ВЫБОРЫ ПРЕЗИДЕНТА РОССИИ
15–17 МАРТА 2024

Российский государственный университет
имени А. Н. Косыгина
(Технологии. Дизайн. Искусство)

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ

ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК: ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Международный научно-технический симпозиум

«СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ»

II ТОМ

2024

МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ
ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК: ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ
И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

МЕЖДУНАРОДНАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

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

РОССИЙСКАЯ
ИНЖЕНЕРНАЯ АКАДЕМИЯ

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ «ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК: ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ»

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ
ТОМ 2

МОСКВА
2024

УДК 677(06)
Р 76

IV Международный Косыгинский Форум «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета». Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны» (20-22 февраля 2024 г.). Том 2. – М.: РГУ им. А.Н. Косыгина, 2024. – 292 с.

В сборник включены научные статьи российских и зарубежных ученых, представленные на Международном научно-техническом симпозиуме «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны» 20-22 февраля 2024 г., в которых рассматриваются вопросы математического моделирования, пути практической реализации современных эффективных процессов и технологий в различных отраслях промышленности и агропромышленного комплекса. В Сборник научных трудов включены материалы ведущих ученых, инженеров и специалистов из 13 стран и 23 регионов Российской Федерации, представляющих 141 организацию (академии, университеты, институты, ассоциации, предприятия, учреждения и др.), из них 47 международных и 94 российских организаций.

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

Редакционная коллегия

Гусев Б.В. – Президент Международной и Российской инженерных академий, профессор, д.т.н., Разумеев К.Э. – Вице-президент РИА и МИА, советник при ректорате РГУ им. А.Н. Косыгина, профессор, д.т.н., Иванов Л.А. – Главный учёный секретарь и вице-президент Международной и Российской инженерных академий, к.т.н., Силаков А.В. – проректор по науке и инновациям РГУ им. А.Н. Косыгина, д.э.н., Федорова Н.Е. – доцент кафедры текстильных технологий, к.т.н., Чередниченко Н.Д. – доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), к.т.н.

В подготовке Сборника научных трудов приняли активное участие Афанасьева Я.В., Климова Ю.А., Петрунина Ю.А., Порхунова О.Г., Русакова И.Н., Стасенко Ю.М.

ISBN 978-5-00181-552-5

© ФГБОУ ВО «РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. А.Н. КОСЫГИНА (ТЕХНОЛОГИИ. ДИЗАЙН. ИСКУССТВО)», 2024
© ООО «Инженерный центр «Импульс», 2024
© Авторы статей, 2024

НАУЧНЫЙ КОМИТЕТ
Международного научно-технического симпозиума «Современные инженерные проблемы ключевых отраслей экономики страны» IV Международного Косыгинского форума (Москва, РГУ им. А.Н. Косыгина, 20-22 февраля 2024 года)

Председатель научного комитета:
Гусев Борис Владимирович – Президент Международной и Российской инженерных академий, академик МИА и РИА, член-корреспондент РАН

Заместители председателя научного комитета:
Иванов Леонид Алексеевич – Вице-президент и главный ученый секретарь Международной инженерной академии, первый вице-президент и главный ученый секретарь Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Разумеев Константин Эдуардович – Вице-президент Международной и Российской инженерных академий, профессор кафедры Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), академик МИА и РИА

Члены научного комитета:
Амерханов Харон Адиевич – профессор кафедры РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, академик РАН
Бакшеев Дмитрий Семёнович – Вице-президент Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Балакирев Николай Александрович – заведующий кафедрой МГАВМ и Б имени К.И. Скрябина, академик РАН
Белгородский Валерий Савельевич – ректор Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
Болдырев Игорь Анатольевич – Руководитель Новосибирского регионального отделения Российской инженерной академии, академик РИА
Бузник Вячеслав Михайлович – Главный научный сотрудник Института общей и неорганической химии имени Н.С. Курнакова РАН, академик РАН
Гашо Евгений Геннадьевич – академик-секретарь секции «Энергетика» Российской инженерной академии, академик РИА
Гвишиани Алексей Джерменович – научный руководитель ГНЦ «Геофизический центр РАН», академик РАН
Джанахмедов Ахад Ханахмед оглы – Вице-президент Азербайджанской инженерной академии, академик МИА
Добшиц Лев Михайлович – профессор кафедры «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта, академик РИА
Друкаренко Сергей Петрович – Первый вице-президент Международного союза научных и инженерных общественных объединений, первый секретарь Российского союза научных и инженерных общественных объединений, академик МИА
Жумагулов Бакытжан Турсынович – Первый вице-президент Международной инженерной академии, Президент Национальной инженерной академии Республики Казахстан, академик МИА
Кабулов Анвар Василович – Президент Инженерной Федерации Узбекистана, академик МИА и РИА
Кальгин Александр Анатольевич – Вице-президент Международной инженерной академии, заместитель Президента Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Кандыбович Сергей Львович – Председатель Федеральной национально-культурной автономии Белорусов России, член Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по межнациональным отношениям, академик РАО

Каталинич Бранко – руководитель Центрально-Европейского отделения Международной инженерной академии, академик МИА
Кожогулов Камчыбек Чонмурунович – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Кыргызской Республики, академик МИА
Крючков Виталий Геннадьевич – Генеральный директор АО «НИЦ «Строительство», член Президиума Российской инженерной академии, академик РИА
Кустарев Геннадий Владимирович – Вице-президент Российской инженерной академии, академик-секретарь секции «Машиностроение (автомобильное, тракторное, строительное и дорожное)» Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Лачуга Юрий Федорович – член Президиума РАН, академик РАН
Леонтьев Леопольд Игоревич – академик РИА и РАН
Лобачевский Яков Петрович – академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук, член Президиума, академик РАН
Ложкин Виталий Петрович – Руководитель Калининградского регионального отделения Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Минасян Сергей Ашотович – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Армении, академик МИА
Нагрузова Любовь Петровна – Руководитель Хакасского регионального отделения Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Никулин Валерий Александрович – Вице-президент Российской инженерной академии, руководитель Удмуртского регионального отделения Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Пашаев Ариф Мир Джалал оглы – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Азербайджанской инженерной академии, академик МИА
Прангишвили Арчил Ивериевич – Первый вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Грузии, академик МИА
Саидмуродов Лютфилло Хабибуллоевич – Вице-президент Международной инженерной академии, Президент Инженерной академии Республики Таджикистан, академик МИА
Саурин Василий Васильевич – академик-секретарь секции «Инженерная механика» Российской инженерной академии, академик МИА и РИА
Силаков Алексей Викторович – проректор по научной работе Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)
Танин Леонид Викторович – Руководитель Представительства Международной инженерной академии в Республике Беларусь, академик МИА
Фаликман Вячеслав Рувимович – вице-президент Азиатской федерации бетона, академик МИА и РИА
Федосов Сергей Викторович – академик РААСН
Эмри Игорь – Руководитель Отделения Международной инженерной академии в Словении, академик МИА
Юлдашбаев Юсупжан Артыкович – директор института зоотехнии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, академик РАН
Яновский Леонид Самойлович – академик-секретарь секции «Авиакосмическая» Российской инженерной академии, академик МИА и РИА

Ответственные секретари научного комитета:
Чередниченко Надежда Дмитриевна – член-корреспондент Российской инженерной академии, доцент кафедры «Строительные материалы и технологии» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)
Федорова Наталья Евгеньевна – член-корреспондент Российской инженерной академии, доцент кафедры ПХОТИ Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)

СОДЕРЖАНИЕ

Гусев Б.В., Саурин В.В.
Открытие при изучении напряженного состояния в механических системах при использовании квадратичных соотношений 9

Джанахмедов А.Х., Самедов А.С., Панахова Н.Д.
Научная оценка выбора материалов для уплотнительных узлов и их совместимость со средой 12

Яновский Л.С., Ежов В.М., Ильина М.А.
Исследование термоокислительной стабильности смазочных композиций на основе эфиров полиолов..... 19

Демина Н.М., Разумеев К.Э., Белгородский В.С.
Химические волокна для полимерных композиционных материалов 24

Никулин В.А.
Управление пограничным слоем гидродинамических объектов с целью снижения гидродинамического сопротивления трения..... 30

Юнусов М.М., Азизов Р.О., Хочиён М.К., Ходжиев С.К.
Исследование уровней радиоактивного загрязнения воды на площадках уранового наследия 34

Юркин М.Е., Маслик К.В., Аверина Ю.М., Заходякин Г.В.
Построение дома качества при проектировании чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов 38

Попов А.В., Волошина В.Ю., Востриков М.Е.
Новый способ оценки наличия дефектов подшипниковых опор роторов авиационных газотурбинных двигателей..... 43

Кустарев Г.В., Андрюхов Н.М.
Повышение эффективности вывоза ТКО из городских агломераций..... 48

Малыхин А.Ю., Сокалло А.И., Панич А.А., Панич Е.А., Чечетин А.В.
Электромеханический гистерезис в многослойных пьезоэлектрических матрицах актюаторов 53

Афанасьева Я.В., Федотов М.Ю.
Некоторые аспекты распространения продольных волн в трещиноватых горных породах (обзор)..... 55

Семенов А.Г.
Логистическая схема замкнутой электроприводной транспортной системы «зигзаг» для жилого массива по берегам реки с разнесенными мостами..... 58

Ивахник В.Г., Наянов М.А.
Конструктивно-технологические аспекты эффективного применения тоннелепроходческих комплексов..... 63

Гурьянов Г.А., Васильева О.Ю.
Некоторые результаты разработки и исследования рабочего органа ударного действия со сферическими бойками для разрушения льда на дорогах и тротуарах..... 72

Аверина Ю.М., Челноков В.В., Черепан А.А.
Особенности изготовления ПАН-прекурсора для производства углеродного волокна..... 77

Макаров А.Г., Киселев С.В.
Методы сравнительного анализа деформационных свойств арамидных текстильных материалов 81

Кузин В.Ф., Горбачев С.В., Чунься Доу
Разработка инновационной технологической схемы нефтегазопоисковых работ 87

Цзинь Ван, Шуфэн Сунь
Метод параллельной обработки трехмерного голографического фемтосекундного лазера с дробным преобразованием Фурье 91

Сторчевой В.Ф., Судник Ю.А.
Изучение настраиваемых параметров для обучения искусственной нейронной сети 99

Авезов А.Х.
Риски реструктуризации электроэнергетики Таджикистана и гипотезы по их предупреждению 107

Комротов И.С., Челноков В.В., Аверина Ю.М.
Применение современных композитных материалов в создании ключевых конструкционных деталей беспилотных летательных аппаратов 112

Демидов А.В., Макаров А.Г.
Цифровое прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов 116

Кротов А.Е., Швейдель А.Г.
Общая характеристика зависимости отечественной строительной экономики и ее производственного сектора от введенных против Российской Федерации санкционных ограничений 123

Кулагина Л.В., Шефер Э.А.
Прототип системы раннего оповещения о пожаре на основе интеллектуального нейросетевого распознавания 128

Трещалин Ю.М., Разумеев К.Э.
Эластичные гидроизоляционные композиционные материалы на основе нетканых полотен 131

Дацюань Чэнь
CD47KO/CRT нановакцина с двойным биоинженерным покрытием для усиления иммунотерапии опухолей 134

Кузин В.Ф., Лачинина Т.А., Чистяков М.С.
Создание инхаус-команд DATA-специалистов в период галопирующей цифровизации 147

Шеина С.Г., Пасько Е.А.
Разработка уникальной ветряной установки в России 151

Яновский Л.С., Казаков А.И., Молоканов А.А., Плишкин Н.А., Варламова Н.И.
Кинетика термодеструкции топлив для газотурбинных двигателей 154

Юнь Яна, Цинцин Яо, Симин Пу, Чжэньцин Хо, Цицин Чжан
Двухфазные кальцийфосфатные макропористые каркасы, полученные из устричной раковины, для инженерии костной ткани 160

Федотов М.Ю.
Особенности контроля монолитных элементов конструкций из углекомпозитов встроенными волоконно-оптическими датчиками 168

Вагнер В.И., Егорова М.А., Егоров И.М.
Выделение вязкоупруго-пластических компонент деформации
полимерных текстильных материалов..... 173

Левин Ю.А.
Использование жидких и псевдожидких нанодобавок в теплоносителях:
анализ потенциальных возможностей и рисков..... 177

Попов А.В., Волошина В.Ю., Самуйлов А.О.
Особенности акустико-эмиссионных критериев разрушения для диагностики
силовых элементов планера воздушных судов 180

Богомолов О.В., Малышев А.А.
Инновационная технология восстановления сыпучести смёрзшихся
насыпных грузов, перевозимых в ж/д полувагонах 185

Румянцев Е.В., Метелева О.В., Пророкова Н.П., Румянцева В.Е., Одинцова О.И.
Разработка инновационных технологических решений при создании
полифункциональных текстильных материалов и изделий из них 188

Сигов А.С., Раткин Л.С.
К 80-летию Курчатовского института и 40-летию Отделения нанотехнологий
и информационных технологий Российской академии наук: интеграция науки
и образования для отечественного оборонно-промышленного комплекса 193

Трифонов Н.Ю.
Страновой риск для инвестиционных инженерных расчётов: Беларусь и Россия 199

Гогина Е.С., Гульшин И.А., Спасибо Е.В.
Исследования работы и основы расчета затопленного биореактора для
очистки сточных вод в условиях периодического использования..... 204

Попов А.В., Волошина В.Ю., Евдокимов Е.М.
Применение метода акустической эмиссии в системе технического
обслуживания воздушных судов государственной авиации 208

Швейдель А.Г., Кирпиченков А.А.
Разработка решений по увеличению экономической эффективности
коммерческой недвижимости в рамках реализации проекта реконцепции
с учетом актуальных тенденций рынка 211

**Лун У, Вэй Се, Ян Ли, Цянькунь Ни, Тимашев П., Мэн Люй, Лиган Ся,
Юань Чжан, Линжун Лю, Юфэн Юань, Син-Цзе Лян, Цицин Чжан**
Биомиметрические наноносители направляют внеклеточный гомеостаз АТФ
для ремоделирования энергетического метаболизма для активации системы
врожденного и адаптивного иммунитета 217

Пугачева И.Н., Никулин С.С., Молоканова Л.В., Разумеев К.Э.
Применение вторичных материальных ресурсов текстильной промышленности
в производстве синтетических каучуков 226

Вахрушева Я.А., Смирнов Д.Н., Венедиктова М.А., Евдокимов А.А.
Отечественные герметизирующие материалы специального назначения..... 230

Мосур В.Г.
К юбилею становления системы планово-предупредительного ремонта (ППР)..... 235

Аниськова В.А., Рязанов Д.Д.
Разработка технологии нетканых полотен технического назначения..... 240

Шеина С.Г., Чернявский И.А.
Использование энергоэффективных строительных материалов при капитальном ремонте многоквартирных зданий (на примере г.Ростова-на-Дону) 245

Трифонов О.В., Кантюков Р.Р.
Анализ влияния геокриологических процессов на подземные магистральные газопроводы методами численного моделирования 251

Прокопьев А.А., Салимгараева Р.В.
Обзор свойств строительных материалов, изготовленных с применением различных отходов 256

Смотрова С.А., Глухих В.К., Манегин С.Ю., Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Смотров А.В., Кускова А.Н., Мантрова Ю.В., Юрьев А.Ю.
О возможности количественного ультразвукового контроля приповерхностных зон металлических изделий..... 260

Фомин Н.И.
Алгоритм формирования патентоспособного решения в строительстве для начинающих изобретателей 265

Узбеков Р.Ш., Челноков В.В., Аверина Ю.М.
Синергия аддитивных 3D-технологий и искусственного интеллекта: перспективы и инновации в производстве и проектировании 268

Торицын И.В.
О выборе различных режимов оформления прав на научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы 271

Малой Б.С.
О проблеме преподавания в вузах курса «Сертификации авиационной техники» 275

Переборова Н.В., Козлов А.А.
Методология доверительного прогнозирования релаксации полимерных текстильных материалов 279

Сичевой Д.В., Разумеев К.Э.
Применение методов планирования эксперимента для прогнозирования линейной плотности пряжи..... 286

УДК 539.3

ОТКРЫТИЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КВАДРАТИЧНЫХ СООТНОШЕНИЙ
DISCOVERY UNDER STUDYING THE STRESS STATE IN MECHANICAL SYSTEMS USING QUADRATIC RELATIONS

Гусев Борис Владимирович [1,2], Саурин Василий Васильевич [3]
Gusev Boris V.[1,2], Saurin Vasily V.[3]

[1]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта (МИИТ)» Москва
[1]Federal State Institution of Higher Education «Russian University of Transport» (RUT - MIIT)"., Russia, Moscow
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук, Москва, Россия
[3]Federal State Budgetary Institution of Science Institute for Problems in Mechanics A.Yu. Ishlinsky Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Аннотация: Обсуждается использование энергетических величин в математическом моделировании физических явлений происходящих в системах с распределенными параметрами. На примере уравнений линейной теории упругости показана эффективность использования квадратичных энергетических соотношений.

Abstract: Application of energy quantities in mathematical modeling of physical phenomena occurring in systems with distributed parameters is discussed. Using the equations of the linear theory of elasticity, the effectiveness of the quadratic energy relations is shown.

Ключевые слова: метод интегродифференциальных соотношений, моделирование, эрергетические соотношения.

Keywords: the method of integrodifferential relations, modelling, energetic relations.

Одной из задач математической физики является разработка специальных моделей для изучения различных природных явлений. Основные идеи метода интегродифференциальных соотношений, как метода математического моделирования, описаны в монографиях и работах [1-5].

Рассмотрим эти идеи на примере краевой задачи линейной теории упругости.

Модели, описывающие поведение систем с распределенными параметрами, можно разделить на три типа: взаимоотношение рассматриваемой системы как целого с окружающей средой, взаимодействие компонентов системы между собой и свойств самого компонента как базиса системы.

Как уже упоминалось в [3-5], определяющие уравнения можно разделить на три группы. уравнения состояния

$$\sigma - C{:}\,\varepsilon \tag{1}$$

относятся к первой группе. Здесь σ – тензор напряжений, ε – тензор деформаций, u вектор перемещений, С – тензор модулей упругости. Двоеточие означает двойное скалярное произведение. Во вторую группу входят граничные условия

$$u = u_1(x,t), \quad x \in \Gamma_1, \quad \sigma \cdot n = q_2(x,t), \quad x \in \Gamma_2, \tag{2}$$

и специальные геометрические ограничения, например, кинематические соотношения Коши

$$\varepsilon = \frac{1}{2}(\nabla u + \nabla u^T), \tag{3}$$

где $u_1(x,t)$, и $q_2(x,t)$– заданные граничные функции, n – вектор внешней нормали к границе тела.

Уравнение статического равновесия (уравнение баланса)

$$\nabla \cdot o = 0 \tag{4}$$

представляет третью группу. Здесь считается, что объёмные силы отсутствуют.

Одна из основных идей в таких подходах состоит в том, что используемые в уравнениях математической физики переменные всегда можно разделить на две группы: первая группа состоит из так называемых измеряемых переменных, таких как смещение, скорость, температура и т.д.; вторая – из не измеряемых (виртуальных) величин: напряжение, импульс, тепловой поток и т.д.

Такое разделение переменных несёт глубинный смысл особенно для линейных систем. Выбор перемещений в качестве переменных выглядит довольно естественно. Эти величины можно измерить. Причём, в качестве измерительного прибора можно выбрать, например, линейку. Однако, оказывается, что только перемещений недостаточно, чтобы описать деформированное состояние системы. Исторически сложилось так, что в качестве другой группы переменных были назначены напряжение, применение которых позволяет составить полную систему уравнений.

Конечно, в качестве не измеряемых переменных можно выбрать другие величины, например усилие. Используя эти переменные, можно также составить полную систему уравнения. Это система уравнений будет также полная и иметь другой вид. Важно отметить, что связь между измеряемыми и виртуальными переменными устанавливается только в уравнениях состояния.

Чтобы подробно проанализировать начально-краевую задачу (1-4), рассмотрим квадратичное представление уравнения состояния (1), которое эквивалентно дифференциальному уравнению (1).

$$\Pi_d = \frac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2} - 2\frac{\sigma : \varepsilon^0}{2} + \frac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2} = 0 \tag{5}$$

Видно, что можно выделить три различных энергетических члена:

$\Pi_\sigma = \frac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2}2$ – плотность упругой энергии, которая зависит только от виртуальных переменных, а именно от напряжений;

$\Pi_{\sigma\varepsilon} = \frac{\sigma : \varepsilon^0}{2}$ – плотность энергии, выраженная через измеряемые (деформации) и не измеряемые величины;

$\Pi_\varepsilon = \frac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2}2$ – плотность упругой энергии, которая зависит только от геометрических (измеряемых) переменных.

Представление уравнений состояния (1) в квадратичном виде (5) обладает рядом преимуществ. Во-первых, при любых приближенных действительных полях перемещений напряжений и импульсов эти величины неотрицательны, как квадраты функций. Во-вторых, для точного решения задачи (1-4) значение невязки энергии Π_d строго равно нулю. Другими словами, для довольно точных аппроксимаций искомых функций σи u величина Π_d имеет малое значение, т.е. справедливы следующие соотношения

$$\Pi_d \ll \frac{\sigma : C^{-1} : \sigma}{2}; \quad \Pi_d \ll \frac{\sigma : \varepsilon^0}{2}; \quad \Pi_d \ll \frac{\varepsilon^0 : C : \varepsilon^0}{2}; \tag{6}$$

для потенциальной энергии. Неравенства (6) позволяют построить разнообразные оценки точности приближенного решения.

В качестве примера рассмотрим задачу изгиба прямоугольной жестко закрепленной пластины на левой стороне и подверженной действию силы q_0 на правой (см. рисунок 1).

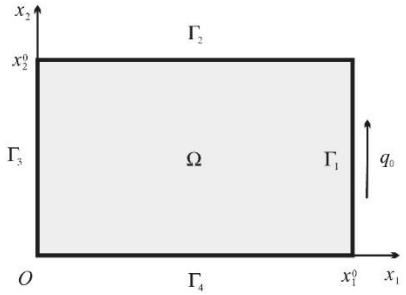


Рисунок 1 – Изгиб пластины.

Граничные условия имеют вид

$$u_1|_{x_1=0} = u_2|_{x_1=0} = 0, \tag{7}$$

$$\sigma_{22}|_{x_2=0} = \sigma_{22}|_{x_2=x_2^0} = \sigma_{12}|_{x_2=0} = \sigma_{12}|_{x_2=x_2^0} = \sigma_{11}|_{x_1=x_1^0} = 0, \tag{8}$$

$$\sigma_{12}|_{x_1=x_1^0} = q_0. \tag{9}$$

Как можно видеть из рисунка 2, приближённые значение Π_u (сплошная линия) энергии Π_dмонотонно убывает при увеличении размерности системы N. В отличие от этого, значения энергий Π_σ и $\Pi_{u\sigma}$ (пунктирные и штрихпунктирные кривые соответственно) монотонно растут, если число N увеличивается.

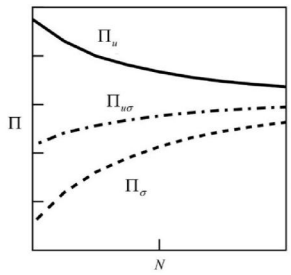


Рисунок 2 – Сходимость упругих энергий.

Работа выполнена в рамках Госзадания № 123021700050-1.

Список литературы

1. Kostin G.V., Saurin V.V. Integrodifferential relations in linear elasticity. De Gruyter Studies in Mathematical Physics 10. De Gruyter, Berlin, 2012.

2. Kostin G.V., Saurin V.V. Dynamics of Solid Structures. Methods Using Integrodifferential Relations. De Gruyter, Berlin, 2017, 305 p.

3. Костин Г.В., Саурин В.В. Метод интегродифференциальных соотношений в линейной теории упругости. МТТ, 2007, №2, с. 36-49.

4. Саурин В.В. О вариационных подходах в линейной теории упругости. Доклады АН. 2007. Т. 415. №4. С. 486-490.

5. Гусев Б.В., Саурин В.В. Идеи двойственности в математическом моделировании // Перспективные задачи инженерной науки: Сборник статей XIV Международного научного форума, Москва, 17 мая 2023 года. – Москва: ООО «Инженерный центр «Импульс», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)", 2023. – С. 77-84. – EDN RJDMWE.

