}}{L_{max} - L_{min}}; \quad B = \frac{sL^2}{(L_{max} - L_{min})^2}$$

На рис.1 приведены гистограммы распределений β и L , полученные по 10^6 значениям β и L . Обычно известны средняя длина волокон хлопка (средневзвешенная L_m ,

модальная L_{mo} или штапельная L_{me}) и некоторая числовая мера разброса значений длины, например, среднее квадратическое отклонение sL . Кроме того, известны оценки L_{min} и L_{max} . Для гистограмм на рисунке $L_{min} = 10$ мм; $L_{max} = 42$ мм; $L_m = 31$ мм; $sL = 5$ мм. Эти значения приводят к параметрам $a = 5,41$; $b = 2,83$. Оценка коэффициента вариации длины волокон $CL = 16,1\%$. Форма распределений β и L практически совпадают, с точностью до масштаба по осям координат.

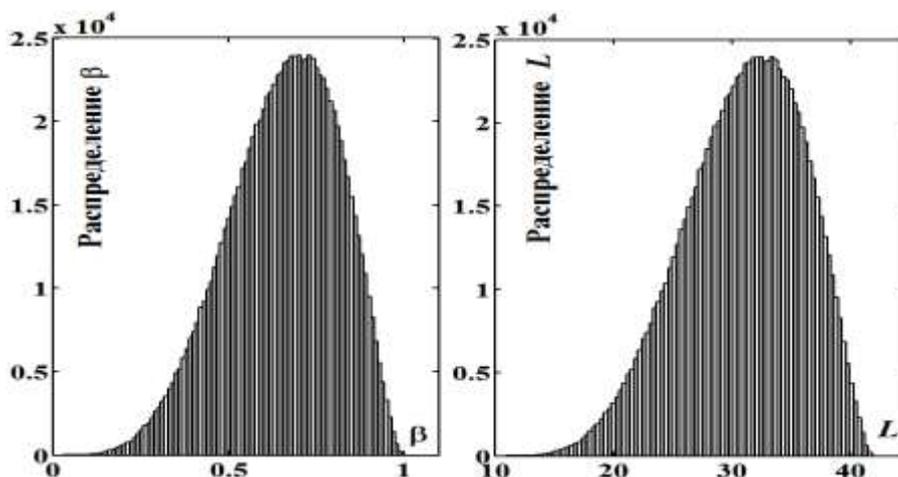


Рис.1. Бета – распределение как модель распределения длины волокон хлопка

Рассмотрим смесь волокон хлопка из двух компонентов с отличающимися параметрами: средней длиной, диапазоном длин, разбросом значений длин. Случайным образом отобранное из смеси волокно имеет длину L и с вероятностью p_1 принадлежит первому компоненту, а с вероятностью $p_2 = 1 - p_1$ – второму компоненту. При идеальном перемешивании вероятности p_1 и p_2 равны долям компонентов в смеси. Обозначим $f_L(x)$, $f_1(x)$ и $f_2(x)$ ФПВ распределения длины волокон соответственно смеси, 1-го и 2-го компонентов.

Эти функции связаны равенством

$$f_L(x) = p_1 \cdot f_1(x) + p_2 \cdot f_2(x)$$

Используя эту формулу, найдем связь между математическими ожиданиями и дисперсиями длины волокон компонентов и смеси

$$Lm = \int_0^{\infty} x \cdot f_L(x) dx = p_1 \cdot \int_0^{\infty} x \cdot f_1(x) dx + p_2 \cdot \int_0^{\infty} x \cdot f_2(x) dx = p_1 \cdot Lm_1 + p_2 \cdot Lm_2$$

$$DL = p_1 \cdot DL_1 + DL_2 + p_1 \cdot p_2 \cdot (Lm_1 - Lm_2)^2$$

Здесь DL_1 и DL_2 – дисперсии длины волокон каждого из компонентов. Заметим, что дисперсия смеси зависит не только от дисперсий компонентов, но и от разницы в средних длинах волокон компонентов. Диапазон длин волокон смеси определяется наименьшей L_{min} и наибольшей L_{max} длиной волокон компонентов смеси

$$L_{min} = \min\{L_{min_1}; L_{min_2}\}, \quad L_{max} = \max\{L_{max_1}; L_{max_2}\}$$

Другие числовые характеристики: модальные, медианные значения, асимметрия и др. - проще оценить методом статистического моделирования.

В качестве примера рассмотрим смесь волокон хлопка, у которого первый компонент имеет параметры $L_{min_1} = 10$ мм; $L_{max_1} = 42$ мм; $L_{m_1} = 31$ мм; $sL_1 = 5$ мм, а

второй компонент – параметры $L_{min_2} = 15$ мм; $L_{max_2} = 46$ мм, $L_{m_2} = 37$ мм; $sL_2 = 5$ мм с равными долями компонентов в смеси $p_1 = p_2 = 0,5$. На рис.2 приведены гистограммы длины волокон компонентов и смеси. В таблице 1 приведены оценки числовых характеристик компонентов и смеси. Моделирование выполнено с помощью в среде Matlab. Были получены массивы волокон каждого из компонентов, объединенные затем в один массив, что имитировало перемешивание компонентов.

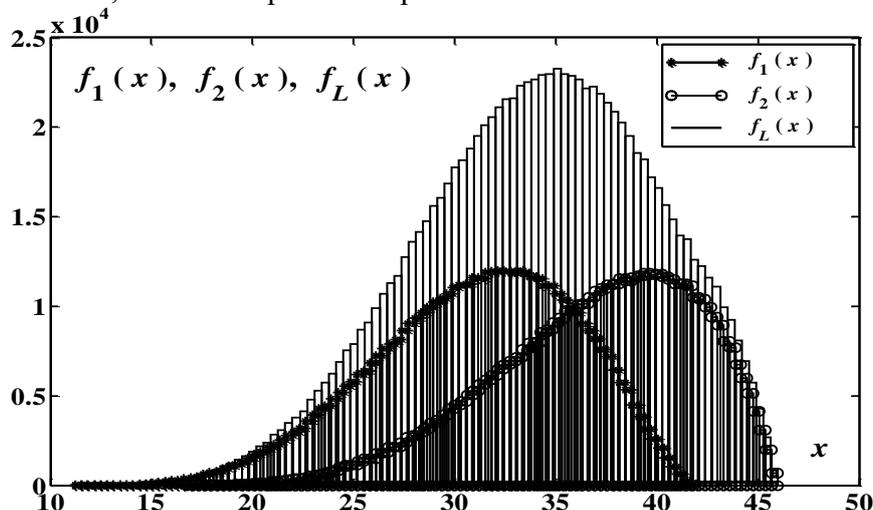


Рис. 2. Распределения длины волокон 1-го, 2-го компонентов и смеси волокон хлопка двух типов

Смоделируем смесь волокон, состоящую из 65% штапельного вискозного волокна с длиной резки $L_{m_1} = 34$ мм и коэффициентом вариации длины $CVL_1 = 3\%$ и 35% волокон хлопка с параметрами $L_{min_2} = 10$ мм; $L_{max_2} = 42$ мм, $L_{m_2} = 31$ мм; $Sl_2 = 5$ мм. Коэффициент вариации вискозных волокон незначителен по величине и обусловлен малыми отклонениями от заданной величины резки L_{m_1} . Поэтому можно считать, что длина вискозных волокон распределена по нормальному закону с математическим ожиданием L_{m_1} и СКО $sL_1 = 3 L_{m_1} / 100 = 10,2$ мм. Используем приведенный скрипт, заменив в нем числовые значения параметров и обращение к генератору длины вискозных волокон на нормальное распределение. Соответствующие гистограммы приведены на рис.3.

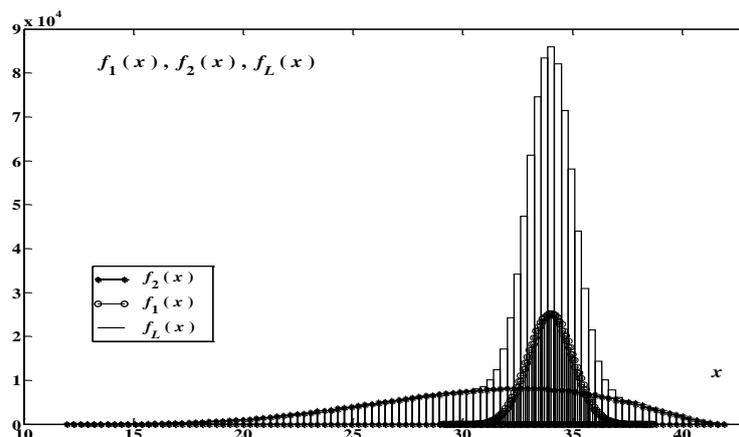


Рис.3. Распределения длины вискозных волокон (1-й компонент), волокон хлопка (2-й компонент) и их смеси

В таблице 2 приведены оценки числовых характеристик компонентов и смеси.

Таблица 1. Оценки числовых характеристик компонентов и смеси по модели длин волокон

Характеристика	L_m , мм	L_{m0} , мм	L_{me} , мм	L_{min} , мм	L_{max} , мм	sL , мм	CVL , %
1-й комп.	31,00	33,4	31,41	11,24	41,94	4,99	16,1
2-й комп.	37,00	38,5	37,65	16,75	45,99	4,99	13,5
Смесь	34,00	34,8	34,33	11,24	45,99	5,83	17,1

Таблица 2. Оценки числовых характеристик компонентов и смеси по модели длин волокон

Характеристика	L_m , мм	L_{m0} , мм	L_{me} , мм	L_{min} , мм	L_{max} , мм	sL , мм	CVL , %
1-й комп.	34,00	34,00	34,00	29,08	38,68	1,02	3,0
2-й комп.	31,00	31,43	31,43	11,97	41,89	5,00	16,1
Смесь	32,95	33,76	33,76	11,07	41,89	3,40	10,3

По-другому рассчитываются статистические показатели смеси, если рассматривается не аддитивная характеристика волокон, например, их разрывная нагрузка. У каждой такой характеристики - своя методика усреднения.

Долю компонента в смешанном волокнистом материале можно определить по-разному. Каждый компонент состоит из отдельных волокон, которые являются своего рода неделимыми элементами, «атомами» материала. У каждого компонента свойства волокон различны, при том, что волокна каждого компонента имеют еще и статистический разброс значений по любому из этих свойств. Поэтому долю компонента естественно определить по доле числа волокон в смеси. Обозначим N_k число волокон k -го компонента в смеси. Тогда доля этого компонента по числу волокон равна $p_k = N_k / N$. Здесь $N = N_1 + \dots + N_m$ – общее число волокон в смеси из n компонентов. Очевидно, что практически оценить доли p_k весьма затруднительно. Поэтому используют доли компонентов, основанные на массе каждого компонента – массовые (весовые) доли $g_k = G_k / G$. Здесь G_k – масса k -го компонента, G – суммарная масса всех компонентов смеси волокнистого материала.

Найдем связь между p_k и g_k . Предположим, что каждое волокно k -го компонента представляет собой цилиндр длиной L_k , и площадью поперечного сечения S_k и объемной плотностью r_k . Тогда $G_k = N_k \cdot r_k \cdot L_k \cdot S_k$. Доля k -го компонента по массе равна

$$g_k = \frac{N_k \cdot r_k \cdot L_k \cdot S_k}{\sum_{j=1}^n (N_j \cdot r_j \cdot L_j \cdot S_j)} = \frac{p_k \cdot r_k \cdot L_k \cdot S_k}{\sum_{j=1}^n (p_j \cdot r_j \cdot L_j \cdot S_j)}, \quad k = 1, \dots, n$$

С помощью этих же соотношений можно получить и соотношения, выражающие доли компонентов по волокнам через доли по массе

$$p_k = \frac{G_k / (r_k \cdot L_k \cdot S_k)}{\sum_{j=1}^n (G_j / (r_j \cdot L_j \cdot S_j))} = \frac{g_k / (r_k \cdot L_k \cdot S_k)}{\sum_{j=1}^n (g_j / (r_j \cdot L_j \cdot S_j))}, \quad k = 1, \dots, n$$

Произведение $m_k = r_k \cdot L_k \cdot S_k$ представляет собой усредненную массу одного волокна k -го компонента. Для двухкомпонентной смеси приведенные формулы приобретают вид

$$g_1 = \frac{p_1 \cdot m_1}{p_1 \cdot m_1 + p_2 \cdot m_2}; \quad g_2 = \frac{p_2 \cdot m_2}{p_1 \cdot m_1 + p_2 \cdot m_2}, \quad p_2 = 1 - p_1$$

$$p_1 = \frac{g_1/m_1}{g_1/m_1 + g_2/m_2}; \quad p_2 = \frac{g_2/m_2}{g_1/m_1 + g_2/m_2}, \quad g_2 = 1 - g_1$$

Оценим, насколько значимо отличаются эти два вида доли компонента на примере смеси волокон хлопка и вискозного волокна. Предположим, что волокнистый материал состоит из этих двух видов волокон в равных массовых долях, т.е. $g_1 = g_2 = 0,5$. Оценим среднюю массу волокна хлопка: $L_1 = 30$ мм, $T_1 = 1000/6000 = 1/6$ г км⁻¹ = 1/6000 г/м. Тогда $m_1 = 1 / 6000 \cdot 0,03$ м = $5 \cdot 10^{-6}$ мг. Аналогичная оценка для вискозного волокна дает значение $m_2 = 7,2 \cdot 10^{-6}$ мг.

Используя эти оценки, найдем $p_1 = 0,5902$; $p_2 = 0,4098$. Разница в долях составляет 9%, что весьма существенно при проектировании смесей и реализации перемешивания.

Таким образом, показано, что при перемешивании таких компонентов смеси, какими являются волокна, и в особенности, волокна природного происхождения, отличающиеся от других смешиваемых материалов большой относительной вариацией практически по всем параметрам, необходимо планировать смеску с учетом не только числовых показателей, но и законов распределения этих параметров. Современные компьютерные технологии позволяют без особых усилий выполнять прогнозирование распределения параметров смеси по распределениям параметров компонентов.

Список литературы

1. Севостьянов, А.Г. Составление смесок и смешивание в хлопкопрядильном производстве. – М.: Гизлегпром, 1954. – 192 с.
2. Винтер, Ю.М. Прогнозирование и оценка эффективности процессов смешивания в прядении. - Дис. ... д-ра техн.наук. – Кострома, 1982.–264 с.
3. Ванчиков, А.Н. Расчет прочности пряжи из смеси хлопка с химическими штапельными волокнами и оценка эксплуатационных свойств этой пряжи. – Текстильная промышленность, 1964, №4, с.25-31.
4. Мазяр, И.П. Исследование эффективности процессов рыхления, трепания и смешивания разнородных химических волокон с длиной резки 65 – 75 мм в зависимости от состава разрыхлительно - трепального агрегата: Автореферат. Дис. ... канд. техн.наук. – М.: 1975. – 21 с.
5. Роккель, В.Г. Исследование и разработка поточной линии смешивания одноцветного крашеного хлопка: Автореферат. Дис. ... канд. техн.наук. – Иваново, 1978. – 23 с.
6. Севостьянов, А.Г., Севостьянов П.А. Энтропия – мера неравномерности смешивания волокон. /Вестник МГТУ им. А.Н. Косыгина, М., 1999, с.31-33.
7. Севостьянов, П.А. Вероятностный подход к оптимизации состава смесок методами линейного программирования. - Изв. ВУЗов: Технология текстильной промышленности, 1980, №4, с.12 – 15.
8. Добринская, Т.А., Севостьянов, П.А. Сравнение эффективности смешивания смешивающими и дозирующими устройствами. - Изв. ВУЗов: Технология текстильной промышленности, 2000, №3. - С.39 – 43.
9. Севостьянов, П.А. Компьютерное моделирование длины и тонины волокон шерсти в топсе и ленте на основе данных натуральных экспериментов / П.А. Севостьянов, К.В. Ордов, Е.И. Битус, Т.А. Самойлова, В.В. Монахов - Известия вузов. Технология текстильной промышленности – 2015 - №6, С.185-189

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ НА
ОСНОВЕ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
IMPROVING THE ACCURACY OF THE FORECAST OF OIL
DEPOSITS BASED ON SELF-ORGANIZING NEURAL NETWORKS**

Горбачев Сергей Викторович *, Кузин Виктор Федорович **, Цао Цзиньде *,
Gorbachev Sergey Viktorovich *, Kuzin Viktor Fedorovich **, Cao Jinde *****

** Национальный исследовательский Томский государственный университет, Россия,
Томск*

** National Research Tomsk State University, Russia, Tomsk
(e-mail: spp03@sibmail.com)*

*** Российская инженерная академия, Россия, Москва*

*** Russian engineering Academy, Russia, Moscow
(e-mail: vfkuzin@mail.ru)*

**** Юго-Восточный университет, Китай, Нанкин и Университет Йонсей, Корея, Сеул*

**** Southeast University, Nanjing, China and Yonsei University, Seoul, Korea
(e-mail: jdcao@seu.edu.cn)*

Аннотация: Показана возможность расширения диагностических и распознающих свойств обучаемых нейронных сетей за счет перехода от формальной нейросетевой модели "черного ящика" к самоорганизующимся логическим сетям, структура которых минимальна. Приведены результаты нейросетевой обработки геофизических и геохимических данных Южно-Черемшанского нефтяного месторождения.

Abstract: The possibility of expanding the diagnostic and recognition properties of trained neural networks by switching from the formal neural network model of the "black box" to self-organizing logical networks, the structure of which is minimal, is shown. The results of neural network processing of geophysical and geochemical data from the Southern-Cheremshansky oil field are presented.

Ключевые слова: самоорганизующиеся сети, геофизические, геохимические данные, нефть, прогноз

Keywords: self-organizing networks, geophysical, geochemical data, oil, forecast.

Для достижения рентабельности геологоразведочных работ актуальным является использование новых альтернативных технологий. Современный уровень функционирования нефтегазодобывающих предприятий основан на повсеместном внедрении цифровой информации и компьютерных методов. Традиционным ведущим геофизическим методом, применяемым при поисках и разведке месторождений нефти и газа, является сейсморазведка, позволяющая решать целый ряд задач обработки и анализа данных. Несмотря на достигнутые успехи в разработке сейсморазведочных методик, успешность прогноза залежей по материалам только этого метода остается недостаточно высокой, особенно в случае сложнопостроенных ловушек [1]. Известно (А.Е. Канторович, О.Л. Кузнецов, Р.С. Сахибгареев, Е.Н.Ильясова, В.А. Ежова, Н.Ф. Столбова, С.Л. Шварцев, Г.И. Тищенко, В.А. Баженов и др.), что физические и химические поля, наблюдаемые над месторождениями нефти и газа, видоизменяются в зависимости от расположения залежей и интенсивности процессов преобразования надпродуктивной толщи пород под воздействием миграции углеводородов. Такое "дыхание" залежей позволяет создать многомерное признаковое пространство, которое можно использо-

вать как фактическую основу для прогнозирования контура нефтегазоносности. Опыт многолетних геофизических исследований месторождений нефти и газа юго-восточной части Западной Сибири и других регионов России показывает, что структура наблюдаемых магнитных и радиогеохимических полей закономерным образом отражает особенности геологического строения и пространственного расположения залежей углеводородов [2].

Поэтому кроме традиционных методов поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений, основанных на сейсморазведке и глубоком бурении, разработан и обобщен комплекс поверхностных геофизических и геохимических методов [2], позволяющий осуществить поиск и доразведку залежей углеводородов на порядок дешевле. Разработана технологическая схема повышения эффективности геологоразведочных работ, которая предполагает целенаправленное размещение дорогостоящих технологий, в том числе глубокого бурения, на прогнозных участках, закартированных менее затратными способами – геохимия, геофизика (рис.1).