УДК 621.892.27

НАУЧНАЯ ОЦЕНКА ВЫБОРА МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ УПЛОТНИТЕЛЬНЫХ УЗЛОВ И ИХ СОВМЕСТИМОСТЬ СО СРЕДОЙ SCIENTIFIC EVALUATION OF THE SELECTION OF MATERIALS FOR SEAL ASSEMBLY AND THEIR COMPATIBILITY WITH THE ENVIRONMENT

Джанахмедов Ахад Х. [1,2,3], Самедов Адалят С. [1,2], Панахова Нигяр Д. [1]
Janahmadov Ahad [1,2,3], Samadov Adalat [1,2], Panahova Nigar [1]

[1] Азербайджанская Национальная академия авиации, Азербайджан, Баку
[1]Azerbaijan National Aviation Academy, Azerbaijan, Baku
[2] Азербайджанская Инженерная академия, Азербайджан, Баку
[2]Azerbaijan Engineering Academy, Azerbaijan, Baku
[3]Международная инженерная академия
[3]International Academy of Engineering
(e-mail: dzhanakhmedov@yahoo.com)

Аннотация: Приводится исследование физико-механических свойств полимерных материалов и упрочняющих их способов за счет дисперсно-наполненных наполнителей. Показано, что полимерная матрица стабилизирует свою исходную структуру при введении углеродных наполнителей. Анализируются результаты исследований физико-механических свойств структурированных дисперсно-наполненных композитов на основе эластомерных матриц и углеродосодержащих микроразмерных частиц. Описаны межфазные взаимодействия в структурированных полимерных композитах и фрактальные соотношения для прогнозирования эффекта усиления подобных сред. Показано, что снижение модуля упругости вследствие агрегации частиц наполнителя при повышении его содержания определяет снижение пластичности композита. Приводится анализ работы уплотнительных узлов с учетом совместимости материалов уплотнений со средой и выбираются критерии для оценки материалов пар трения по комплексу физико-механических параметров.

Abstract. A study of the physical and mechanical properties of polymer materials and methods for strengthening them using dispersed fillers is presented. It has been shown that the polymer matrix stabilizes its initial structure with the introduction of carbon fillers. The results of studies of the physical and mechanical properties of structured particulate-filled composites based on elastomeric matrices and carbon-containing microsized particles are analyzed. Interfacial interactions in structured polymer composites and fractal relationships for predicting the effect of amplification of such media are described. It has been shown that a decrease in the elastic modulus due to the aggregation of filler particles with an increase in its content determines a decrease in the ductility of the composite. An analysis of the operation of sealing units is given, taking into account the compatibility of sealing materials with the environment, and criteria are selected for assessing the materials of friction pairs based on a set of physical and mechanical parameters.

Ключевые слова: совместимость материалов, уплотнительные узлы, выбор критериев, наполнители, твердость материала, упругая деформация.

Keywords: material compatibility, sealing units, choice of criteria, fillers, material hardness, elastic deformation.

Введение. Важность проблемы герметизации вращающихся валов машин и агрегатов обусловлена тем, что протечки через уплотнения насосов, компрессоров и других узлов трения приводят к огромным потерям энергии, ценного сырья, нефти, газа, воды и т.д. по некоторым данным, около 60% выбросов в атмосферу составляют неконтролируемые про-

течки через уплотнения и, следовательно, требуют дополнительных затрат на их утилизацию и обезвреживание [1], нарушает экологическое равновесие. По оценкам специалистов, одним литром отработанного нефтяного масла можно загрязнить примерно 7 млн. литров воды. Даже установлено, что постоянные, пусть небольшие загрязнения гораздо более опасны и значимы, чем разовые крупные катастрофы.

Вынужденные простои технологических линий и систем из-за отказов в работе уплотнений наносят значительный экономический ущерб предприятиям, а их ремонт требует больших затрат труб и дорогостоящих материалов. Выбор уплотнений весьма важен, так как до 70% вынужденных остановок насосов при эксплуатации происходит из-за выхода из строя уплотнений. Стоимость собственно уплотнений может достигать 20% от стоимости насосов, поэтому выбор типа уплотнения и материалов для их изготовления определяется требованиями к оборудованию и условиями обслуживания персонала.

Процессы в уплотнительных узлах определяются свойствами жидкостей и газов, физическими явлениями процессов теплопередачи и теплоотдачи, фазовыми изменениями материалов, процессами изнашивания и коррозии и совместимости материалов уплотнений со средой.

Цель работы – анализ работы уплотнительных узлов с учетом совместимости материалов уплотнений со средой и выбор критериев для оценки материалов пар трения по комплексу физико-механических параметров.

Постановка задачи. В последние годы при выборе материалов для уплотнений важное место отводится физико-химическим свойствам полимерных материалов и упрочняющих их способ за счет дисперсно-наполненных наполнителей. Учитывая, что полимерная матрица стабилизирует свою исходную структуру при введении углеродных наполнителей.

Полимеры являются типичными органическими веществами, о чем говорит их состав. Главными химическими элементами, участвующими в образовании полимеров, являются углерод, водород и кислород. По этой причине полимерам в классификации материалов можно отвести позицию, промежуточную между неживыми материалами (металлы, сплавы, керамика) и живыми объектами (белки). Полимеры (эластомеры – это линейные полимеры) не имеют кристаллической решетки в общепризнанном смысле этого слова, но их нельзя признать аморфными, поскольку они состоят из высшей степени упорядоченных сложных молекул, часто правильным образом расположенных в пространстве. Основой таких молекул является цепочка атомов углерода, связанных друг с другом ковалентными связями. Сами молекулы объединены между собой значительно менее прочными Ван-дер-Ваальсовскими или водородными связями. Длинные органические молекулы чаще всего хаотично переплетены друг с другом. В некоторых случаях полимеры могут быть и частично кристаллическими, но это означает лишь, что линейные молекулы в них упорядоченно расположены относительно друг друга. Такое строение полимеров и сосуществование в них двух видов межатомных (межмолекулярных) связей приводит к тому, что реакция полимеров на механическую нагрузку кардинально отличается от поведения неорганических кристаллов в аналогичных условиях [3-5].

Реакция упруго-наследственной системы на внешнее воздействие описывается рядом аналитических зависимостей [2]. Константами этих зависимостей служат физико-механические характеристики: модуль Юнга, модуль сдвига, объемный модуль, коэффициент Пуассона и т.д. Помимо этого, существуют параметры, характеризующие твердость резины, внешнее трение и износ, например коэффициент трения, удельный износ и т.д. Эти характеристики не были предложены в [2] специально для резины, а заимствованы из хорошо разработанной методики исследования металлов. Однако релаксационный характер деформации не позволяет использовать их без учета специфики резины как упруго-наследственного материала. Так, например, модуль Юнга резины не является постоянной величиной и в этом главное отличие полимерных материалов от металлических и керамических, у которых при температуре эксплуатации модуль упругости можно считать постоянным. Он существенно зависит от времени действия силы, амплитуды деформации воздействия

агрессивной среды и т.д. Другие параметры резины также не являются константами и в большей или меньшей степени зависят от перечисленных условий. Поэтому, чтобы характеризовать резину как материал, вводят некоторые условные значения постоянных, придавая им определенный физический смысл и тем самым заранее определяя корректность постановки задачи и точность ее решения [3].

В таблице 1 приведена характеристика важнейших эластомеров [2].

Таблица 1. Важнейшие эластомеры и их свойства

№	Полимер	Химическое строение	Диапазон рабочих температур °С	Прочность МПа	Удлинение % до	Твердость по Шору ^{0}Sh
1	Натуральный каучук	Углеводородный каучук (ненасыщенный полимеризат)	-30...+120	50...280	-1000	30...98
2	Каучук «буна-С»	Смешанный полимеризат бутадиена и стирола	-30...+130	50...240	-700	40..95
3	Каучук «пербунан-М»	Смешанный полимеризат бутадиена и акрилнитрила	-30...+130	50...240	-700	40...95
4	Бутиловый каучук	Смешанный полимеризат изобутиена с бутадиеном или изопреном	-50...+150	40...170	-900	40...90
5	Гиполоны	Высокополимеризованные оксаноксилоксаны	-40...+140	40...200	-600	40...95
6	Силиконовый каучук	Сульфохлорированный полиэтилен	-100...+200	20...80	-500	40...80
7	Тиокол	Акрилполисульфид	-40...+80	10...60	-200	65...80
8	Вирам	Полиакрилат	-30...+120	20...70	-700	70...85
9	Вулколан	Полиуретан	-30...+80	200...320	-600	70...95
10	Адипрены	Полиуретан	-40...+120	80...300	-700	70...95
11	Эластомер «кел-Ф»	Смешанный полимеризат трифторэтилена и несимметрического дифторэтилена	-50...+180	30...120	-700	60...90
12	Витон	Смешанный полимеризат несимметрического дифторэтилена и тексафторпропилена	-60...+200	80...160	-300	60...95
13	ПТФ	Политетрафторэтилен	-200...+280	140...310	-200	55D
14	Этилен-пропиленовый каучук	Этилен – пропилен	-40...+200	50...160	-500	50...95
15	Фторсиликоновый каучук	Фторсиликоновый каучук	-60...+230	55...85	-400	40...80

Для характеристики напряженного состояния твердого тела теория упругости предполагает существование шести независимых компонент напряжения и шести соответствующих компонент деформации. Таким образом, функциональная связь «напряжение – деформация» включает 36 упругих постоянных [4, 5].

Решение задачи. Для характеристики изотропных материалов, к которым относится и резина, существуют лишь две независимые упругие константы: напряжение σ, выражаемое силой, приходящейся на единицу площади поперечного деформированного сечения ($\sigma = P/F$), и упругая деформация ε, определяемая увеличением длины образца Δl к его первоначальной длине l ($\varepsilon = \Delta l/l$). Общий вид кривой «напряжение – деформация», характерный для каучукоподобных материалов, показан на рис. 1 [5].

При малых деформациях, когда связь $\sigma - \varepsilon$ можно считать линейной, пользуются законом Гука

$$\sigma = \varepsilon E, \qquad \tau = G\gamma.$$

При расчете резиновых систем вводят также понятие объемного модуля $K = -P/(\Delta V/V)$, где P – давление, $\Delta V/V$ – объемная деформация резины в замкнутом

объеме.

Между модулями Юнга, сдвига и объемным модулем существует связь

$$E = 2G(1 + \mu), \qquad E = 3K(1 - 2\mu),$$

где μ –коэффициент Пуассона, определяемый отношением относительной поперечной деформации ε' к относительной продольной ε ($\mu = \varepsilon' / \varepsilon$). Вычисленный таким образом коэффициент μ для резины не остается постоянным, он увеличивается при сжатии и уменьшается при растяжении.

Для всех материалов значение коэффициента Пуассона лежит в диапазоне 0...0,5. Для резин в условиях сжатия при сухом трении на торцах μ=0,465...0,485. На практике обычно принимают μ=0,5, что существенно упрощает расчеты и находится в полном соответствии с представлениями о резине как о материале с высокой объемной упругостью, вследствие чего она может рассматриваться как совершенно несжимаемое тело [3].

О применимости этого закона к резинам нет единого мнения и твердо установленных концепций. В общем случае линейный участок зависимости $\sigma - \varepsilon$ является функцией многих переменных, и прежде всего состава исходной смеси, степени наполнения, режима вулканизации и т.д. Для ненаполненных и слабонаполненных резин линейность в ряде случаев сохраняется до 50% и более, а для сильноненаполненных смесей – лишь до 1,0...10%. Все это свидетельствует о том, что применимость закона Гука для конкретных марок резин должна устанавливаться в каждом случае отдельно.

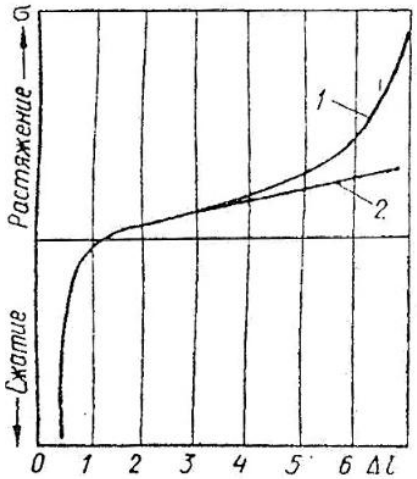


Рисунок 1 – Зависимость напряжение-деформация для резин 1 – экспериментальная кривая; 2 - кривая по закону Гука

При значительных растяжениях, как это следует из рис. 1, наблюдается нелинейное возрастание жесткости, что связано с параллельной вытяжкой молекулярных цепей и образованием зон кристалличности. В этом случае модуль упругости можно определить лишь в дифференциальной форме.

Одной из важнейших задач проектирования уплотнений является выбор материалов совместимых с окружающей средой и внутренней средой. Рабочие жидкости, а также смазки различных машин в большинстве случаев являются минеральными или синтетическими маслами, выполняющими в гидросистеме, помимо функции рабочего тела, функции смазочного и охлаждающего агента, защиты деталей от коррозии, отвода из системы продуктов износа. Для всех рабочих жидкостей характерна малая химическая активность, высокая стабильность, теплостойкость, не взрывоопасность, не токсичность, хорошая совместимость с применяемыми в гидросистеме материалами уплотнений. С точки зрения совместимости с материалами уплотнений, среды отличаются малоагрессивными (преимущественно нефтепродуктами), агрессивными (слабые водные растворы солей), высокоагрессивными (морская вода, кислота, окислители и т.д.). Следовательно, под воздействием уплотняемой жидкости и окружающей среды работоспособности материала уплотнения

уменьшается со временем по экспоненциальному закону, а логарифм долговечности уплотнения, отвечающий определенному значению работоспособности, обратно пропорционален абсолютной температуре. Эластомеры (линейные полимеры) и пластмассы под воздействием среды претерпевают физико-химические изменения, т.е. старение и изменение объема. Для оценки поведения эластичных материалов уплотнений при воздействии жидкости прежде всего определяют их набухание по изменению объема и веса. В случае пространственных полимеров увеличение объема при набухании приводит к распоряжению гибких участков сетки между узлами. Вследствие этого уменьшается энтропия сетки, что приводит к остановке процесса набухания.

Нитрильные каучуки СКН-18, СКН-26 и СКН-40 набухают в нефтепродуктах тем меньше, чем больше в молекулах каучука нитрила акриловой кислоты. Набухание нитрильных каучуков в нефтепродуктах определяется соотношением парафиновых и ароматических углеводородов жидкости, причем последние вызывают значительное набухание. Более объективную оценку воздействия масел на резины, полученные на основе нитрильного каучука, дает сравнение набухания эталонной резины в различных средах. Стойкость ряда резин к воздействию нефтепродуктов может быть оценена по величине набухания в какомлибо одном наиболее стабильном масле, если принять его агрессивность за постоянную величину. Допустимым пределом весового набухания материалов уплотнений считают $q = 8 \div 12\%$, а потери веса $2 \div 4\%$, так как набухание в основном вызывает деформацию уплотнений, а потеря компонентов резины ухудшает ее длительную работоспособность.

При уплотнении большинства рабочих жидкостей (масел, нефтепродуктов) может наблюдаться явление облитерации, заключающееся в заращивании щелей с размером менее 0,5 мкм, граничными пленками поверхностно – активных веществ. Механизм действия эластичного уплотнения прежде всего следует рассмотреть на примере резиновых колец прямоугольного или кругового сечения при высоких давлениях. Кольца круглого и прямоугольного сечения для неподвижных соединений для низкого давления изготовляются из материала средней твердости $H_p = 65 \div 75$, а для высоких давлений твердость материала $H_p = 75 \div 85$. Испытания материала должны сохранять высокоэластичные свойства в течении срока службы уплотнительного узла [4].

Как было указано выше материалы пар уплотнений выбирают в зависимости от характеристик рабочей среды, условий работы по параметрам нагрузки и антифрикционных свойств, при взаимодействии поверхностей трения. Анализ работы уплотнений на нефтяной среде показывает, что требования, предъявляемые к материалам пар трения, можно свести к ряду показателей применимости: коррозионной стойкости; эффективности теплоотвода; работоспособности материала в режиме трения при «смазочном голодании».

Для оценки материалов пар трения предлагается сравнивать их по комплексу параметров $\frac{\lambda E}{\alpha}$, т.е. соотношением теплопроводности материала и модуля упругости на коэффициент температурного линейного расширения, где λ –теплопроводность материала, E – модуль упругости, α – коэффициент температурного линейного расширения.

По этому комплексу $\frac{\lambda E}{\alpha}$ лучшие материалы уплотнений составляют из мягких графитов – электрографит с пропиткой сурьмой $-2{,}31 \cdot 10^5$; из твердых графитов – силицированный графит $-42 \cdot 10^5$; карбит кремния $-130{,}2 \cdot 10^5$, и дисперсно-наполненные полимерные композиты.

Важным условием повышения работоспособности уплотнений является использование для пар трения особо твердых износостойких материалов. Эффективным путем совершенствования уплотнений является переход от менее износостойких пар трения, к значительно более износостойким: углеграфит по силицированному графиту, минерало- или металлокерамике, силицированный графит по силицированному графиту и полимерных композитов.

Однако одним из основных недостатков полимерных композитов является их охрупчивание. Повышение содержания наполнителя приводит, как правило, к снижению пластичности композита, что выражается в уменьшении его предельной деформации до разрушения или ударной вязкости. Но в случае композитов эта общая тенденция нарушается. Согласно исследованиям [6], показано, что с помощью фрактальной модели, разработанной для количественного описания увеличения пластичности (деформация до разрушения) дисперсно-наполненных композитов было показано, что изменение пластичности этих композитов (экспериментальное увеличение по мере роста $\varphi_{\text{н}}$) обусловлено таким же изменением модуля упругости при примерно постоянном пределе текучести. Данная модель основана на оценках предельной степени вытяжки $\lambda_{\text{р}} = 1 + \varepsilon_{\text{р}}$ ($\varepsilon_{\text{р}}$ –деформация до разрушения) и фрактальной размерности участка полимерной цепи между точками ее фиксации. Кроме того, показано, что снижение модуля упругости вследствие агрегации частиц наполнителя при повышении его содержания определяет снижение пластичности композита.

Применение фрактального формализма вместе с количественной структурной моделью аморфного состояния полимеров позволяют выяснить ряд важных материаловедческих аспектов полимерных композитов, которые нельзя решить в рамках механики сплошной среды. Введение дисперсного наполнителя в полимерную матрицу дает ряд эффектов, которые не наблюдаются для объемных аморфных полимеров. Влияние структуры и свободного объема на свойства композитов существенно различается по своим количественным характеристикам [6].

Общий вид фрактальных диаграмм и величин параметров, характеризующие их особые точки, позволяют сделать выводы о влиянии агрегации частиц наполнителя на структуру и свойства композитов ПГЭ-Гр. Полученные результаты компьютерного моделирования свидетельствуют о возможности использования фрактального формализма для оценки тенденций изменения структуры и свойств дисперсно-наполненных полимерных композитов, в частности, вызванного агрегаций частиц исходного наполнителя [7].

Кроме того, положительные результаты также демонстрируют самосмазывающиеся материалы, представляющие собой комбинацию пластмассы с графитом. Композиционные пленки показали хорошую износостойкость и низкий коэффициент трения в жидком азоте.

При низких температурах углеродные материалы имеют такие же характеристики, как и при высоких температурах.

Графитофторопластовые антифрикционные материалы применяют, в основном, в окислительных средах. В сильных окислителях и ряде других нефтяных средах применяют материал Ф4К20 на основе фторопласта – 4 с 20% кокса, работающий в паре с керамикой ЦМ-332, а также полимерные композиты типа ПГЭ-Гр.

Рекомендуемые уровни максимально допустимой нагрузки в трущейся паре, полученные на основе исследования контактных уплотнений при более 40 HRC составляет 1,0 МПа.

Заключение. Полимеры имеют сложную многоуровневую структуру, включающую молекулярный, топологический и надмолекулярный уровень. Использование фрактальных размерностей в качестве структурных характеристик позволяет легко и строго получить аналитические соотношения между различными параметрами, определяющих указанные уровни.

В работе проведено исследование специфических особенностей структуры дисперсно-наполненных металло-полимерных нанокомпозитов на примере композиционного материала с полимерной матрицей, состоящей из смеси эпоксидной смолы (ЭД-20) и бутадиен-стирольного каучука (БСК), и наполнителем в виде наночастиц меди.

Для дисперсно-наполненных полимерных композитов с аморфной стеклообразной матрице предел текучести взаимосвязан с усиливающим эффектом (повышением модуля упругости) и структурным состоянием полимерной матрицы.

Следует отметить, что пропорциональность модуля упругости и предела текучести

для полимерных материалов может быть только частным случаем (при неизменности структуры материала). В общем случае существует достаточно большое число как молекулярных, так и структурных факторов, оказывающих сильное влияние на величину предела текучести. Фрактальные модели, учитывающие фрактальную размерность структуры композита (или связанную с ней размерность областей локализации избыточной механической энергии) позволяют определить предельно достижимые значения предела текучести для полимерных композитов.

Однако одним из основных недостатков полимерных композитов является их охрупчивание. Повышение содержания наполнителя приводит, как правило, к снижению пластичности композита, что выражается в уменьшении его предельной деформации до разрушения или ударной вязкости. Но в случае композитов эта общая тенденция нарушается. Согласно исследованиям показано, что с помощью фрактальной модели, разработанной для количественного описания увеличения пластичности (деформация до разрушения) изменение пластичности дисперсно-наполненных композитов обусловлено таким же изменением модуля упругости при примерно постоянном пределе текучести. Данная модель основана на оценках предельной степени вытяжки $\lambda_{\text{р}} = 1 + \varepsilon_{\text{р}}$ ($\varepsilon_{\text{р}}$ – деформация до разрушения) и фрактальной размерности участка полимерной цепи между точками ее фиксации. Выявлено, что снижение модуля упругости вследствие агрегации частиц наполнителя при повышении его содержания определяет снижение пластичности композита.

Список литературы

1. Зуев Л.Б., Данилов В.И. Физические основы прочности материалов: Учебное пособие – Долгопрудный: Издат. дом «Интеллект», 2013. -376с.

2. Нильсон Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций. – М.: Химия, 1978. – 310 с.

3. Janahmadov A.Kh., Javadov M.Y. Fractal Approach to Tribology of Elastomers. Springer International Publishing AG, 2nd ed. 2020, – 401 p.

4. Джанахмедов А.Х. Механика эластомеров в нефтегазовом оборудовании. Баку: Чашыоглу, 2002. – 308 с.

5. Бартенев Г.М. Прочность и механизм разрушения полимеров. - М.: Химия, 1984.

6. Яновский Ю.Г., Козлов Г.В., Карнет Ю.Н. Фрактальное описание механизма усиления дисперсно-наполненных полимерных композитов // Механика композиционных материалов и конструкций. – 2011. – Т.17. –№2. –с.205-208.

7. Яновский Ю.Г., Никитина Е.А., Теплухин А.В. и др. Новые компьютерные технологии для моделирования структуры и микромеханических свойств гетерогенных вязкоупругих сред // Физ. мезомех. – 2003 - т.6. - №4. – с.129-142.

УДК 621.892.2:543.23

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМООКИСЛИТЕЛЬНОЙ СТАБИЛЬНОСТИ СМАЗОЧНЫХ КОМПОЗИЦИЙ НА ОСНОВЕ ЭФИРОВ ПОЛИОЛОВ
STUDY OF THERMO-OXIDATIVE STABILITY OF LUBRICATING COMPOSITIONS BASED ON POLYOL ESTERS

Яновский Леонид Самойлович [1,2,3,4], Ежов Василий Михайлович [1,4], Ильина Марина Анатольевна [1]
Yanovskiy Leonid S. [1,2,3,4], Ezhov Vasiliy M. [1,4], Ilina Marina A. [1]

[1]*Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г. Черноголовка*
Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS, Chernogolovka
(E-mail: leonidyanovskiy@yandex.ru; anathema40000@gmail.com*;* lapohka12@yandex.ru*)*
[2]*Российская академия ракетных и артиллерийских наук, г.Москва*
Russian academy of rocket and artillery sciences, Moscow
[3]*Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), г.Москва*
Moscow aviation institute (National research university), Moscow
[4]*Российская инженерная академия, г.Москва*
Russian academy of engineering, Moscow

Аннотация: Проведены экспериментальные исследования влияния окисления при температурах 200, 225 и 240°С полиэфирной смазочной композиции на основные физико-химические и эксплуатационные свойства, в том числе при добавлении 1% масс. воды. Получены математические зависимости значений характеристик от времени и температуры окисления. Определено время достижения предельно допустимых значений эксплуатационных свойств смазочной композиции.