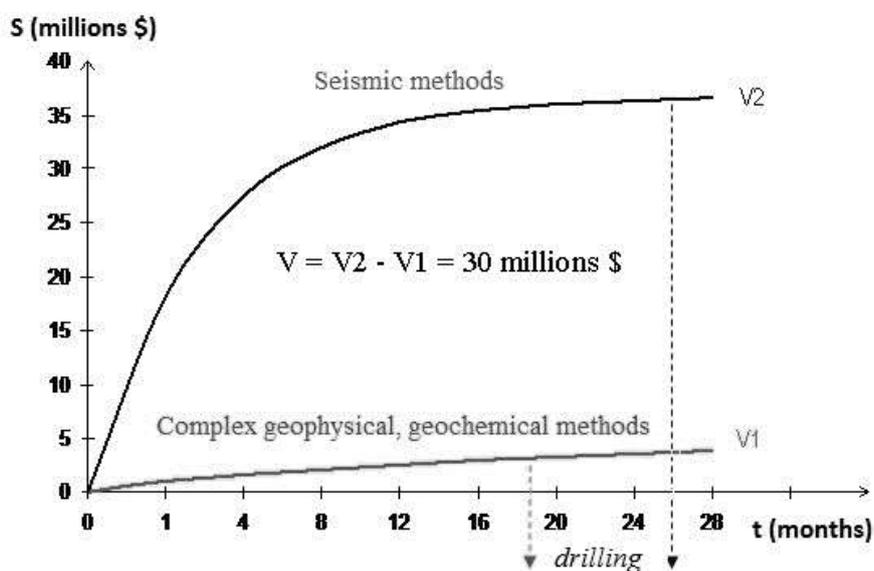


Рис. 1. Технологическая схема повышения эффективности геологоразведочных работ

В общем случае задача прогнозирования контуров нефтегазоносности в многомерном признаковом пространстве сводится к неформализованной проблеме классификации, причем в соответствии с каротажными оцифрованными диаграммами испытаний разведочных скважин могут использоваться следующие классы:

- 1) продуктивные (нефть, газ);
- 2) вода с признаками нефти;
- 3) вода;
- 4) пустые (порода).

В более сложных задачах число классов может быть увеличено по любому признаку.

В настоящее время наблюдается лавинообразный рост числа программных продуктов, использующих нейросетевые технологии для решения задач распознавания, классификации, кластеризации. Традиционная схема формального нейрона k такова: сумматор S_k вычисляет скалярное произведение вектора входных сигналов u_j на вектор весов w_{jk} , передает полученный сигнал нелинейному преобразователю F_k , который передает этот сигнал далее – на выход или через точку ветвления другим нейронам (рис.2).

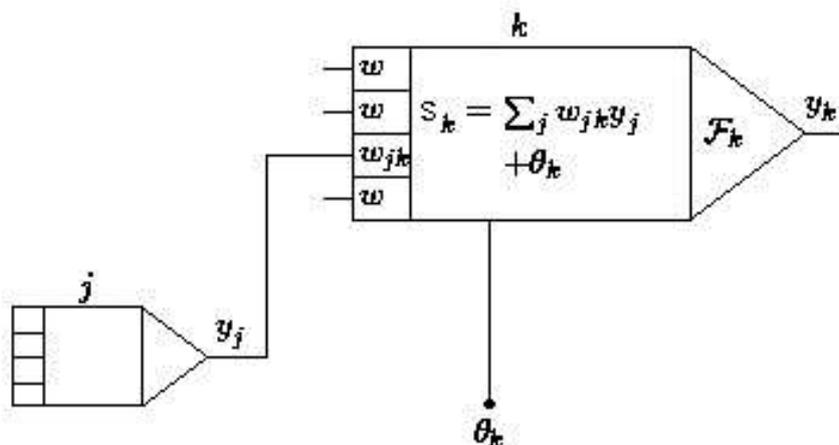


Рис. 2. Схема формального нейрона

Число нейронов в слоях может быть, а обучение сети строится как минимизация некоторой функции невязки между ответом сети и требуемыми значениями.

Нейросетевые технологии позволяют, во-первых, учитывать первичные данные, которые могут быть разнородны и статистически непредставительны, во-вторых, автоматизировать процесс расчета комплексного прогнозного параметра путем обучения искусственной нейронной сети на основе эталонной информации по скважинам, и, в-третьих, частично решить обратную задачу – ранжировать входные параметры по уровню значимости [3]. Однако, несмотря на свою универсальность, нейронные сети обладают плохой интерпретируемостью – процесс решения задачи обученной нейросетью не поддается прозрачному для пользователя описанию.

Дело в том, что в рамках классической нейросетевой парадигмы топология нейросетей задается исходя из эвристических соображений и часто имеет избыточную структуру – избыточность свободных параметров нейронной сети (веса, нейроны) приводит к ухудшению результатов настройки сети, известному как *overfitting* – когда свободные параметры начинают подстраиваться под шум, отклоняя процесс обучения НС от оптимального [3]. Также при обучении иногда приходится сталкиваться со "сваливанием" функции в локальный минимум, а веса межнейронных связей и нелинейность функции активации нейронов не поддаются анализу и интерпретации человеком. В данной статье представлена возможность расширения интеллектуальных свойств обучаемых сетей за счет применения так называемых самоорганизующихся (растущих или эволюционирующих) булевых сетей [4], структура которых минимальна и поддается интерпретации в виде логических высказываний. Этот подход, ориентируемый на объединение принципов обучаемости и интерпретируемости, соответствует целям и задачам Data Mining.

Воспользуемся нечетким или интервальным представлением переменных, в рамках которого значения входных переменных x_i , кодируются значениями 0 и 1.

Дополнительные условия и ограничения

Потребуем, чтобы самоорганизация искомой нейросети была возможной при следующих условиях. Во-первых, классификация имеющихся исходов, осуществляемая одним или несколькими экспертами, не исключает ошибок из-за отсутствия четких критериев. Разделяющая способность или информативная ценность признаков x_1, \dots, x_M предварительно не известна. Эти признаки могут быть разнородными: количественными, булевыми (принимающими значения 0 и 1) или номинальными.

Во-вторых, для обучения не требуется устанавливать ни число слоев нейронной сети, ни количество нейронов в них. Обученная нейронная сеть должна состоять из ми-

нимального числа слоев и нейронов (т.е. иметь минимальную сложность). Количество синаптических связей, также как и число M признаков, должно быть минимальным. При всем этом обученная нейронная сеть должна допускать минимальное количество ошибок на классифицированной выборке.

В-третьих, обученная нейронная сеть должна быть адекватно представлена в виде компактной системы логических уравнений или продукций, используемых в экспертных системах. При необходимости извлеченная система логических уравнений может быть табулирована и использована в диагностических целях без применения компьютера. В обоих случаях вырабатываемые решения должны сопровождаться оценкой их принадлежности к классам.

И, наконец, время, необходимое для самоорганизации нейронной сети и реализации найденных правил, должно быть минимальным.

Нахождение ближайших разделяющих булевых функций

На вход сети подаются векторы геофизических и геохимических параметров. Переменная x_i кодируется 0 или 1 в зависимости от величины порога u_i и пороговых функций $h(u_i)=1$ и $h(u_i)=0$ [4].

Далее происходит наращивание слоев нейронной сети методом самоорганизации [4]. В соответствии с правилами декомпозиции слоистые нейронные сети представляются состоящими из формальных нейронов, имеющих два входа и один выход. Поведение таких нейронов описывается несколькими логическими функциями двух переменных. Первый вход нейрона r -го слоя всегда связан с выходом j -го нейрона предыдущего ($r-1$)-го слоя. Вторые входы нейронов связаны с одной из переменных x_1, \dots, x_m .

Выбор связей активными нейронами однозначно определяет структуру соединений всей нейронной сети. Полученная сеть является минимальной по своей структуре. Значимость или разделяющая способность переменной x_i оценивается количеством нейронов в сети, использующих эту переменную.

Синтезированную сеть легко представить в виде системы логических формул s_1, \dots, s_N :

$$y = M\text{-of-}N(s_1, \dots, s_N), \quad (1)$$

$$s_i = g(x_k, x_l), \quad i = 1, \dots, N, \quad (2)$$

где M – число выходов, которое достаточное для принятия решения;

N – количество всех нейронов с нулевой ошибкой распознавания.

В данном случае число M является уровнем принятия решения и выбирается в диапазоне от N_1 до N , где:

$$N_1 = \frac{N}{2} + 1 \quad \text{для четного } N,$$

$$N_1 = \frac{N+1}{2} \quad \text{для нечетного } N.$$

Очевидно, что достоверность принятого решения будет увеличиваться с ростом числа M и будет максимальной в случае $M = N$.

Описанный метод самоорганизации нейросети использовался для прогнозирования залежей нефти на Южно-Черемшанском месторождении (рис.3).

Обучающая выборка была составлена из 12-ти примеров (разведочных скважин), семь из которых были нефтяными, а пять – вода с признаками нефти, закодированные 1 и 0, соответственно. На вход сети подаются векторы геофизических и геохимических параметров, соответствующие на карте точкам разведочных скважин.

После обучения синтезированная сеть безошибочно классифицировала все предъявленные ей примеры. Она содержит три слоя: в первом из них содержится 22 нейрона, во втором – 24, в третьем – 12.

На принятие сетью решения влияют девять переменных $x_1, x_2, x_3, x_5, x_6, x_7, x_8, x_9, x_{10}$ из десяти. Эти входы образуют соответственно 5, 5, 5, 9, 5, 14, 14, 14 и 8 соединений в сети, представляя таким образом информативный вклад (значимость) каждого из параметров в принятие решения.

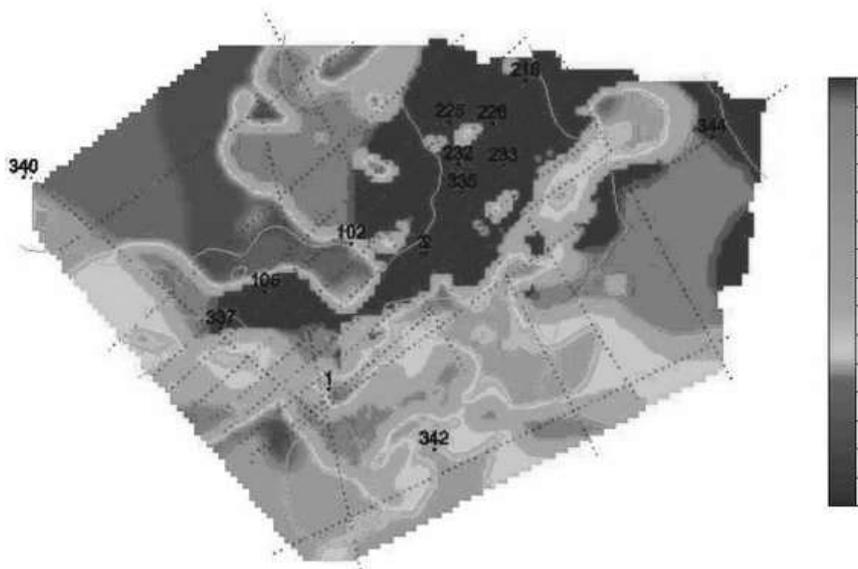


Рис. 3. Карта комплексного прогнозного параметра Южно-Черемшанского месторождения

В заключение статьи следует отметить, что поскольку обученная сеть булева, искомые решения могут быть представлены в виде решающих (диагностических) правил "Если..., то", позволяющих диагностировать классы (нефть, вода). Данная технология позволяет выйти на новый качественный уровень камеральной обработки и интерпретации геологоразведочных данных, связанный с интеллектуальным прогнозом.

Список литературы

1. Горбачев С.В., Рудаков И.Б. Нейросетевые технологии поиска полезных ископаемых // Известия высших учебных заведений. Физика. 2013. № 10/2. С. 16.
2. Горбачев С.В., Сыряжкин В.И., Рудаков И.Б. Распознавание сложнопостроенных залежей нефти, газа на основе нейро-нечетких портретов. Saarbrücken: LAMBERT Academic Publishing, 2013. 173 с.
3. Christopher M. Bishop. Neural Network for Pattern Recognition. Oxford: Oxford University Press, 1997. 504 p.
4. Ivakhnenko A.G., Muller J.A. Self-organization of nets of active neurons // System Analysis Modeling and Simulation. 1995. V. 20. P. 29.

**ПОЛУЧЕНИЕ ЗАЭВТЕКТИЧЕСКИХ СИЛУМИНОВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АМОРФНОГО МИКРОКРЕМНЕЗЁМА –
ОТХОДА ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО КРЕМНИЯ
PRODUCTION OF HYPEREUTECTIC SILUMINS USING
AMORPHOUS SILICON DIOXIDE – CRYSTALLINE SILICON
PRODUCTION WASTE**

Кузьмин Михаил Петрович**, Ларионов Леонид Михайлович*,
Кузьмина Марина Юрьевна*, Кузьмина Алина Сергеевна*
Kuzmin Mikhail Petrovich**, Larionov Leonid Mikhailovich*,
Kuzmina Marina Yuryevna*, Kuzmina Alina Sergeevna***

* *Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия,
Иркутск*

** *Байкальский государственный университет, Россия, Иркутск*

Аннотация: В работе проведён обзор существующих способов получения силуминов. Показана возможность получения литейных сплавов с использованием аморфного микрокремнезёма, а также перспективность данного направления исследований. Исследованы различные методы введения частиц SiO₂ в алюминиевый расплав. Определено, что наибольшей эффективностью обладает способ получения литейных силуминов путём восстановительного обжига кремнийсодержащей шихты (60% SiO₂, 40% Al + 20% 3NaF·2AlF₃) при t = 800°C и последующей индукционной плавки спёка совместно с алюминием под слоем низкомодульного криолита. Установлено, что кремний, образующийся при обжиге таблетированной шихты, плавно усваивается алюминиевым расплавом. Оксид алюминия, полученный в ходе окислительно-восстановительной реакции, растворяется в криолите, после чего алюминий и кремний сплавляются и переходят в расплав. Определено, что данный способ обеспечивает полное усвоение кремния из состава аморфного диоксида кремния в расплаве алюминия и позволяет получать заэвтектические литейные силумины с содержанием кремния более 16% (масс.).

Abstract: In the paper the survey of existing methods of obtaining silumins has been conducted. The possibility of obtaining of foundry alloys using amorphous microsilica as well as the prospects of this research area have been shown. Different methods of adding SiO₂ particles into molten aluminum have been studied. It has been determined that the most efficiency is inherent to the method of foundry silumins obtaining by reducing roasting of the silicon-containing burden (60% SiO₂ – 40% Al – 20% 3NaF·2AlF₃) at t = 800°C and induction smelting of sinter together with aluminum under the layer of low modulus cryolite was studied. It has been established that silicon, which is formed during the roasting of the tableted burden, is smoothly absorbed by the aluminum melt. Aluminum oxide, obtained during the redox reaction, dissolves in cryolite, after which aluminum and silicon are fused together and transferred to the melt. It has been determined that this method provides the complete absorption of silicon (from the composition if its oxide) in the aluminum melt and allows to obtain silumins corresponding to GOST 1583–93 with a silicon content of more than 16 wt. %.

Ключевые слова: алюминий, алюминиевые сплавы, силумины, диоксид кремния, микрокремнезём, пыль производства технического кремния, криолит, переработка отходов.

Keywords: aluminum, aluminum alloys, silumins, microsilica, nanosized particles, silicon dioxide, silicon production dust, cryolite, waste recycling.

Самым востребованным продуктом на рынке потребления алюминия являются алюминиевые сплавы, позволяющие создавать продукцию, свойства которой полностью отвечают запросам конечного потребителя. Наиболее распространёнными литейными алюминиевыми сплавами являются силумины. Силумины представляют собой группу алюминиевых сплавов, основным легирующим элементом которых является кремний. Востребованность силуминов обеспечивается уникальным сочетанием их основных свойств: низкая плотность, высокая жидкотекучесть, относительно низкая усадка, низкая склонность к образованию напряжений и трещин, высокие значения прочностных свойств, износостойкости и жаропрочности [1, 2].

Литейные силумины могут быть получены электротермическим, металлотермическим, электролитическим способами, а также путём растворения кремния в алюминиевом расплаве [3–5]. Первые три способа являются одностадийными (т.е. из исходного сырья – кремнезёма в рудотермических печах или электролизёрах получают силумин), однако в связи со сложностью получения сплавов заданного состава, а также возможностью загрязнения сплавов примесями и неметаллическими включениями данные способы не нашли широкого промышленного применения [7].

Сегодня на алюминиевых заводах основным способом получения силуминов в чушках является растворение кремния в алюминиевом расплаве. Главным достоинством способа является возможность получения сплавов с заданным содержанием кремния. Однако данный способ имеет и ряд существенных недостатков – большие безвозвратные потери металла за счёт угара и низкое усвоение кремния мелких фракций (менее 5–6 мм).

Таким образом, получение сплавов системы Al–Si по существующей схеме предполагает наличие двух металлургических производств – первичного алюминия и кремния, что влечёт за собой высокие экономические и энергетические затраты. В то же время, при производстве кремния образуются отходы, а именно пыль систем газоочистки электротермических печей, состоящая на 85–95 мас.% из микро- и наночастиц аморфного диоксида кремния. Выход пыли производства технического кремния колеблется от 300 до 1000 кг на 1 тону товарного кремния.

Использование в качестве источника кремния пыли, образующейся при производстве технического кремния, может позволить повысить эффективность технологического процесса получения силуминов за счёт уменьшения материальных затрат на приобретение товарного кремния.

Целью работы являлась разработка технологии низкотемпературного получения заэвтектических литейных силуминов (соответствующих требованиям ГОСТ 1583–93), с использованием аморфного микрокремнезёма.

Методика исследований

Для проведения лабораторных исследований по получению силуминов с использованием аморфного кремнезёма в качестве металла – основы использовался алюминий технической чистоты со следующим содержанием основных примесей, % (масс.): Si – 0,10, Fe – 0,112, Mg – 0,02, Mn – 0,023, Cu – 0,015, Zn – 0,031, Ga – 0,001, Ti – 0,001, V – 0,001. В работе использован аморфный микрокремнезём, являющийся продуктом систем газоочистки печей производства кремния.

Были отработаны различные способы введения диоксида кремния в алюминиевый расплав [8]: на поверхность расплава; на дно тигля с последующей заливкой расплавом; с использованием механического держателя (в колокольчике); методом порционного введения частиц в воронку, образующуюся при механическом перемешивании расплава; в виде таблетированных лигатур “алюминиевый порошок–SiO₂”; путём замешивания частиц в расплав, находящийся “в твёрдожидком состоянии” [8]; путём вдувания частиц SiO₂ в расплав совместно с потоком аргона [9]; индукционная плавка предварительно подготовленной шихты (60% SiO₂, 40% Al + 20% 3NaF·2AlF₃) под слоем криолита.

Существуют ряд факторов, осложняющих получение силуминов с использованием аморфного микрокремнезёма путём его простого введения в алюминиевый расплав: малая площадь контакта микрокремнезёма с расплавом; наличие газовых плёнок на поверхности частиц микрокремнезёма, препятствующих эффективному взаимодействию на границе раздела жидкой и твёрдой фаз; присутствие в порошке 40–50% (об.) воздуха, снижающего его плотность, теплоёмкость и теплопроводность; наличия у частиц микрокремнезёма развитой поверхности.

В связи с этим первые четыре способа показали низкую эффективность, поскольку при их реализации не удалось обеспечить постоянный контакт в системе $\text{Al(ж)}\text{--SiO}_2$ и переход кремния в алюминиевый расплав.

Использование таблетированных лигатур обеспечивает восстановление кремния, однако процесс имеет место непосредственно в зоне контакта расплава с поверхностью таблетки, а также в самом объёме таблетки [8].

Введение микрокремнезёма в расплав в твёрдо-жидком состоянии позволяет получить сплавы с содержанием кремния до 3% (масс.). Это объясняется тем, что в твёрдо-жидком состоянии алюминиевый расплав обладает высокой вязкостью, что облегчает замешивание в него дисперсных частиц [8].

Способ вдувания диоксида кремния в алюминиевый расплав в потоке аргона позволил получить доэвтектические сплавы с содержанием кремния ~ 6 мас.% [9]. Обеспечить интенсивное взаимодействие в системе $\text{Al}_\text{ж}\text{--SiO}_2$ удалось за счёт предварительной термической обработки аморфного кремнезёма, позволившей удалить с поверхности его частиц газовые плёнки и, как следствие, обеспечить уменьшение поверхностного натяжения расплава, а также снижение энергии межфазного взаимодействия между твёрдой и жидкой фазой. Ускорение процесса восстановления кремния из его оксида было обеспечено введением частиц кремнезёма в алюминиевый расплав совместно с потоком аргона, их последующим интенсивным перемешиванием, а также легированием расплава магнием, выступающим в роли поверхностно-активной добавки, позволяющей удалять кислород с поверхности дисперсных частиц.

Однако наибольшую эффективность продемонстрировал способ получения силуминов путём индукционной плавки предварительно подготовленной (спечённой) кремнийсодержащей шихты, состоящей из диоксида кремния, алюминиевого порошка (или алюминиевой стружки) и криолита.

Целью предварительной подготовки шихты являлось восстановление кремния из аморфного микрокремнезёма. Операция выполнялась последовательно в несколько этапов:

1) подготовка шихты, состоящей из диоксида кремния (60 мас.%), алюминиевого порошка ПА–2 (или алюминиевой стружки) (40 мас.%) и низкомодульного криолита в количестве 20% от массы основных компонентов. Криолит в составе шихты необходим для создания атмосферы восстановительного обжига и смещения равновесия реакции $3\text{SiO}_2 + 4\text{Al} \rightarrow 2\text{Al}_2\text{O}_3 + 3\text{Si}$ в сторону образования готовых продуктов.

2) прессование смеси в таблетку (с помощью гидравлического пресса П6324Б УХЛ 4.1 Тамбовского завода технологического оборудования с усилием 100 кН);

3) обжиг таблетки при температуре 800°C в течение 30 мин (с использованием шахтной печи LF 70/13–G1).

4) измельчение полученного спёка (на планетарной шаровой мельнице РМ 100) до фракции 100 мкм, обеспечивающей максимальную степень контакта в системе $\text{Al}\text{--Si}$.

После завершения подготовительных операций кремнийсодержащая шихта загружалась в тигель из борсилицированного графита. Далее в тигель помещался твёрдый алюминий. После чего производилась его засыпка пятисантиметровым слоем криолита, откорректированным фтористым алюминием до температуры плавления при 800°C (к.о. = 1,5). Плавка проводилась в индукционной печи при температуре 850–900°C. После расплавления

ния металла, осуществлялось его интенсивное механическое перемешивание в течение 5 минут.

Результаты и их обсуждение

Проведённые исследования показали, что при вдувании аморфного кремнезёма в алюминиевый расплав в потоке аргона представляется возможным обеспечить получение только доэвтектических сплавов. Это обусловлено как физическими свойствами кремнезёма (аморфная структура, размер частиц, плотность), так и технологическим оформлением процесса (имеет место охлаждение снижение температуры расплав при его длительной продувке аргоном) [9]. В связи с этим было установлено, что для получения эвтектических и заэвтектических силуминов необходимым является предварительная подготовка кремнийсодержащей шихты, включающая прессование смеси (60% SiO₂, 40% Al, 20% 3NaF·2AlF₃) в таблетки, их обжиг ($t = 800^{\circ}\text{C}$) и последующее измельчение спёка до фракции 100 мкм.

Выбор температуры спекания обусловлен необходимостью создания условий для протекания твердофазного взаимодействия. Измельчение спёка призвано обеспечить увеличение площади его контакта с алюминиевым расплавом.

В результате спекания кремнийсодержащей шихты практически весь кремний микрокремнезёма (более 95 мас. %) восстанавливается. Насыпной вес полученной шихты составил 1,6 г/см³. Данное значение не превышает плотность расплавленного низкомолекулярного криолита, что обеспечивает возможность создания механической смеси данных компонентов. В среде криолита оксид алюминия растворяется, а алюминий и кремний переходят в расплав. Для наиболее полного протекания данного процесса была обеспечена оптимальная концентрация Al₂O₃ в криолите, составляющая 10–11 мас.% [15].

Кремний, образующийся при обжиге таблетки (в результате протекания реакций в твёрдых фазах), усваивается алюминиевым расплавом. Оксид алюминия, полученный в результате протекания окислительно-восстановительной реакции, растворяется в криолите. Установлено, что концентрация глинозёма в криолите 19,7 мас. % обеспечивает наличие равновесной системы с температурой эвтектики 962°C и его полное растворение. После чего алюминий и кремний сплавляются и переходят в расплав.

В ходе проведения экспериментальных исследований в тигель, выполненный из боросилицированного графита, загружалось 780 г шихты (состоящей на 28% из кремния, на 50% из оксида алюминия и на 20% криолита), 1000 г алюминия марки А7, а также 500 г криолита. В результате опытной плавки был получен заэвтектический сплав ($m = 1340$ г) с содержанием кремния более 16% (масс.), что подтверждается результатами оптико-эмиссионной спектроскопии (таблица 1).

Таблица 1. Содержание примесей в исходном алюминии и полученном сплаве

Содержание примесей, мас.%									
	<i>Si</i>	<i>Fe</i>	<i>Mg</i>	<i>Mn</i>	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Ga</i>	<i>Ti</i>	<i>V</i>
Исходный алюминий	0,110	0,112	0,004	0,023	0,011	0,009	0,001	0,008	0,005
Полученный сплав	16,40	3,072	0,004	0,085	0,012	0,009	0,001	0,008	0,005

Полученные результаты демонстрируют, что практически весь кремний и алюминий, находившийся в шихте в виде Al₂O₃, перешли в расплав. Увеличение содержания железа в полученном сплаве до 3,072 мас.% обусловлено использованием лабораторной мешалки со стальным импеллером. Для уменьшения содержания железа в сплаве и предотвращения снижения комплекса механических и литейных свойств стальной импеллер может быть заменён на титановый, а перемешивание может осуществляться электромагнитным способом.

Криолит от плавки с целью снижения материальных затрат сливали отдельно для вторичного использования.

Таким образом, опытным путём доказана возможность практически полного усвоения кремния из состава аморфного диоксида кремния в расплаве алюминия, и получения заэвтектических силуминов.

На дифрактограмме образца, принадлежащего полученному сплаву присутствуют пики, соответствующие алюминию, кремнию, а также интерметаллическим соединениям на основе железа (рис. 1).

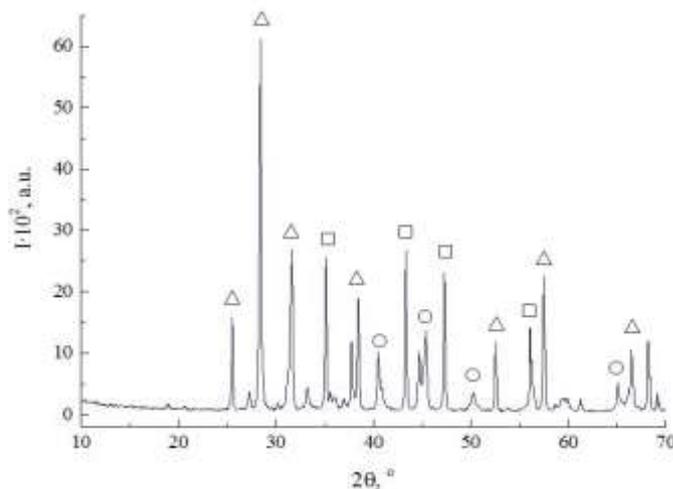


Рис. 1. Дифрактограмма полученного сплава в 2θ диапазоне $10\text{--}70^\circ$ (Δ – пики Al ; \square – пики Si ; \circ – пики $FeSiAl_5$)

Наиболее высокой интенсивностью обладают пики, соответствующие металлическому алюминию ($2\theta = 26,3^\circ; 28,1^\circ; 32,4^\circ; 38,5^\circ; 57,9^\circ; 68,1^\circ$) и кремнию ($2\theta = 35,2^\circ; 44,7^\circ; 47,3^\circ; 56,2^\circ$). Также на дифрактограмме, вследствие высокой степени легирования сплава, присутствуют пики железосодержащей фазы $\beta\text{-FeSiAl}_5$ ($2\theta = 41,8^\circ; 45,9^\circ; 50,7^\circ; 65,8^\circ$), что согласуется с литературными данными [2–5,11–15].

Макроструктура полученного сплава является однородной, индекс плотности полученного слитка составляет 2,3 %. Структура образца мелкозернистая – средний размер зерна 0,85 мм (рис. 2).

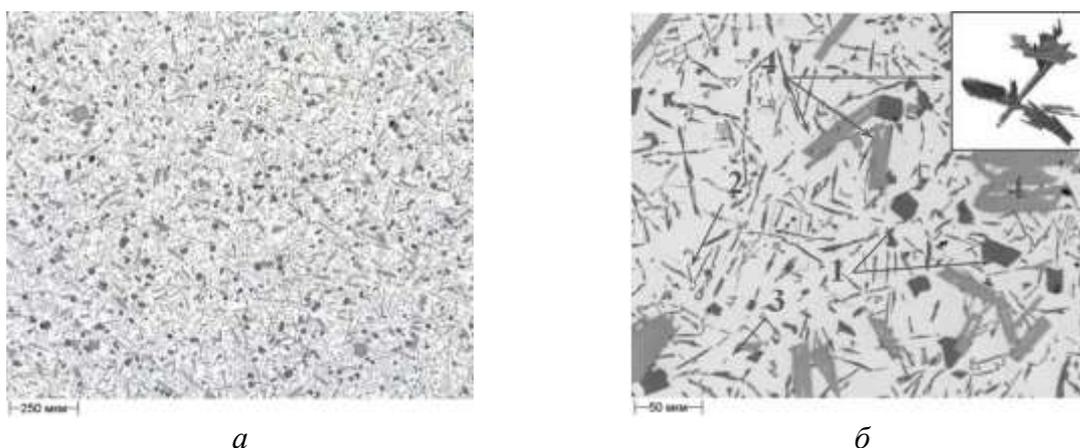


Рис. 2. Микроструктура полученного заэвтектического силумина

(1 – кристаллы первичного кремния; 2 – кристаллы эвтектического кремния; 3 – кристаллы вторичного кремния; 4 – железосодержащие фазы $\beta\text{-FeSiAl}_5$)

Микроструктура сплава состоит из следующих компонентов:

- кристаллов первичного кремния в виде ограниченных пластин со средним размером 10 мкм;
- кристаллов эвтектического кремния;
- мелких равноосных частиц вторичного кремния размером до 1 мкм;
- крупных включений железосодержащих фаз β -FeSiAl₅, представляющих собой сложные трёхмерные структуры (вставка на рис. 2, б), имеющих на микрошлифе форму пластин толщиной 1–8 мкм и длиной 10–50 мкм.

Дендритных ячеек второго порядка в структуре силумина не наблюдается в связи с высоким содержанием в нём железа.

В заключение статьи следует отметить, что в результате проведённых исследований был предложен эффективный способ получения заэвтектических марочных сплавов методом индукционной плавки кремнийсодержащей шихты, в ходе предварительного спекания которой происходит восстановление кремния из аморфного микрокремнезёма. Способ позволил получить силумины с содержанием кремния 16,40 мас. %. Таким образом, опытным путём была доказана возможность практически полного усвоения кремния из состава аморфного диоксида кремния в расплаве алюминия и получения сплавов с заданным содержанием кремния.

Список литературы

1. Кузьмин П.Б., Кузьмина М.Ю. О производстве чушек первичных силуминов, модифицированных стронцием // Литейное производство. 2014. 8, 2-5.
2. Zhi-kai Zheng, Yong-jian Ji, Wei-min Mao, Rui YUE, Zhi-yong Liu Influence of rheo-diecasting processing parameters on microstructure and mechanical properties of hyper-eutectic Al–30 % Si alloy // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2017. Vol. 27. 1264-1272.
3. Steent A.H., Hellawell A. Structure and properties of aluminium-silicon eutectic alloys [J], Acta Metallurgica. 1972. 20. 363-370.
4. Stanisław Pietrowski Characteristic features of silumin alloys crystallization // Materials & Design. 1997. 18 (4–6). 373-383.
5. Bo Jiang, Zesheng Ji, Maoliang Hu, Hongyu Xu, Song Xu A novel modifier on eutectic Si and mechanical properties of Al-Si alloy// Materials Letters. 2019. 239. 13-16.
6. Понов С.И. Металлургия кремния в трехфазных руднотермических печах. Иркутск: ЗАО «Кремний». 2004. 237 с.
7. Айлер Р. Химия кремнезёма. М.: Мир. 1982. 416 с.
8. Kuz'min M.P., Kondrat'ev V.V., Larionov L.M., Kuz'mina M.Y., Ivanchik N.N. Possibility of preparing alloys of the Al–Si system using amorphous microsilica // Metallurgist. 2017. 61. 86-91.
9. Kuz'min M.P., Kondratiev V.V., Larionov L.M. Production of Al-Si Alloys by the Direct Silicon Reduction from the Amorphous Microsilica // Solid State Phenomena. 2018. 284. 647-652.
10. Арабей А.В., Рафальский И.В. Синтез алюминиево-кремниевых сплавов методом прямого восстановления кремния с использованием алюмоматричных композиционных лигатур // Литье и металлургия. 2011. 3 (61). 19-25.
11. Луц А.Р. Ресурсосберегающие способы синтеза силуминов с использованием кварцсодержащих материалов, лома и отходов алюминиевых сплавов: дис. канд. техн. наук. Самара, 2006. 225 с.
12. J.H. Jeon, J.H. Shin, D.H. Bae Si phase modification on the elevated temperature mechanical properties of Al-Si hypereutectic alloys // Materials Science & Engineering A. 2019. 748. 367-370.

13. *Shaodong Hu* Effect of a magnetic field on macro segregation of the primary silicon phase in hypereutectic Al-Si alloy during directional solidification // Journal of Alloys and Compounds. 2017. 722/ 108-115.

14. *Chong Lin, Shu-sen Wu, Shu-lin Lü, Jin-biao Zeng, Ping An* Dry sliding wear behavior of rheocast hypereutectic Al-Si alloys with different Fe contents // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. 2016. 26. 665-675.

15. *H.K. Feng, S.R. Yu, Y.L. Li, L.Y. Gong* Effect of ultrasonic treatment on microstructures of hypereutectic Al-Si alloy // Journal of Materials Processing Technology. 2008. 208 (1-3). 330-350.

УДК 615.849.12

**О КОНЦЕПЦИИ ПРОЕКТА СОЗДАНИЯ В РОССИИ СЕТИ
ФЕДЕРАЛЬНЫХ ЦЕНТРОВ ИОННОЙ ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ
ABOUT THE CONCEPT OF THE PROJECT TO CREATE A
NETWORK OF FEDERAL ION RADIATION THERAPY CENTERS IN
RUSSIA**

Дементьев Георгий Станиславович *, Малахов Александр Иванович ***
Dementiev Georgy Stanislavovich *, Malakhov Alexander Ivanovich ***

** Российская Инженерная Академия, Россия, Москва*

** Russian Academy of Engineering (RAE)*

(e-mail: geo-dem@yandex.ru; e-mail: malakhov@lhe.jinr.ru)

***Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Россия*

*** Joint Institute for Nuclear Research, Russia*

Аннотация: Рассмотрены подходы к обоснованию необходимости создания сети федеральных центров ионной лучевой терапии, а также количества центров и их состава.

Abstract: Approaches to substantiating the need to create a network of Federal ion beam therapy centers, as well as the number of centers and their composition, are considered.

Ключевые слова: ионная лучевая терапия, пик Брэгга.

Keywords: ion beam therapy, Bragg peak

В России, как и во всем мире, наблюдается устойчивый рост онкологической заболеваемости и за период с 2006 (475432 заболевания) по 2017 год (617177 заболеваний) прирост составил 29,8% [1]. В 2017 году в России онкологические заболевания стали причиной смерти 294587 человек [2], что составило 15,6% от общего числа умерших в России, уступив только количеству умерших по причине заболевания системы кровообращения (47,8%).

Рост онкологической заболеваемости обуславливается рядом факторов, среди которых и увеличение числа заболевших и возрастной группе менее 50 лет, и рост детской онкологии. При этом имеется и фактор, связанный с увеличением возрастной группы населения 60 и более лет, т.к. среди всех онкобольных, представители данной группы составляют более 80%. Надо отметить, что последний фактор приобретает особую значимость на фоне отмеченного выше значительного снижения смертности от за-

болеваний системы кровообращения и наблюдаемой при этом тенденции на увеличение продолжительности жизни россиян.

Мировые практики показывают, что основным направлением снижения смертности от онкозаболеваний в настоящее время является развитие и внедрение в лечебную практику высокотехнологичных технологий диагностики и лечения, например, таких, как ионная (протонная) лучевая терапия.

История протонной и ионной терапии началась в 1946 году в лаборатории в городе Беркли (США), где был запущен мощный циклотрон и физик Роберт Вильсон предложил получаемые на этом циклотроне пучки протонов и ионов использовать в радиационной (лучевой) терапии.

В настоящее время существует четкое разделение на протонную и ионную терапию и обусловлено оно тем, что ионы располагают кратно большей кинетической энергией чем протоны. Последнее, в свою очередь, обуславливает различные механизмы воздействия ионов и протонов на клетки. Данные различия состоят в том, что протоны воздействуют на клетку посредством активных радикалов, образовавшихся в момент ионизации молекул воды (косвенное воздействие), в то время как ионы воздействуют на клетку большей частью за счет высоко энергитичных дельта-электронов (прямое воздействие). Именно описанные отличия и объясняют, во-первых, то, что облучение ионами сопровождается значительно большей относительной биологической эффективностью по сравнению с облучением протонами и при ионной терапии требуется примерно в 2 раза меньшее количество сеансов облучения, а, во-вторых, объясняет эффективность ионной лучевой терапии при облучении радиорезистентных опухолей.

Исследования [3, 4] показывают, что минимум для 15% больных, нуждающихся в лучевой терапии (а это по результатам 2016 года в России более 60 тыс. пациентов), протонная и ионная лучевая терапия является более эффективным вариантом лучевого лечения, при этом из этого числа ежегодно минимум для 36 тыс. онкобольных, имеющих неоперабельные радиорезистентные опухоли, ионная лучевая терапия является альтернативной.

Надо подчеркнуть, что указанные 36 тыс. онкобольных составляют порядка 12% от умерших в 2016 году в России от онкозаболеваний и потому создать условия, при которых у таких онкобольных появляется возможность вылечиться - важная социальная задача федерального уровня.

Создание сети Федеральных Центров ионной лучевой терапии позволит эффективно решать следующие задачи.

Во-первых, эффективность применение высокотехнологичных медицинских центров, а особенно реализующих такие сложные технологии как протонная или ионная терапия, очень чувствительна к своевременному и качественному освоению новых методик лечения. Наличие сети позволит реализовать оптимальное распределение ресурсов на создание новых методик лечения и обеспечит их быстрое освоение во всех центрах. Кроме того, наличие сети позволяет организовать постоянно действующую телекоммуникационную консультационную связь, т.к. невозможно иметь во всех центрах специалистов по всему множеству нозологий.

Во-вторых, сеть позволит планомерно готовить кадры специалистов для всех Центров, оперативно замещать выбывших специалистов.

В-третьих, объединение центров в сеть облегчает и удешевляет поддержание заданного технического уровня оборудования Центров, его обновление, помогает сразу во всех центрах оперативно улучшать систему планирования лечения, что напрямую влияет на эффективность лечения.

Все Центры должны иметь статус Федеральных, т.к. на каждый центр должны быть замкнуты несколько Субъектов Федерации. Без этого невозможно обеспечить по-

стоянный поток пациентов и организовать целевое финансирование их лечения. Очевидно, что в данном случае целесообразна привязка Центров к Федеральным Округам.

При обосновании состава сети основным является: расчет количества Федеральных Центров ионной терапии; определение оптимального количества радиационных процедурных в Центрах; выбор базовой технологии выполнения процедуры облучения, начиная с укладки пациента и заканчивая контролем качества проведенной процедуры; выбор типов основного оборудования.

Важнейшим моментом, влияющим на количество Центров и, соответственно, на количество радиационных процедурных в Центрах является выбор типов основного оборудования.

Сердцем любого центра ионной или протонной терапии является ускоритель заряженных частиц. Основными требованиями к нему являются стабильность параметров ускоряемого пучка частиц, надежность, компактность и экономичность в эксплуатации.

Сегодня в центрах протонной терапии в качестве ускорителей применяются циклотроны и синхротроны. Циклотроны имеют преимущество перед синхротронами в том, что они более компактны, дешевле в производстве и эксплуатации, проще в конструкции и соответственно более надежны. Однако у них есть особенности, которые не позволяют их применение в центрах ионной терапии. Эти особенности связаны с тем, что циклотроны, в силу принципа их работы на выходе имеют постоянную энергию ускоренных частиц, а для того что бы пик Брэгга находился на определенной, нужной глубине требуется управляемое изменение энергии пучка ионов или протонов.

Для решения задачи изменения энергии частиц, ускоренных циклотронами, используются физические замедлители. Это позволяет использовать циклотроны в лучевой терапии, но характеризуется тем, что частицы замедляются не одинаково, т.е. мы получаем пучок частиц, которые затормаживаются с некоторым разбросом по глубине. Кроме того, сама величина такого разброса и плотность распределения по нему самих частиц не постоянны.

Еще одна особенность применения циклотронов заключается в том, что при механическом замедлении пучков частиц, ускоренных циклотроном, время, потребное для изменения энергии пучка, соизмеримо с требуемым временем облучения. Это в несколько раз увеличивает суммарное время проведения облучения и естественно значительно увеличивает время нахождения пациента в процедурной.