Abstract: Experimental studies of the oxidation at temperatures of 200, 225 and 240°C effect of a polyester lubricant composition on the basic physical/chemical and operational properties, including the addition of 1% by weight water, have been carried out. Mathematical dependences of the properties values on the time and temperature of oxidation are obtained. The maximum permissible values of the operational properties reaching time of the lubricant composition is determined.

Ключевые слова: смазочная композиция, эфиры полиолов, эсплуатационные свойства, термоокислительная стабильность, авиационные масла, работоспособность, кинетика окисления.

Keywords: lubricating composition, polyol esters, operational properties, thermal-oxidative stability, aviation oils, operability, oxidation kinetics.

Основной тенденцией технического совершенствования авиационных ГТД является повышение температуры газа перед турбиной и степени повышения полного давления в компрессоре, что приводит к увеличению механической и тепловой нагрузки на модули двигателя (опоры, вентилятора и нагрузка на вал ротора) [1].

Повышение рабочих температур двигателя, а также уменьшение объёма масляной системы и требования по снижению расхода масла повышают требования к термоокислительной стабильности (ТОС) масел.

Необходимы масла, стойкие к образованию высокотемпературных отложений и изменению физико-химических и эксплуатационных свойств под воздействием высоких температур, максимально индифферентные к уплотнительным материалам [2].

Обводнение масла является одним из факторов, влияющих на качество масла в процессе эксплуатации, а также на состояние и износ авиационных двигателей в процессе эксплуатации в целом. Данные по влиянию попадания воды на эксплуатационные свойства масел отсутствуют [3].

Существующая практика оценки качества масел не предполагает изучение зависимости изменения физико-химических и эксплуатационных свойств масла от времени и температуры окисления. Трибологические свойства, совместимость с эластомерами и пенообразующие свойства определяются только для масел в состоянии поставки. Влияние окисления масла на эти свойства неизвестно.

Эфиры полиолов являются наиболее перспективными основами для производства масел для теплонапряженных авиационных ГТД массового сегмента. На основе эфиров полиолов разработаны масла со стандартным и повышенным уровнем термоокислительной стабильности. Изменение эксплуатационных свойств масел на основе эфиров полиолов изучены не полностью.

Зависимости эксплуатационных свойств полиэфирных смазочных композиций (СК) от времени и температуры окисления могут быть полезны при оценке уровня качества новых масел, а также при проектировании маслосистем перспективных ГТД.

В качестве объекта исследования выбрана СК со стандартным уровнем ТОС на основе эфиров полиолов, применяемая для смазки ГТД и редукторов вертолётов. Предельная температура применения СК составляет 200°С [4].

Авторами определены кинематическая вязкость, кислотное число, коррозионная агрессивность, количество образовавшегося осадка, трибологические характеристики на установке ЧШМ, стойкость к пенообразованию, а также степень воздействия на эластомеры СК, а также её смесей с дистиллированной водой в количестве 1% масс., окисленных при температурах 200, 225 и 240°С в течение 50 часов (рисунок 1). Контроль характеристик СК проводился каждые 10 часов.

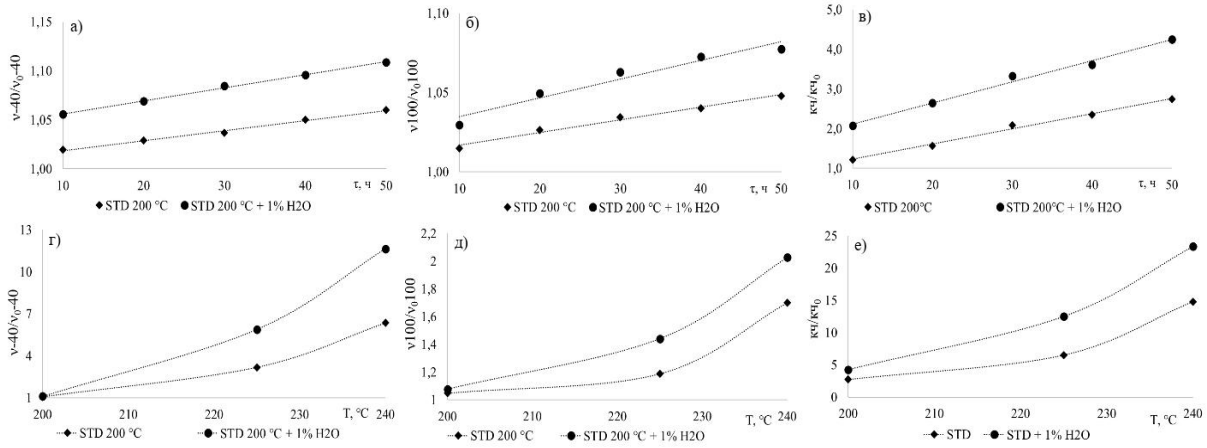


Рисунок 1 – Зависимость кинематической вязкости при минус 40°С и 100°С, а также кислотного числа от времени окисления – а), б), в) и температуры окисления – г), д), е)

Экспериментальные исследования проводились с помощью стандартизованных методов, широко применяющихся для определения характеристик авиационных масел [5-9]. Для оценки воздействия масла на резины использовался метод ЦИАМ, заключающийся в оценки механических свойств образца резины после контакта с маслом. В данной работе приведены результаты определения относительного предела прочности для резины марки 51-1434.

Установлено, что характеристики СК без добавления воды за исключением критической нагрузки изменяются прямо пропорционально времени. Зависимость характеристик от температуры окисления носит степенной характер.

Добавка воды приводит к снижению кинематической вязкости при температуре 100°С и повышению пенообразующих свойств СК. При нагреве образцов СК выше 100°С наблюдается испарение воды, после чего кинематическая вязкость и пенообразующие свойства скачкообразно принимают значения, характерные для СК в состоянии поставки. При дальнейшем окислении изменение характеристик СК протекает монотонно.

Критическая нагрузка снижается в два раза в течение первых 20 часов окисления. В течение последующих 30 часов наблюдается повышение критической нагрузки на 20%. Результаты определения содержания фосфора и кинематической вязкости при температуре 20°С позволяют предположить, что значение критической нагрузки суммарный результат повышения вязкости и неполного окисления противозадирной фосфорсодержащей присадки (рисунок 2) [10].

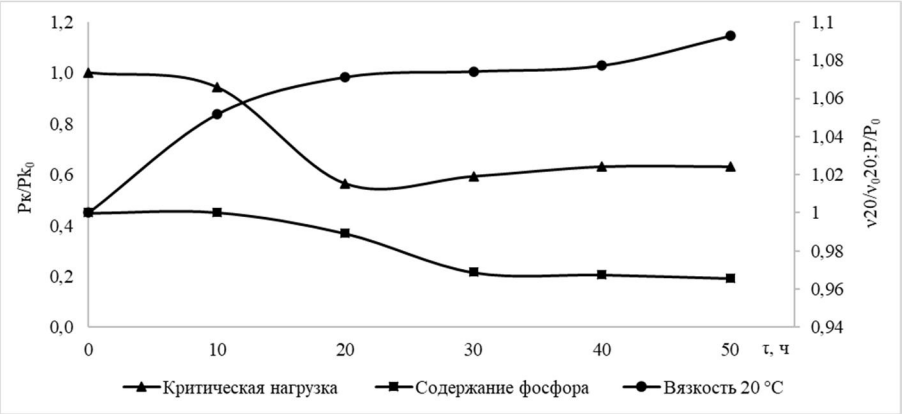


Рисунок 2 – Зависимость кинематической вязкости при 20°С, содержания фосфора и критической нагрузки от времени окисления.

Ранее проведенные исследования показали, что эксплуатационные свойства масла, изменяющиеся монотонно в зависимости от температуры и времени окисления, достаточно точно описываются уравнением Аррениуса [10]. Предполагая, что изменение характеристики СК пропорционально концентрации продуктов реакции окисления, были получены математические зависимости изменения характеристик СК от температуры и времени окисления на основе уравнения Аррениуса.

Определены предэкспоненциальный множитель А и энергия активации Еа для скорости изменения каждой характеристики СК от температуры окисления k вида [10]:

$$k = A\,exp\left(-\frac{Ea}{RT}\right), \tag{1}$$

Рассчитаны значения температур окисления T_m, при которых достигается предельно допустимое значение (ПДЗ) параметра ν_{max} по формуле (2):

$$T_m = \frac{Ea}{R(ln\,\tau + ln\,A - ln(\nu 0_{max}()))()} \tag{2}$$

где R – газовая постоянная, τ – заданное время окисления, ν_0 – значение параметра до окисления.

В качестве предельно допустимых значений показателей выбраны значения норм, указанные в технических условиях на исследуемое масло. Для высоты и времени разрушения столба пены в качестве ограничивающих значений выбраны значения масла-аналога.

Построены зависимости температуры окисления от времени окисления по каждой характеристики СК (рисунок 3).

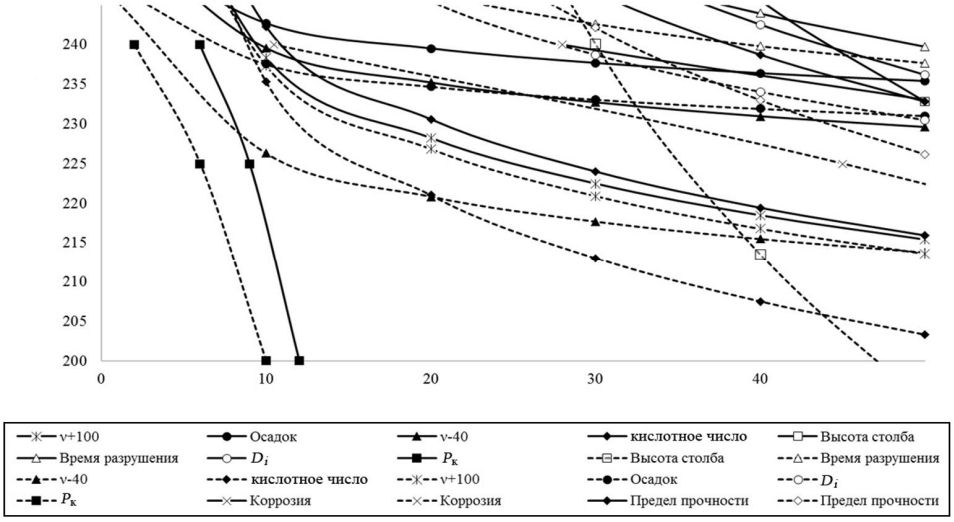


Рисунок 3 – Зависимости времени достижения ПДЗ показателей масла от времени окисления и добавки воды в количестве 1% масс.

Результаты исследований влияния воды на эксплуатационные свойства СК показаны пунктирными линиями.

Установлено, что при окислении масла наименьшим запасом качества обладает критическая нагрузка. При окислении масла при 200°С через 12 часов значение критической нагрузки не удовлетворяет требованиям нормативной документации на масло. При 225°С масло по критической нагрузке соответствует требованиям 11 часов, при 240°С – 9 часов. Попадание воды в количестве 1% масс. сокращает время работоспособности на 2 часа.

Наибольшее влияние попадание воды оказывает на работоспособность по кинематической вязкости при температуре минус 40°С и высоте столба пены при 25°С. При содержании воды в количестве 1% масс. время достижения предельно допустимого значения параметра кинематической вязкости при температуре минус 40°С сокращается в 6 раз, а время достижения предельно допустимого значения параметра высоты столба пены сокращается в 2,5 раза.

При попадании воды соответствие показателей масла требованиям технических условий в течение 50 часов обеспечивается при 195°С, без воды – при 215°С.

Выводы

На основе проведенных экспериментальных исследований разработаны математические зависимости значений эксплуатационных свойств смазочной композиции на основе эфиров полиолов от времени и температуры окисления, в том числе при добавлении воды.

Смазочная композиция на основе эфиров полиолов обладает наименьшим запасом качества по показателю «критическая нагрузка». Попадание воды приводит к заметному снижению запаса качества по пусковым свойствам и стойкости к пенообразованию.

При создании смазочных композиций для перспективных теплонапряженных ГТД следует обратить внимание на динамику снижения трибологических характеристик в процессе окисления.

Исследования проведены в рамках тематической работы № FFSG-2024-0015.

Список литературы

1. Яновский Л.С., Дмитренко В.П., Дубовкин Н.Ф. и др. Основы авиационный химмотологии: учеб. пособие. - М.: МАТИ, 2005.

2. Резников М.Е. Топлива и смазочные материалы для летательных аппаратов//Военное издательство министерства обороны СССР-Москва, 1973.

3. Сыроедов Н.Е., Галко С.А., Шарыкин Ф.Е., Муратханов Н.А. Обводненность синтетических масел для авиационной техники// Научный Вестник МГТУ ГА, №03, Т.19, 2016.

4. Яновский Л. С., Ежов В.М., Молоканов А.А., Нормативные требования к отечественным и зарубежным маслам для авиационных газотурбинным двигателям // Вестник МАИ, №4, Т. 19, 2012.

5. ГОСТ 33-2016 «Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости».

6. ГОСТ 5985-79 «Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа».

7. ГОСТ 9490-75 «Материалы смазочные жидкие и пластичные. Метод определения трибологических характеристик на четырехшариковой машине».

8. ГОСТ 21058-75 «Жидкости для авиационных гидросистем и масла авиационные. Метод определения пенообразующих свойств».

9. ГОСТ 23797-79 «Масла для авиационных газотурбинных двигателей. Метод определения термоокислительной стабильности в объеме масла (с Изменениями 1, 2)».

10. Л.С. Яновский, В.М. Ежов, М.А. Ильина, К.В Шаранина. Исследование термоокислительной стабильности синтетических масел для авиационных ГТД и редукторов вертолётов. Мир нефтепродуктов, №2, 2021.

УДК 677.494:666.189.212

ХИМИЧЕСКИЕ ВОЛОКНА ДЛЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ
CHEMICAL FIBERS FOR POLYMER COMPOSITE MATERIALS

Демина Н.М. [1], Разумеев К.Э. [2,3], Белгородский В.С. [2]
Demina N.M., Razumeev K.E., Belgorodsky V.S.

[1]АО «НПО Стеклопластик», Московская область, Солнечногорский район, р.п. Андреевка, Россия
[1]JSC "NPO Stekloplastic", Moscow region, Solnechnogorsk district, Andreevka 3a, Russia
(E-mail: nat-demina@mail.ru)
[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва, Россия
[2]Kosygin Russian State Universite Moscow
(E-mail: ker2210@yandex.ru)
[3]Российская инженерная академия, Москва, Россия
[3]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow

Аннотация: В статье обсуждены современные армирующие волокна применяемые в производстве полимерных композитов. Приведены способы промышленного производства углеродных, арамидных, борных, сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых, стеклянных и базальтовых волокон, оценены преимущества каждого вида волокон и составлена таблица сравнительных характеристик.

Annotation: The article discusses modern reinforcing fibers used in the production of polymer composites. Methods for the industrial production of carbon, aramid, boron, ultra-high molecular weight polyethylene, glass and basalt fibers are described, the advantages of each type of fiber are evaluated, and a table of comparative characteristics is compiled.

Ключевые слова: полимерные композиты, углеродные волокна, арамидные волокна, стеклянные волокна, сверхвысокомолекулярные полиэтиленовые волокна, базальтовые волокна.

Key words: polymer composites, carbon fibers, aramid fibers, glass fibers, ultra high molecular weight polyethylene fibers, basalt fibers.

Целью научно-промышленного сообщества производителей современных композиционных материалов является заменить привычные материалы, такие как дерево, сталь и алюминий, в производстве конструкций ответственного назначения.

Наукоемкой задачей является обеспечение максимальной прочности изделия из композиционного материала при минимальном весе конструкции.

Полимерные композиты однородны в макромасштабе, при этом в микромасштабе они состоят из компонентов разной природы, чаще всего это армирующие волокна и связующая органическая матрица.

В качестве армирующих материалов для производства композитов используют в настоящее время ультратонкие волокна различной химической природы с диаметром элементарного волокна от 5 до 40 микрон. Современные «усилители прочности» – это стеклянные волокна, углеродные волокна, арамидные волокна, базальтовые волокна, борные волокна и волокна из сверхвысокомолекулярного полиэтилена.

Выбор типа волокнистого наполнителя для армирования органического связующего определяет технический уровень свойств полимерного композита.

Наивысшие удельные прочностные характеристики однонаправленных армированных полимерных композиционных материалов достигнуты в случае армирования полимерной матрицы (эпоксидная смола) высокопрочными углеродными волокнами. Удельный модуль упругости при растяжении однонаправленных армированных полимерных композитов наивысший в случае армирования полимерной матрицы (эпоксидная смола) высокомодульными углеродными волокнами [1].

Углеродные волокна представляют собой химически чистое вещество, более 99% в котором составляет один элемент – углерод. Промышленная технология производства углеродных волокон основана на термической обработке различных органических волокон: гидратцеллюлозных волокон, полиакрилонитрильных волокон (ПАН-волокон), нефтяных и каменноугольных пеков. Высококачественные армирующие углеволокнистые материалы для композитов получают на основе ПАН-волокон [2]. В 2021 году впервые в России запущен завод по производству ПАН-прекурсора на территории особой экономической зоны «Алабуга». Технология производства углеродных волокон была изобретена в Японии в1960-ых годах и на сегодняшний день более 70% УВ выпускается в Японии. Мировой объем производства углеродных волокон порядка 150 тыс. тонн в год, аналитики прогнозируют незначительный рост мирового рынка на уровне 3-5%. В России развитием промышленных технологий углеродных волокон занимается UMATEX Group Госкорпорации «Росатом», основными производителями выступают ООО «Алабуга-Волокно», ООО «Аргон», ООО «ЗУКМ».

Углеродные волокна обладают комплексом ценных потребительских свойств (таблица): высокая удельная прочность и жесткость, низкий коэффициент линейного термического расширения, тепло- и электрофизические свойства от полупроводников до проводников, высокая химстойкость ко всем агрессивным средам за исключением сильных окислителей, радиационная стойкость. На основе УВ получают «карбоновые нагреватели», медицинские очистительные салфетки, используют углеродные волокнистые материалы в строительном ремонте для «внешнего» армирования и для получения углепластиков – полимерных композитов для атомной, космической, авиационной промышленностей и сфер социального применения: медицинские протезы, спортивный инвентарь, бытовая техника.

Второй тип высокотехнологичных армирующих волокон – это арамидные волокна. Коммерческие высокопрочные и высокомодульные арамидные волокна являются органическими волокнами на основе ароматических полиамидных полимеров. Промышленная технология арамидных волокон существует двух видов и основана на экструзионном вытягивании через фильеры из раствора волокнообразующего полимера в концентрированной сильной неорганической кислоте. Первое волокно торговой марки Кевлар появилось в США в 1970-х годах. В настоящее время ассортимент арамидных волокон производимых в мире широк и обусловлен модификацией состава полимера, условиями выработки и термообработки. Наблюдается непрерывный рост мирового рынка потребления, мировой объем производства составляет немного более 100 тыс. тонн в год. В России объем производства арамидного волокна не превышает 500 тонн в год. Арамидные волокна выпускают под торговыми марками: «СВМ», «Руслан», «Армос», «Артек», «Русар-С», «Русар-НТ» – производитель АО «Каменскволокно» – 94% рынка. Сейчас единственным предприятием, производящим отечественные арамидные волокна по высокоскоростной сернокислотной технологии, является ООО «ТЕМА-М» (марка Армалон®). Все российские арамиды являются высокопрочными и высокомодульными нитями и по этим показателям превосходят зарубежные аналоги. В настоящее время часть используемого сырья не производится в РФ (парафенилендиамин, N,N-диметилацетамид), и с закрытием европейского и американского рынка производители вынуждены осваивать азиатское сырье.

Важнейшими преимуществами волокон являются низкая плотность, высокие механические прочностные свойства и модуль упругости, отличная прочность на растяжение, устойчивость к воздействию высоких температур и износу, сохраняющиеся при воздей-

ствии агрессивных сред [3]. Арамидные волокнистые материалы используют для изготовления огнезащитной одежды, средств индивидуальной бронезащиты, кабельных изделий, а также в качестве армирующих наполнителей высокопрочных органопластиков. Органопластики широко применяются в конструкциях самолетов и вертолетов и являются перспективными полимерными композиционными материалами.

Самые легковесные полимерные композиты получены при армировании полимерной матрицы волокнами из сверхвысокомолекулярного полиэтиэтилена. Технологию получения СВМПЭ-волокон основанную на экструзионном формовании через фильеры из геля сверхвысокомолекулярного полиэтилена в высококипящем растворителе предложила голландская корпорация Dutch State Mines (DSM). Объем мирового производства сегодня составляет порядка 15 тыс. тонн в год, основные мировые производители СВМПЭ-волокна заводы «Dyneema» («DSM», Нидерланды) и «Spectra» («Honeywell», США). Мировой рынок СВМПЭ волокна растет на 10% в год. В России пока нет промышленного производства СВМПЭ. Разработки ведут «Научно-исследовательский институт синтетического волокна с экспериментальным заводом» (г. Тверь) и «Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения» (г. Хотьково).

Это самые легкие химические волокна, используемые для армирования полимерных композиционных материалов, плотность 0,96-0,97 г/см^3. Канаты и тросы из СВМПЭ-волокна прочные, износостойкие, не коррозируют в морской воде и не тонут. Волокна обладают высокими прочностными свойствами, модулем упругости, удлинением при разрыве [4]. По удельным характеристикам СВМПЭ-волокна существенно превосходят другие типы армирующих волокон – по стойкости к истиранию, воздействию химических и радиационных факторов, радиопрозрачности. Полимерные композиты на основе сверхвысокомолекулярных полиэтиленовых волокнистых материалов используют для бронежилетов, шлемов, износостойких изделий в машиностроении, панелей облицовки в судостроении.

Разрешительно высокую рабочую температуру эксплуатации полимерным композиционным материалам возможно достичь при использовании для армирования борных волокон. Борные волокна представляют собой аморфный продукт элементарного бора в виде моноволокон диаметром 80-200 мкм. Борное волокно изготавливают осаждением из газовой фазы в результате разложения галогенидов бора в токе водорода на вольфрамовую проволоку. Вольфрамовая проволока нагревается пропусканием тока до 1300°С и непосредственно протягивается через реакторы до получения борного волокна необходимого диаметра [5]. Борные волокна были разработаны в 1959 году в США и в настоящее время производятся компанией Specialty Materials Inc. В России новейшие борные волокна разработаны ГНЦ РФ АО «ГНИИХТЭОС».

Волокна обладают максимальной твердостью, второе место после алмаза. Относительно всех описываемых армирующих волокон борные волокна имеют наивысшие физико-механические характеристики растяжение-сжатие (таблица), обладают способностью выдерживать длительные нагрузки в условиях агрессивной среды. Зернистая поликристаллическая структура поверхности борных волокон имеет высокую адгезию как к полимерным, так и к металлическим матрицам. Боропластики применяют в авиационной и космической технике как конструкционные материалы с высокими удельными механическими характеристиками для изготовления высоконагруженных деталей в наиболее ответственных изделиях.

Самыми массовыми в мировом производстве композитами сегодня являются стеклопластики – полимерное связующее армируют стеклянными волокнами.

На настоящий момент материалы из непрерывных стеклянных волокон составляют более 94% от армирующих волокон, используемых в промышленности композитов.

В 1893 году Эдвард Драммонд Либби выставил платье на Всемирной Колумбийской выставке в Чикаго, в которую вошли стеклянные волокна с диаметром и текстурой шелковых волокон. Юбка восстановлена и демонстрируется – рисунок 1.

Рисунок 1 – Платье, сделанное в 1893 году из стеклянного волокна.