При использовании же синхротрона, выше упомянутые недостатки отсутствуют, т.к. изменение энергии выводимого пучка в синхротроне происходит электронно и занимает доли секунды, а сам пучок более монохроматичен, что позволяет более точно создавать дозные поля.

С учетом описанного выше сегодня в ионной терапии применяются только синхротроны, а потому и в составе основного оборудования Федеральных Центров предлагается использовать именно синхротроны.

К сожалению, сегодня в России отсутствуют технические наработки, на базе которых возможно производство медико-технической части основного оборудования, устанавливаемого в радиационных процедурных. Поэтому оборудование медико-технической части для радиационных процедурных в первых создаваемых центрах целесообразно использовать аналогичное, используемому в ведущих действующих центрах ионной терапии, таких, как например центр ионно-протонной терапии МедАустрон в Австрии.

Использование уже применяемого оборудования медико-технической части в пилотном Федеральном Центре ионной терапии позволит качественно подготовить медицинский и инженерный персонал пилотного центра. Благодаря этому обученный персонал сможет активно участвовать во вводе в эксплуатацию данного оборудования

и, после запуска центра, сможет в кратчайшие сроки обеспечить лечение максимального количества пациентов.

Немаловажным является то, что упомянутое оборудование медико-технической части сертифицировано в Европе, что позволит при введении его в эксплуатацию не проводить клинические испытания, а ограничиться клиническим опробыванием. Последнее экономит много времени при вводе центров в эксплуатацию.

Для расчета количества Федеральных Центров и количества в них радиационных процедурных необходимо принять следующие исходные условия.

Что бы рассчитать требуемое общее количество радиационных процедурных необходимо определиться средним количеством процедур для лечения 1 пациента. История клинического применения ионной лучевой терапии сопровождается устойчивым снижением требуемого количества процедур. Это связано прежде всего с тем, что увеличивается количество фракций в ходе проведения 1 процедуры. Так, например, сегодня в Национальном институте радиологических исследований в Японии немелкоклеточный рак легких I и II стадий в половине случаев лечится за одну процедуру [5] с излечиваемостью порядка 97%.

Опираясь на клинические результаты [6], полученные в центрах ионной терапии в 2017 году, примем для расчетов среднее количество процедур равным 12.

Продолжительность процедуры с учетом опыта работы в вышеупомянутом центре МедАустрон примем равным 20 минут.

С учетом необходимости ежегодного технического обслуживания Центров принимаем, что в году по прямому назначению они будут эксплуатироваться 250 суток. Режим работы 2-сменный, по 6 часов каждая смена.

С учетом приведенных выше исходных условий получаем, что для лечения пучками ионов ежегодно 36 тыс. онкобольных требуется 36 радиационных процедурных.

Оптимальное количество радиационных процедурных в одном Центре определяется следующим образом.

Суммарная средняя продолжительность непосредственно облучения 1 пациента составляет в среднем 4 минуты, поэтому, исходя из длительности всей процедуры до 20 минут (включая укладку пациента на стол, верификацию укладки, облучение и съем пациента со стола), число радиационных процедурных в Центре должно не превышать 5. Однако учитывая, что при выполнении процедуры лечения при изменении позиционирования пациента могут возникать задержки (например, из-за необходимости проведения дополнительной верификации укладки), то для исключения вынужденного «простоя» ускорителя количество радиационных процедурных в одном Центре примем в количестве 4.

Принимая, что в каждом Центре будет по 4 радиационных процедурных, получаем сеть Федеральных Центров ионной лучевой терапии в количестве 9 Центров. Исходя из статистики онкозаболеваний в России [1] целесообразно разместить 2 Центра в Центральном Федеральном Округе и остальные Центры по 1 в других Федеральных Округах.

Мировой опыт показывает, что первые в стране высокотехнологические клинические медицинские центры ионной лучевой терапии обычно создают при университетах и университетских клиниках (например, центр в Гейдельберге в Германии, центры в Японии). Это обусловлено тем, что наряду с разработкой и освоением новых технологических решений главным вопросом является создание системы подготовки кадров.

Поэтому создание сети Федеральных Центров ионной лучевой терапии целесообразно начинать с строительства пилотного Центра ионной лучевой терапии при одном из учебных учреждений, осуществляющих подготовку специалистов в области медицины, специалистов в ядерной области, специалистов – медицинских физиков. Кро-

ме того, данной учебное заведение должно обладать достаточно развитой научной базой в области ускорительной техники, биофизики. На сегодняшний день этим требованиям в наибольшей степени соответствует МГУ им. М.В. Ломоносова.

Список литературы

1. под редакцией А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой, МНИОИ им. П.А.Герцена, Состояние онкологической помощи населению России в 2019 году, <http://www.oncology.ru/service/statistics/condition/2019.pdf>
2. Федеральная служба государственной статистики России, Естественное движение населения в разрезе субъектов Российской Федерации за январь-декабрь 2019 года, http://www.gks.ru/free_doc/2019/demo/edn12-16.htm
3. Hirohiko Tsujii. Overview of Carbon-ion Radiotherapy. Research Center for Charged Particle Therapy, National Institute of Radiological Sciences, Inage-ku Anagawa 4-9-1, Chiba 263-8555, Japan
4. Yves Lemoigne, Alessandra Caner. Radiotherapy and Brachytherapy. Springer Science & Business Media, 2009, P.168
5. Tatsuya Ohno, Particle radiotherapy with carbon ion beams. EPMAJ. 2013; 4(1) : 9. <https://doi.org/10.1186/1878-5085-4-9>
6. Osama Mohamad, Brock J. Sishc, Janapriya Saha, Arnold Pompos, Asal Rahimi, Michael D. Story, Anthony J. Davis, D.W. Nathan Kim. Carbon Ion Radiotherapy: A Review of Clinical Experiences and Preclinical Research, with an Emphasis on DNA Damage/Repair. Cancers (Basel). 2017 Jun; 9(6): P. 66.

УДК 629.7;678.5

КОНЦЕПЦИЯ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ФЕРМЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ THE CONCEPT OF CREATING A SPACE TRUSS STRUCTURE FROM POLYMERIC COMPOSITE MATERIALS

Малков Игорь Владиславович
Malkov Igor Vladislavovich

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский
авиационный институт», Украина, Харьков
National aerospace university the name of N.E. Zhukovski the "Kharkov aviation institute",
Ukraine, Kharkiv
(e-mail:i.v.malkov@mail.ru)*

Аннотация: Предложена концепция создания ферменных конструкций космических аппаратов (ФК КА) из композиционных материалов (КМ), которая закладывает теоретические основы проектирования и изготовления ФК, указывает направление их развития и рациональные пути решения конструктивно-технологических и материаловедческих проблем.

Abstract: The concept of creating truss structures of spacecraft (SC SC) from composite materials (CM) is proposed, which lays down the theoretical foundations for the design and manufacture of SC, indicates the direction of their development and rational ways to solve structural, technological and materials science problems.

Ключевые слова: полимерные композиционные материалы, ферменные конструкции, проектирование, космические аппараты.

Keywords: polymer composite materials, truss structures, design, spacecraft.

Введение

Обобщение и систематизация накопленного опыта проектирования ФК КА из КМ (ФККМ) позволяет разработать концепцию их создания. В концепции сконцентрированы основные требования к ранее созданным конструкциям ферм, нынешние достижения в этой области и предложены конкретные меры по дальнейшему развитию этого направления путем применения новых подходов и принципов.

Важным элементом создания ФККМ является учет основных принципов проектирования на концептуальной стадии. Анализ существующих, потенциальных и возможных методов и средств позволяет отобрать в качестве удовлетворяющих сформулированным требованиям ряд проектных решений.

В рамках предлагаемой концепции возможно одновременное повышение функциональной гибкости (за счет унификации форм и габаритов элементов и модулей) при сохранении точности и устойчивости технологического процесса изготовления, функциональной надежности ФК с сокращением времени на изготовление и контроль.

Разработка и реализация предложенных методов позволяет решить многие проблемы, возникающие при создании ФК КА из КМ.

Основная часть

Более пятидесяти лет ведущую роль в деле создания космической техники занимает КБ "Южное", коллективом которого разработаны и изготовлены свыше семнадцати типов космических аппаратов различного назначения, успешно запущенные около четырехсот раз на орбиту в рамках программ "Космос" и "Интеркосмос", а затем и государственной Космической программы Украины [1].

Намеченный высокий темп реализации целевых задач исследования космического пространства входит в противоречие с практикой разработки уникальных КА одиночного применения. Высокая стоимость и невозможность в сжатые сроки организовать производство различных типов КА вынуждает искать новые подходы к их созданию.

Выдвинутый в КБ "Южное", впервые в мировой практике, принцип унификации платформ КА, как основы для оснащения их комплексом исследовательской аппаратуры, позволил ускорить разработки КА и внедрение их в серийное производство.

На основе принятого принципа был создан ряд базовых унифицированных космических платформ, важнейшей составной частью которых являются ферменные конструкции.

Анализ исследовательских задач показал целесообразность поиска новых и быстрых путей создания ФК КА, а проблема минимизации веса - поиска современных технологий их изготовления с максимальным использованием неметаллических материалов.

Оценивая новые современные материалы и технологии их переработки, выбор следует остановить на полимерных композиционных материалах [2] и технологии автоматизированной намотки, которые и должны лечь в основу новой концепции создания ФК КА из КМ [3].

Формирование требований к облику будущей ФККМ и выбору ее проектной концепции (ПК) является производством интеллектуальной продукции. Поэтому ПК должна удовлетворять принципу дуальности проектирования, в соответствии с которым объектами оптимизации должны быть как сама ФККМ, так и процесс ее проектирования [4].

Независимо от назначения технической системы (ТС) существуют универсальные рабочие принципы (УРП) ее проектирования:

- принцип комплексной (системной) формулировки требований к ТС;
- принцип надежности (живучести);
- принцип совмещения функций;
- принцип сочетания наилучших возможностей.

Анализ областей применения, технических, экономических условий и особенностей использования ФК позволяет конкретизировать УРП применительно к ФККМ:

ФК любой конфигурации и назначения должны собираться из ограниченного числа модулей или элементов и обладать:

- инвариантностью изготовления по отношению к другим модулям или элементам;
- унифицированными формами и габаритами отдельных модулей или элементов;
- ориентацией на технологию единичного и мелкосерийного, многономенклатурного производства, недефицитные ресурсы, экологически чистые процессы:
- распределенными между структурными элементами ФК функциями передачи силовых и тепловых полей;
- совмещенными этапами технологического процесса изготовления ФККМ путем их интегрирования;
- целостной арматурой КМ при формировании ФК.

Особенностью всех известных теоретических работ в области создания ФККМ является ориентация на проектирование и изготовление отдельных элементов, а не функций и способов достижения конечных целей ФК.

Обобщение и систематизация накопленного опыта проектирования ФККМ позволяет разработать концепцию их создания. Концепция закладывает теоретические основы проектирования и изготовления ФККМ, указывает направление развития ФК и наиболее рациональные пути решения конструктивно-технологических и материаловедческих проблем.

Концепция создания ФККМ раскрывается в следующих положениях:

Основным функциональным назначением ФК КА является восприятие силовых и тепловых нагрузок в условиях космического пространства, что обуславливает создание силовых, высоконагруженных, размерностабильных конструктивных элементов ферм с высокими параметрами весового совершенства, предназначенных для эксплуатации в космосе в течение 5...10 лет.

Создавать ФК целесообразно из волокнистых композиционных материалов с полимерной матрицей методом автоматизированной намотки, позволяющей наиболее полно, из всех методов переработки КМ, реализовать исходные прочностные свойства армирующего наполнителя, добиться высокой геометрической и термостабильности от изделия к изделию, весовой и технологической эффективности процесса производства ФК.

Выбор функциональной схемы, типа и технологии изготовления ФК осуществляется посредством фрагментарного анализа, основанного на рациональной иерархической декомпозиции (членении) конструкции с последующим синтезом исходной системы. Задача выбора варианта проектного решения (ВПр) является многовариантной, многоуровневой и многономенклатурной.

Две функциональные схемы ФК: фитинговая и бесфитинговая, объединяют четыре основных типа ФК: составные, модульные, интегральные и цельномотанные. Тип конструкции определяет особенности технологии изготовления: одностадийная, двухстадийная одно- и двухноменклатурная, трехстадийная однономенклатурная и т.д. Развитие существующих ФК может идти либо по пути создания потенциальных конфигу-

раций ФК путем закономерного, причинно-следственного, формально-логического изменения наличного состояния изделия, либо по пути создания возможных конфигураций ФК путем перехода в новую систему. Элементы и модули ФК должны иметь унифицированную форму и габариты.

Технологию изготовления элементов и сборных ФК необходимо ориентировать на единичное и мелкосерийное, многономенклатурное, экологически чистое производство в автономном режиме с максимальным совмещением функций технологического процесса и недефицитные ресурсы.

Основными критериями выбора схемы и типа ФК являются конструктивная форма (осесимметричные, неосесимметричные, плоские, пространственные и т.д.), весовое совершенство, геометрическая стабильность, размерностабильность и технологичность конструкции.

Принятые ВПР ФК реализуются на основе принципов системного структурно-функционального подхода, определяющих функциональное назначение структурных элементов ФК для силовых и тепловых потоков и технологию изготовления каждого конкретного варианта.

Технология изготовления ФК и контроль их качества должны обеспечивать получение высокоэффективных конструкций, моделировать условия реального силового и теплового нагружения с целью прогнозирования физико-механических, теплофизических свойств материала конструкций, экономической целесообразности выбранного ВПР и технологических методов его реализации.

Важным элементом создания ФК является учет основных принципов проектирования на концептуальной стадии.

Анализ существующих потенциальных и возможных методов и средств (рис.1) позволяет отобрать в качестве удовлетворяющих сформулированным требованиям следующие проектные решения (ПР):

- модули с жесткими наружными и внутренними контурами;
- унифицированные модули и элементы ФК;
- технология формирования пространственных функционально-ориентированных композитных структур ФК и ее элементов;
- использование в технологии изготовления ФК и ее элементов принципа иерархической декомпозиции (членения) с последующим синтезом интегральных структур элементов и сборных ФК;
- совмещение технологических циклов изготовления элементов и их сборки методом автоматизированной намотки;
- создание интегральных конструкций с одним и двойным технологическим циклом;
- методы управления технологическим процессом намотки двухуровневым управляющим вычислительным комплексом.

Предварительная проектная разработка концепции, реализуемой на основе предложенных ПР, показала ее перспективность для реализации.

Так, весовой анализ для альтернативных ФК из традиционного АМгб и углепластика показал, что при равных габаритах, прочности и жесткости, последняя конструкция экономичнее на 40...50%, а преимущество по этим же показателям интегральной ФК перед составной составляет еще 17...20%.

Для многих существующих и предлагаемых ФК основным препятствием к широкому их внедрению является противоречивый принцип: либо функциональная гибкость, либо простота и надежность проектирования и производства.

В рамках предлагаемой концепции возможно одновременное повышение функциональной гибкости (за счет унификации форм и габаритов элементов и модулей) при

сохранении точности и устойчивости технологического процесса изготовления, функциональной надежности ФК с сокращением времени на изготовление и контроль (за счет автоматизации процесса изготовления).

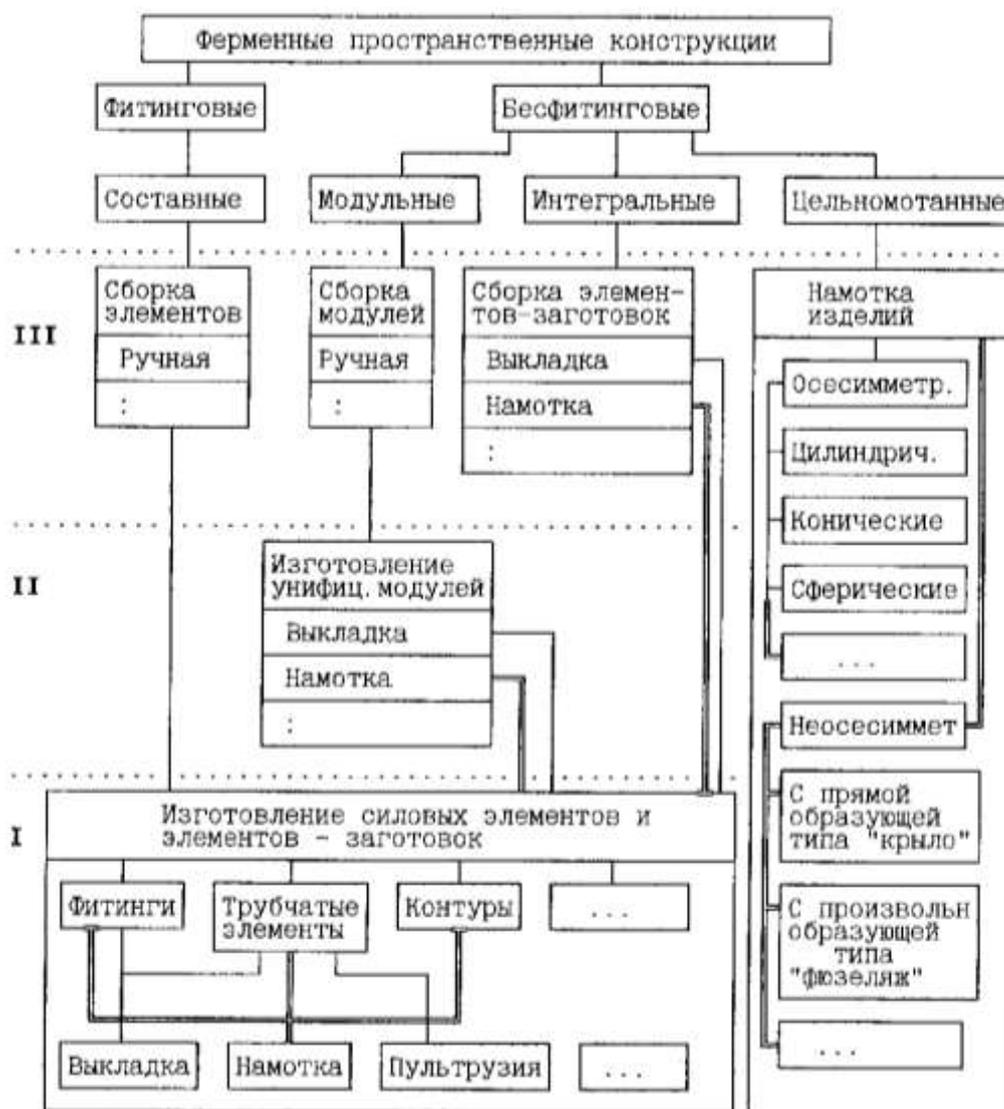


Рис.1. Концептуальная схема процесса создания ФККМ: I - методы изготовления элементов; II – методы агрегатной сборки; III-методы окончательной сборки; ----- - существующие связи; === - перспективные связи.

Разработка и реализация предложенных методов позволит решить многие проблемы, возникающие при создании ФК КА из КМ намоткой.

Выводы

1. Предложена концепция создания ФК КА из КМ на основе теории системного подхода.
2. Теоретически обоснована возможность изготовления ФК и ее элементов методом автоматизированной намотки.
3. Сформулированы принципы и условия формообразования намоткой объемных элементов и сборных ФК.

Список литературы

1. Конохов С.Н. Научно-технические направления разработок космических аппаратов КБ "Южное" им. М.К. Янгеля // Космічна наука і технологія.-1995. - №1. - С.12-34.
2. Устинов В.А. Концепция разработки конструкций летательных аппаратов из композиционных материалов //ВИНИТИ. Транспорт: наука, техника, управление. - 1996. - Вып.2. - С.24-26.
3. Рач В.А., Малков И.В. Концепция создания ферменных конструкций космических аппаратов из композиционных материалов // Вісн. Східноукр. держ. ун-ту. - 1997. - №2(6). -С.138-142.
4. Горбань А.В., Северилов В.А. Введение в теорию систем (общие принципы и примеры системного проектирования). - Харьков: ХАИ, 1977. - 98 с.

УДК 721.021.23

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РАЦИОНАЛИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА (НА ПРИМЕРЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ «ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ») USING DIGITAL TECHNOLOGIES TO STREAMLINE CONSTRUCTION PRODUCTION (USING THE INTERNET OF THINGS CONCEPT AS AN EXAMPLE)

Каган Павел Борисович ***, Рыбакова Ангелина Олеговна *
Kagan Pavel ***, Rybakova Angelina *

* Московский государственный строительный университет, Россия, Москва

* Moscow state University of civil engineering, Russia, Moscow

(e-mail: kagan@mgsu.ru; rybakovaaa@mgsu.ru)

** Российская инженерная академия (РИА)

** Russian Academy of Engineering (RAE)

Аннотация: В данной статье рассмотрены особенности технологии «Интернет вещей», а также способы интеграции цифровых технологий в различных областях. Проанализированы перспективы внедрения технологии «Интернет вещей» в строительной отрасли на всех этапах производства. В результате представлены способы рационализации строительства и новые направления развития технологии «Интернет вещей».