Промышленное производство стекловолокон началось в 1938 году, когда Owens-Illinois Glass Company присоединилась к Owens-Corning Fiberglas Corporation, две компании объединились для производства и продвижения непрерывного стеклянного волокна. Owens-Corning по-прежнему является крупнейшим производителем стекловолокна на рынке сегодня. В Советском Союзе разработки в области стеклянных волокон были начаты в 1941 году в структуре ВНИИСВ (отделился от института стекла) и в 1942 году промышленное производство было налажено на Гусевском заводе стекловолокна. При промышленном производстве стеклянных волокон используют формование из расплавов специальных стекол. Основным волокнообразующим компонентом является диоксид кремния. Оксиды бора и металлов в высших степенях окисления в составах стекол обеспечивают различные потребительские свойства стекловолокнистым материалам. До 90% всех стеклянных волокон, которые выпускаются сегодня в мире это – алюмоборосиликатное стекловолокно марки Е – низкой электрической проводимости. Остальные 10% это волокна специального назначения для композиционных материалов, области применения которых требуют высокой прочности, жесткости или химической стойкости. Объем мирового производства сегодня составляет более 6,8 миллионов тонн в год, с приростом 7-8% в год. Основные производители это предприятия в Китае, США и странах Европы. Объем производства в России в 2022 году составил порядка 120 тыс. тонн, что на несколько процентов ниже уровня 2021 года, основные производители стекловолоконной продукции представлены на рисунке 2. Решение европейской «дочки» Owens Corning США – АО «ОС Стекловолокно» - покинуть российский рынок не привело к закрытию завода и российское предприятие АО «Русатом Стекловолокно» эффективно работает в 2023 году.

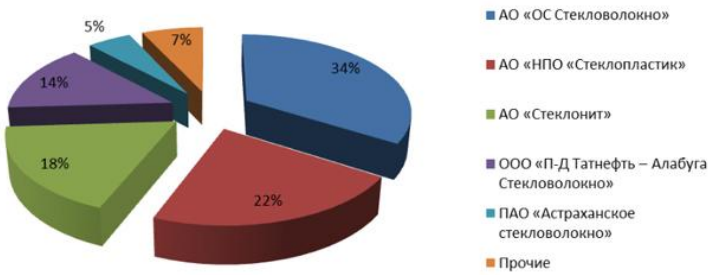


Рисунок 2 – Основные производители стекловолоконной продукции России в 2022 году [6].

Наиболее применяемыми для производства ответственных полимерных композитов являются высокопрочные высокомодульные стекловолокна марки S- 2 Glass Fiber, которые

производятся в США компанией AGY Holding corp и в России – АО «НПО Стеклопластик», торговая марка ВМП.

Важнейшими преимуществами армирующих материалов из стеклянных волокон являются их доступность, высокие физико-механические и диэлектрические характеристики, негорючесть (таблица). Стеклопластики масштабно применяются в авиа-, машино-, приборостроении, при производстве труб и емкостей различного назначения, в судостороении [7].

Наиболее «молодыми» промышленно выпускаемыми армирующими волокнами являются базальтовые волокна. Непрерывные базальтовые волокна (НБВ) производят из расплава магматических базальтовых пород земной коры – источники сырья практически неограниченные – по технологии идентичной производству стеклянных волокон. Химический состав промышленных базальтовых волокон существенно отличается от химического состава всех типов непрерывных стеклянных волокон [8]. Технология производства НБВ разработана в 1970-х годах в СССР, коммерциализацию осуществили ООО «Каменный век» (Россия) и BFCMTD (Украина /Гонг Конг). Развитие с 2010-х годов рынка БНВ в Китае, который в настоящее время является крупнейшим в мире производителем непрерывного базальтового волокна, в области технологий базируется на разработках, сделанных в свое время в России и на Украине. Доступность сырья для производства БНВ, расширяющийся спектр применения этого материала вызывают все больший интерес к продукции на основе непрерывного базальтового волокна.

Непрерывные базальтовые волокна отличаются высокими термо- и звукоизоляционными характеристиками, по физико-механическим свойствами превышают уровень свойств стекловолокон типа Е, но уступают свойствам высокопрочных волокон ВМП. Свойства промышленных базальтовых волокон приведены в таблице. Полимерные композитные материалы и изделия БНВ применяются для строительной отрасли, дорожного, гидротехнического и сейсмостойкого строительства, коммунального и водного хозяйства.

Таблица. Физико-механические и технико-экономические характеристики армирующих волокон.

Тип волокон	Углеродные		Стеклянные		Базальтовые	Арамидные		Борные	СВМПЭ-волокна	
	ВП*	ВМ*	Е	S		К*	СВМ*		С*	П*
Диаметр, мкм	5	15	5	24	11-27	11	15	100-150	27	38
Плотность, г/см^3	1,7	1,9	2,54	2,46	2,7-2,9	1,42	1,47	2,4-2,7	0,96	0,97
Прочность при растяжении, ГПа	3,5-7,2	2,0-3,5	2,0-3,5	4,2-4,7	2,7-3,2	2,4-3,3	3,8-5,2	2,5-4,0	3,2	4.1
Модуль упругости при растяжении, ГПа	200-300	350-550	71-76	86-94	70-90	60-160	125-160	370-430	177	145
Удлинение, %	1,3-2,4	0,4-0,8	3,0-4,5	4,0-5,4	3,1-3.4	1,9-4,5	2,5-3,5	0,88-0,91	3,4	6.0
Температура эксплуатации**, до °С	370/2000*		360	470	460	425		400/ 2000*	80	95
Краткосрочн. температура**, °С	450/3000*		420	760	700	600		600/ 2200*	110	
Тип проводимости	полупроводник		диэлектрик					полупроводник	диэлектрик	
Коэф. теплопровод., Вт/м·К	0,8	1,6	0,8		0,6	1,2	2,0	25,0	0,3	0,4
Цвет волокна	черный		белый		корич	желтый		метал	белый	

*ВП – высокопрочные; ВМ – высокомодульные; К – Кевлар 29, 149; СВМ – Руслан-ВМ, СВМ; С – Спектра 1000; П – ПЭ-2

** – на воздухе/в инертной среде, °С

Список литературы

1. Симамура С. Углеродные волокна. – М.: Мир, 1987. – 304 с.

2. Демина Н.М., Трофимов А.Н., Варшавский В.Я., Кривцов Д.И., Габерлинг А.В. Исследование процесса аппретирования углеродных волокон // Химические волокна. 2012. № 5. С. 52-54.

3. Малышев А.Н., Маяцкий В.А., Иванов В.М., Баженов И.Г. Перспективы развития

производства отечественных арамидных нитей// Композитный мир. 08.09.2023. https://compositeworld.ru/articles/all/date/page_2

4. Андреева И.Н., Веселовская Е.В., Наливайко Е.И. и др. Сверхвысокомолекулярный полиэтилен высокой плотности Л.: Химия, 1982. – 80 с.

5. Бабаевский П.Г., Виноградов В.М., Головкин Г.С., Гуняев Г.М., Кобец Л.П., Маишнская Г.П., Тюкаев В.Н. под.ред. Тростянской Е.Б. Пластики конструкционного назначения М.: Химия, 1974. -304с.

6. Рынок производства стекловолокна просел в 2022 году на 10%, но имеет тенденции к росту// https://маркетинговые-исследования.рф/news/rynok-proizvodstva-steklovolokna-2021-2022/?ysclid=lo4cuya9ml133314409

7.Демина Н.М. Современные составы для обработки высокопрочных высокомодульных непрерывных стеклянных волокон.// Химические волокна. 2016. №2. С. 25-33.

8. Оснос С.П., Рожков И.А., Федотов А.А. Базальтовые непрерывные волокна: характеристики и преимущества// Композитный мир. 29 июня 2022 года. https://compositeworld.ru/articles/market/id62bc4ce9f1a59700123c3c3c

УДК 531.532.677

УПРАВЛЕНИЕ ПОГРАНИЧНЫМ СЛОЕМ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТРЕНИЯ
CONTROL OF THE BOUNDARY LAYER OF HYDRODYNAMIC OBJECTS IN ORDER TO REDUCE THE HYDRODYNAMIC FRICTION RESISTANCE

Никулин Валерий Александрович
Nikulin Valeriy Alexandrovich

Камский инженерно-технологический университет, Россия, Ижевск
Kama University of Engineering and Technology, Russia, Izhevsk
(e-mail: presidentkigit@bk.ru)
Российская инженерная академия, Россия, Москва
Russian Engineering Academy, Russia, Moscow

Аннотация: Рассмотрены задачи управления погранслоем гидродинамических объектов и систем, и существующие перспективные методы снижения сопротивления трения.

Abstract: The problems of controlling the boundary layer of hydrodynamic objects and systems, and existing promising methods of reducing friction resistance are considered.

Ключевые слова: гидродинамическое сопротивление трения

Keywords: hydrodynamic friction resistance

Борьба за снижение турбулентного трения заключается в увеличении доли ламинарной структуры пристенного слоя жидкости обтекаемого тела и, следовательно, уменьшения турбулентных процессов в общем потоке.

1. Управление пограничным слоем с целью снижения потерь на гидродинамическое сопротивление в технологических процессах и техногенных средах при внешнем обтекании тел или течениях в каналах и трубопроводах по-прежнему является сложной научной и технической задачей.

Практические средства для значительного снижения сопротивления трения давно являются задачей номер один для конструкторов и технологов, так как приводят к повышению расхода жидкостей в системах при фиксированном перепаде давления, снижению энергозатрат в технологических системах, улучшению технических характеристик аппаратов и систем.

Уже более полувека известны и используются для снижения турбулентного трения различные полимерные добавки. Так гуаровая смола, используемая при гидравлическом разрыве пласта в нефтесодержащих породах, не только выравнивает распределение песка в водно-песчаной суспензии в скважине, но и приводит к существенному снижению затрат мощности насосной установки. Известны работы по снижению сопротивления нефтепровода добавками в нефть или дизельное топливо полиизобутилена, введением длинных тонких химических волокон или асфальтенов и смол.

С помощью добавок растворимых высокополимеров и поверхностно-активных веществ можно на треть снизить сопротивление при гидротранспорте руд и каменного угля.

Добавки полиэтиленоксида концентрацией до 200 ppm в воду снижают на 40% потери давления в пожарном шланге длиной около двухсот метров, при этом возрастает в полтора раза дальнобойность струи, она становится более устойчивой в воздушном потоке.

Известны успешные эксперименты по использованию полимерных добавок в ирригации на дождевальных установках. Снижающие сопротивление полимеры, попадая в почву, улучшают структуру поверхностного слоя и влагообмен, благоприятствуют росту

растений.

С помощью добавок полимеров можно существенно повысить коэффициент полезного действия центрального насоса, а применение добавок полимеров и мыл в теплообменниках, тепловых сетях и холодильной технике. Известны медицинские работы по снижению артериального давления крови с помощью малых добавок высокополимеров.

2. На рис. 1 представлена классификация некоторых задач и методов управления пограничным слоем. Диаграмма принципиально возможных путей снижения сопротивления трения при обтекании тел жидкостью (водой) показана на рис. 2.

Воздействия на возмущения, возникающие в ламинарном пограничном слое, позволяют увеличить устойчивость в течения вблизи стенки, то есть сохранить ламинарный характер течения на значительной части обтекаемой поверхности. Для снижения сопротивления трения используются также ламинаризация пристенного течения увеличением кривизны профиля скорости u (y) и затягивание ламинарно-турбулентного перехода. Основные методы, используемые для управления ламинарными сдвиговыми течениями, в литературе освещены довольно подробно и могут быть различными, например:

– использование добавок полимеров и поверхностно-активных веществ, жидкокристаллических систем, гибких нитей и волокон, жестких асимметричных частиц и суспензий;

– оптимизация форм поверхности;

– изменение температуры обтекаемой поверхности;

– использование упругой поверхности;

– использование риблет (профилированных продольных канавок), регулируемой регулярной искусственной шероховатости поверхности;

– магнитно-гидродинамическое управление;

– создание градиента плотности вблизи стенки;

– распределенный и сосредоточенный отсос жидкости;

– создание воздушной смазки вблизи стенки.

– распределенный и сосредоточенный отсос жидкости;

– создание воздушной смазки вблизи стенки.

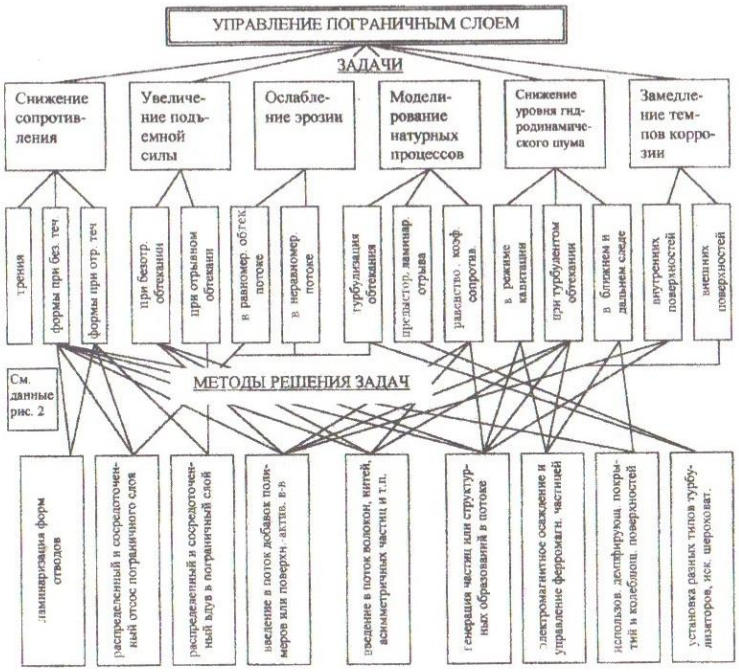


Рисунок 1 – Схема задач управления пограничным слоем и методов их решения

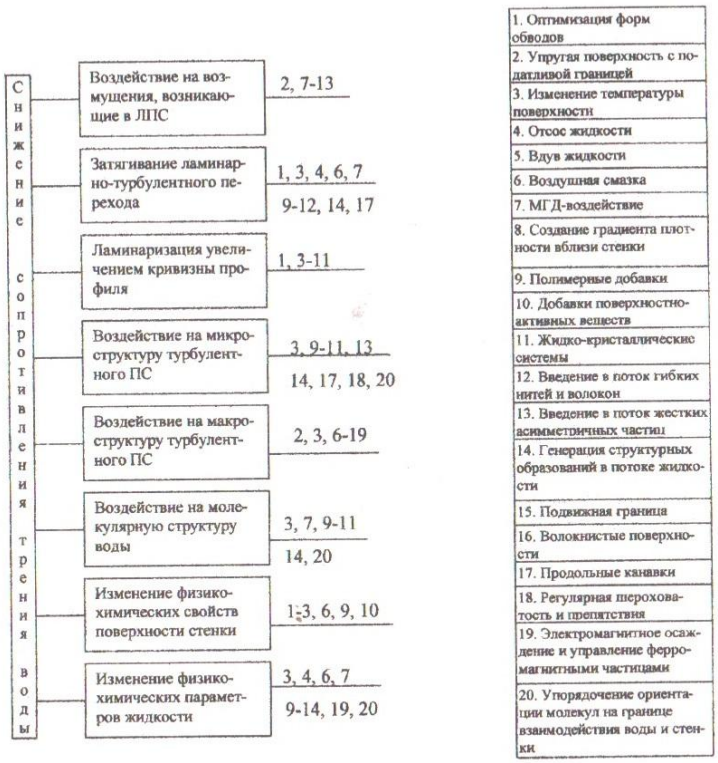


Рисунок 2 – Методы решения задач снижения гидродинамического сопротивления трения.

Методы воздействия на микроструктуру турбулентного пограничного слоя наиболее изучены и наиболее часто практически применяются, среди них:

– нагрев или охлаждение обтекаемой поверхности;

– введение в пристенный слой добавок полимеров, поверхностно-активных веществ, других асимметричных и вязкоупругих частиц или их генерация в пристенном слое из окружающей среды;

– упорядочение ориентации молекул на границе взаимодействия воды и стенки.

Методы воздействия на макроструктуру турбулентного пограничного слоя менее изучены теоретически, и интерес к ним возрос с развитием исследований крупномасштабных когерентных структур. Для воздействия на крупномасштабные структуры может быть использовано практически большинство описанных методов. Изменение физико-химических свойств поверхности стенки пока мало изучено в теоретическом плане, но достаточно целенаправленно используется для снижения сопротивления трения. Жидкости с измененными физико-химическими параметрами наиболее часто применяются при моделировании натурных процессов и для снижения турбулентных шумов в следе за телом.

При проектировании гидродинамических аппаратов и систем (ГАС) естественно стремление к использованию поверхностей, оптимальных с точки зрения гидродинамики. Обычно лобовое сопротивление складывается из сопротивлений поверхности и выступающих частей, которые рассчитываются, с учетом поправок на влияние интерференции, или численным моделированием на основе гидродинамических моделей.

На практике обтекаемые поверхности всегда шероховатые, причем шероховатость различают общую, регулярную и местную. Общая шероховатость распределена равномерно по поверхности (технологическая шероховатость, волнистость поверхности, коррозия и обрастание поверхности и т.п.). Регулярная шероховатость имеет характер регулярно повторяющихся однотипных выступов (заклепки, швы, резьбы, канавки). Местная шероховатость включает отдельные выступы и неровности на обтекаемой поверхности (детали ар-

матуры, отдельные вырезы, выступы, швы отверстия и т.д.). Также рассматривают профилированные стенки (синусоидальные, ребристые, овальные, волнистые), у которых высота выступов сравнима с величиной шероховатости.

Силы турбулентного трения и суммарная сила сопротивления, могут быть снижены около профилированных поверхностей.

Одним из наиболее распространенных методов, применяемых на практике, является также инжекция гидродинамически – активных примесей в пограничный слой.

Полимерные добавки влияют на непосредственно прилегающий к стенке слой жидкости, причем это относится в первую очередь к разбавленным растворам при этом установлено, что наиболее оптимальный по экономичности и эффективности расход полимерного раствора близок к расходу жидкости в подслое. Если расход раствора более чем вдвое превысит расход в подслое, рост эффекта замедляется, а при пятикратном превышении эффект начинает уменьшаться. Оптимальная концентрация выбирается исходя из условий течения (длина пластины, скорость потока, шероховатость), для эффективного снижения трения достаточно, чтобы раствор заполнил лишь вязкий подслой и внутреннюю область.

3. Нами ранее разработана модель регулярной пристенной турбулентности у гладких и шероховатых поверхностей, учитывающая процессы квазипериодического обновления течения у стенки. Получены выражения для основных характеристик турбулентных течений, параметров обновления течения. Наблюдается хорошее совпадение расчетных и известных экспериментальных результатов, особенно вблизи стенки. Получены интегральные уравнения пограничного слоя и проведены расчеты коэффициентов сопротивления при турбулентных течениях в трубах и на гладкой пластине, на криволинейных поверхностях и при обтекании тел вращения. Модель распространена на описание тепло- и массообмена в сдвиговой в сдвиговой турбулентности.

4. Исследованы способы управления структурой пристенной турбулентности введением в поток гидродинамически-активных добавок: высокополимеров, поверхностно – активных веществ, эластичных волокон и нитей.

Природа явления заключается в вязкоупругих свойствах полимеров, коллоидных растворов и эластомерных нитей, то есть наличии в сдвиговом турбулентном потоке ориентированных в направлении течения структурных образований, способных аккумулировать энергию поперечных пульсации и вызывать в пограничном слое анизотропию переноса турбулентной энергии и импульса.

Механизм явления заключается в увеличении периода обновления пристенного течения за счет снижения количества внешних возмущений (пульсации), проникающих в вязкий подслой, то есть в уменьшении генерации вторичной турбулентности в момент разрушения подслоя. Снижение частоты взрывов у стенки сопровождается увеличением толщины вязкого подслоя и устойчивости течения. Происходит существенная перестройка структуры пристенной области, которую можно связать с возникающей в слое анизотропией вязкости как мерой анизотропии турбулентного переноса.

Список литературы

1. Никулин В.А. О возможных путях снижения турбулентного трения с целью повышения эффективности транспортировки нефти и газа. Вестник ИА УР и УрМИУ, серия «Экология, ресурсосбережение и природопользование», №1, 1998. 102 – 114 с.

2. Снижение вязкостного трения. М.: Машиностроение, 1984. 464с. (Сборник докладов Симпозиума по снижению сопротивления в вязком потоке, состоявшегося в сентября 1979 г. в г. Далласе / Пер. с англ.)

3. Басин А.М., Короткин А.И., Козлов Л.Ф. Управление пограничным слоем судна (основные проблемы). Л.: Судостроение, 1968. 492 с.

4. А. с. 873031, СССР. Способ определения анизотропии вязкости жидкостей / Повх И.Л., Никулин В.А. (СССР). – 2859856/18-25; Опубл. 15.10.81, Бюлл. №38.

УДК 544.723.2:621.039.735

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ НА ПЛОЩАДКАХ УРАНОВОГО НАСЛЕДИЯ
STUDY OF RADIOACTIVE WATER CONTAMINATION LEVELS AT URANIUM LEGACY SITES

Юнусов Музафар Мамаджанович [1,2], Азизов Рустам Очилдиевич [3], Хочиён Мирзошокири Косимпур [1], Ходжиев Саидмукбил Косимович [1]
Yunusov Muzafar M. [1,2], Azizov Rustam O. [3], Hojiyon Mirzoshokiri Q. [1], Hojiev Saidmukbil K. [1]

[1]Горно-металлургический институт Таджикистана, Таджикистан, Бустон
[1]Mining-metallurgical Institute of Tajikistan, Tajikistan, Buston
(e-mail: yunusov2001@mail.ru, hojiyon@gmail.com, saidmukbil@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering
[3]Центр инновационного развития науки и новых технологий, Таджикистан, Душанбе
[3]Center for Innovative Development of Science and New Technologies, Tajikistan, Dushanbe
(e-mail: rustam.azizov57@gmail.com)

Аннотация: В статье приведены источники формирования загрязненных водных объектов месторождения Табошар и результаты исследования их радиологических параметров различными методами. Показано, что из-за высокого уровня радиоактивного загрязнения воды площадок уранового наследия её нельзя употреблять для хозяйственно-бытовых целей, в частности для полива. Результаты получены с использованием современного оборудования.

Abstract: The article presents the sources of formation of contaminated water bodies of the Taboshar field and the results of studying its radiological parameters using various methods. It has been shown that due to the high level of radioactive contamination of water at uranium legacy sites, they cannot be used for household purposes, in particular for irrigation. The results were obtained using modern equipment.

Ключевые слова: штольная и карьерная вода, суммарная альфа-активность, радиометрия, радиоактивное загрязнение.

Keywords: adit and quarry water, total alpha activity, radiometry, radioactive contamination.

Известно, что активная добыча и переработка урановых руд месторождения Табошар (г. Истиклол, Республики Таджикистан) в период с 1945 по 1965 годы привели к загрязнению территорий и образованию больших объёмов твердых и жидких отходов, вызывающих нарушения и негативные последствия в окружающей среде [1, 2]. На сегодняшний день на территории бывшей промплощадки сосредоточены отвалы горных пород, содержащие сверхнормативные количества радионуклидов, а на хвостохранилищах находятся радиоактивные отходы первичного гидрометаллургического передела урановых руд. 3 октября 2023 года, в рамках реализации Межгосударственной целевой программы «Рекультивация территорий государств, подвергшихся воздействию уранодобывающих производств», официально завершились рекультивационные работы на хвостохранилищах I-IV очереди и отвалах фабрики бедных руд промплощадки «Табошар», но вопрос приведения в безопасное состояние загрязнённых водных объектов - шахтных (карьерных) и дренажных вод – остаётся открытым.

Источником шахтной (штольневой) воды является отработанный (затопленный) урановый карьер, расположенный в 2,0 км к северо-востоку от г. Истиклол (ранее Табошар).

Карьер овальной формы, наибольший поперечник - около 800 м, глубина от верхней бровки – 120 м, наибольшая глубина от поверхности воды – около 70 м. Карьер заполнен подземными водами Табошарского месторождения, в период дождей подпитывается атмосферными осадками. Воды карьера, фильтруясь через днище, частично разгружаются в речную сеть через полузасыпанную штольню №6, портал которой находится в пойменной части Сарым-Сахлы-Сая в 350 м юго-западнее карьера [1, 3].

Карьер используется местным населением для эпизодического лова рыбы и купания. Учитывая наличие значительного количества урана и радия в воде карьера, такое его использование в крайней степени недопустимо. Сбросные штольневые воды без предварительной очистки также нельзя использовать для полива садов или других хозяйственных нужд.