Abstract: This article discusses the features of the "Internet of things" technology, as well as ways to integrate digital technologies in various fields. The prospects of implementing the Internet of things technology in the construction industry at all stages of production are analyzed. As a result, methods of rationalization of construction and new directions of development of the "Internet of things" technology are presented.

Ключевые слова: интернет вещей, BIM-технологии, скоростное строительство, автоматизация проектирования, Big Data.

Keywords: internet of things, BIM technologies, high-speed construction, design automation, Big Data.

Технология «Интернет вещей» (Internet of Things, сокр. IoT) – это концепция, в основе которой лежит взаимодействие друг с другом различных вещей без прямого участия человека. Взаимодействие устройств осуществляется посредством объединения в единую сеть. Таким образом, устройства приобретают возможность самостоятельного сбора и обмена информацией, принятия решений. Контролировать работу данных устройств и управлять ими можно с любого гаджета. «Интернет вещей» может использоваться в производстве различного уровня и специфики, в быту, сельском хозяйстве, медицине, машиностроении, строительстве, транспорте, энергетике, телекоммуникациях, военном деле и т.д. [1].

Впервые понятие и концепция «Интернета вещей» было предложено изобретателем Кевином Эштоном в конце двадцатого века в Массачусетском технологическом институте. С различной скоростью и уровнем интереса «Интернет вещей» развивается и на сегодняшний день [2, 3]. Благодаря появлению новых технологий и их интеграции с «Интернетом вещей», все чаще появляются абсолютно новые перспективы развития и применения в различных областях науки, техники и жизни общества [4].

Коротко основные особенности «Интернета вещей» можно сформулировать следующим образом [5, 6]:

Определенное количество устройств одной сети взаимодействуют друг с другом в рамках одной задачи;

Подключение устройств осуществляется по принципу «машины-для-машин» без какого-либо участия человека;

Работа устройств основана на большом объеме данных с применением технологий Big Data;

Все действия над данными выполняются без участия человека.

Все данные, задействованные в процессе взаимодействия устройств являются основой анализа, минимизации и предотвращения ошибок, повышения эффективности производства и рационализации моделей [7].

В различных сферах деятельности произошли определённые качественные изменения под влиянием развития «Интернета вещей». В строительной отрасли и индустрии недвижимости на данный момент не произошло существенных изменений, однако в перспективе «Интернет вещей» может оказать огромное влияние на все виды деятельности строительного производства [8]. Следовательно, важно определить пути развития и сформировать задачи для решения посредством «Интернета вещей».

Технологические достижения «Интернета вещей» в большей части сводятся к новым, более рациональным и безопасным способам создания, планирования, трансфера, эксплуатации и информационно-технического взаимодействия. Фундаментальные и универсальные преимущества «Интернета вещей» вполне могут быть адаптированы для решения задач строительства или рационализации процессов [9, 10].

На основе «Интернета вещей» в строительстве можно реализовывать следующие функции: контроль, управление, анализ, принятие решений, производство, мониторинг и ремонт оборудования, логистика и безопасность. Каждая функция играет свою роль не только на конкретном этапе строительства, но и на всем цикле работ.

Контроль предполагает сбор данных от датчиков «Интернета вещей», установленных с интересующих объектов строительной площадки. На этом этапе целесообразно применение BIM-модели, так как отображение реальных данных на проекте информационной модели обеспечит простое понимание реальной картины и возможных отклонений. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших действий в рамках работы над проектом.

Функция управления подразумевает отправку команд к датчикам. Команды могут быть инициированы как конкретным лицом, ответственным за выполнение какой-

либо задачи, так и непосредственно BIM-моделью. Команды в данном случае представляют собой простой сигнал односложной команды. Сложные команды при необходимости целесообразно выполнять с участием специалиста.

Через определенные промежутки времени важно выполнять анализ ситуации, как проектирования, так и эксплуатации. Для полноценного и максимально информативного анализа важно обеспечить соответствующие данные. Все необходимые данные, как правило, заранее генерируются посредством датчиков «Интернета вещей», следовательно, при правильной организации взаимодействия информации для анализа будет достаточно. Аналогичным образом, на основе технологий «Интернета вещей» можно осуществлять контроль персонала на строительной площадке.

На основе анализа полученных данных часто необходимо принять соответствующее решение или произвести корректировку какого-либо процесса. Функция принятия решений на основе проанализированной информации в рамках проекта может рационализировать как технический процесс, так и процессы закупок и поставок материально-технического обеспечения.

Для выполнения определённых строительно-монтажных работ в большинстве случаев необходимо предварительное производство деталей, элементов, материалов и оборудования или вспомогательное производство по предварительной сборке элементов, резке и сварки арматуры и т.п. Чем выше уровень требуемого производства, тем больше времени необходимо для его создания. Однако часто производство имеет временную и количественную привязку к основному строительному процессу. В случае каких-либо изменений с помощью датчиков технологии «Интернета вещей» все корректировки производства могут быть осуществлены в кратчайшие сроки и в автоматическом режиме. Что в итоге значительно сократит объем работ без ущерба качеству и срокам. Смарт датчики «Интернета вещей» могут оказать огромную помощь в вопросе мониторинга строительного оборудования. Информация о неисправности оборудования на основе данных от датчиков могут быть получены ранее, чем эта неисправность будет замечена. Тем самым, своевременный ремонт значительно экономит время и обезопасит технику от более серьезных аварий.

Логистика в строительном производстве имеет также огромное значение. Логистические решения могут приниматься и корректироваться по аналогии с процессами производства деталей или оборудования. С другой стороны, на строительной площадке всегда будет актуальная информация о местонахождении объектов доставки, их статусе и временных прогнозах.

Одновременно с производственными функциями полезными являются функции безопасности: как от внешних факторов, так и внутри строительной площадки.

Для максимально эффективной работы можно использовать соответствующие, адаптированные для данной работы приложения или программное обеспечение. Данные, собранные датчиками, анализируются с использованием «облачных» технологий и, в случае превышения допустимых значений, на устройство отправляется сигнал или соответствующее предупреждение. Информация может быть использована специалистами различного профиля и уровня для принятия решений или корректировки действий [11, 12]. Помимо перечисленных функций «Интернета вещей» датчики-контроллеры в on-line режиме могут давать информацию о температуре, открытии-закрытии дверей и окон, координатах, которая может быть использована в различных целях, направленных на повышение качества строительства.

В результате анализа функций «Интернета вещей» можно сделать вывод: одним из самых перспективных направлений в развитии «Интернета вещей» является интеграция в технологии информационного моделирования. Практически каждая задача «Интернета вещей» может быть решена более качественно и быстро, если ее решение

напрямую связано с BIM-моделью объекта строительства. Следовательно, чем выше уровень интеграции BIM-технологий и «Интернета вещей», тем более качественно и быстрее могут быть выполнены процессы строительного производства. Таким образом, формируются новые пути развития и рационализации строительства и проектирования.

Концепция «Интернет вещей» в строительстве – это совокупность датчиков-устройств связи для сбора данных, облачных хранилищ, технологий аналитики, средств программного взаимодействия и инженерно-технических знаний в области строительства. Данное направление развития находится сейчас на начальном этапе и имеет ряд проблем и сложностей реализации. Однако уже сегодня есть существенные достижения, которые формируют фундамент для будущих разработок. «Интернет вещей» в тесной интеграции с BIM-технологиями – будущее для эффективных решений задач строительства и рационализации процессов.

Список литературы

1. *Li C. Z., Xue F., Li X., Hong J., Shen G. Q.* An internet of things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction // *Automation in Construction*. 2018. V. 89. P. 146-161.
2. *Tang S., Shelden D.R., Eastman C., Pishdad-Bozorgi P., Gao X.* A review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends // *Automation in Construction*. 2019. V. 101. P. 127-139.
3. *Patel K., Patel S.* Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges // *International Journal of Engineering Science and Computing*. 2019. V. 6. № 5.
4. *Евгениев Г.Б.* Индустрия 5.0. Как интеграция интернета знаний и интернета вещей // *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9. № 1 (31). С. 7-23.
5. *Шестернина М.В.* Развитие промышленного интернета вещей в современной России // *Менеджмент и маркетинг в различных сферах деятельности*. Сборник научных трудов. Под редакцией И.Я. Рувенного. Уфа. 2019. С. 254-258.
6. *Пономарев Р.Л.* Проблемы разработки компонентов «умных» систем в рамках концепции «Интернета вещей» // *Гагаринские чтения - 2020*. Сборник тезисов докладов. 2020. С. 491-492.
7. *Вишняков В.А., Радкевич К.А.* Состояние и развитие технологий интернета вещей // *Проблемы инфокоммуникаций*. 2020. № 1-1 (11). С. 87-94.
Безмолитвенная Ю.В., Зубарева Е.Г. Проблемы развития интернета вещей в России (аналитический обзор) // *Академия педагогических идей Новация*. 2020. № 7. С. 17-22.
8. *Козлов А.С., Дудник С.В., Култазин Н.М., Анганов В.Д., Гринер В.* Разработка алгоритмов сбора данных в рамках концепции интернета вещей // *Вестник науки и образования*. 2020. № 15-2 (93). С. 13-19.
9. *Иляева П.Е.* Интернет вещей в строительстве и эксплуатации зданий // *Информационные технологии в современном мире - 2019*. материалы XV Всероссийской (с международным участием) студенческой конференции. под науч. ред. Н. В. Хмельковой. 2019. С. 129-134.
10. *Колчин В.Н.* Специфика применения технологии "интернет вещей" в строительстве // *Инновации и инвестиции*. 2017. № 5. С. 19-22.
11. *Порошкина В.В., Матицин И.Н.* Применение концепции "интернет вещей" в промышленности // *Теория. Практика. Инновации*. 2018. № 11 (35). С. 109-118.
12. *Каган П.Б.* Повышение эффективности организационно-технологического проектирования в строительстве за счет его модернизации с использованием современных цифровых технологий // *Отходы и ресурсы*, 2020 №1, <https://resources.today/PDF/09INOR120.pdf> (доступ свободный). Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/09INOR120

**ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК КРУЧЕНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИНТЕТИЧЕСКИХ
НИТЕЙ**
**ESTIMATION OF THE ERROR IN DETERMINING THE STRENGTH
CHARACTERISTICS OF TWISTED PRODUCTS MADE OF
SYNTHETIC YARNS**

Наумов Владимир Аркадьевич, Насенков Павел Владимирович
Naumov Vladimir Arkadyevich, Nasenkov Pavel Vladimirovich

Калининградский государственный технический университет, Россия, Калининград
Kaliningrad State Technical University, Russia, Kaliningrad
Калининградское региональное отделение Российской инженерной академии (РИА)
Kaliningrad regional branch of the Russian Academy of Engineering
(e-mail: van-old@mail.ru, pavel.nasenkov@klgtu.ru)

Аннотация: Обработаны результаты экспериментального исследования прочностных характеристик крученых изделий из синтетических нитей. Рассчитаны случайные погрешности определения разрывного усилия и относительного удлинения для трех материалов. Установлено, что больше случайные погрешности определения относительного удлинения. Они уменьшаются при испытании изделий в мокром виде.

Abstract: The results of an experimental study of the strength characteristics of twisted products made of synthetic threads were processed. Random errors in determining the breaking force and elongation for the three materials were calculated. It is found that the random errors in determining the relative elongation are greater. They are reduced when testing products in wet form.

Ключевые слова: синтетические нити, крученые изделия, разрывное усилие, относительное удлинение, эксперименты, случайные погрешности.

Keywords: synthetic threads, twisted products, breaking strength, elongation, experiments, random errors.

В настоящее время крученые изделия из синтетических нитей (канаты, веревки) находят все более широкое применение в промышленном рыболовстве [1, 2], в строительстве [3], в текстильной и других отраслях промышленности. Опубликовано довольно много результатов исследований прочностных характеристик таких изделий (см. [4-7] и библиографию в них), в том числе и по статистической обработке результатов испытаний (например, [7]). Однако недостаточно исследованным остается случайный характер свойств синтетических нитей и изделий из них. Цель данной статьи – оценить степень стохастичности прочностных свойств крученых изделий из синтетических нитей по разбросу результатов испытаний, проведенных в одинаковых контролируемых условиях.

В лаборатории Дальневосточного государственного технического рыбохозяйственного университета аспирантом П.В. Насенковым были проведены испытания крученых изделий, изготовленных из полипропилена (ПП), полиамида (ПА) и полиэфира (ПЭ). Испытания проводились на универсальных разрывных машинах Shimadzu Autograph AGS-X10. Отбор и подготовка материала проводилась согласно ГОСТ 6611.2-73. Все образцы перед началом испытаний в течение суток выдерживались в расплавленном виде для разглаживания. Испытания для определения разрывной

нагрузки и удлинения проводились в сухом и в мокром виде. Более подробно методика проведения экспериментальных исследований описана в [8].

Испытания изделий были проведены при трех скоростях ($V = 10; 50; 100$ см/мин), трех длинах образцов ($L = 100; 175; 250$ мм), ПП и ПЭ образцы были 4-х диаметров ($d = 1,1; 2,0; 3,1; 4,0$ мм), ПА – 3-х диаметров ($d = 1,1; 2,0; 3,1$ мм). При каждом наборе контролируемых параметров проводилась серия по 5 испытаний, всего 495 испытаний в 99 сериях. В табл. 1 приведена часть результатов испытаний крученых изделий ПА в сухом виде.

Таблица 1. Результаты испытаний крученых изделий ПА в сухом виде

Серия	d , мм	L , мм	V , см/мин	Опыт	P , Н	E , %
1	1,1	100	10	1	452,0	69,4
				2	445,4	65,2
				3	451,7	68,8
				4	451,6	69,2
				5	445,7	67,1
2	1,1	100	50	1	434,4	70,2
				2	435,0	75,1
				3	436,7	71,4
				4	433,3	72,7
				5	437,9	72,1
...						
27	3,1	250	100	1	2685	51,1
				2	2554	47,7
				3	2481	46,6
				4	2429	46,7
				5	2622	48,7

Рассчитаем погрешности в каждой серии из n испытаний. Абсолютная и относительная случайная погрешность прямых измерений (см., например, [9]):

$$\Delta_{P/сл} = t_{\gamma, n-1} \cdot \frac{\bar{\sigma}_P}{\sqrt{n}}, \quad \varepsilon_{P/сл} = 100 \cdot \frac{\Delta_{P/сл}}{\bar{P}}, \quad (1)$$

где \bar{P} – среднее выборочное значение; $\bar{\sigma}_P$ – среднее квадратичное отклонение; $t_{\gamma, n-1}$ – коэффициент Стьюдента (принимается доверительную вероятность $\gamma=0,95$).

Абсолютная полная погрешность прямых измерений

$$\Delta_P = \sqrt{(\Delta_{P/сл})^2 + (\Delta_{P/сист})^2}, \quad (2)$$

где $\Delta_{P/сист}$ – систематическая погрешность измерительного устройства.

Относительная погрешность прямых измерений в процентах

$$\varepsilon_P = 100 \cdot \frac{\Delta_P}{\bar{P}} = \sqrt{\varepsilon_{P/сл}^2 + \varepsilon_{P/сист}^2}, \quad \varepsilon_{P/сист} = 100 \cdot \frac{\Delta_{P/сист}}{\bar{P}}. \quad (3)$$

Обработка результатов испытаний по формулам (1)-(3) была выполнена по сериям для изделий из всех материалов. В табл. 2 результаты обработки представлены для изделий из ПП. Далее были найдены средние и максимальные значения относительной погрешности для изделий из каждого материала, как в сухом, так и в мокром виде (табл. 3).

Таблица 2. Обработка результатов испытаний изделий из ПП по сериям

d, мм	L, мм	V, см/мин	В сухом виде				В мокром виде			
			P, Н	ϵ_p , %	E, %	ϵ_E , %	P, Н	ϵ_p , %	E, %	ϵ_E , %
1,1	100	10	300,8	0,40	64,3	5,04	328,5	1,35	62,7	4,92
		50	309,7	0,84	65,9	5,52	341,4	1,23	62,4	4,06
		100	315,6	0,37	64,7	7,31	346,9	0,57	65,1	2,21
	175	10	302,0	0,37	46,6	2,34	330,8	0,33	49,8	1,38
		50	305,9	0,30	45,1	2,68	340,7	0,86	48,4	1,63
		100	312,5	0,37	45,9	2,92	345,5	1,07	47,7	2,98
	250	10	294,5	0,65	38,0	5,93	326,6	0,39	41,5	2,31
		50	305,4	0,20	39,0	6,07	335,5	1,33	41,2	4,30
		100	307,6	0,33	38,6	2,80	343,4	0,42	40,3	3,87
2,0	100	10	684,5	1,10	86,9	4,67	767,0	1,00	85,8	2,50
		50	716,2	0,58	79,1	5,92	785,0	0,60	83,4	3,42
		100	730,3	0,95	76,8	3,81	778,6	1,52	76,9	1,15
	175	10	696,8	0,52	61,1	0,83	769,2	0,72	61,8	3,13
		50	708,7	0,57	58,8	0,92	785,5	0,49	58,9	4,25
		100	724,3	0,82	58,0	4,69	790,4	1,64	55,8	5,12
	250	10	678,6	0,76	51,3	1,45	765,1	0,39	52,6	1,35
		50	694,9	0,72	48,8	3,32	789,3	1,26	48,5	2,61
		100	717,2	0,31	47,7	3,77	804,7	0,66	48,8	2,95
3,1	100	10	1339	0,34	82,4	3,33	1506	0,88	85,5	5,26
		50	1410	0,33	80,2	3,92	1530	0,78	77,5	2,26
		100	1447	0,44	77,1	4,02	1546	0,68	75,6	2,77
	175	10	1348	0,58	60,9	3,42	1516	0,65	61,7	1,86
		50	1412	0,42	56,9	0,90	1531	9,71	56,9	1,45
		100	1426	2,39	52,9	8,93	1549	1,14	54,4	1,99
	250	10	1314	0,59	50,6	1,71	1507	0,67	48,3	1,64
		50	1374	0,29	48,0	2,17	1549	0,92	46,1	3,23
		100	1415	0,28	45,1	2,34	1523	0,39	44,6	2,01
4,0	100	10	2367	2,15	97,2	3,97	2552	1,59	92,7	1,96
		50	2406	2,40	94,9	2,76	2581	1,33	93,1	3,84
		100	2508	2,67	94,1	4,39	2566	2,11	86,0	2,36
	175	10	2386	0,91	68,6	1,76	2566	0,68	67,3	2,47
		50	2458	2,78	65,9	5,16	2495	2,70	58,6	2,17
		100	2380	1,36	61,3	6,42	2486	2,07	58,1	2,34
	200	10	2384	3,17	54,8	4,10	2490	2,68	54,3	2,65
		50	2388	2,89	52,2	3,95	2507	1,99	50,3	2,39
		100	2381	2,81	51,1	4,24	2407	2,05	46,9	2,60

Таблица 3. Средние и максимальные значения случайной относительной погрешности

ϵ	Характер	ПП		ПЭ		ПА	
		сухой	мокрый	сухой	мокрый	сухой	мокрый
ϵ_p , %	средн.	1,03	1,10	1,25	1,29	2,44	1,28
	макс.	3,17	2,70	3,82	3,02	9,28	2,30
ϵ_E , %	средн.	3,85	2,82	4,26	2,87	4,40	2,56
	макс.	8,93	5,26	9,81	4,73	7,84	4,72

По табл. 3 случайные погрешности ϵ_E для изделий в мокром виде меньше, чем для изделий в сухом виде. Погрешности относительного удлинения превосходят соот-

ветствующие погрешности разрывного усилия в 2-3 раза. Исключение составили результаты испытаний изделий из ПА в сухом виде, где максимальное значение погрешности в серии оказалось $\varepsilon_p = 9,28\%$. Скорее всего, такое большое отклонение связано с аномальными свойствами образцов в данной серии. В дальнейшем эти результаты были исключены из рассмотрения. Согласно паспортным данным машин Shimadzu Autograph AGS-X10 $\varepsilon_{p/cust} = 0,5\%$. Все средние случайные погрешности в табл. 3 заметно превышают указанную систематическую погрешность, особенно для относительного удлинения. Для снижения случайной погрешности необходимо увеличивать количество испытаний в серии.

Были рассчитаны коэффициенты парной корреляции различных факторов и относительной погрешности испытаний для изделий из всех материалов. Матрица парной корреляции для изделий ПП в сухом виде представлена в табл. 4. Значимая стохастическая связь имеется между d и ε_p ($r=0,683$); с увеличением диаметра растет случайная относительная погрешность определения разрывного усилия. Слабая отрицательная стохастическая связь наблюдается между L и ε_E , слабая положительная – между V и ε_E .

Таблица 4. Коэффициенты парной корреляции различных факторов и относительной погрешности при испытаниях изделий из ПП в сухом виде

ε	Фактор		
	d	L	V
$\varepsilon_p, \%$	0,683	0,016	0,058
$\varepsilon_E, \%$	-0,060	-0,258	0,306

В заключение статьи следует отметить, что случайные погрешности определения относительного удлинения при разрыве изделий в мокром виде заметно меньше, чем в сухом виде. Для исследованных материалов погрешности определения относительного удлинения превосходят соответствующие погрешности разрывного усилия в 2-3 раза. Все средние случайные погрешности заметно превышают систематическую погрешность измерительных устройств, особенно для относительного удлинения. Обнаружена значимая стохастическая связь: с увеличением диаметра изделий растет случайная относительная погрешность определения разрывного усилия.

Список литературы

1. *Евсеева С.С.* Сравнительный анализ технических характеристик синтетических канатов // Вестник АГТУ. Промышленное рыболовство. 2008. № 3. С. 90.
2. *Greenwood M.C., Longerich R.* Determining tensile strengths of large-diameter synthetic fiber rope // Sea Technology. 2012. Vol. 53(4). P. 50.
3. *Великанов Н.Л., Наумов В.А., Примак Л.В., Ахмедов И.М.* Испытания прочности канатов из полимерных материалов // Механизация строительства. 2017. Т. 78, № 4. С. 30.
4. *Лобанов Д.С., Темерова М.С.* Особенности квазистатических испытаний нитей и тканей // Вестник Пермского политехнического университета. Механика. 2013. № 2. С. 96.
5. *Наумов В.А., Ахмедова Н.Р., Ахмедов И.М.* Анализ результатов испытания прочности трехрядных канатов из полимерных материалов // Известия КГТУ. 2015. № 36. С. 43
6. *Han G., Tao X., Li X., Jiang W., Zuo W.* Study of the mechanical properties of ultra-high molecular weight polyethylene fiber rope // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. 2016. Vol. 11. Iss. 1. P. 9.
7. *Наумов В.А.* О законе распределения удлинения нити при разрыве // Химические волокна. 2019. № 4. С. 32.

8. Насенков П.В., Недоступ А.А., Наумов В.А. Экспериментальные исследования разрывного усилия и относительного удлинения рыболовных веревочно-нитевидных изделий с различной скоростью разрыва и длиной исследуемых объектов // Известия КГТУ. 2020. № 58. С. 35.

9. Кравченко Н.С., Ревинская О.Г. Методы обработки результатов измерений и оценки погрешностей в лабораторном практикуме: учеб. пособие. Томск: Изд-во ТПУ, 2011. 88 с.

УДК 664.8.022.6

**ИНАКТИВАЦИЯ АНТИНУТРИЕНТОВ СЫРЬЯ СОИ
МОДУЛИРОВАННЫМ НИЗКОЧАСТОТНЫМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ СЛАБОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ
ДЛЯ ПИЩЕВЫХ ЦЕЛЕЙ
INACTIVATION OF SOY RAW MATERIALS ANTINUTRIENTS BY
MODULATED LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD OF
LOW INTENSITY FOR FOOD PURPOSES**

Ольховатов Егор Анатольевич^{*}, Касьянов Геннадий Иванович^{}
Надыкта Владимир Дмитриевич^{*}, Айдер Мохаммед^{***}
Olkhovатов Egor Anatolyevich^{*}, Kasyanov Gennady Ivanovich^{**}
Nadykta Vladimir Dmitrievich^{*}, Aider Mohammed^{***}**

^{*} *Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, Россия, Краснодар*

^{*} *Kuban state agrarian University named after I. T. Trubilin, Krasnodar, Russia
(e-mail: olhovatov_e@inbox.ru, nadykta@gmail.com)*

^{**} *Кубанский государственный технологический университет, Россия, Краснодар*

^{**} *Kuban state technological University, Krasnodar, Russia
(e-mail: g_kasjanov@mail.ru)*

^{***} *Университет Лаваль, Канада, Квебек*

^{***} *Laval University, Canada, Quebec
(e-mail: mohammed.aider@fsaa.ulaval.ca)*

Аннотация: Рассмотрена проблематика применения сырья сои и кукурузы отечественной селекции в производстве продуктов здорового полноценного питания. Показано наличие антинутриентов в сырье и необходимость их инактивации. Приведены доводы в пользу использования низкочастотного электромагнитного поля, промодулированного специфичными инактивируемым антинутриентам частотами. Высказана рабочая гипотеза механизма, действующего при реализации разработанного способа. Показана эффективность предложенного способа в подготовке сырья для пищевых целей. Предложен пищевой продукт на основе подготовленного разработанным способом сырья сои.

Abstract: the problems of using raw materials of soy and corn of domestic selection in the production of healthy nutrition products are considered. The presence of antinutrients in raw materials and the need for their inactivation are shown. Arguments are given in favor of using a low-frequency electromagnetic field modulated by specific frequencies of inactivated antinutrients. A working hypothesis of the mechanism operating in the implementation of the

developed method is expressed. The effectiveness of the proposed method in the preparation of raw materials for food purposes is shown. A food product based on soy raw materials prepared by the developed method is proposed.

Ключевые слова: антинутриенты сырья, зерно сои, мука кукурузы, комплексная переработка, модулированное низкочастотное электромагнитное поле, слабая интенсивность

Keywords: raw material antinutrients, soy grain, corn flour, complex processing, modulated low-frequency electromagnetic field, weak intensity

Новизну проделанной нами работы определяет разработка и применение приёма для инактивации антинутриентов используемого сырья в его уникальном сочетании с соблюдением установленных пропорций, что формирует технологию с особыми параметрами режимов и требует совершенствования существующих приемов обработки компонентов состава продукта при их соединении один с другим.

Продукт, разработкой рецептур которого нами была подтверждена эффективность полученных результатов проведенных исследований, существенно расширяет ассортимент продуктов здорового питания для большинства потребителей [1]. Он является сбалансированным по всем основным нутриентам пищевым комплексом с возможностью варьировать компонентными и органолептическими характеристиками готового изделия.

Цель проделанной работы – усовершенствование отдельных этапов технологии для инактивации антипитательных факторов сырья, исследование применимости цельнозерновой формы сырья сои в технологии пищевых продуктов с разработкой их новых рецептур.

Для достижения поставленной нами цели в работе решались задачи, направленные на подготовку сырья к внесению в состав рецептур производимых изделий, разработку способов осуществления такой обработки материала, выбор рецептурных компонентов и составление готовых к употреблению пищевых композиций.

Первую группу объектов исследования составило зерно сои сортов Вилана, Фора, Веста, Валента (селекция ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК) урожаев 2018-2020 гг, произведенное в Краснодарском крае. Эти сорта характеризует ряд особенностей, позволяющих считать их перспективными и конкурентоспособными.

Зерно сои сорта Вилана содержит, %: белок – 40,7; жир – 22,0. Зерно сои сорта Фора содержит, %: белок – 44,8; жир – 16,7. Зерно сои сорта Веста содержит, %: белок – 43,9; жир – 18,2. Зерно сои сорта Валента содержит, %: белок – 47,7; жир – 17,1.

Основной особенностью данных сортов сои является повышенное на 45–71 %, в сравнении с другими селекционными формами этой культуры содержание белков при их сниженной трипсингибирующей активности, которая составляет для сырья перечисленных сортов, мг/г: 21,7; 16,2; 18,1; 12,5 соответственно, когда значение этого показателя в зерне других сортов колеблется в пределах 19,2–23,5 мг/г муки.

Вторая группа объектов исследования – мука из зерна кукурузы гибридных форм Белозерный 300, Белозерный 330, Байкал, Машук 350 МВ (селекция ФГБНУ ВНИИ кукурузы) урожаев 2018-2020 гг, произведенного в Ставропольском крае. Это новые перспективные и конкурентоспособные селекционные формы, успешно прошедшие государственное сортоиспытание и внесенные в Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ.

В зерне кукурузы гибридной формы Белозерный 300 содержится, %: белков – 10,93; крахмала – 62,78; сахаров – 2,61; жиров – 4,62; клетчатки – 1,54; золы – 1,13. В зерне кукурузы гибридной формы Белозерный 330 содержится, %: белков – 10,44;

крахмала – 65,01; сахаров – 2,48; жиров – 4,56; клетчатки – 1,62; золы – 1,11. Зерно кукурузы гибридной формы Байкал содержит, %: белки – 10,75; крахмал – 64,29; сахара – 1,89; жиры – 4,44; клетчатку – 1,45; золу – 1,05. Зерно кукурузы гибридной формы Машук 350 МВ содержит, %: белки – 10,17; крахмал – 64,71; сахара – 2,29; жиры – 3,84; клетчатку – 1,49; золу – 1,03. Сравнительная оценка исследованных образцов сырья свидетельствует об уровне белков в зерне в пределах 10,2–10,90 %, соответствующем масличности 3,85–4,65 % [2].

Применение сырья сои анализируемых сортов предпочтительно во многом по причине высокого значения показателя содержания белка наряду с низким количеством в нем антинутриентов, характерных для многих сортов сои. Зерно сои и мука кукурузы – предпочтительные формы внесения этого основного сырья в состав разработанных продуктов, поскольку в такой форме данные материалы максимально технологичны и раскрывают свои функциональные технологические свойства.

Так, за счет выявленных высоких масло- и влагоудерживающей способностей, цельное зерно сои снижает вязкость получаемых паст одновременно повышая ассимиляцию дополнительных компонентов в составе многокомпонентной рецептурной смеси. Кроме того, формируется характерная шелковистая текстура разработанной рецептурной линейки бутербродных паст. Кроме этого, зерно сои является источником фосфолипидов, выполняющих роль эмульгаторов и гепатопротекторов, пектинов и целлюлозы, выступающих в роли сорбентов и веществ, нормализующих моторику ЖКТ.

Предпочтение отдельным сортоформам кукурузы как сырью для получаемой из них муки отдано нами на основании органолептических данных, полученных в ходе предварительных дегустаций.

В качестве решения, совершенствующего технологию подготовки сырья сои к дальнейшим технологическим операциям, нами предложена обработка цельного зерна сои модулированным низкоинтенсивным электромагнитным полем в спектре резонансных частот препаратов материала. Контролем служило сырье, подготавливаемое путем традиционной влаготепловой обработки (таблица 1).

Таблица 1. Характеристика сырья сои по результатам обработки модулированным низкочастотным электромагнитным полем слабой интенсивности

Сорт сои	Трипсинингибирующая активность, мг/г		Относительная биологическая ценность (ОБЦ), %		Водоудерживающая способность (ВУС), %		Жироудерживающая способность (ЖУС), %	
	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт
Вилана	21,7	12,5	42,3	75,5	196	222	92	123
Фора	16,2	9,6	48,1	98,8	204	237	85	109
Веста	18,1	10,3	50,3	93,9	245	275	81	103
Валента	12,5	2,5	57,4	111,5	260	307	77	95

Из данных, приведенных в таблице, следует, что весомо значимые результаты были получены в ходе обработки сырья сои низкочастотным электромагнитным полем в резонансном диапазоне частотного спектра, излучаемого антинутриентами сырья.

Объяснением полученных результатов может послужить предположение о стимулировании автоферментации белков, как это происходит при прорастании [3], а также о непосредственной кактализирующей активности подаваемого частотного спектра [4, 5]. Путем применения такого способа воздействия на сырье предложено усовершенствовать этап его подготовки к использованию на пищевые нужды.

Таким образом, сырье сои современных сортов отечественной селекции является перспективным пищевым материалом, который после специальной предварительной

подготовки полностью отвечает всем требованиям для производства сбалансированных продуктов питания. Белок сои по аминокислотному составу близок к полноценному, а после инактивации антинутриентов он беспрепятственно может быть использован при создании пищевых продуктов с привлекательными для потребителя свойствами – экологичностью, безопасностью, вкусовыми достоинствами. Фазные состояния производимых из сои пищевых сред могут быть различными, что определяют функциональные технологические свойства белков этой культуры, такие как водо- и жирудерживающая способности. Применение сырья сои в цельнозерновой форме позволяет вырабатывать из него продукты с хорошим жирнокислотным, минеральным, аминокислотным составом и высоким содержанием ценных пищевых волокон – пектиновых веществ. Пектины, входящие в состав семенных оболочек зерна сои, обладают высокими сорбирующими свойствами при одновременно удовлетворительной гелеобразующей способности. Инактивировать антинутриенты сырья сои предлагается кратковременным воздействием на объект модулированным низкочастотным электромагнитным полем слабой интенсивности. Антипитательные вещества являются низкомолекулярными белками, выполняющими, наряду с защитной, запасную функцию. Описанный прием выступает в качестве фактора, инициирующего ферментативное расщепление белков, характерного для этапа прорастания. На основе обрабатываемого предложенным способом сырья нами разработаны рецептуры бутербродных паст.

В ходе проделанной работы нами было подобрано и проанализировано основное сырье (соя и кукуруза) современных отечественных селекционных форм; предложен способ обработки сырья сои для сокращения затрат энергии стадии влаготеплового воздействия; исследованы биохимические характеристики выбранного сырья до и после его обработки предложенным способом; разработаны рецептуры бутербродных паст, проведена их органолептическая оценка; подобраны оптимальные формы внесения основного и дополнительного сырья в составе предложенных рецептов; усовершенствована существующая технология производства бутербродных паст с применением предложенного способа.

Список литературы

1. Мельникова В.А., Чиж А.В. Обоснование возможности включения топинамбура в бобовую пасту "хумус" // Вестник молодежной науки. 2017. № 5 (12). С. 10.
2. Ольховатов Е.А., Сотченко Д.Ю. Совершенствование технологии растительных бутербродных паст на основе сырья кукурузы и сои // Кукуруза и сорго. 2018. № 4. С. 20-26.
3. Нефедьева Е.Э., Белопухов С.Л., Верхотуров В.В., Лысак В.И. Роль фитогормонов в регуляции прорастания семян // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 1 (4). С. 61-66.
4. Калинина Т.А., Хамидуллина Л.А., Шамина Ю.С., Глухарева Т.В., Кочубей А.А., Черепанова О.Е., Фан Жи.Д., Жу Ю., Моржерин Ю.Ю. Микроволновое облучение в синтезе (1,2,3-тиадиазолил) имидазолидин-2,4-дионов и исследование их биологических свойств // Химия гетероциклических соединений. 2016. Т. 52. № 11. С. 910-917.
5. Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на прорастание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. № 3 (345). С. 53-58.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕФЕКТОВ СОВМЕЩЕНИЯ РИСУНКА
МАТЕРИАЛА В ПОЛОСКУ И КЛЕТКУ НА ШВАХ ОДЕЖДЫ
CLASSIFICATION OF CONNECTION DEFECTS OF THE PATTERN
OF THE MATERIAL IN THE STRIP AND CELLS ON THE SEAMS OF
THE CLOTHING**

**Масалова Валентина Анатольевна
Masalova Valentina Anatolyevna**

*Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail: vammgu@yandex.ru)*

Аннотация: Сортировка собранных годами моделей с дефектами совмещения рисунка полосы и клетки привела к группировке дефектов. Таким образом создана классификация, состоящая из 11 групп, включающих 64 вида дефектов. Выявлены причины появления и разработаны способы устранения каждого вида дефекта. По разнообразию дефектов установлено, что только системный подход с использованием новых технологий на всех этапах проектирования позволит избежать дефектов в изделиях из этих материалов.

Abstract: Sorting the models collected over the years with defects in the alignment of the stripe and check led to a grouping of defects. Thus, a classification was created, consisting of 11 groups, including 64 types of defects. The reasons for the appearance have been identified and ways to eliminate each type of defect have been developed. Based on the variety of defects, it was found that only a systematic approach using new technologies at all design stages will allow avoiding defects in products made from these materials.

Ключевые слова: материалы в полосу или клетку, параметры рисунка материала, дефекты соединения рисунка на швах.

Keywords: striped or checked materials, parameters of the material drawing, pattern connection defects at seams.

Фотографии моделей с дефектами совмещения рисунка в полосу и клетку на швах одежды, присутствующие в изобилии на сайтах интернета, подиумах домов моделей и в журналах мод, собирались многие годы. Сортировка этих моделей привела к группировке дефектов. Таким образом создана классификация, состоящая из 11 групп, включающих 64 вида дефектов совместимости рисунка полосы и клетки материалов на швах швейных изделий. Выявлены причины появления и разработаны способы устранения каждого вида дефекта. По разнообразию дефектов установлено, что совершаются они на всех этапах изготовления одежды. Поэтому только системный подход к использованию таких рисунков может позволить избежать большого количества дефектов, которые возникают с тем или иным рисунком в процессе создания изделий. Классификация дефектов даёт возможность глубоко понять бесконечно не познанную техническую часть проектирования изделий с рисунком в полосу и клетку.

В результате исследований были выявлены свойства рисунка в полосу или клетку важные для системного бездефектного производства одежды [1]. Часть свойств применимы для выбора материалов на этапе эскизного проектирования, другая часть имеет самое важное значение на этапе конструктивного моделирования, и не учет этих

свойств приводит к дефектам в изделии. Одной из таких характеристик рисунка материала является наличие осей симметрии. Все рисунки, образуемые системами полос, можно разделить на рисунки симметричные и асимметричные (несимметричные). У симметричных материалов в полосу рисунок имеет 2-е оси симметрии: в долевом, поперечном направлениях, а у симметричной клетки оси симметрии располагаются в 4-х направлениях: в долевом, поперечном и двух диагональных. В группе по совмещению осей симметрии рисунка полосы или клетки насчитывается 12 видов дефектов. Это не совмещение оси симметрии рисунка с центром детали или линией полузаноса, не совмещение осей симметрии по центрам деталей между плечевой и поясной частью изделия, в асимметричных рисунках не используется условная ось симметрии. Чаще всего вместо оси симметрии применяется граница рисунка полос или клеток, что нарушает симметрию модели и пропорции фигуры.

Свойства двухлицевых материалов незаменимы при настиле в разворот лицом вниз, для получения при асимметричном рисунке на ткани - симметричного рисунка в изделии, за счёт соединения парных деталей одну на лицо, другую на изнанку (проверено в производстве).

Величина раппорта рисунка материала важна для корректировки положения правильно переведённой вытачки. Так как ось симметрии, расположенная по центру переда, не может одновременно быть совмещена с серединой вертикальной вытачки, то необходимо параллельным переносом перенести вытачку на ближайшую ось симметрии рисунка. Иногда это смещение равно даже одному миллиметру, но не сделав его полоса на шве вытачки сходитья не будет. При конструктивном моделировании допускается изменять положение конца нагрудной вытачки до 3-х см, но для совмещения середины правильно переведённой вытачки с осью симметрии рисунка материала требуется менее 1-ого см, так как в любом направлении существует две оси симметрии, то есть у симметричной клетки, например, в каждом из 4-х направлений по две оси симметрии.

Выбрав ткань для проекта, необходимо оценить её согласно 9-ти критериям свойств рисунка [1], разработанным для оценки возможности создания эффектов на швах конструкции. Для бездефектного проектирования было выбрано условие стыковки полосы на швах конструкции или прохождения полосы вдоль одной стороны шва, а вдоль другой стороны - под углом к шву.

Для этапа конструирования изделий из ткани написаны монографии по покроям рукава реглан [2, 3] и цельнокроеному [4, 5], в каждой из которых разработаны конструкции для проектирования изделий из материалов с рисунком в полосу и клетку. Для рукава покроя реглан, например, разработана прямая линия реглан, сопряжённая с нижней частью проймы пристроенного втачного рукава, которая геометрически точно отзеркалена на нижнюю часть оката рукава реглан. Для цельнокроеного рукава с ластовицей разработана конструкция, в которой любой рисунок, даже асимметричная клетка будет совмещена по верхнему шву рукава.