Наряду с этим, особой проблемой является выклинивание дренажных вод из-под хвостохранилищ I-II очереди, имеющих повышенные концентрации урана – 30÷50 мг/л. Наблюдение показывает, что водный поток в теплые сезоны года прослеживается на расстоянии 400-500м и затем уходит в подземный сток по пролювию сая 2-го порядка, притока Сарым-Сахлы-Сая [4]. Берега ручья покрыты обильными солевыми выделениями белого, лимонно-желтого и ржаво-желтого цвета. С целью сорбционной очистки дренажных вод сооружен бассейн, где накапливаются воды ручья. Установлены сорбционные колонны для очистки собранной воды от урана, но из-за сложного солевого состава ионообменная смола (АМп) быстро насыщается примесями, и глубокой очистки не происходит.

Целью данной работы является исследование физико-химических и радиометрических характеристик загрязненных шахтных и дренажных вод для последующей разработки эффективных технологических схем их очистки от естественных радионуклидов и получения очищенной воды, пригодной для использования в технических и других народнохозяйственных целях.

Отбор проб производился в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012 «Вода. Общие требования к отбору проб».

Согласно результатам химического анализа, концентрация урана в исследуемых водных пробах, отобранных с различных глубин и с поверхности затопленного карьера, а также на стоке из штольни № 6 находится в интервале 1,36-2,16 мг/л, при этом с ростом глубины отбора намечается незначительное повышение. В таблице 1 приведены полученные данные, сопоставленные с показателями вод реки Сырдарья.

Таблица 1 – Результаты химического анализа проб воды, отобранных в Карьере

№ проб	Условия отбора	pH	Концентрация в мг/л						Сухой остаток
			Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	U	
1	У поверхности	7,85	194,4	33,67	274,5	21,3	562,7	1,36	1087
2	С глубиной 1,5м	7,84	187,2	33,18	280,6	28,4	567,5	2,02	1080
3	С глубиной 3,0м	7,80	196,8	33,18	268,4	28,4	571,8	2,08	1088
4	С глубиной 5,0м	7,74	195,2	34,16	286,7	28,4	570,3	2,16	1101
Штольня № 6		7,45	198,4	32,7	280,6	35,5	564,2	1,84	1100
Реки Сырдарья		8,03	129,6	60,51	164,7	92,3	494,6	0,06	1039

Радиационные характеристики пробы штольной воды исследованы двумя методами:

– во-первых, проводилось определение суммарных показателей удельной активности альфа- и бета-излучателей сухого остатка, выпаренного из 100 мл воды, полученного измерением на низкофоновом счетчике УМФ-2000 - $\sum\alpha$ = 18 Бк/л и $\sum\beta$ = 7 Бк/л. При этом суммарная относительная погрешность измерения составила не более 15%

– во-вторых, при помощи спектрометра Tri-Carb 2550 с программным обеспечением SpectraDec было проведено определение состава и активности альфа- и бета-излучателей методом жидкостной сцинтилляционной спектрометрии из аликвот пробы, сконцентрированных упариванием из 50 мл исходной воды. Полученные результаты приведены в таблице 2 и на рисунке 1 с расшифровкой изотопов урана и других элементов.

Таблица 2 – Результаты жидкостной сцинтилляционной спектрометрии

Нуклид	Количество импульсов	Активность, Бк	Удельная активность, Бк/кг(л)
Lum			<1,2
H-3*	192	2,44e-2	<2,8
H-3*corr	983	0,149	7,47
K-40*	872	5,39 e-2	2,69
Po-210**	614	3,41 e-2	1,71
Ra-226**			<0,87
Ra-226Eq**			<0,21
Th-234+Pa-234m	2850	0,111	5,54
U-234**	4835	0,269	13,5
U-238**	5142	0,286	14,3
Сумма	**15491**	**0,928**	**36**

Нужно отметить, что при наличии множества перекрывающихся альфа-пиков данный метод не даёт точной расшифровки, за исключением доминирующих компонентов (в нашем случае – U-234 и U-238), но по характеру спектра (а также с учетом первого измерения) можно предположить наличие Po-210, Ra-226 и Rn-222.

Зелёным цветом в таблице 2 выделены ячейки с нуклидами, дающими вклад в бета-излучение, желтым – в альфа. Th-234+Pa-234 являются дочерними продуктами U-238 и его «спутниками». В воде их концентрация меньше (выпадают в осадок), но в почве, если в неё вылить такую воду, эти изотопы через несколько месяцев придут с ним в равновесие и дадут достаточно жёсткое бета-излучение от Pa-234m.

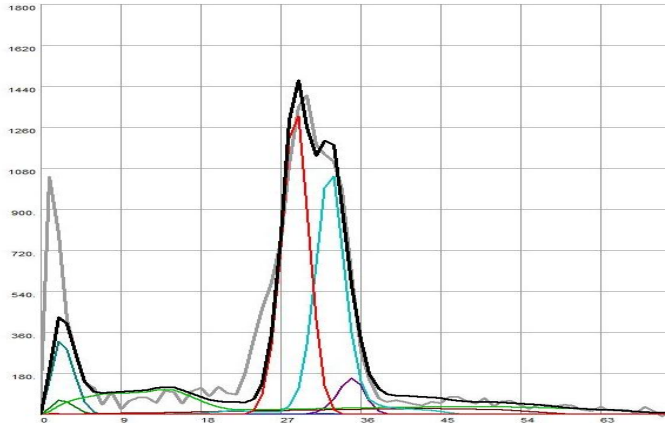


Рисунок 1 – Спектр активности нуклидов пробы воды из штольни №6.

Данные радиоэкологического мониторинга показывают, что концентрации урана в штольневой воде примерно в 30 раз больше значения ПДК для питьевой воды. Другими словами, урана содержится в воде более 1 грамма на кубометр в весовых количествах. Если мы используем такую воду для орошения, то верхний слой грунта и поднимаемая с него ветром пыль обогащается ураном в килограммовых количествах. Поэтому использование этого источника воды для полива приведёт к серьёзным экологическим последствиям.

Многолетние опыты по определению радиометрических характеристик загрязнений водных объектов площадок уранового наследия г. Истиклол показывают, что карьерные и штольневые воды (и тем более воды ручья у хвостохранилища I-II очереди), по сути, являются низкоактивными радиоактивными отходами.

В рамках сотрудничества с АО «ВНИПИпромтехнологии» (Российская Федерация), нами изучена концентрация изотопов U^{238}, Th^{232} и Ra^{226} и их активности в исследуемых водных объектах. Полученные результаты приведены в таблице 3.

Анализ полученных данных показывает, что при уровне вмешательства (УВ) для питьевой воды (по U^{238}) 3,1 Бк/л, концентрация природного урана в водах карьера превышает эти значения в 26 раз (на выходе из штольни №6 – в 5 раз), а в водах ручья у хвостохранилища - почти в 120 раз. По радию-226 эти превышения соответственно составляют 4 и 5 раз. Анализ вод, вытекающих через штольню № 6, показал весьма высокие содержания тория и радия – соответственно в 41,5 и 108 раз выше уровня вмешательства.

Для вод ручья у хвостохранилища I-II очереди (по общей минерализации являющимися рассолами - сухой остаток 17,3 г/л) характерны, помимо радиоактивного загрязнения, значительные превышения нормативов по сульфатам, фторидам, магнию, аммонийному, нитратному и нитритному азоту, натрию, свинцу и кадмию. Эти данные прямо указывают на загрязнение подземных и поверхностных вод близлежащих саев при инфильтрации атмосферных осадков через покрытие и тело хвостохранилищ при полном отсутствии гидроизоляции.

Таблица 3 – Активность и концентрация радионуклидов в водных пробах

Место отбора пробы воды	Радионуклиды					
	U^{238}		Th^{232}		Ra^{226}	
	Активность, Бк/л	Концентрация, мг/л	Активность, Бк/л	Концентрация, мг/л	Активность, Бк/л	Концентрация, мг/л
Карьер, северо-восточный берег	82 (26 УВ)	6,7	1,2 (2 УВ)	0,3	2,0 (4 УВ)	$4{,}5\times10^{-8}$
Выпуск штольневых вод (шт. №6)	15,3 (5 УВ)	1,25	24,9 (42 УВ)	6,1	54,1 (108 УВ)	$1{,}5\times10^{-6}$
Ручей дренажных вод хвостохранилища I-II очереди	370 (119 УВ)	30,4	1,8 (3 УВ)	0,4	2,5 (5 УВ)	$6{,}8\times10^{-8}$

Таким образом, проведённые экспериментальные исследования по определению физико-химических и радиометрических характеристик свидетельствуют, что воду исследуемых объектов нельзя употреблять для хозяйственно-бытовых целей, в частности для полива. Полученные результаты можно использовать как исходные данные для разработки сорбционной технологии очистки от радионуклидов, по ранее установленной технологической схеме очистки шахтных вод [5], что будет отражаться в последующих исследованиях.

Список литературы

1. Разыков З.А., Гусаков Э.Г., Марущенко А.А., Ботов А.Ю., Юнусов М.М. Урановые месторождения Таджикистана. Худжанд.: ООО «Хуросон», 2001.-212с.

2. Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Кузин Р.Е. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд. —М.: Издательство «Горная книга», 2014. -183с.

3. Исследование физико-химических параметров штольных вод месторождения Табошар / С.К. Ходжиев, З.З. Насриддинов, Г.М. Самадова, А. Мутаваллиев // III-Международной конференции Комплексное инновационное развитие Зарафшанского региона: достижении, проблемы и перспективы. Навои, Узбекистан 27-28 октября, 2022. №1, -С.37-41.

5. Юнусов М.М., Хочиён М.К., Ходжиев С.К. Исследование сорбции урана из шахтной воды месторождения Киик-Тал в статических условиях // Перспективные задачи инженерной науки: Сборник статей XIV Международного научного форума, Москва, 17 мая 2023 года. – Москва: ООО «Инженерный центр «Импульс», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», 2023. – С. 241-247.

УДК 658.5

ПОСТРОЕНИЕ ДОМА КАЧЕСТВА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЧИСТЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОТОШАБЛОНОВ
THE BUILDING A HOUSE OF QUALITY FOR DESIGNING CLEAN MANUFACTURING FACILI-TIES FOR PHOTO MASK PRODUCTION

Юркин Максим Евгеньевич [1], Маслик Кирилл Владимирович [2], Аверина Юлия Михайловна [1], Заходякин Глеб Викторович [1]
Yurkin Maxim E. [1], Maslik Kirill V. [2], Averina Yulia M. [1], Zahodyakin Gleb V. [1]

[1]Российский химико-технологический университет – РХТУ имени Д.И. Менделеева, Россия, Москва
[1]D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia – MUCTR, Russia, Moscow
(e-mail: iurkin.m.e@muctr.ru , zakhodiakin.g.v@muctr.ru, averina.i.m@muctr.ru)
[2]ООО «Системные решения»
[2]LLC «System Solutions»

Аннотация: Статья рассматривает роль методологии "Построение Дома Качества" (QFD) в создании чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов, подчеркивая ее важность в удовлетворении потребностей клиентов, соответствии стандартам и поддержке стратегии импортозамещения.

Abstract: The article examines the role of the Quality Function Deployment (QFD) methodology in the design of clean manufacturing facilities to produce photomasks, emphasizing its importance in meeting customer needs, complying with standards, and supporting import substitution strategy.

Ключевые слова: дом качества, методология, QFD, чистые производственные помещения, фотошаблоны.

Keywords: house of quality, methodology, QFD, clean manufacturing facilities, photomasks.

В современном мире обеспечение высокого качества продукции и сокращение зависимости от импорта становятся приоритетными задачами для многих производственных предприятий. Особенно это актуально в контексте создания чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов. Фотошаблоны используются для создания трехмерных микроскопических структур на поверхности кремниевых пластин, которые являются основой для транзисторов, диодов, резисторов и других элементов микроэлектроники, они играют важную роль в производстве полупроводниковых приборов и другой электронной техники, требуют особого подхода к их изготовлению. Фотошаблон представляет собой стеклянную пластину или пленку с нанесенным на нее рисунком из непрозрачных и прозрачных областей. Высокое качество, соответствие стандартам и минимизация риска производственных браков являются ключевыми факторами успешного производства фотошаблонов.

Однако, внедрение собственного производства фотошаблонов и обеспечение его высокой эффективности может представлять сложности. Это связано с необходимостью создания чистых производственных помещений, где уровень частиц пыли, бактерий и других вредных элементов строго контролируется и поддерживается на низком уровне.

Методология "Построение Дома Качества" (Quality Function Deployment, QFD) представляет собой мощный инструмент, позволяющий систематически анализировать потребности клиентов и переносить их в конкретные технические характеристики продукции.

Применение QFD может стать ключевым элементом в проектировании высокочистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов, обеспечивая соответствие стандартам, повышение качества продукции и, в итоге, укрепление импортозамещения.

В данной статье рассмотрены этапы проектирования "Дома Качества" для создания чистых производственных помещений, начиная с выявления требований клиентов и заканчивая анализом взаимосвязей между ними и техническими характеристиками. На практическом примере чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов продемонстрирована роль методологии в создании конкурентоспособных решений, отвечающих требованиям рынка и стратегии импортозамещения.

Методология QFD представляет собой системный и интегрированный подход к проектированию, целью которого является удовлетворение потребностей клиентов через перенос их требований в конкретные технические характеристики и процессы. Этот метод был разработан в Японии в 1960-х годах [1] и быстро стал популярным в различных отраслях, благодаря своей способности повышать качество продукции и сокращать время и затраты на разработку.

Процесс "Построения Дома Качества" включает несколько ключевых этапов [2] (рис 1.). На первом этапе проводится тщательный анализ требований, ожиданий и предпочтений клиентов, используя различные методы, такие как интервью, анкетирование и анализ отзывов. Полученные данные затем трансформируются в технические характеристики продукции, учитывая влияние аспектов производства на удовлетворение потребностей клиентов. Затем осуществляется анализ взаимосвязей между техническими характеристиками и требованиями клиентов, выявляя критичные параметры. Следующим шагом является построение матрицы QFD, где взаимосвязи отображаются в структурированной диаграмме. Эта матрица является визуальным инструментом для анализа и понимания того, как аспекты должны быть учтены в проектировании. На основе этих данных разрабатывается концепция продукции или производственного процесса, оптимизированная для удовлетворения требований клиентов и технических характеристик. Наконец, созданная концепция воплощается в реальность, и управление качеством продукции включает в себя постоянное следование определенным характеристикам с возможной корректировкой в процессе реализации. Этот комплексный процесс позволяет создавать продукцию, соответствующую высоким стандартам и ожиданиям клиентов.

Рисунок 1 – Этапы построения матрицы QFD

Выявление потребностей клиентов в процессе "Построения Дома Качества" (QFD) основная цель – полноценно понять и учесть требования и ожидания клиентов относи-

тельно чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов. Анализируя параметры, фокусируемся на низком уровне брака, уделяя внимание качеству производства фотошаблонов и поиску путей снижения брака. Высокая разрешающая способность становится важным аспектом, учитывая вариации требований клиентов. Стабильность производства, соответствие стандартам, минимизация человеческого воздействия, эффективная фильтрация воздуха, отсутствие микроорганизмов, высокая производительность и адаптивность к технологическим изменениям – все эти параметры являются ключевыми аспектами, которые учитываются при построении концепции чистого производственного пространства.

Мы регистрируем данные характеристики и проводим оценку их значимости с учетом интересов клиентов (рис 2.). Это поможет нам лучше понять, какие аспекты следует учесть в проектировании чистых производственных помещений и как эффективно реализовать их ожидания.

Относительный вес	Важность	
14%	5	Низкий Уровень Брака
11%	4	Высокая Разрешающая Способность
11%	4	Стабильность Производства
14%	5	Соответствие Стандартам
8%	3	Минимизация Человеческого Воздействия
14%	5	Эффективная Фильтрация Воздуха
11%	4	Отсутствие микроорганизмов и бактерий на рабочих поверхностях
11%	4	Высокая Производительность
6%	2	Адаптивность к Технологическим Изменениям

Рисунок 2 – Потребности клиентов с оценкой значимости

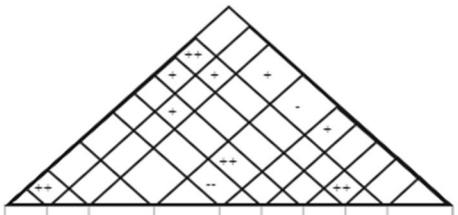
На втором этапе мы преобразуем потребности и ожидания клиентов, выявленные на первом этапе, в конкретные технические характеристики чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов. Эти технические характеристики существенны для обеспечения качества и производительности в процессе производства [4].

Максимальный уровень частиц пыли в воздухе напрямую связан с качеством производства, поскольку более чистый воздух снижает вероятность брака. Соответствие стандарту ISO 14644-1 обеспечивает унификацию норм чистоты воздуха, критически важную для создания высококачественных фотошаблонов. Выбор экологически безопасных материалов и химических веществ не только обеспечивает безопасность для окружающей среды, но также создает благоприятные условия для работников. Эффективное использование пространства, оптимизированная организация рабочих зон и высокая автоматизация процессов способствуют оптимизации производства. Эффективная система фильтрации и циркуляции воздуха поддерживает оптимальное качество воздуха, предотвращая контаминацию. Отсутствие микроорганизмов и бактерий важно для предотвращения загрязнения фотошаблонов. Наконец, энергоэффективность и минимизация энергопотребления способствуют экономии ресурсов и снижению операционных расходов, что важно в контексте устойчивого и эффективного производства.

На третьем этапе мы устанавливаем важные взаимосвязи между потребностями клиентов и техническими характеристиками чистых производственных помещений для производства фотошаблонов. Эти взаимосвязи были систематически выявлены и представлены в виде Матрицы Качества, которая является ключевым инструментом в рамках методологии

"Построение Дома Качества" (QFD). В результате этого процесса создается наглядное и структурированное представление о том, как каждое требование клиента связано с конкретными техническими характеристиками производственных помещений. Это позволяет нам эффективно переносить потребности клиентов в технические решения, с учетом их важности и приоритета, а также определять, какие характеристики следует акцентировать в процессе проектирования чистых помещений.

Основываясь на данных из предыдущих этапов, переходим к созданию ключевого инструмента проектирования – QFD (рис 3.).



Корреляция

Сильная положительная	++
Положительная	+
Отрицательная	-
Сильная отрицательная	--

Взаимосвязь

Сильная	•	9
Средняя	○	3
Слабая	▽	1

Относительный вес	Важность		Максимальный уровень частиц пыли в воздухе	Соответствие классу чистоты ISO 5 (ISO 14644-1)	Экологически безопасные материалы и химические вещества	Минимальная площадь для размещения оборудования и рабочих зон	Высокая автоматизация процессов	Оптимальная организация пространства для движения	Эффективная система фильтрации и циркуляции воздуха	Отсутствие микроорганизмов и бактерий	Энергоэффективность и минимизация энергопотребления
14%	5	Низкий Уровень Брака	•	•				▽	○		
11%	4	Высокая Разрешающая Способность	•	•							
11%	4	Стабильность Производства				○		○	○		▽
14%	5	Соответствие Стандартам		•					○	▽	○
8%	3	Минимизация Человеческого Воздействия					•	○			
14%	5	Эффективная Фильтрация Воздуха		•					•	▽	
11%	4	Отсутствие микроорганизмов и бактерий на рабочих поверхностях			▽				○	•	
11%	4	Высокая Производительность					•	○			
6%	2	Адаптивность к Технологическим Изменениям			▽		○				
		Коэффициент значимости	18	36	2	3	21	7	21	11	4

Рисунок 3 – Матрица QFD проектирования чистых производственных помещений для создания фотошаблонов

Выводы

На основе проведенного анализа матрицы QFD и определения важных технических характеристик для проектирования чистых производственных помещений, предназначенных для производства фотошаблонов можно сказать, что основными характеристиками являются: соответствие классу чистоты ISO 5 (ISO 14644-1), высокая автоматизация процессов, эффективная система фильтрации и циркуляции воздуха и максимальный уровень частиц пыли в воздухе.

В статье рассмотрены актуальные аспекты проектирования чистых производственных помещений для изготовления фотошаблонов с акцентом на стратегии импортозамещения и обеспечения высокого качества продукции.

Исследование выявило, что среди множества параметров и характеристик, четыре из них – максимальный уровень частиц пыли в воздухе, соответствие классу чистоты ISO 5, высокая автоматизация процессов и эффективная система фильтрации и циркуляции воздуха – являются ключевыми компетенциями компании для качественного и конкурентоспособного производства фотошаблонов. Эти характеристики обеспечивают соблюдение стандартов качества, минимизацию брака и укрепление импортозамещения, что является основными факторами успеха рынка [5]. Большему вниманию стоит уделить соответствию классу чистоты ISO 5, так как он обеспечивает контроль максимального уровня частиц пыли в воздухе и высокую чистоту воздуха, что фундаментально для поддержания высокого разрешения и качества фотошаблонов, защиты от микроорганизмов и бактерий, и работе с чувствительными производственными процессами.

Рост автоматизации процессов производства тоже необходим, благодаря ему обеспечивается высокая точность и повторяемость операций, и минимизация человеческого влияния, что способствует увеличению производительности и соответствию строгим стандартам качества.

Таким образом, данная статья подчеркивает роль профессионального подхода к проектированию чистых производственных помещений и внедрению методологии QFD для достижения высших стандартов качества. Подобные исследования и разработки способствуют укреплению конкурентоспособности и росту промышленности, что является ключевым фактором для успешного развития современного рынка фотошаблонов и поддержания стратегии импортозамещения.

Список литературы

1. Yoji Akao. Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements Into Product Design, Taylor & Francis, 2004, 369 с.

2. Сидоров В.П. Теория формирования национальных инновационных систем. М.: ИИЦ «Статистика», 2011. 438 с.

3. ГОСТ Р ИСО 14644-1-2017 Чистые помещения и связанные с ними контролируемые среды. Часть 1. Классификация чистоты воздуха по концентрации частиц = Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1. Classification of air cleanliness by particle concentration. Официальное издание. М.: Стандартинформ, 2019 год, 44 с.

4. Мешалкин В.П., Белозерский А.Ю. Методологические основы комплексной системы управления рисками промышленного предприятия: «Транспортное дело России», 2011, 189-191 с.

5. Хамел Г., Прахалад К.К. Конкурируя за будущее. Создание рынков завтрашнего дня / пер. с англ. – М.: Олимп-бизнес, 2014 288с.

УДК 629.7.03

НОВЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ НАЛИЧИЯ ДЕФЕКТОВ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР РОТОРОВ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
A NEW METHOD FOR ASSESSING THE PRESENCE OF DEFECTS IN BEARING SUPPORTS OF ROTORS OF AVIATION GAS TURBINE ENGINES

Попов Алексей Владимирович[1,3], Волошина Валентина Юрьевна[1], Востриков Максим Евгеньевич[2]
Popov Alexey Vladimirovich[1], Voloshina Valentina Yurievna[2], Vostrikov Maxim Evgenievich[3]

[1] Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, Воронеж
[1] Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Russia, Voronezh
(e-mail: avpnil@rambler.ru)
[2]Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Россия, Сызрань
[2]Branch of the Military Educational and Scientific Center of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin", Russia, Syzran
(e-mail: vostrikovmax@mail.ru)
[3]Российская инженерная академия
[3]Russianl Academy of Engineering

Аннотация: Предлагается новый способ оценки наличия дефектов подшипниковых опор роторов газотурбинных двигателей, основанный на применении фрактального анализа.

Abstract: A new method is proposed for assessing the presence of defects in bearing supports of gas turbine engine rotors, based on the use of fractal analysis.

Ключевые слова: виброакустическая диагностика, подшипниковые опоры роторов, фрактальный анализ, техническое состояние, газотурбинный двигатель.

Keywords: vibroacoustic diagnostics, rotor bearings, fractal analysis, technical condition, gas turbine engine.

Введение

В настоящее время в мире эксплуатируется более 45 000 летательных аппаратов (ЛА), из них большая часть оснащена газотурбинными двигателями (ГТД). Ежегодно с эксплуатации снимают авиационные двигатели, не выработавшие установленные ресурсы и сроки службы. Как правило, причинами досрочного прекращения эксплуатации являются дефекты и неисправности отдельных узлов двигателей, их механические повреждения, а также ошибки людей, приводящие к нарушению работоспособности двигателей.

Из выполненного анализа причин отказов и повреждений авиационных газотурбинных двигателей можно сделать вывод о том, что в подавляющем большинстве случаев отказы проявились в повышенной вибрации, которая свидетельствовала о разрушении подшипниковых опор роторов компрессора и турбины, выход из строя которых может повлечь за собой выключение и повреждение ГТД. Такие последствия отрицательно сказываются на безопасности полетов и могут привести как к потере авиационной техники, так и к гибели экипажа [1].

На рисунке 1 показана схема газотурбинного двигателя. Специфика размещения

подшипниковых опор роторов значительно затрудняет их диагностику в рамках неразрушающего контроля [2].

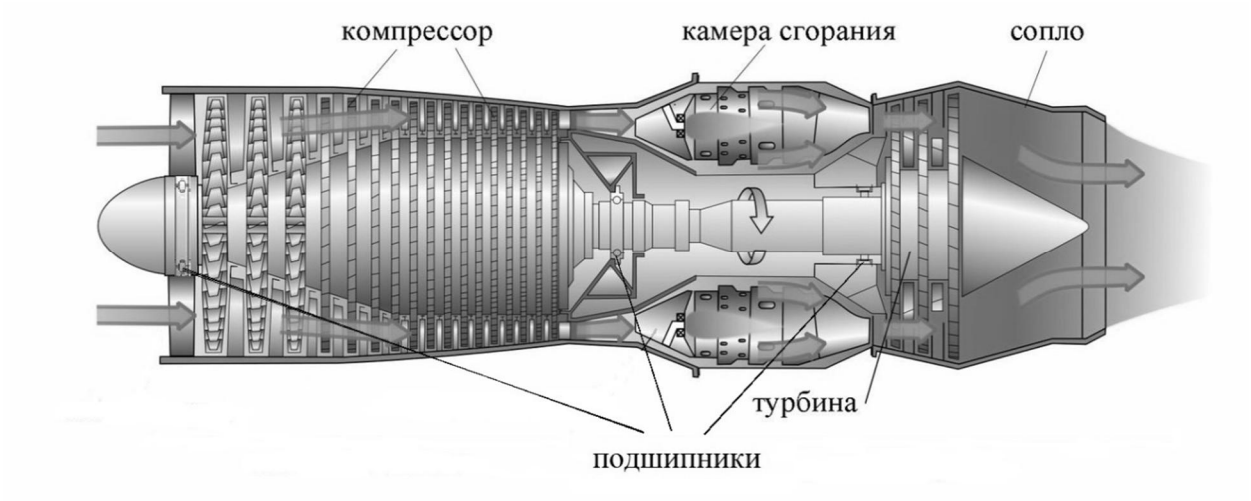


Рисунок 1 – Разрез типового газотурбинного двигателя

Проведенная разборка и дефектация подшипниковых опор двигателя после экспериментальных исследований говорят о том, что необходимо как можно раньше диагностировать зарождение дефекта подшипника, чтобы предотвратить полное его разрушение.

В статье предлагается новый способ виброакустической диагностики подшипниковых опор роторов газотурбинных двигателей, основанный на применении фрактального анализа [3].

Фрактальная размерность временного ряда исследуемого параметра измеряет степень «изрезанности» кривой и может выступать простым и в то же время достаточно информативным количественным критерием, позволяющим оценить техническое состояние подшипниковых опор авиационных ГТД по уровню вибрации.

Виброскорость $v_{вибр}$ является функцией амплитуды отклонения корпуса (прогиба роторов двигателя) y от неподвижного состояния при работе ГТД: $v_{вибр} = dy/dt$. Известно, что величина прогиба ротора ГТД с коэффициентом жесткости (упругости) K, имеющего дисбаланс e (эксцентриситет, определяемый величиной отклонения центра масс m от центра крепления ротора), зависит от частоты вращения ω (режима работы ГТД):

$$y = \frac{m\omega^2 e}{K - m\omega^2}. \quad (1)$$

Физическая величина, обратная коэффициенту жесткости $1/K$, определяет податливость подшипниковых опор роторов, которая зависит в том числе и от их ТС.

Вибродиагностику авиационных ГТД выполним на основе сигналограмм виброскорости двигателей для восьми полетов. Для каждого полета найдем наибольшее значение виброскорости обоих ГТД. Предварительно оценить техническое состояние можно по разности наибольших значений виброскорости правого и левого ГТД:

$$\Delta_i = |v_{вибр.\ л} - v_{вибр.\ пр}|. \quad (2)$$

С помощью программы для анализа и обработки изображений ImageJ определим значение фрактальной размерности D_i для каждого из восьми полетов, реализующей метод подсчета ячеек, на основе которого определяется значение фрактальной размерности виброскорости для каждого случая. Этот метод заключается в покрытии исследуемой области равномерной квадратной сеткой с длиной стороны квадратной ячейки ε и с числом ячеек N. Тогда фрактальная размерность произвольного множества будет равна

$$D = \lim_{\varepsilon \to 0} \frac{\ln N(\varepsilon)}{\ln(\frac{1}{\varepsilon})}. \quad (3)$$

Ввиду того что величина вибрации во многом зависит от режима работы ГТД, то справедливым будет давать оценку не абсолютной фрактальной размерности виброскорости $D_{вибр}$, а ее значениям относительно фрактальной размерности частоты вращения ротора D_{n1}. Для двухроторного ГТД выберем ротор низкого давления (РНД) ввиду изменения его частоты вращения в более широких диапазонах, чем ротора высокого давления. Предлагаемый критерий имеет вид

$$K_D = \frac{D_{вибр}}{D_{n1}}. \quad (4)$$

Найденное значение критерия K_D является диагностическим признаком, на основании которого оценивается ТС подшипниковых опор двигателя и прогноз по его дальнейшему изменению.

Был проведен анализ восьми полетов самолетов и, соответственно, вибрационное состояние 16 газотурбинных двигателей, полученное по результатам обработки в системе «Топаз» полетных данных, зарегистрированных бортовым устройством «Тестер-УЗ».

В соответствии с принятым методом допускового контроля выдается сигнал о повышенной вибрации при достижении значения виброскорости 50 мм/с [5]. Из представленных сигналограмм видно, что в полете № 3 наибольшее значение виброскорости правого двигателя преодолело порог и достигло значения 60 мм/с, что свидетельствует о явной неисправности ГТД по причине повышенной вибрации. Остальные ГТД с точки зрения существующего метода контроля являются исправными, хотя фактические уровни вибрации у них различаются достаточно существенно. Данный метод не позволяет проанализировать тренд виброскорости и спрогнозировать его изменения. Полученные зависимости виброскорости от частоты вращения РНД $V_{вибр} = f(n_1)$ для всех ГТД представлены на графике (рисунок 2)

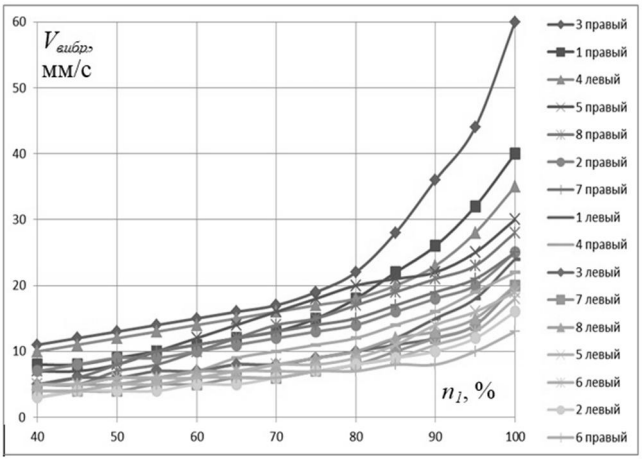


Рисунок 2 – Зависимости виброскорости от частоты вращения РНД

В работе [4] описывается сопоставление точности определения фрактальной размерности разными методами на примере кривой Киссветтера, для которой значение фрактальной размерности составляет D = 1,5.

Кривая Киссветтера использовалась в качестве образца для определения количества ячеек, на которые в программе ImageJ следует разбить изображения сигналограмм полета для получения наибольшей точности. Расчет фрактальной размерности эталонной кривой Киссветтера в программе ImageJ для различного числа ячеек N дал следующие результаты: 64 ячейки – D = 1,544; 256 ячеек – D = 1,492; 512 ячеек – D = 1,484; 128 ячеек – D = 1,504; 1024 ячеек – D = 1,470.

Для масштаба с числом ячеек N = 128 была получена максимальная точность

(наименьшая погрешность δ = 1,504 – 1,500 = 0,004), поэтому в дальнейших расчетах применялся именно этот масштаб.

Материалы средств объективного контроля (СОК) и результаты расчета фрактальных размерностей виброскорости всех двигателей приведены в таблице 1.

СОК зафиксировала преодоление порогового уровня вибрации правого ГТД в полете № 3 (за пороговый уровень принято значение виброскорости 50 мм/с). По формуле (2) была проведена диагностика технического состояния ГТД, результаты которой указывают на повышенный уровень вибрации левого двигателя в полете № 4, правого в полете № 1 и правого в полете № 5 относительно других рассматриваемых ГТД (Δ_i = 13, 16 и 11 соответственно).

Устойчивость временных рядов виброскорости можно оценить показателем Херста, характеризующим тип процесса, который доминирует в динамике временного ряда

$$H = 2 - D_{\text{вибр}}. \quad (5)$$

При $0 < H < 0{,}5$ данная величина будет являться неустойчивой, при $0{,}5 < H < 1$ – устойчивой, в случае $H = 0{,}5$ процесс будем читать случайным.

Таблица 1 – Результаты расчета критерия K_D

№ полета	Двигатель	$v_{\text{вибр max}}$, мм/с	$D_{\text{вибр}}$	D_{n1}	K_D
1	Левый	24	1,209	1,274	0,949
	Правый	40	1,270		0,999
2	Левый	16	1,259	1,472	0,855
	Правый	25	1,278		0,868
3	Левый	20	1,255	1,442	0,870
	Правый	60	1,480		1,026
4	Левый	35	1,257	1,296	0,970
	Правый	22	1,233		0,951
5	Левый	19	1,154	1,202	0,960
	Правый	30	1,202		1
6	Левый	18	1,172	1,334	0,879
	Правый	13	1,151		0,863
7	Левый	20	1,210	1,280	0,945
	Правый	25	1,229		0,960
8	Левый	20	1,233	1,330	0,927
	Правый	28	1,274		0,958

Оценка ТС подшипниковых опор ГТД по параметру виброскорости осуществляется по критерию K_D. Результаты расчетов этого показателя свидетельствуют о неисправности правого ГТД в полете № 3. Кроме того, для двух ГТД (левый в полете № 5 и правый в полете № 7) критерий K_D равен 0,96. Примем данное значение за пороговое, выше которого виброскорость будем считать повышенной. Таким образом, в соответствии с принятым допущением можно говорить о возможных зарождающихся отказах правого двигателя в полете № 1, левого в полете № 4 и правого в полете № 5 ввиду превышения значений критерия K_D относительно его порогового значения.

Представленные результаты расчетов коррелируют с зависимостями на рисунке 2, подтверждая, что предлагаемый критерий K_D верно оценивает вибрационное состояние подшипниковых опор ГТД и может быть использован для оценки их ТС по параметру виброскорости.

Выводы

Предлагаемый в данной статье способ виброакустической диагностики подшипниковых опор роторов ГТД на основе фрактального анализа позволяет оперативно оценивать

вибрационное состояние ГТД на основе простого и информативного количественного критерия K_D. Рассчитанные значения критерия K_D для разных ГТД показывают, что возможности предлагаемого способа позволяют не только провести оперативную количественную оценку исследуемого параметра (в данном случае виброскорости), но и спрогнозировать его тренд на ближайший полет.

Список литературы

1. Горский А.Н., Коршенко В.Н., Евдокимов А.И. и др. Надежность и техническая диагностика. Контроль и диагностирование авиационных силовых установок. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2007. 116 с.

2. Ипполитов С.В., Кучевский В.Л., Юдин В.Т. Методы и средства объективного контроля. Воронеж: ВАИУ, 2011. 238 с.

3. Иванова В.С., Закирничная М.М., Кузеев И.Р. Синергетика и фракталы. Универсальность механического поведения материалов: Уфа: УГНТУ, 1998. Ч. 1. 144 с.

4. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж., Оксогоев А.А. Синергетика и фракталы в материаловедении. М.: Наука, 1994. 383 с.

5. Матюшкова О.Ю., Тэттэр В.Ю. Современные методы виброакустического диагностирования // Омский научный вестник Сер. Приборы, машины и технологии. 2013. № 3 (123). С. 294–299.

УДК 629.361.3

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЫВОЗА ТКО ИЗ ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ
IMPROVING THE EFFICIENCY OF THE EXPORT OF MSW FROM URBAN AGGLOMERATIONS

Кустарев Геннадий Владимирович[1,2], Андрюхов Никита Михайлович[1,2]
Kustarev Gennady Vladimirovich [1,2], Andryukhov Nikita Mikhailovich[1,2]

[1]Российская инженерная академия
[1]Russian Academy of Engineering
[2]Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)
[2]Moscow automobile and road construction state technical university (MADI)

Аннотация: В статье рассмотрены актуальные проблемы сбора и транспортировки твёрдых коммунальных отходов. Проблема строится на начальном этапе формирования отходов, неразвитая система раздельного сбора отходов приводит к сложно организации процесса переработки.

Abstract: The article deals with topical issues of the problem of collecting and transporting municipal solid waste. The problem is built at the initial stage of waste generation, an undeveloped system of separate waste collection leads to a difficult organization of the recycling process.

Ключевые слова: твердые коммунальные отходы, мусоровозы, раздельные сбор, контейнеры, материал, система уплотнения.

Keywords: solid municipal waste, garbage trucks, separate collection, containers, material, sealing system.

Сбор и вывоз твердых бытовых отходов является важной санитарной операцией, выполняемой коммунальными службами города.

Экологические проблемы, это прежде всего проблемы будущего поколения, которые важно решить в настоящее время. Для нас выбросить мусор – это повседневная задача, которая не затрагивает наше умственные способности. Мы не думаем о том, что стеклянная бутылка, выброшенная в мусор, попадая на полигон будет разлагаться более 1000 лет, пластик более 500 лет, бумажные изделия от 2 лет, алюминиевые банки более 100 лет.

А учитывая объем выбрасываемых отходов, а это примерно 400 кг отходов на одного человека в год и примерно 1,1 кг отходов в день [5], необходимо обеспечить полноценную систему сбора и транспортировки отходов.

Проблема переработки это один из важнейших вопросов, но прежде, чем перерабатывать отходы их нужно собрать и транспортировать. Тут наступает глобальная проблема доставки отходов до специализированных мест. На сегодняшний день в России ежегодно образуется около 70 млн. тонн твердых коммунальных отходов и каждый год цифра увеличивается на 3%. Из всего объема на переработку идет около 7% отходов, остальные отходы накапливаются на полигонах. Но проблема возникает на этапе сбора отходов, потому что мы не сможем переработать отходы если их не собрать, причем правильно собрать [4].

В настоящее время в Москве и в других регионах происходит разделение отходов на два контейнера это «Вторсырье» и «Смешанные отходы».

При всем объеме информации и ее легкодоступности, по данным опросов только 32% людей пользуются раздельным способом сортировки. Сложность заключается в непонимании того, что есть разные контейнеры, и привыкшие в России люди складывают отходы в один пакет, приходя на мусорную площадку раздумывают в какой контейнер лучше бросить. Проблема мусоропровода, в Москве более 70000 и весь выбрасываемый мусор в

мусоропровод не понятно куда вывозить [5].

Также в настоящее время происходит закрытие большого количества полигонов, что также приводит в проблеме куда девать отходы, остаются варианты везти отходы в другие области, что увеличивает плече возки и влияет на стоимость, а стоимость учитывается на жителях городов, которым ежегодно повышают цены на услуги «Обращение с ТКО» (рисунок 1).

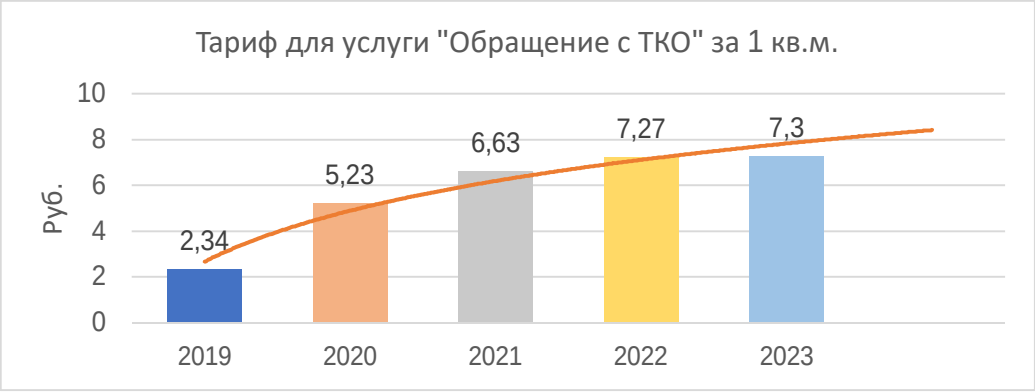


Рисунок 1 – Диаграмма возрастания тарифа на вызов ТКО

Большую часть бытового мусора в России вывозят на свалки. В 2022 году в стране насчитывалось чуть больше 4 тысяч легальных свалок – тех, которые внесены в специальный реестр Роспотребнадзора. Сколько отходов россияне выбрасывают в ближайшей лесопосадке – точно никто не знает, но чиновникам известно о 16 тысячах таких несанкционированных полигонов.

Выбор процессов сбора и транспортировки отходов зависит от количества, выбрасываемого в это регионе, количества сортировочных, перерабатывающих заводов, а также полигонов. В настоящее время наиболее распространённой является система сбора твердых коммунальных отходов, накапливаемых в несменяемых контейнерах разной формы и вместимости. Мусоровозы, собирающие твердые коммунальные отходы, объезжают контейнерные площадки и перегружают содержимое контейнеров в кузов, в котором после его заполнения отходы транспортируются в места их хранения и утилизации.

Существующие мусоровозы имеют большое количество конструкций, но принцип уплотнения в них остается один и тот же это просто осевое сжимание отходов до предельного состояния. Возрастающие объемы отходов приводят к проблеме, что современные конструкции сталкиваются с проблемой как низкая плотность отходов, например при попадании строительных отходов.

Для решения этой проблемы была разработана конструкция мусоровоза с поступательно -вращательной системой уплотнения (рисунок 2). Данная система помимо осевого усилия применяет вращение, сложение двух сил позволяет не только уплотнять, но и измельчать, и равномерное распределять отходы по кузову мусоровоза. Наличие вращающегося диска, оснащенного зацепами, позволяет получить эффект дробления и разрыва отходов. Благодаря игловидной формы зацепа возникает процесс раскалывания и давление плиты концентрирует в точке соприкосновения с отходами. Вращение диска добавляет касательное усилие что обеспечивает процесс истирания.

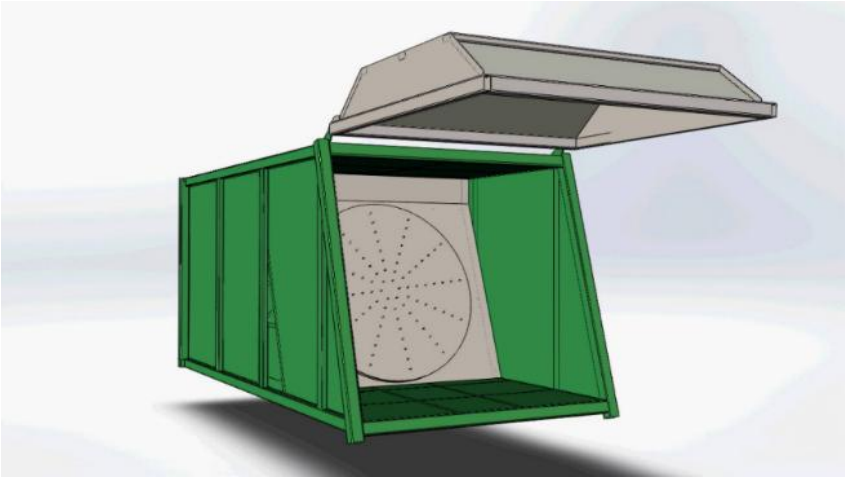


Рисунок 2 – Кузов мусоровоза с поступательно-вращательной системой уплотнения

Разработана математическая модель процесса взаимодействия толкающей плиты с уплотняемой средой при поступательном и поступательно-вращательном уплотнении. Составлена схема действия сил при уплотнении отходов (рисунок 4).

В ходе математического моделирования было получено уравнение для нахождения равнодействующей силы при поступательно-вращательном уплотнения отходов. Уравнение (1) позволяет определить равнодействующую силу при вводных данных системы уплотнения. Определение равнодействующую силы необходимо для нахождения степени уплотнения и дальнейшего моделирования рабочих процессов (2).

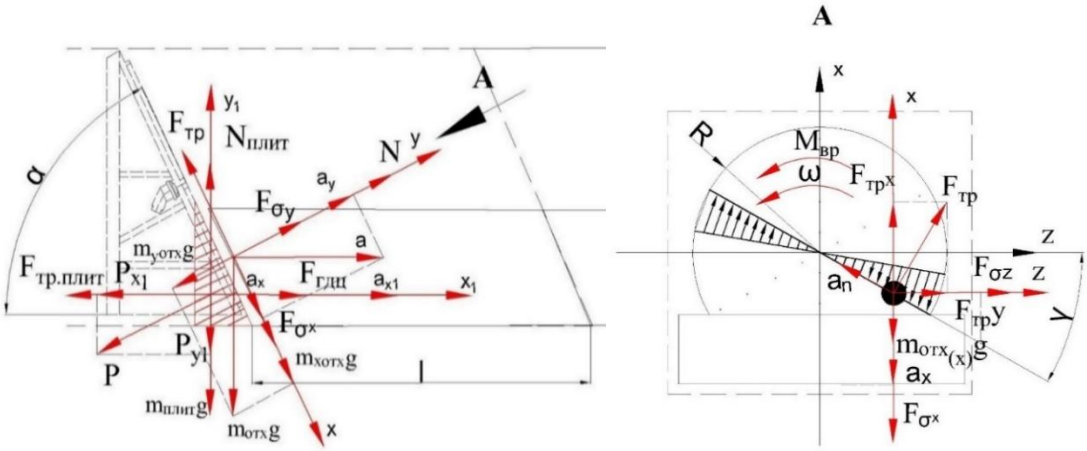


Рисунок 3 – Схема разложения сил, действующих на точку при уплотнении отходов: Fгдц – усилие гидроцилиндра, Н; Fтр.плит – сила трения плиты относительно основания кузова, Н; Nплит – сила реакции плиты относительно основания кузова, Н; α – угол наклона толкающей плиты, град; mплит – масса толкающей плиты поступательно-вращательного действия, кг; P – сила реакции плиты, Н; Fσ – сила, действующая на среду отходов, Н; Fтр – сила трения, возникающая при движении отходов по плите, Н; N – сила реакции отходов, Н; mотх – масса отходов, кг; R – радиус вращающегося диска, м; Mвр – крутящий момент гидромотора, Нм; ω – угловая скорость, град/сек; γ – угол поворота диска, град; a_n – нормальное ускорение, м/с^2

$$F_\sigma(t) = \sqrt{[m_{\text{отх}} * \left(\frac{d^2x}{dt^2} - \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^2 * R * \sin\left(\frac{d\gamma}{dt} * t\right)\right) + m_{\text{отх}} * g * sin\alpha + (M_{\text{вр}} - I * \frac{d^2\gamma}{dt^2})/R * \cos(\frac{d\gamma}{dt} * t)]^2 +} \quad (1)$$

$$+[m_{\text{отх}} * \frac{d^2y}{dt^2} * sin\alpha - (F_{\text{гдц}} - \mu * m_{\text{плит}} * g - m_{\text{плит}} * \frac{d^2x_1}{dt^2} - -m_{\text{плит}} * \frac{d^2y_1}{dt^2}) / (sin\alpha - \mu * cos\alpha) + m_{\text{отх}} * g * cos\alpha]^2 + +[-m_{\text{отх}} * \left(\frac{d\gamma}{dt}\right)^2 * R * \cos\left(\frac{d\gamma}{dt} * t\right) - (M_{\text{вр}} - I * \frac{d^2\gamma}{dt^2}) / R * \sin\left(\frac{d\gamma}{dt} * t\right)]^2.$$

$$K_{\text{упл}} = \frac{F_\sigma}{S * E} = \frac{F_\sigma}{h_{\text{отх}} * b * E}, \quad (2)$$

где F_σ – равнодействующая сила при уплотнении среды отходов, Н; S – площадь поперечного сечения уплотняемых отходов, м^2; E – модуль деформации, Па.