На этапе конструктивного моделирования для правильного перевода вытачки на ткань с рисунком в полосу или клетку, необходимо владеть способами перевода, разработанными в диссертации и описанными в статьях [6, 7, 8], а также запатентованными на нашей кафедре «Художественного моделирования, конструирования и технологии швейных изделий» [9], так как в технической литературе их нет, поэтому даже среди специалистов высшего уровня отсутствуют знания по методам работы с материалами в полосу и клетку, что будет продемонстрировано в презентации к докладу на фото с изделиями ведущих домов моделей.

Важную роль при конструктивном моделировании имеет создание штриховки, соответствующей рисунку материала, выбранного для проекта. Заполнение рисунком

деталей конструкции [10, 11] с применением разработанных способов указания базовых точек штриховки [12], даёт возможность редактировать положение швов для достижения на них совместимости рисунка ткани.

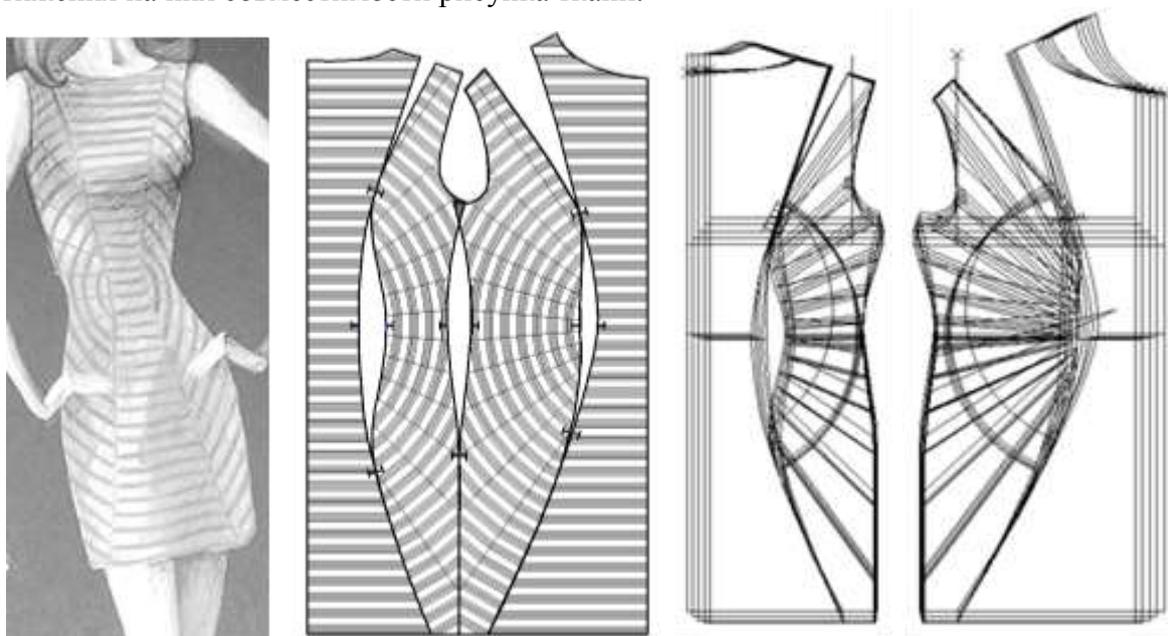


Рис. 1. Эскиз модели с эффектом «зонтик», конструкция к нему и градация по размерам

Этап градации сложных модельных конструкций, в том числе для одежды из материалов с рисунком в полоску и клетку, возможен только в системе градации методом масштабирования, разработанной на нашей кафедре [13]. Метод включает новые подходы, средства и приемы расчетов. Система основана на математической модели с контролем изменчивости размерных признаков в соответствии с ГОСТ при вертикальной деформации в процессе градации по росту [14]. Система обеспечивает соразмерность и сопряженность срезов градируемых деталей, а также сохраняет нормы посадки исходной конструкции при градации деталей, как по размерам, так и по ростам [15].

На этапе изготовления и раскладки лекал удобно совмещать штриховку деталей с рисунком ткани. Особенно эта технология раскладки безошибочна с появлением лазерных раскройных столов с однослойным настилом, когда можно будет проекцию раскладки совмещать с рисунком ткани в настиле.

На этапе технологии изготовления изделий требуется повышенное внимание при обработке швов, чтобы не нарушить совмещение рисунка, обеспеченного предыдущими этапами проектирования.

Незнание конструкторами инновационных технологий проектирования конструкций одежды с геометрическим рисунком материала приводит к появлению на швах дефектов совмещения рисунка. Следует отметить, что можно не допускать дефектов, если системно владеть технологиями, разработанными для всех этапов изготовления швейных изделий из материалов с рисунком в полоску или клетку. Кроме того, важно внедрять эти технологии в САПР одежды для автоматизации процесса с целью ускорения и бездефектного проектирования швейных изделий.

Список литературы

1. Valentina Masalova, Margaret Sivova, Christo Petrov. Characteristics of the fabric picture influencing the stages of clothes design. // София. Текстил и облекло 2010, № 2, с. 41-45.

2. Масалова В.А. Способ проектирования конструкций изделий с рукавом покроя реглан. Патент № 2423898 РФ. // Приоритет изобретения 5 сентября 2008 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 20 июля 2011 г. Бюл. № 20. - 28с.
3. Масалова В.А. Новый реглан. В помощь конструктору одежды. LAP LAMBERT Academic Publishing. Германия, 2015. - 64 с.
4. Масалова В.А. Инновации в проектировании конструкций с цельнокроеным рукавом: монография. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)» 2019. – 166 с.
5. Масалова В.А. Секреты проектирования изделий с цельнокроеным рукавом. // Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина, в рамках Международного научно-технического форума «ВТОРЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОСЫГИНСКИЕ ЧТЕНИЯ» СИМПОЗИУМ «Современные инженерные проблемы в производстве товаров народного потребления». Россия, Москва 23–24 октября 2019 года Том 1, - с. 94-99.
6. Масалова В.А. Разработка методов проектирования одежды с использованием современных средств компьютерной графики. Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук: 05.19.04. -М.: МГАЛП, 1996. – 261 с.
7. Valentina Masalova, Margaret Sivova, Christo Petrov. Methods of tuck transfer on the details of clothes made from fabric with strips and cells. // София. Текстил и облекло 2010, № 9, с. 264-271.
8. Valentina Masalova, Margaret Sivova, Christo Petrov. Classification of methods of the darts transfer on parts of the design of clothes made from fabric with strips and cells. // София. Текстил и облекло 2010, № 5, с.143-145.
9. Масалова В.А., Маслова Е.Г. Способ перевода выточек на деталях изделий из материалов в полосу или клетку. Патент № 2314003 РФ. Приоритет изобретения 27 декабря 2005 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 10 января 2008 г. Правообладатель МГУДТ (RU).
10. Масалова В.А. Необходимость создания штриховки, соответствующей рисунку материала в полосу или клетку, для бездефектного проектирования МК одежды. // V Международная научно-техническая конференция «Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности» (ИННОВАЦИИ 2018). -М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 14-15 ноября 2018 года. Часть 1, - с. 192-196.
11. Масалова В.А. Программирование штриховки, соответствующей рисунку материала в полосу или клетку, с использованием её при разработке конструкций одежды. // «Перспективы науки» журнал ВАК №10, 2018, - с. 22-27. ISSN 2077-6810.
12. Масалова В.А., Зарецкая Г. П., Петушкова Г. И. Разработка способов соединения рисунка материалов со сложным раппортом на швах одежды. // Тезисы докладов VI всероссийской научно-практической конференции «Инновационные материалы и технологии в дизайне» с участием молодых ученых. Санкт-Петербург, СПбГИКиТ, 26, 27 марта 2020 г. - с. 102-103.
13. Масалова В.А., Меликов Е.Х., Шильдт Е.В. Градация конструкций одежды методом масштабирования. Патент на изобретение № 2264145 получен от Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам РФ. Приоритет изобретения 01 июля 2004 г. Правообладатель МГУДТ (RU).
14. В.А. Масалова, Н.А. Кирилина. Обоснование выбора математической модели для градации конструкций одежды методом масштабирования. // Сборник статей Международной научно-практической конференции «Современная наука: теоретический и практический взгляд». г. Уфа: Н.Ц. «Аэтерна», 29-30 октября 2013 г. Том 2, – с. 99-105.
15. Valentina Masalova, Margaret Sivova. Variability of parameters of assembly "arm-hole-sleeve" at gradation of model construction by scaling. // г. Каварна. 21–23.09.2012 г. “Образовательные технологии 2012” «Известия Союза Ученых» - Sliven. Том 21, 2012. - с. 203-208.

**О ЕВРАЗИЙСКОМ ИНЖЕНЕРНО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ
ЭКСПЕРИМЕНТЕ, СПОСОБСТВУЮЩЕМ ВЫХОДУ РЕГИОНОВ
РОССИИ И КАЗАХСТАНА НА НОВЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ
ABOUT THE EURASIAN ENGINEERING-ECONOMIC EXPERIMENT,
THAT PROMOTES THE REGIONS OF RUSSIA AND KAZAKHSTAN
TO A NEW LEVEL OF DEVELOPMENT**

**Горбунов Пётр Иванович *, Лизунов Владимир Васильевич **,
Gorbunov Pyotr Ivanovich *, Lizunov Vladimir Vasilyevich ****

**Омское отделение Российской инженерной академии, Россия, Омск*

**Omsk branch of the Russian Academy of engineering, Russia, Omsk
(e-mail: omvis@bk.ru)*

***Лаборатория экономических исследований Омской области Института экономики
и организации промышленного производства Сибирского отделения Российской
Академии наук, Межвузовский инновационный бизнес-инкубатор Омского
государственного университета, Комитет по инновационной деятельности при
Омской Торгово-промышленной палате*

***Laboratory of economic research of the Omsk region of the Institute of Economics and
Industrial Engineering of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Interuniversity innovation business incubator of Omsk state University, Committee on
innovation activity at the Omsk chamber of Commerce and Industry, Russia, Omsk
(e-mail: vladvasil@yandex.ru)*

Аннотация: Рассмотрены особенности и предложения по развитию приграничного сотрудничества регионов России и Казахстана с учётом выхода на более высокий уровень.

Abstract: The features and proposals for the development of cross-border cooperation between the regions of Russia and Kazakhstan, taking into account reaching a higher level, are considered.

Ключевые слова: Россия и Казахстан, межрегиональное сотрудничество, стратегическое развитие, «зелёные коридоры», транспортный узел.

Keywords: Russia and Kazakhstan, interregional cooperation, strategic development, green corridors, transport hub.

В соответствии с рекомендациями Президиума Российской инженерной академии (РИА) и по согласованию с Правительством Омской области в 2019 - 2020 годах в городе Омске был проведён ряд инженерно-экономических мероприятий, связанных с вопросами формирования и реализации Стратегии кластерного развития Омской области до 2030 года.

Проведение этих мероприятий учитывало государственный курс на прорывное развитие регионов и их активное участие в проектах евразийской интеграции. На прошедших Съездах инженеров Сибири неоднократно выдвигались предложения о необходимости проведения эксперимента по формированию и реализации модели прорывного (кластерного) развития России на одном из её стратегических регионов, расположенном в центре Евразийского континента и граничащем с Казахстаном.

Результаты мероприятий 2020 года с участием Омского отделения РИА подтвердили, что Омская область, с её административным центром, является наиболее оп-

тимальным российским регионом для проведения стратегического инженерно-экономического эксперимента. Необходимо отметить значимые факты из истории г. Омска. В XIX веке он был административным центром сначала Акмолинской области и Западно-Сибирского генерал-губернаторства, а затем Степного генерал-губернаторства, территория которых охватывала существенную часть Западной Сибири и Средней Азии до границ Китая.

В годы гражданской войны Омск был официальной столицей Российского государства и Белой России («Третьей столицей»). В советский период по объёмам промышленного производства Омск занимал четвёртое место в стране после Москвы, Ленинграда и Киева, а его научно-техническая база для производства и переработки сельхозпродукции позволила Омской области стать высокотехнологичной «житницей» Сибири и отправлять свою продукцию во множество регионов СССР. На протяжении всего XX века Омск являлся крупнейшим транспортным узлом Западной Сибири, своеобразными водными и сухопутными «воротами на восток».

Что касается реки Иртыш, протекающей через Китай, Казахстан и Россию, то она может стать драйвером в развитии не только всего Прииртышья, но и других регионов, вовлекая их население в совместное эколого-экономическое сотрудничество. Иртыш совместно с Обью, являясь самым протяжённым водотоком в России, имеет высокий природный потенциал и предпосылки для создания новой международной транспортно-экологической системы и эко-туристических маршрутов между Северным Ледовитым океаном и Индийским океаном, если заинтересовать в данном проекте Китай, Индию и другие страны Евразийского экономического пространства (ЕАЭП).

На прошедшем в Омске XVI Форуме приграничного сотрудничества РФ и РК с участием глав государств (Форум) Омское отделение РИА активно сотрудничало с представителями инженерно-предпринимательского сообщества Казахстана по обсуждению вопросов более эффективного приграничного сотрудничества двух стран. Были подготовлены ряд решений. Часть решений касалась необходимости реализации инженерно - инфраструктурных проектов в Западной Сибири и Центральной Азии. В частности, было предложено подготовить проект «Создание в Омской области Центрального евразийского мультимодального транспортно-торгового узла» (ОмЦЕМТТУ), который обеспечит развитие в сибирских и центрально - азиатских регионах транзитно-кластерной экономики, сопряжённой с Экономическим поясом Нового Шёлкового Пути (ЭП НШП).

При этом отмечалось, что часть инфраструктурных объектов ОмЦЕМТТУ желательно создавать на приграничных с Омской областью территориях Казахстана с преференциями Свободной экономической зоны (СЭЗ) кластерного типа, что позволит привлекать необходимые инвестиции и передовые технологии из заинтересованных в проекте стран Евразии, включая Тайвань - одно из самых высокотехнологичных государств континента. Необходимо сказать, что на создание такого типа СЭЗ в Омской области была получена принципиальная поддержка Президента РФ В.В. Путина.

Опыт Китая по строительству инфраструктуры ЭП НШП, а также его заинтересованность в диверсификации маршрутов своих наземных коридоров и их сопряжение с Северным морским путём (СМП), позволяет надеяться на достаточно быстрое создание ОмЦЕМТТУ и внедрение на прииртышских территориях новейших материалов и инженерно - строительных технологий, включая инновационные технологии струнного и аэрозастакадного транспорта. На взгляд экспертов в сфере экономики транспортных систем, отсутствие на континенте ЦЕМТТУ не способствует кластерному развитию всех стран ЕАЭП, а только усугубляет их кризисное состояние и приводит к военным конфликтам.

Кроме создания ОмЦЕМТТУ рассматривался выбор наиболее оптимальных маршрутов и специализаций евразийских коридоров, а также другие вопросы.

В частности было предложено:

1). Сформировать цифровой прииртышский транзитно – транспортный («зелёный») коридор» по маршруту «СМП – Омская и Павлодарская области (ЦЕМТТУ) – Восточно-Казахстанская область – Китай (СУАР - место сопряжения с ЭП НШП)» с учётом экономико-экологических предложений Президента РФ В.В. Путина и Президента РК К.-Ж.К. Токаева, представленных на Форуме. Использовать для оздоровления водных объектов «зелёного коридора» эффективные электронно-цифровые технологии водочистки омского предприятия ООО «ПО «Аверс-Сервис». Согласовать с китайской стороной возможность дальнейшего развития «зелёного коридора» по территории Китая до Индии.

Необходимо отметить, что у Омской области сложились конструктивные взаимоотношения с КНР. В частности город Омск имеет побратимские соглашения с такими ключевыми городами Китая, как Урумчи, Маньчжурия, Кайфын, Фучжоу. Проявляет интерес к сотрудничеству с Омском и крупнейший морской портовый город Китая - Тяньцзинь (более 14 миллионов жителей, ВВП-750 млрд. юаней).

2). Сформировать цифровой транзитно – транспортный («зелёный») коридор по маршруту «Омская и Северо-Казахстанская области (ЦЕМТТУ) – Аральск - Актау – порты всех пяти стран побережья Каспийского моря». Речь идёт о портах таких стран, как Казахстан, Туркмения, Иран, Азербайджан и Россия. Согласовать с иранской стороной, возможность инновационного развития коридора по территории Ирана до стран Южной Азии (через Персидский залив).

Создание данного коридора (кластера) будет способствовать углублению экологического, военно-инженерного и политико-экономического сотрудничества стран Каспийского бассейна и Ближнего Востока в противовес процессам развязывания международных военных конфликтов в этом макрорегионе. Обратиться за поддержкой по формированию данного проекта к С.К. Шойгу - Министру обороны РФ, Академику РИА, Президенту Русского географического общества.

3). Сформировать цифровой транзитный воздушно – транспортный коридор (кластер) по маршруту «Омская область (РФ) и Нур-Султан (РК Казахстан, ЦЕМТТУ) - Ташкент (Узбекистан) – Нью-Дели (Индия)» с перспективой его развития на другие страны Центральной и Южной Азии. Кластер будет формироваться с учётом новых стратегических задач кластерного развития стран Евразии. Обратиться за поддержкой по данному проекту к Н.А. Назарбаеву – Почётному председателю Совета сотрудничества тюркоязычных государств, Главе Совета безопасности РК, доктору экономических наук, лауреату Алмазного Знака Международной инженерной академии.

4). Сформировать на территории Омской области, а также регионах Сибири и Казахстана Цифровой индустриально-экологический кластер, с целью обеспечения необходимыми компонентами и системами формируемые на территории Западной Сибири и Центральной Азии цифровые инженерно-инфраструктурные «зелёные коридоры» и прилегающие к ним сельские и городские территории (социально-производственные кластеры). При этом предполагается совместное производство на территории Омской области и Казахстана высокотехнологичных компонентов и систем универсального применения для обеспечения качества жизни и роста населения городских и сельских территорий. В том числе - планируется производство инженерно-экологических машин с быстросъёмными многофункциональными роботизированными адаптерами с участием ведущих компаний Японии, включая «Моруока» и «Бриджстоун», используемых для реализации нового Федерального проекта «Цифровизация и оздоровление «Обь-Иртышского бассейна». Обратиться за поддержкой по данному проекту к Первому за-

местителю руководителя Администрации Президента РФ С.В. Кириенко, в период руководства Правительством России которого была разработана российско-японская масштабная программа по диверсификации предприятий оборонно-промышленного комплекса восточных регионов России, но не реализованная из-за дефолта 1998 года.

5). Сформировать на территории Омской области и других сибирских регионов Цифровой сибирский льняной кластер, предполагающий на первом этапе приведение к экологическому нормативу всех сельских территорий, на которых будет выращиваться высококачественный лён - долгунец и другая сопутствующая ему растениеводческая продукция по агротехнологии пятипольного севооборота. При этом предполагается опережающее создание на территории Омской области и Казахстана совместных предприятий по производству технологических комплексов для льняной отрасли, текстильной и лёгкой промышленности, используя индустриально - аграрный опыт СССР, в том числе - в период его наивысшего развития, когда руководил Правительством выдающийся организатор и специалист Алексей Николаевич Косыгин. Обратиться за поддержкой по формированию данного проекта в Национальную академию наук Беларуси, а также к руководству специализированных компаний стран ЕС, включая Бельгию и Францию.

6). Предусмотреть в Стратегии совместного прорывного развития России и Казахстана создание конкурентоспособных на мировом рынке предприятий по производству микроэлектронной компонентной базы и цифровой техники с участием брендовых компаний из Тайваня, Южной Кореи, Сингапура, Малайзии и других высокотехнологичных стран.

Обратиться за поддержкой по данному проекту к заместителю Председателя Правительства РФ Ю.И. Борисову и научно-технологическому руководству Тайваня, учитывая созданное в данной стране с участием российской стороны Тайваньское отделение Международной инженерной академии.

7). Подготовить совместное обращение ВИС, РИА и МИА в государственные органы исполнительной и законодательной власти РФ и РК о необходимости сочетания национальных идей и стратегий развития двух государств на научно-экономической основе с целью обеспечения прорывного развития приграничных регионов (с учётом нарастания мирового системного кризиса). Рекомендовать в качестве межгосударственной идеологии развития приграничных территорий России и Казахстана наработки Президента РФ В.В. Путина по национальной идее (Конкурентоспособность во всём!), представив их для Республики Казахстан в следующей версии: «Конкурентоспособность во всём - основа развития и независимости!». Проинформировать о данном предложении Президентов России и Казахстана, используя политические и законодательные ресурсы ВИС РФ (С.М. Миронов), Международного Славянского Совета (С.Н. Бабурин), Совета Федерации ФС РФ (Н.И. Рыжков), ГД ФС РФ (Е.В. Панина) и Сената Парламента РК (Б.Т. Жумагулов).