Проведенные испытания на стенде физического моделирования показали высокую степень достоверности математической модели. При сравнении поступательной и поступательно-вращательной системы уплотнения показали возрастание степени уплотнения отходов, что в свою очередь приводит к возрастанию производительности и снижению стоимости транспортирования (Рисунок 3) [5].

Выводы

Сбор и утилизация отходов - важная санитарная и экологическая операция, которая должна быть проведена как можно скорее. В настоящее время мы сталкиваемся в рядом проблем, которые мешают обеспечить оптимальную экологическую обстановку, в том числе и обеспечить раздельную систему сбора и транспортировки твердых коммунальных отходов. Совершенствование конструкций мусоровозов позволит решить проблему транспортирования отходов. Разработана поступательно-вращательная система уплотнения отходов увеличивает степень уплотнения отходов и производительность мусоровоз, что позволяет снизить стоимость процесса сбора и транспортирования твердых коммунальных отходов. Разработанная математическая модель позволяет определять степень уплотнения твердых коммунальных отходов при поступательно-вращательном уплотнении, что позволять определять конечную степень уплотнения отходов и производительность мусоровоза исходя из параметров системы уплотнения и типов отходов.

Список литературы

1. Патент № 2791578 C1 Российская Федерация, МПК B65F 3/20. Мусоровоз с поступательной системой уплотнения отходов: № 2022109425: заявл. 08.04.2022: опубл. 10.03.2023 / Н.М. Андрюхов, С.А. Павлов, Г.В. Кустарев; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет.

2. Андрюхов Н.М. Мусоровозы со сменными контейнерами / Н.М. Андрюхов, К.М. Кулик, Д.Ю. Пьянина // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: Сборник материалов III Национальной научно-практической конференции, Омск, 23–24 апреля 2020 года. – Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2020. – С. 4-8.

3. Конструкции мусоровозов и систем уплотнения отходов/ Н.М. Андрюхов, Г.В. Кустарев, Р.В. Данилов // Строительные и дорожные машины. – 2023. – № 3. – С. 38-44.

4. Сколько мусора производят россияне [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://journal.tinkoff.ru/garbage (дата обращения 27.10.2023)

5. Мусоропроводы в Москве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/wall-88453647_2074?ysclid=lo1d3aii0496893147 (дата обращения 25.10.2023)

6. Машины для сбора и вывоза твёрдых бытовых отходов. Устройство, основы расчёта: учебное пособие / В.И. Баловнев, Г.В. Кустарев, Р.Г. Данилов, Н.М. Андрюхов. – Москва : Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2022. – 164 с.

7. Патент № 2787693 C1 Российская Федерация, МПК B65F 5/00. Установка для

пневматического транспортирования твёрдых бытовых отходов: № 2022116716: заявл. 21.06.2022 : опубл. 11.01.2023 / А.И. Доценко, Н.М. Андрюхов, С.А. Павлов, А.В. Старков; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет.

8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023668743 Российская Федерация. Программа расчета основных параметров поступательно-вращательной системы уплотнения в конструкции мусоровоза: № 2023661817: заявл. 08.06.2023 : опубл. 01.09.2023 / Н.М. Андрюхов, Г.В. Кустарев, А.Г. Сальный; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет».

УДК 537.226.86

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ ГИСТЕРЕЗИС В МНОГОСЛОЙНЫХ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТРИЦАХ АКТЮАТОРОВ
ELECTROMECHANICAL HYSTERESIS IN MULTILAYER PIEZOELECTRIC MATRIXES OF ACTUATORS

Малыхин Анатолий Юрьевич [1], Сокалло Александр Иванович [1], Панич Александр Анатольевич [1,2], Панич Евгений Анатольевич [1], Чечетин Анатолий Васильевич [2,3]
Malykhin Anatoly Yu. [1], Sokallo Alexander I. [1], Panich Alexander A. [1,2], Panich Evgeny A. [1], Chechetin Anatoly V. [2,3]

[1]Институт высоких технологий и пьезотехники Южного федерального университета (ИВТ и ПТ ЮФУ), г. Ростов-на-Дону
[1]Institute of High Technologies and Piezotechnics of the Southern Federal University, Russia, Rostov-on-Don (e-mail: malyhin@sfedu.ru)
[2]Ростовское региональное отделение Российской Инжеренрой Академии
[2]Rostov State Branch of the Russian Academy of Engineering
[3]АО «НПП «ФАЗА», г. Ростов-на-Дону
[3]«SPC «FAZA» JSC, Rostov-on-Don (e-mail: faza4@aaanet.ru)

Аннотация: Рассмотрено явление электромеханического гистерезиса в многослойных матрицах пьезоэлектрических актюаторов. С помощью лабораторного измерительного стенда получены зависимости деформации (перемещения).

Abstract: The phenomenon of electromechanical hysteresis in multilayer matrices of piezoelectric actuators is considered. the dependences of deformation (displacement) on the applied stress are obtained on a laboratory measuring stand.

Ключевые слова: электромеханический гистерезис, пьезоэлектричество, обратный пьезоэффект, актюаторы, пьезоактюаторы.

Keywords: electromechanical hysteresis, piezoelectricity, reverse piezoelectric effect, actuators, piezoactuators.

Введение

Работа посвящена исследованию явления электромеханического гистерезиса (ЭМГ) в матрицах пьезоэлектрических актюаторов. Явление механического гистерезиса в твёрдых телах описано в работах [1-5]. Электромеханический гистерезис в пьезокерамике представляет собой совокупность эффектов, проявляющихся на доменном, молекулярном и электронном уровнях и характеризуется появлением нелинейности в кривой L(U), где L – деформация твердого тела, U – приложенное напряжение. Данное явление может быть справедливо как для монолитных пьезоэлементов (кристаллы, керамика), так и для многослойных сборок, в частности матричных пьезоактюаторов. Покажем это.

Пьезокерамические актюаторы представляют собой электромеханический электромеханических преобразователей, способных осуществлять перемещения с нанометровой точностью. Их основу, как правило, составляют пьезоэлектрические элементы (ПЭ) различной конфигурации. В зарубежной литературе [3-5] по отношению к пьезоактюаторам применяется также явление, именующееся как «сползание» (англ. creep). Возникает это явление в процессе циклического использования пьезокерамических актюаторов и проявляется в виде изменения амплитуды деформации в процессе работы в циклическом режиме под нагрузкой.

Целью проведенного исследования является изучение явления электромеханического гистерезиса на многоактюаторных пьезокерамических матрицах. В настоящее время это актуально для конструирования устройств адаптивной оптики.

Эксперимент

Наглядным способом представления ЭМГ является построение зависимости деформации пьезокерамических актюаторов от приложенного напряжения. В работе исследована актюаторная матрица размерностью 10x1, представляющая собой набор из десяти многослойных актюаторов, выстроенных в ряд на единой базе. Данная матрица является составным элементом устройств адаптивной оптики, в частности, корректоров волнового фронта.

Для изучения явления электромеханического гистерезиса собрана экспериментальная установка, состоящая из генератора сигналов синусоидальной формы, усилителя, микрометрической стойки с магнитным прижимом и подключенным к измеряемому образцу измерителем линейных перемещений. Вывод измерителя подключался к осциллографу, после чего на выводы актюатора подавался синусоидальный сигнал с частотой 0,1 Гц. Верхняя граница амплитуды составляла +300В. Нижняя граница изменялась каждые 5 циклов с 0 до -200 В. При повышении частоты явление сползания (creep) становилось ярко выраженным. На рисунке 1 показаны петли электромеханического гистерезиса, полученные на линейке из десяти 20-слойных актюаторов, наполяризованных вдоль оси вектора прикладываемого напряжения (d33-актюаторы).

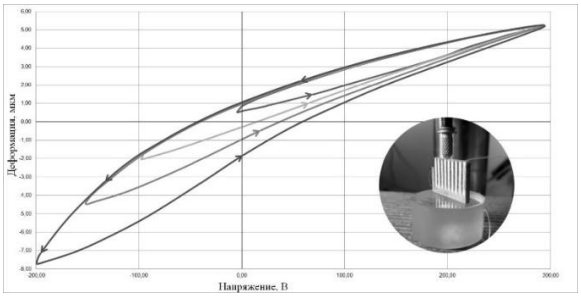


Рисунок 1 – Петли электромеханического гистерезиса исследуемых актюаторов

Полученные данные позволяют изучить нелинейность процессов преобразования электрической энергии в механическую: стрелками показано направление изменения напряжения и деформации. При повышении напряжения, измеряемый образец испытывает растяжение до 5 мкм и при дальнейшем снижении амплитуды сжимается до -8 мкм. Таким образом, при переходе от -200 В к +300 В можно получить ход актюатора около 13 мкм.

Выводы

В ходе выполнения исследования получены зависимости деформации многослойных актюаторных матриц размером 10x1, состоящих из 20 пьезокерамических слоёв. Зависимость L(U) имеет вид петли с запаздыванием (гистерезисом), что важно учитывать при эксплуатации данного типа изделий. Данные на графике являются усреднёнными для серии испытаний на каждом актюаторе в матрице.

Список литературы

1. А.Е. Панич Пьезокерамические актюаторы // Учебное пособие, Ростов-на-Дону, 2008

2. С.М. Афонин Корректирующие устройства систем управления деформацией многослойных пьезодвигателей нано и микроперемещений // Известия РАН. Теория и системы управления, 2011, № 1, с. 84–95

3. Панич А.А., Дыкина Л.А., Малыхин А.Ю., Скрылёв А.В., Байдаров Р.А., Панич Е.А. Высокоэффективный многослойный пьезоэлектрический актюатор для устройств микро- и нанопозиционирования //Перспективные системы и задачи управления. Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции и XII молодежной школы-семинара. Ростов-на-Дону, 2021. С. 247-254.

4. Джош Голдберг Пьезо-, пиро-и ферроэлектрические материалы для печатной электроники // Технологии в электронной промышленности, № 7’2014.

5. А.А. Бобцов, В.И. Бойков, С.В. Быстров, В.В. Григорьев, П.В. Карев Исполнительные устройства и системы для микроперемещений // Учебное пособие, Санкт-Петербург, 2017.

УДК 534.012

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН В ТРЕЩИНОВАТЫХ ГОРНЫХ ПОРОДАХ (ОБЗОР)
SOME ASPECTS OF LONGITUDINAL WAVE PROPAGATION IN FRACTURED ROCKS (REVIEW)

Афанасьева Яна Владимировна[1,2], Федотов Михаил Юрьевич[2]
Afanasieva Yana V. [1,2], Fedotov Mikhail Yu. [2]

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет транспорта» (РУТ (МИИТ), Россия, Москва
[1]Autonomous Educational Institution of Higher Education «Russian University of transport» (RUT (MIIT), Russia, Moscow
(e-mail: info.tupolev@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow

Аннотация: Рассмотрены особенности распространения продольных волн в горных породах с различной структурой и свойствами. Показано, что особый интерес для практических приложений представляют собой трещиноватые грунты, характеризующиеся наличием продольных и поперечных трещин. Анализ научно-технической информации из открытых источников свидетельствует о том, что подобные гетерогенные системы могут быть использованы для создания новых систем демпфирования зданий и сооружений.

Abstract: The features of the propagation of longitudinal waves in rocks with different structures and properties are considered. It is shown that cracked soils, characterized by the presence of longitudinal and transverse cracks, are of particular interest for practical applications. Analysis of scientific and technical information from open sources indicates that such heterogeneous systems can be used to create new damping systems for buildings and structures.

Ключевые слова: горная порода, трещина, трещиноватый грунт, скорость распространения продольных волн, демпфирование.

Keywords: rock, crack, fractured soil, velocity of propagation of longitudinal waves, damping.

Введение. В настоящее время перспективным направлением является освоение новых территорий, в том числе со сложным горным рельефом и в сейсмоопасных зонах. Новые районы динамично осваиваются, осуществляется возведение зданий и сооружений различного назначения. В сейсмоопасных зонах к инженерным сооружениям предъявляют высокие требования по надежности эксплуатации конструкций, так как часто возникают проблемы с обеспечением безопасной эксплуатации, но при повышении сейсмостойкости конструкций увеличиваются стоимостные показатели работ. Требуется особый подход и новые решения при обеспечении надежности эксплуатации зданий и сооружений на территориях с особенностями рельефа и повышенной сейсмикой [1].

В данной работе рассмотрены пористость и трещиноватость геологических сред с точки зрения проявления этих свойств в области распространения упругих волн, а также системы демпфирования и их влияние на скорость распространения упругих волн.

Разрывы в горных породах от микротрещин до тектонических разломов, появившиеся не только от эрозии горного массива, но и от сейсмоактивности региона существенно влияют на их физические свойства и во многом определяют характер современных геодинамических режимов. Эрозия горного массива способствует его разделению на части или обрушению, вследствие чего, изменяется его способность противостоять природному или антропогенному воздействию. Сейсмическая активность преобразовывает рельеф, перемещая массивные блоки горных пород в поле тяготения Земли. Землетрясения возникают не только в местах разломов

– границ плит, но и в центре плит, под складками – горами. Исследования особенностей техногенных сейсмических процессов в различных регионах показывают, необходимость учета взаимосвязи между изменениями напряженно-деформированного состояния и сейсмическим режимом.

Целью работы является:

– изучение влияния структуры горных пород, включая поровое пространство и трещины на скорость распространения упругих продольных волн в породах;

– изучение влияния демпферов на скорость распространения упругих продольных волн в породах и эффективность их использования при строительстве в районах с повышенной сейсмикой.

Горную породу изначально изучают как систему, состоящую из минерального скелета и пор, которые могут содержать в себе воздух, воду и прочие составляющие. Поры горных пород различаются по форме, размерам, происхождению, а поровое пространство может быть щелевидным, трещиновидным, каверновидным, каналовидным, пузырчатым и т.д. и быть представленным порами (пустоты округлой формы), трещинами (разделение в геологической формации на две или более частей) и кавернами (пустоты размерами более 1 мм). На физико-механические свойства горных пород влияют вид и тип трещин, их ориентировка и частота их появления. Трещина представляет собой разрыв, характеризующийся одним из своих направлений, а именно раскрытием. Трещиноватость представляет собой объединение всех трещин в породе. Любые волновые явления могут влиять на зарождение и распространение трещин, при этом, при их прохождении через среду, имеющую трещины, меняются амплитуда акустического сигнала, спектральный состав и временные показатели. Изменения характеристик упругих волн, такие как: изменение скорости распространения волн; спектра импульса; волновой картины; увеличение затухания – определяются трещиноватостью горных пород. Распространение продольной волны можно описать как перемещение областей растяжения и сжатия, при котором частицы среды совершают колебания около своего исходного положения в направлении, совпадающим с направлением распространения волны. Продольные волны способны распространяться в любой среде [2, 3].

При любом типе трещиноватости горных пород наблюдается изменение скорости распространения упругих волн. Имитирование процессов распространения волн в образцах используется довольно часто, в физических экспериментах происходит оценка скорости волн, реже амплитудных и/или частотные характеристики. Модели пористой среды в лабораторных условиях берутся из образцов горных пород или подобных им синтетических материалов. В ряде теоретических и экспериментальных исследований изучалось влияние неоднородности в составе и структуре горных пород, включая трещины, на скорость распространения продольной волны, и было показано, что трещины формируют поле рассеянных волн с низкой относительной интенсивностью и уменьшают как скорость продольной волны, так и амплитуду упругих колебаний [4, 5]. Скорость распространения продольной волны в полускальных и скальных грунтах (гранит, гнейс, базальт, диабаз) с трещиноватостью составляет 4000 м/с, без трещиноватости – около 5250 м/с. За счет дифракции и потери энергии в трещиноватой области претерпевают изменения динамические характеристики волнового поля.

Система демпфирования может способствовать снижению скорости продольных волн при трещинах, что позволяет уменьшить амплитуду волны за один период. Известны различные способы, механизмы и материалы для увеличения степени надежности эксплуатационных характеристик конструкций в условиях повышенной сейсмической активности и вибраций. К примеру, виброизолированный фундамент производственного здания, содержащий каркас здания с основанием; несущие стены с ограждениями, облицованными звукопоглощающими конструкциями; оконные и дверные проемы, оснащенные каркасом со звукопоглощающим материалом, способен повысить эффективность виброизоляции и поглощения шума на низких и средних частотах. Также, виброизолированный фундамент способен увеличить демпфирование в плитах межэтажного перекрытия и основания [6, 7]. Строительный демпфер минимально с одной демпфирующей сдвиг частью и частично в виде лестницы будет способствовать рассеиванию кинетической энергии, передаваемой на конструкцию извне, посредством сдвигающих усилий в демпфирующих частях (все типы зданий и сооружений, а также мосты, башни и тому

подобное). Такая пространственная конструкция создается за счет дополнительных поперечных балок в виде перекладин. Последовательное соединение нескольких демпфирующих частей, позволит поглощать большую деформацию, что крайне важно для демпфирования конструкции во время землетрясений [8].

Существует множество различных строительных демпферов. Механизм выбора материала для использования демпфера в строительстве, в целях увеличения надежности конструкции, примерно одинаков - обычно выбирают материал объемных структур, соприкасающихся контактными поверхностями в демпфирующем объеме. Материал определяется, исходя из условий эксплуатации, технологии укладки материала, климатических факторов эксплуатации и др. условий. Обеспечение максимальной концентрации контактных поверхностей в составе, будет способствовать наилучшим условиям демпфирования сейсмоопасных инженерных конструкций. Сейсмические волны затухают на контактных поверхностях демпфирующего материала и чем больше контактных поверхностей, тем сильнее затухание. Аналогичные процессы происходят и в случае демпфирования колебаний (динамический гаситель колебаний зданий и сооружений, включающий подвижную массу, соединенную с сооружением посредством горизонтальных пружин; инерционный гаситель колебаний зданий и сооружений, встроенный в конструкцию здания или иной технический объект и предназначенный для снижения амплитуды его механических колебаний).

Выводы

Структура порового пространства горных пород и имеющиеся или вновь образованные трещины различной этиологии оказывают влияние на разрушение горной породы, в том числе и вследствие сейсмической активности, а также влияют на скорость распространения сейсмических волн уменьшая как скорость продольной волны, так и амплитуду упругих колебаний. Система демпфирования может способствовать снижению скорости продольных волн при трещинах, что позволяет уменьшить амплитуду волны за один период. При строительстве в сейсмически активных районах необходимо учитывать рельеф местности и инженерно-геологические условия, а также применять различные системы демпфирования для повышения безопасности эксплуатации.

Список литературы

1. Гусев Б.В., Будадин О.Н., Федотов М.Ю. Патент РФ №2800166, опубликован 29.07.2023. Способ демпфирования сейсмоопасных и виброопасных сооружений и конструкций. 2023. Бюл. № 20.

2. Жуков В.С., Моторыгин В.В. Влияние межзерновой пористости и трещинной пустотности горных пород на скорость продольной волны. Научно-технический сборник Вести газовой науки № 3 (35). Московская область, 2018 год. С. 249-255.

3. Жуков В.С., Моторыгин В.В. Патент РФ № 2646956, опубликован 31.05.2017. Способ определения трещинной пористости горных пород. 2018. Бюл. № 8.

4. Ислямова А.А. Моделирование влияния трещиноватости и пористости горных пород на сейсмический сигнал. Международный научно-исследовательский журнал №11 (53), часть 5. г. Екатеринбург, ноябрь, 2016 год. С. 81-85.

5. Немирович-Данченко М.М. Возможности обнаружения множественной трещиноватости сплошной среды на основе оценки спектральной плотности энергии отраженного сигнала. Журнал Физическая мезомеханика Т. 16. №. 1. г. Томск, 2013 год. С. 105-110.

6. Шеин А.И. Динамика и устойчивость сооружений. Обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений. ПГУАС. г. Пенза, 2015. 108 с.

7. Кочетов О.С. Патент РФ № 2643225, публикация заявки 20.10.2015, опубликован 31.01.2018. Виброизолированный фундамент производственного здания. 2018 год. Бюл. № 4.

8. Эмануэль Ганделли, Иоганн Дистл. Патент РФ №2766922, опубликован 16.03.2022. Строительный демпфер по меньшей мере с одной демпфирующей сдвиг частью по меньшей мере частично в виде лестницы. 2022 год. Бюл. № 8.

УДК 629.4

ЛОГИСТИЧЕСКАЯ СХЕМА ЗАМКНУТОЙ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ЗИГЗАГ» ДЛЯ ЖИЛОГО МАССИВА ПО БЕРЕГАМ РЕКИ С РАЗНЕСЕННЫМИ МОСТАМИ
LOGISTICS SCHEME OF THE CLOSED ELECTRIC DRIVE TRANSPORT SYSTEM "ZIGZAG" FOR A RESIDENTIAL AREA ON THE RIVER BANK WITH SPACED BRIDGES

Семенов Александр Георгиевич [1,2]
Semenov Alexander G. [1,2]

[1]Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия, Санкт-Петербург
[1]Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Russia, St. Petersburg
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: angel777@mail.ru)

Аннотация: Разработка относится к городскому общественному (в том числе экскурсионному) транспорту на электротяге (трамваям, троллейбусам) крупных городов по берегам рек. Предложено логистическое решение практически выявленной проблемы «однобокой» деградации транспортных средств (подвижного состава), длительно курсирующих вдоль реки или иного крупного водоема с постоянной ориентацией к нему одним бортом. Предложение позволяет равномерно распределить вредное воздействие влажных потоков воздуха со стороны реки между левым и правым бортами транспортного средства примерно поровну. Обеспечив тем самым заданный срок службы транспортных средств.

Abstract: The development refers to urban public (including sightseeing) electric transport (trams, trolleybuses) of large cities along the banks of rivers. A logistical solution is proposed for the practically identified problem of "one-sided" degradation of vehicles (rolling stock) that travel for a long time along a river or other large body of water with a constant orientation towards it with one side. The proposal allows you to evenly distribute the harmful effects of moist air flows from the river between the left and right sides of the vehicle approximately equally. Thus ensuring the specified service life of vehicles.

Ключевые слова: городской общественный транспорт, экскурсионный транспорт, река, мост, воздействие влаги, деградация материалов, срок службы.

Keywords: urban public transport, sightseeing transport, river, bridge, exposure to moisture, material degradation, service life.

Область исследования, разработки и использования

Авторское предложение относится к электроприводному маршрутному общественному (муниципальному) наземному транспорту, главным образом троллейбусному (включая экскурсионные маршруты), со стационарным проводным электропитанием, в мегаполисах и др. крупных населенных пунктах, расположенных по обоим берегам крупных рек (р. Нева, Москва-река и т.д.).

Обзорная часть

Известны схемы замкнутых (кольцевых) транспортных (железнодорожных и трамвайных) путей, троллейбусных электролиний – геометрически простых [1] и сложных [2], охватывающих географические площади. Часто на местности, охваченной транспортными маршрутами, распложены водоемы – см. источник [3]. По берегам морей, озер и рек обычно плотность населения выше, чем на местности без таковых».

Близким аналогом является железная дорога вокруг водоема, выполненная (по проектному замыслу) по рельсовой схеме замкнутых перегонов, со станциями, включая узловую с тупиковыми ответвлениями и депо [4].

Это устройство, однако – разомкнутая одномаршрутная транспортная система (ТС), то есть на правом и левом путях. А значит, применительно к троллейбусам, на правой и левой сторонах транспортной магистрали. ТС обслуживает только один берег реки – и в одном («туда»), и в другом («обратно») направлениях. В устройстве (равно как и при других аналогах), при безусловной полезности организации пассажироперевозок, выявлены практикой эксплуатации специфические технические недостатки. Именно не самого ТС, а способа организации (схемы, логистики) его движения, обусловленного устройством ТС, стационарных ее частей, ориентации на местности с учетом наличия природного водного массива.