8). Определить в качестве инструмента реализации согласованной и утверждённой на законодательном уровне межгосударственной национальной идеи Концепцию создания Свободной инженерно-экономической зоны для стран Шанхайской организации сотрудничества на примере РФ и РК (СИЭЗ ШОС), выполняющей на начальном этапе функции проектно-цифрового, инженерно-экономического и научно-образовательного центра мирового уровня (НОЦ МУ). Проинформировать о данном предложении руководство Совета НОЦ МУ РФ в рамках подготовки к защите проекта Омского научно - образовательного центра мирового уровня (НОЦ МУ).

9). Разработать с участием авторитетных международных специалистов в сфере региональной кластерной политики евразийский алгоритм («дорожную карту») по формированию стратегии развития стран ШОС с учётом нарастания мирового систем-

ного кризиса. Многим известен алгоритм «четырёх «И»», используемый экс - Президентом РФ А.Д. Медведевым при разработке и реализации «Стратегии инновационного развития России до 2020 года». Считать целесообразным применение аналогичного подхода при изложении предложений по формированию и реализации Стратегии кластерного развития приграничных регионов России и Казахстана.

В завершении необходимо отметить, что изложенные в статье предложения будут также способствовать более эффективной реализации приоритетных Национальных проектов на территории ряда регионов России и «майских указов» Президента России В.В. Путина. А также достижению целей, изложенных Президентом Казахстана К-Ж.К. Токаевым в Послании к народу 1 сентября 2020 года, особо отметив острую необходимость в подготовке новых кадров - «профессиональных, со свежими взглядами и инициативами».

В Омской области, указанную кадровую проблему планируется решать за счёт создания на ресурсной основе местных вузов и производственных предприятий, специализированных научно-инженерных и профессионально-образовательных кластеров, являющихся резидентами Международного инженерно-экономического бизнес - инкубатора для стран ШОС (МИЭБИ ШОС). МИЭБИ ШОС формируется в настоящее время в соответствии с решениями I Международного форума молодых лидеров стран ШОС, прошедшего в Омске в 2016 году. При этом ОмО РИА частично выполняет функции этого бизнес - инкубатора в соответствии с доверенностями Минэкономики и Минпрома региона.

Список литературы

1. Горбунов П.И., Лизунов В.В. Стратегические аспекты региональной транспортной политики и создания омского мультимодального транспортного узла // Формирование транспортно-логистической инфраструктуры региона: Мат-лы межрегион. конф-ции (20 декабря 2006 г.). // Под ред. С.М. Мочалина, Л.И. Рыженко. Омск: МИНСП, 2007. С. 12-17.
2. Горбунов П.И., Лизунов В.В. Роль инфраструктуры и транспортно-дорожного комплекса в развитии Омского региона // III Манякинские чтения: «Зеленая экономика» - риски, выгоды и перспективы с точки зрения устойчивого развития»: Мат-лы междунар. научно-практич. конф-ции (4 апреля 2014 года). – Омск: ОИ РГТЭУ, 2014. С.12-22.
3. Крупнов Ю.В. Омск должен стать драйвером новой индустриализации // URL - <http://www.proektnoegosudarstvo.ru/news/0211/>
4. Крупнов Ю.В. Омский консенсус // Выступление на Международном экономической форуме 26 марта 2014 г., Москва. URL - <http://kroupnov.ru/files/20140326-kroupnov-MEF.pdf>.
5. Лизунов В.В. О транспортном каркасе Сибири и евразийском мегапроекте "73 Меридиан" // Геополитические риски современной мировой экономики: Мат-лы научно-практич. конф-ции, посв. 30-летию создания кафедры мировой экономики / под научной ред. Р.И. Хазбулатова, С.В. Ивановой. М.: РЭУ им. Г.В. Плеханова, 2015. С. 196-200.
6. Самохина Г.И. 73-й Меридиан начинается в Омске // Национальные приоритеты России. 2017. № 1 (23). С.61-67.
7. Соколов В.Г., Горбунов П.И., Лизунов В.В. Масштабное строительство транспортной инновационной инфраструктуры как механизм реализации Стратегии развития Сибири // Наука и образование в диалоге российской и корейской культур. Мат-лы научно-практич. конф-ции/ отв. ред. Л. Сон. – Омск: Полиграф. центр КАН, 2011. С. 192-200.
8. I Международный форум молодых лидеров стран ШОС, прошедший в Омске в 2016 году. <https://omsk.bezformatata.com/listnews/liderov-stran-shos-v-omske/50623520/>.

МОДЕЛЬ ОБЪЕКТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА MODEL OF THE PROCESS OBJECT

Кальгин Александр Анатольевич *, Павлючук Юрий Николаевич **
Kalgin Alexander Anatolyevich *, Pavlyuchuk Yuri Nikolaevich **

**Российская инженерная академия, Россия, Москва*

**Russian Engineering Academy, Russia, Moscow*

(e-mail: Alexander.kalgin@mail.ru)

*** Естественный Гуманитарный университет в Седльце, Польша*

*** Naturally Humanities University in Siedlce, Poland*

(e-mail: pavlyuchuk@list.ru)

Аннотация: Каждый из элементарных объектов автоматизации представляется различным образом соединенными моделями, отражающими разнообразие динамических особенностей объекта по различным каналам передачи воздействий. Необходимость такого модельного представления связана с реализацией управления на основе критериев качества и производительности. Дано модельное описание одного из агрегатов технологической линии.

Annotation: Each of the elementary automation objects is represented in various ways by connected models, reflecting the variety of dynamic features of the object through various channels of transmission of influences. The need for such a model representation is associated with the implementation of management based on the criteria of quality and performance. A model description of one of the units of the processing line is given.

Ключевые слова: система управления, автоматизация, моделирование, технологическая линия.

Keywords: control system, automation, modeling, production line.

Одним из способов снижения расхода цемента при сохранении или увеличения прочности бетона является наномодифицирование материалов полидисперсными минеральными добавками, получаемые по волновой технологии [1]. В результате возможно получение бетона с очень плотной упаковкой, т.е. с минимальной пористостью. Наномодифицирование бетона в производственных условиях требует высокой точности дозирования минеральных добавок, что невозможно без математического моделирования и роботизации технологического процесса.

Транспортирование минерального порошка из приемного в расходный бункер осуществляется пневмосистемой. Загрузка материалопровода регулируется системой автоматического управления, которая обеспечивает безаварийное и оптимальное в смысле энергетических затрат перемещение аэросмеси.

Все возмущения, действующие в системе, приводят к одному следствию, а именно, к изменению плотности транспортируемого потока, и условно могут быть сведены к изменению массы материала, перемещаемого в материалопроводе [2].

Учитывая это, сформируем контур управления, исходя из принципа минимально необходимого набора функциональных элементов, обеспечивающих реализацию процесса управления.

Структурная схема автоматизированного регулирования процесса пневмотранспортирования в неразветвленной пневмоустановке приведена на рис.1.

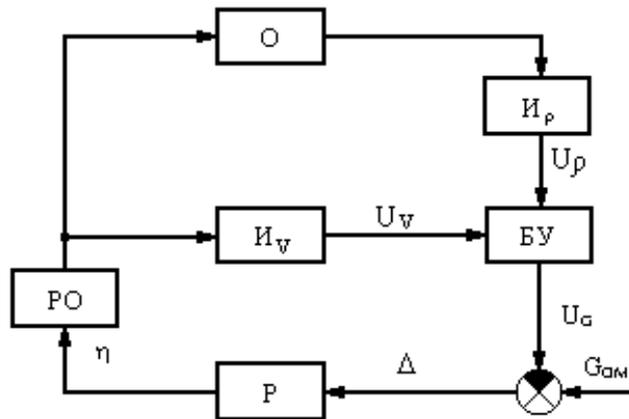


Рис.1. Структурная схема автоматического управления процессом пневмотранспортирования: О – материалопровод; И_ρ - блок измерения плотности; И_V - блок измерения скорости; БУ – блок умножения; Р – регулятор; РО – регулирующий орган

В схеме реализовано регулирование по расходу транспортируемого материала (основному возмущающему воздействию нагрузке).

Измеритель плотности формирует сигнал о плотности аэросмеси ρ_a в материалопроводе. Сигнал с блока измерения плотности И_ρ поступает в блок умножения БУ, куда также поступает сигнал с блока измерения скорости V несущей среды И_V. На элемент сравнения поступает сигнал с блока умножения, а также сигнал, пропорциональный заданной величине нагрузки $G_{ом}$. На выходе элемента сравнения вырабатывается сигнал рассогласования Δ , который поступает на регулятор, управляющий регулирующим органом РО, воздействующим на скорость несущей среды в материалопроводе.

Зависимость выходного сигнала блока измерения плотности:

$$U_{\rho}(t) = K_{\rho} \rho_a(t), \quad (1)$$

где K_{ρ} - коэффициент усиления измерителя плотности. Сигнал, поступающий с измерителя скорости.

$$U_V(t) = K_V V(t), \quad (2)$$

где K_V - коэффициент передачи измерителя скорости.

Измерители расхода транспортируемого материала могут быть построены по принципу малоинерционной компенсирующей или безынерционной множительным схемам с передаточным отношением:

$$U_G = K_{БУ} U_V U_{\rho}, \quad (3)$$

где $K_{БУ}$ - коэффициент усиления блока умножения.

Элемент сравнения вырабатывает сигнал рассогласования $\Delta = U_0 - U_G$, который обрабатывается регулятором.

Для замыкания системы управления можно применять различные алгоритмические способы. Целесообразно попытаться использовать регуляторы общепромышленного назначения - И, ПИ, ПИД и другие [3]. Остановимся вначале на регуляторе, обеспечивающем интегральный закон регулирования. Как известно, усложнение закона регулирования связано с введением производной. Поэтому рассмотрим также пропорционально – интегральный (ПИ) закон регулирования.

Регуляторы, формирующие интегральный (И) и ПИ законы регулирования, описываются уравнениями:

$$\eta = K_p \int_0^t \Delta dt, \quad (4)$$

$$\eta = K_p \left(\Delta + \frac{1}{T_{\text{И}}} \int_0^t \Delta dt \right).$$

где K_p - коэффициент усиления регулятора, $T_{\text{И}}$ - постоянная времени.

Управляющее воздействие η поступает на регулирующий орган, который изменяет скорость несущей среды в материалопроводе. Все регулирующие органы обладают определенной инерционностью. Однако их инерционность много меньше времени переходных процессов в системе с управлением по производительности загрузочного устройства (нагрузке), и ею можно пренебречь.

В этом случае имеем:

$$V = K_{\text{po}} \cdot \eta, \quad (5)$$

где K_{po} - коэффициент передачи регулирующего органа. Для материалопровода стандартное описание в виде передаточной функции в данном случае в силу переменности всех коэффициентов неприемлемо.

Свяжем между собой основные параметры системы.

Величина нагрузки $G_M(t)$ связана с параметрами пневмопотока: скоростью несущей среды $V(t)$ и плотностью аэросмеси $\rho_a(t)$ соотношением

$$G_M(t) = \rho_a(t)V(t)F, \quad (6)$$

где F - площадь поперечного сечения материалопровода

Примем, что при изменении нагрузки происходит скачкообразное изменение массы материала в трубопроводе с M_0 до M_1 . Тогда при начальной массе материала M_0 плотность транспортируемого материала по всей длине материалопровода будет ρ_{0a} , а заданное значение нагрузки - $G_{0M} = \rho_{0a}V_0F$. После окончания переходного процесса произойдет изменение ρ_{0a} до ρ_{1a} , а V_0 до V_1 .

Текущее мгновенное значение расхода материала:

$$G_{1M}(t) = \rho_{1a}(t)V_1(t)F. \quad (7)$$

В переходном режиме количество материала в трубопроводе и плотность аэросмеси зависят от скорости несущей среды

$$\begin{aligned} M(t) &= M_0 + \Delta M; & \rho_a(t) &= \rho_{0a} + \Delta \rho_a; & 0 < t < \tau, \\ M(t) &= M_1; & \rho_a(t) &= \rho_{1a}; & t > \tau, \end{aligned} \quad (8)$$

где ΔM - приращение массы материала, $\Delta \rho_a$ - приращение плотности аэросмеси, τ - время прохождения материалопровода передним фронтом скачка.

Текущее значение приращения массы материала в трубопроводе

$$\Delta M = \Delta \rho_a F l(t), \quad (9)$$

где $l(t) = \int_0^t V(t) dt$.

С учетом (9) получим из (8), что:

$$\rho_a(t) = \frac{\Delta\rho_a}{l} \int_0^t V(t)dt + \rho_{0a},$$

$$M(t) = \frac{\Delta M}{l} \int_0^t V(t)dt + M_0,$$
(10)

где $\Delta\rho_a = \rho_{1a} - \rho_0$; $\Delta M = M_1 - M_0$.

Сформируем разомкнутый контур управления, где в качестве входа и выхода системы примем скорость несущей среды, а затем произведем ее замыкание.

Из рассмотрения структурной схемы (рис.1) очевидно, что изменение скорости определяется сигналом рассогласования и с учетом выражений (4) аналитически может быть выражена в виде:

для И-закона регулирования

$$V(t) = K \int_0^t \Delta(\rho_{0a} V)dt + V_0,$$
(11)

для ПИ-закона регулирования

$$V(t) = K \left[\Delta(\rho_a V) + \frac{1}{T_U} \int_0^t \Delta(\rho_a V)dt \right] + V_0,$$
(12)

где $K = K_p \cdot K_V \cdot K_{БВ} \cdot K_p \cdot K_{po} \cdot F$.

На интервале $0 \leq t \leq \tau$ с учетом (7) и (8) получим:

для И-закона регулирования

$$V(t) = K \left[\int_0^t \left[V_0 \rho_{0a} - V(t) \frac{\Delta\rho_a}{l} \int_0^t V(t)dt + \rho_{0a} \right] dt \right] + V_0,$$
(13)

для ПИ-закона регулирования

$$V(t) = K \left[\rho_{0a} V_0 - V(t) \left(\frac{\Delta\rho_a}{l} \int_0^t V(t)dt + \rho_{0a} \right) + \frac{1}{T_H} \int_0^t (\rho_{0a} V_0 - V(t)) \left(\frac{\Delta\rho_a}{l} \int_0^t V(t)dt + \rho_{0a} \right) dt \right] + V_0.$$
(14)

Для $t > \tau$ уравнение динамики системы примет вид:

для И-закона регулирования

$$V(t) = K \int_0^t (\rho_{0a} V_0 - V(t) \rho_{1a}) dt + V_0,$$
(15)

для ПИ-закона регулирования

$$V(t) = K \left[\rho_{0a} V_0 - V(t) \rho_{1a} + \frac{1}{T_H} \int_0^t [\rho_{0a} V_0 - V(t) \rho_{1a}] dt \right] + V_0.$$
(16)

Выражения (15, 16) дают функциональную связь между всеми параметрами, характеризующими поведение замкнутой системы в динамике при скачкообразном входном воздействии, однако в общем виде решения не имеют. Решение этих уравнений на вычислительных машинах не вызывает сложностей. Структурные схемы математических моделей даны на рис.2, 3.

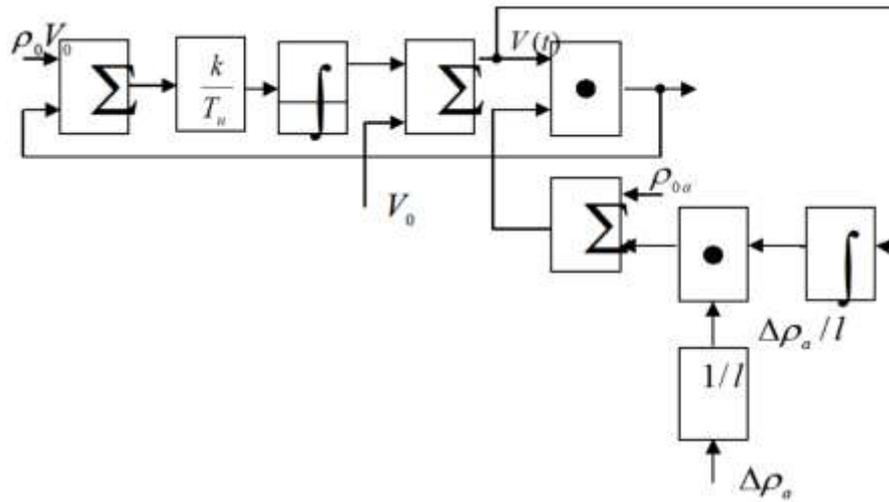


Рис.2. Моделирующая схема с И- регулятором

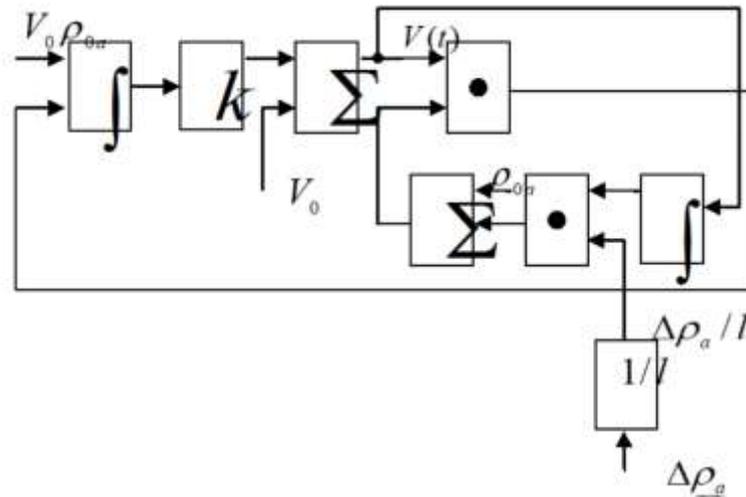


Рис.3. Моделирующая схема с ПИ- регулятором

Дозаторы с системой регулирования обеспечивают постоянство расхода материала из бункерной накопительной емкости на сборный транспортер. Входная $Q_{вх}$ и выходная $Q_{вых}$ производительности дозатора связаны постоянным запаздыванием:

$$Q_{вых}(p) = e^{-p\tau} Q_{вх}(p). \quad (17)$$

В качестве промежуточных устройств, обеспечивающих непрерывность материального потока между отдельными агрегатами в технологических линиях производства используются различные типы транспортеров [4], передаточные функции которых представляют собой звено постоянного запаздывания, связывающее их входную Q_T^1 и выходную Q_T^2 производительности:

$$W_T(p) = \frac{Q_T^2(p)}{Q_T^1(p)} = e^{-\tau p}. \quad (18)$$

Список литературы

1. Гусев Б.В. Развитие нанотехнологий – актуальнейшее технологическое направление в строительной отрасли//Нанотехнологии в строительстве: научный Интернет - журнал// № 2/2011. <http://nanobuild.ru/>.

Gusev B.V. The development of nanotechnology is the most relevant technological direction in the construction industry // Nanotechnology in construction: scientific Internet - journal // № 2/2011. <http://nanobuild.ru/>.

2. Васильев Ю.Э., Марсов В.И., Гиляровский Т.В. Оптимизация динамических процессов комбинированной системы дозирования // Механизация строительства. – 2012. – №8. – С. 40-43.

Vasiliev Yu.E., Marsov V.I., Gilyarovsky T.V. Optimization of the dynamic processes of a combined dosing system // Construction Mechanization. - 2012. - No. 8. - S. 40-43.

3. Колбасин А.М., Тан Цзюя, Марсова Е.В., Шухин В.В. Система экстремального регулирования потока материала в пневмосистеме // Автоматизация и управление в технических системах. – 2013. – № 1(3). – С. 44-48.

Kolbasin A.M., Tan Jiyuya, Marsova E.V., Shukhin V.V. The system of extreme control of material flow in a pneumatic system // Automation and control in technical systems. - 2013. - No. 1 (3). - S. 44-48

4. Марсов В.И., Тихонов А.Ф., Бокарев Е.И. Дозирующие системы непрерывного действия нового поколения // Механизация строительства. – 2012. – №3. – С. 27-30.

ДЛЯ ЗАМЕТОК

**III МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ
«СОВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК»**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО- ТЕХНИЧЕСКИЙ
СИМПОЗИУМ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

Сборник научных трудов

Том 1

20-21 октября 2021 г.

Научное издание

Технический редактор
Федорова Н.Е.

Подготовка макета к печати
Николаева Н.А.

Материалы публикуются в авторской редакции

Ответственность за аутентичность и точность цитат, имен, названий и иных сведений, а также за соблюдение законов об интеллектуальной собственности несут авторы публикуемых материалов