Наиболее близким является замкнутая электропроводная ТС в жилом и экскурсионном массиве в центре Санкт-Петербурга по берегам р. Нева с сетью рек и каналов, с несколькими разнесенными мостами, содержащая парковое кольцо, электропроводные линии для движения электроприводного транспорта по набережным и мостам [5].

Проблематика и постановка задачи

Для ТС вокруг водоема или реки – в месте концентрации жилых и хозяйственных объектов, населения, будет иметь место редко где и кем предсказуемый негативный чисто «технический» эффект ускоренного прихода в негодность (разрушения, коррозии и т.д.) матчасти ТС с одной из сторон - слева или справа в зависимости от единообразного направления движения по замкнутой «кольцевой» траектории. Такие явления уже выявлены не только эксплуатационниками при дефектации подвижных составов на железной дороге, но и ведомственными комиссиями по контролю технического состояния ТС. Причина – во вредном для материалов систематическом воздействии влаги в ветровых потоках со стороны водоема или реки, причем в основном на ту сторону (борт) ТС, которой (которым) он обращен к «большой воде». Зачастую это незаметно под более стойкой обшивкой вагонов. Отсюда – вред здоровью транспортируемых людей и обслуживающего персонала, реальная опасность аварийных последствий и экономический ущерб.

Задачей, на решение которой направлено представляемой в статье предложение, является создание такой транспортной системы, при которой ТС даже при движении по маршруту замкнутому кольцевому однопутному испытывал бы примерно одинаковые воздействия влажности со стороны реки на оба его борт попеременно, что должно обеспечить заданный срок службы ТС на линии.

Описание транспортной системы

Предлагаемое решение обозначенной проблемы проиллюстрировано рисунками 1, 2, где позициями обозначено: 1 – парковое кольцо с транспортно-технологической инфраструктурой; 2п, 2л – электроприводной транспорт маршрутов А, Б при однопутной системе и В, Г при двухпутной системе соответственно; 3 – река; 4 – электроприводные линии.

Замкнутая электропроводная транспортная система для обслуживания объектов инфраструктуры по берегам реки с несколькими разнесенными мостами содержит парковое кольцо 1 (со своей локальной транспортно-технологической инфраструктурой), стационарные электропроводные линии для движения электроприводного транспорта 2 по набережным реки 3 и мостам М1, М2, М3, М4 и т.д.) через нее. Стационарные электропроводные линии 4 подвешены (проложены) с возможностью движения ТС 2п (2п, 2л) от паркового кольца 1 последовательно: по первому берегу Н1 (например левому) реки 3, по первому мосту М1, по второму берегу Н2 (например правому), по второму мосту (М2), по первому берегу Н1, по третьему мосту (М3), по второму берегу Н2, по четвертому мосту (М4), и, возможно, так далее, с образованием зигзагообразного маршрута А в удаление от паркового кольца 1, с последующим возвратом на парковое кольцо 1, с образованием зигзагообразного маршрута Б, симметричного маршруту А относительно реки 3.

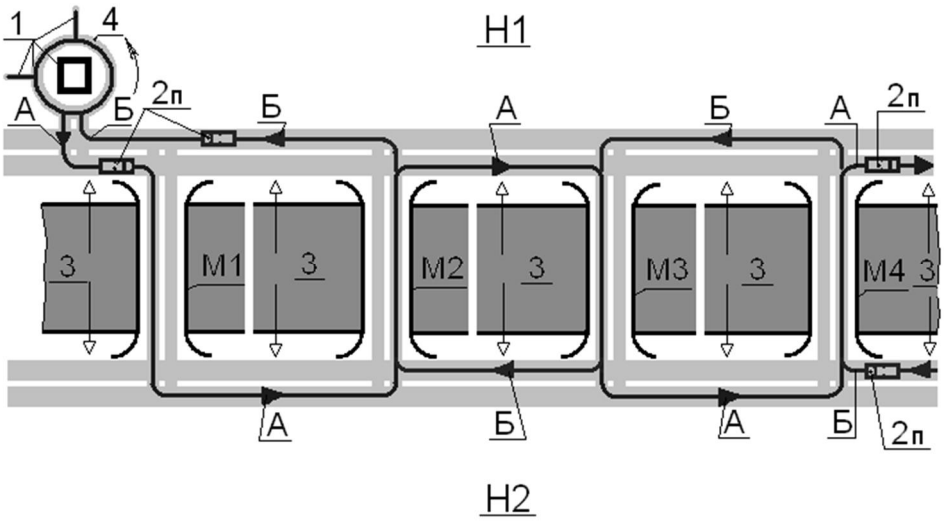


Рисунок 1 – Схема однопутной транспортной системы, с охватом своими петлями участков реки между соседними мостами: А – «правый» маршрут (путь) одного транспортного средства (ТС) или группы последовательно движущихся ТС от паркового кольца «туда»; Б – «правый» маршрут (путь) одного ТС или группы последовательно движущихся ТС «обратно» к парковому кольцу; М1, М2, М3, М4, … – мосты через реку под их порядковыми номерами; Н1 – одна (левая) набережная (сторона) реки; Н2 другая (правая) набережная (сторона) реки; стрелками показано воздействие влажности со стороны реки

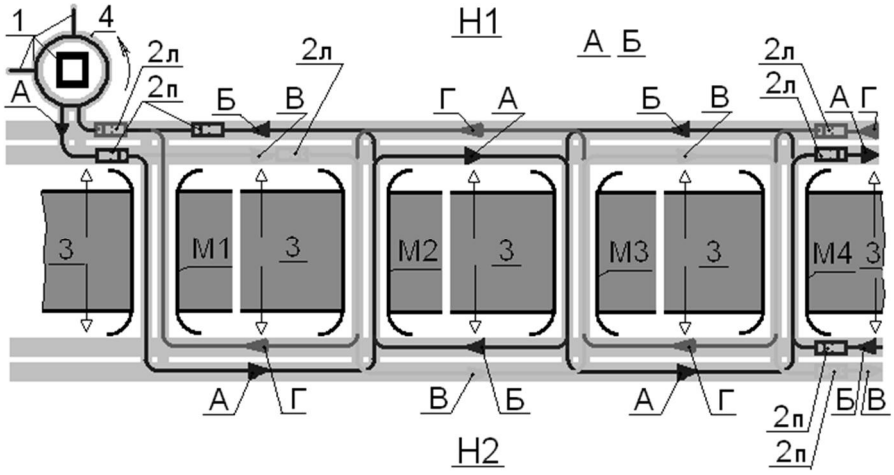


Рисунок 2 – Схема двухпутной транспортной системы, с охватом своими петлями двух соразмерных участков реки между соседними мостами: А – «правый» маршрут (путь) одного транспортного средства (ТС) или группы последовательно движущихся ТС от паркового кольца «туда» с первичным отклонением вправо; Б – «правый» маршрут (путь) одного ТС или группы последовательно движущихся ТС «обратно» к парковому кольцу; В – «левый» маршрут (путь) другого ТС (или другой группы последовательно движущихся ТС) от паркового кольца «туда» с первичным отклонением влево по набережной до моста М2; Г – «левый» маршрут (путь) одного упомянутого другого ТС или группы последовательно движущихся ТС «обратно» к парковому кольцу; М1, М2, М3, М4, … – мосты через реку под их порядковыми номерами; стрелками показано воздействие влажности со стороны реки

По первому частному примеру, ТС выполнена однопутной, с возможностью одностороннего движения одного или нескольких последовательно движущихся ТС 2п (см. рис.

1). Здесь маршрут А «туда» и маршрут Б «обратно» для ТС 2п, каждый из которых геометрически представляет собой «правые» зигзаг или «змейку» как последовательные зигзаги, в совокупности образуют замкнутый «правый» зигзаг или две замкнутые «правые змейки».

По второму частному примеру, ТС выполнена двухпутной, с возможностью двухстороннего встречного движения двух ТС (2п и 2л) или последовательно движущихся групп ТС (с теми же позициями), соответственно встречных маршрутов В и Г (см. рис. 2). Здесь маршрут В «туда» и маршрут Г «обратно» для ТС 2л, каждый из которых геометрически представляет собой «левые» зигзаг или «змейку» как последовательные зигзаги, в совокупности образуют замкнутые «левые» зигзаги или две «змейки». Маршруты В и Г отличаются от, соответственно, А и Б эквидистантностью (характерной для двухпутных линий) и разнонаправленностью.

Поскольку во втором частном примере имеют место «левый» маршрут В+Г в дополнение к «правому» маршруту А+Б, то в совокупности все четыре маршрута А+Б+В+Г геометрически представляют собой два наложенных друг на друга (с учетом двухпутного смещения) двойных зигзагов или «змеек» (см. рис. 2).

Функционирование транспортной системы

При однопутной транспортной системе (см. рис. 1) первое ТС 2п движется последовательно по замкнутому на кольцо 1 электропроводному пути (с соблюдением правил дорожного движения), образованному двумя последовательными ветвями (маршрутами) А и Б: выходит с кольца 1 и движется по первой стороне (набережной, левой) Н1 реки З до первого моста М1, поворачивает направо и движется по мосту М1, поворачивает налево и движется по второй (правой) стороне Н2 реки З до моста М2, поворачивает налево и движется по мосту М2, поворачивает направо и движется по стороне Н1 реки З, поворачивает направо на мост М3 и т.д. в том же порядке. В конце маршрута (пути) А он, продолжая двигаться, без второго путевого кольца и без собственного реверса, преодолевает последовательно еще не пройденные (пропущенные) участки пути (местности с ожидающими людьми), с использованием тех же мостов в обратной последовательности. Очевидно, маршруты А и Б перекрывают совместно оба берега реки З – Н1 и Н2.

Завершив маршруты А и Б, возвращением на кольцо 1, ТС 2п, либо идет на второй и т.д. цикл движения, или маневрирует, заменяется, осматривается технической службой т.д.

При двухпутной ТС (см. рис. 2) в отношении первого ТС 2п всё остается прежним. Второе ТС 2л движется аналогично первому, но с начальным не правым, а левым отклонением направления, по пути маршрута В+Г, эквидистантному относительно пути маршрута А+Б пути, и в противоположном (встречном) направлении, как и положено на двухпутных участках маршрута. Таким образом, он в другой последовательности (но тоже в шахматном порядке) обслуживает участки системы на берегах Н1 и Н2.

Это улучшает транспортную логистику на всем жилом массиве по берегам реки.

Организация одного общего кольца 1 с локальной инфраструктурой (как для одинарной по рис. 1, так и для двойной по рис. 2), как правило, оптимально под углом зрения транспортной и технологической логистики.

Эффективность предложения

В обоих примерах важно то, что при движении всех ТС или групп ТС (2п, 2л) и возможных дополнительных – для приемлемых интервалов движения) повышенная влажность и химический состав воздуха со стороны реки З воздействует на ТС как с левой стороны (левых бортов), так и с правой стороны (правых бортов).

При примерно одинаковой частоте мостов М1…М4 и т.д. и примерно одинаковой ширине реки З вредные воздействия влажности на ТС распределяются более равномерно.

В примерах с прокладкой путей непосредственно по побережной (что весьма распространено в мире) описанный эффект максимален.

Таким образом, использование предложения позволяет создать транспортную систему с улучшенными ТЭХ. Повысив надежность и долговечность (срок службы) ТС, курсирующих по замкнутым маршрутам (путям) вокруг крупных и средних по ширине и длине (площади) рек с мостами, за счет распределения неизбежного вредного воздействия влажности со стороны поверхности воды между левой и правой сторонами (бортами) ТС.

ТС названа «ЗигЗаг» в связи с очевидной целесообразностью: специалисты и пользователи смогут охотнее и на понятном для всех уровне использовать образно-различительную особенность системы от других (известных и возможных новых), геометрическую ее характеристику как маршрута или совокупности маршрутов.

Заключение

Организация (по сути, концепция) транспортного маршрута (пути) «Зигзаг» позволяет повысить ТЭХ электроприводной транспортной системы, расположенной по берегам рек, за счет выравнивания климатических воздействий на левую и правую стороны этой системы.

Список литературы

1. [Электронный ресурс]. - Комплект рельс Е. – URL: http://www.d-model.ru/roc61104 (Дата обращения: 187.09.2022).

2 [Электронный ресурс]. - Путевая схема макета. – URL: http://asamsonov67.narod.ru/rail/book1/2_4.htm (Дата обращения: 187.09.2022).

3. [Электронный ресурс]. - План размещения водоемов. – URL: https://www.awatereng.ru/portfolio/full/stroitelstvo_i_rekonstruktciya_vodoemov/kaskad-iz-dvuh-prudov-na-ruche-na-chastnom-uchastke-v-moskovskoj-oblasti/ (Дата обращения: 18.09.2022).

4. [Электронный ресурс]. - Кольцевую железную дорогу Казани начнут строить в 2022 году. – URL: https://www.business-gazeta.ru/news/496497?utm_source=smi2 (Дата выкладки: 22.01.2021; дата обращения: 17.09.2022).

5. [Электронный ресурс]. - URL: http://mypiter.your-comp.ru/_nw/0/62986.gif.

6. Заявка на изобретение № 2022128255/11 от 28.10.2022, МПК E01C 1/00. Замкнутая электроприводная транспортная система «Зигзаг» для жилого массива по берегам реки с несколькими разнесенными мостами /Автор-заявитель А.Г. Семенов.

УДК 622. 232.83.054.52

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЭФФЕКТИВНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ТОННЕЛЕПРОХОДЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
DESIGN AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF EFFECTIVE APPLICATION OF TUNNEL BINING COMPLEXES

Ивахник Владимир Георгиевич [1,2], Наянов Михаил Александрович [3]
Ivakhnik Vladimir. G., Nayanov Mikhail. A. [3]

[1]Научно-исследовательский технический университет (НИТУ «МИСиС»), Горный институт (ГИ), Россия, Москва
[1]National Research Technical University "MISiS", Mining Institute, Russia, Moscow
(e-mail: ivid1948@yandex.ru)
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow
[3]ОАО «Мосинжпроект», Россия, Москва
[3] "Mosinzhproekt" OJSC, Russia, Moscow

Аннотация: Приводится целесообразность установления резервов, повышения эффективности применения тоннеле-проходческих механизированных комплексов, во взаимосвязи технологических и конструктивных параметров оборудования. На примере применения проходческих комплексов типа «Херренкнехт»-6,28 рассмотрены пути их конструктивно-технологического совершенствования.

Abstract: The feasibility of establishing reserves, increasing the efficiency of using tunnel boring mechanized complexes, in the interrelation of technological and design parameters of tunneling equipment is presented. The ways of their constructive and technological improvement are considered on the example of the use of tunneling complexes of the type "Herrenknecht"-6,28.

Ключевые слова: Инновации, тоннеле-проходческие механизированные комплексы, комплексное обоснование, технологические и конструктивные параметры, резервы производительности роторных исполнительных органов и дисковых шарошек и резцов.

Keywords: Innovations, tunnel-tunneling mechanized complexes, comprehensive justification, technological and design parameters, performance reserves of rotary executive bodies and disk balls and cutters.

Современные мировые тенденции механизации тоннеле-проходческих работ предусматривают практическое воплощение концепции применения безлюдной проходки тоннелей щитовым способом. Реализация основных технологических схем, осуществляется тоннеле-проходческими механизированными комплексом (ТПМК), которые позволяют проходить тоннель в водонасыщенных неустойчивых песчано-глинистых грунтах с коэффициентом крепости по М.М. Протодьяконову f= 0,3-1 и включениями валунов до 40см. ТПМК обеспечивает также проходку без суспензии и без практического изменения технологии в более крепких грунтах (в том числе полускальных и скальных) с коэффициентом f=1,5-4.

Масштабное применение ТПМК осуществляет «Мосметрострой», использующий ТПМК – «Ловат» (Канада), «Херренкнехт» (Германия) и другие [1, 2]. Наибольшее распространение среди ТПМК получили щиты с роторным исполнительным органом (ИО). Применение ТПМК в значительной степени определяются особенностями физико-механических свойств пород, в основном относящихся к грунтам 1-4 категории. При широком распространении ТПМК с роторным ИО требуется поиск резервов для дальнейшего повышения эффективного их использования при проходке тоннелей щитовым способом. Так, наряду с известными основными преимуществами роторного ИО (сплошное разрушение

грунтового массива по всему сечению забоя, регулирование скорости вращения и усилий подачи ротора на забой, обеспечивающее оптимальный режим разработки грунтов и относительно высокие скорости проходки тоннелей и т.д.), выявляется ряд недостатков при их эксплуатации.

Характерным примером к поиску резервов повышения эффективности в использовании ТПМК с роторным ИО, могут являться горнопроходческие предприятия, применяющие комплексы «Херренкнехт»-6,28. Эти предприятия преодолевают зарубежные санкции и активно решают вопросы импортного замещения поставок запчастей и ремонта ТПМК. Многолетний опыт эксплуатации ТМПК-6,28 на проходческих работах и сравнительный анализ данных технических возможностей ТМПК-6,28, эксплуатирующихся, на примерке ООО «Тоннель-2001», с расчетными показателями их применения в реальных условиях эксплуатации, показывают наличие значительных резервов повышения производительности (Табл. 1 и 2). Так, если ориентируемая паспортная производительность ТМПК-6,28 с учетом крепости пород составляет от 15,0 до 8,0 м^3/час (п.1, табл. 2), то численное значение эксплуатационной производительности ($Q_Э$) достигают только диапазона 4,0-1,5 м^3/час (п.3, табл. 2).

Таблица 1 –Техническая характеристика ТППК-6,28

№ п/п	Показатели	Численные Значения	
		гидро-прегруз	грунто-прегруз
	Тоннелепроходческие комплексы		
1.	Тип ИО	роторный	
2.	Диаметр ИО, м	6,28м	
3.	Скорость подачи ИО на забой, м/мин	$10 \div 60 \times 10^{-3}$	
4.	Ширина заходки (кольца), м.	1,2	
5.	Вес (с инструментами), т	40,6	53,6
6.	Шарошки, шт	19	17
7.	Резец, шт	69	64
8.	Центральный нож, шт	1	
9.	Привод	\гидравлический	
10.	Двигатели (аксиально-поршневые)	6	8
11.	Мощность, кВт	900	1200
12.	Момент вращения (номинальный),кНм	3158	3580
13.	Начальный вращающий момент,кНм	4100	4202
14.	Гидроцилиндры, шт	12	
	Металлоконструкция щита		
1.	Диаметр режущей секции, мм	6280	6250
2.	Длина режущей секции, мм	3995	4330
3.	Диаметр хвоста щита, мм	6260	6230
4.	Длина хвостовой части щита, мм	3270	3520

Таблица 2 –Зависимость производительности ТПМК-6,28 от условий эксплуатации

№ п/п	Выражения для определения производительности ТПМК-6,28	Значения γ, т/м^3	
		1,2	1,6
1.	*Теоретическая производительность* ($Q_{ТЕОР}$) $Q_{ТЕОР} = \frac{\pi D^2}{4} V$, м^3/час(1)	15,5	7,7
	где: D– диаметр щита, м; V–скорость подачи ИО на забой, м/мин	0,4	0,25
2.	*Техническая производительность* ($Q_{ТЕХН}$) $Q_{ТЕХН} = Q_{ТЕОР} \times \gamma \times k_{тр}$, м^3/час, (2)	9,3	4,6
	где: γ– плотность породы, т/м^3 $k_{тр}$ –коэффициент технической возможности непрерывной работы, ТМПК-6,28	0,6	0,6
	$k_{тр} = T / T + T_{во}$ где: T –чистое время (за 1 цикл) по разработке забоя на величину заходки (ширину кольца) мин,	20	120
	$T_{во}$ –время (за 1 цикл) вспомогательных операций, мин.	15	55
3.	*Эксплуатационная производительность* ($Q_{ЭКСП}$) $Q_{ЭКСП} = Q_{ТЕХН} \times k_Э$, м^3/час, (3)	3,7	1,4
	где: $k_Э$ –коэффициент непрерывности работы ТМПК-6,28 в процессе эксплуатации	0,4	0,3
	$k_Э = T / T + T_{ПР}$ $T_{ПР}$ –время простоевТМПК-6,28, мин	20	45

3

Задачей работы является установление причин явно недостаточного уровня производительности ТМПК-6,28, как из-за природных факторов, так и конструктивных особенностей проходческого щита. Мероприятия по повышению эксплуатационных характеристик рабочего инструмента, в части шарошек и резцов ротора, которые требую частых их замен.

Интенсивный износ дисков шарошек всегда имел нарекания отечественных [1, 2] и зарубежных [6] специалистов. Из практики применения дисковых шарошек на роторных проходческих щитах известно, что изначально этот рабочий инструмент был ориентирован для проходки в скальных породах, но многообразие грунтов вызвало необходимость их применения в смешанных грунтах. Для нормальной работы шарошке нужен постоянный контакт с разрушаемой поверхностью и достаточное сопротивление для внедрения в породу. В смешанных грунтах скальные включения могут вдавливаться или перекашиваться, что уменьшает эффективность разрушения, но минимизирует боковую нагрузку на подшипник шарошки, которая может возникнуть как результат удара или перекоса скального обломка. Наличие каменистых включений разрушается благодаря удару, а вот использование дисковой шарошки в мягком грунте, требует уменьшения степени затяжки подшипника

до состояния проворачивания шарошки рукой, иначе она не будет проворачиваться от контакта с грунтом, что приведет к быстрому износу.

Постоянный контроль на роторном щите за износом дисковых шарошек является важным условием в их оптимальном расходовании. По сути, только постоянный контроль за степенью затяжки подшипника, не приводит к снижению их эксплуатационного ресурса. Кроме того, при условии обеспечения этих требований, резерв в повышении эксплуатационного ресурса шарошек, имеется как в конструктивных, так и технологических аспектах. В части конструктивных параметров шарошек можно отметить, что для контроля степени их износа в местах крепления шарошек к роторному щиту есть возможности в применении более рациональной конструкции (рис. 1), которая без особых затруднений обеспечивает их доступность через смотровые окна щита (рис. 2).

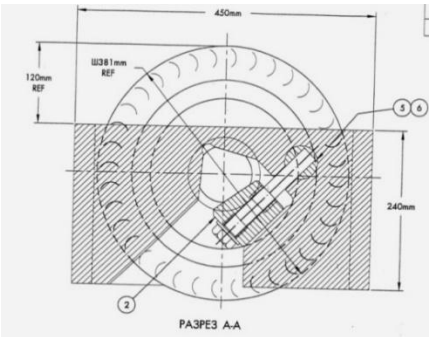


Рисунок 1 – Схема установки шарошки

Рисунок 2 – Фрагмент смотрового окна роторного щита

Что же касается технологических аспектов изготовления шарошек, то применение наплавочных материалов для дисков, для их износостойкости, значительно влияет на эксплуатационный ресурс шарошек. В период зарубежных санкций помощь стали оказывать российские союзники. Так, стабильным партнёром стал Китай, который стал производить режущий инструмент ротора ТМПК-6,28 (шарошки, резцы и репера). Кроме того, устранены сложности с заменами хвостовых уплотнений – щеток, а также запасных частей к гидроприводу, поставку которых в Москве обеспечивает ООО «Военэнергосбыт».

Мероприятия по повышению эксплуатационного ресурса шарошек и шнеков насосов

Учитывая, что в процессе эксплуатации шарошки подвержены абразивному изнашиванию и ударным нагрузкам, то эти детали требуют повышения твердости и износостойкости.

Износ шнеков растворных (грунтовых) насосов имеет отличие от абразивного износа, которым подвержены шарошки. В процессе эксплуатации насосов у шнеков происходит эрозия металла, то есть мельчайшие доли металла шнеков срываются капельками воды. Кроме того, в слое жидкостной смеси, прилегающем к металлу, при определенных условиях обтекания возникают области пониженного давления, где зарождаются кавитационные пузырьки. Этот характер изнашивания получил название как кавитационно-эрозионное изнашивание, зависящее от влияния коррозионной среды и температуры эксплуатации, которые

дополнительно ускоряют износ металла.

Кавитационное изнашивание металла происходит в результате воздействия на его поверхность микроударных нагрузок, возникающих при образовании и захлопывании кавитационных пузырьков. При замыкании кавитационных пузырьков поверхность металла испытывает значительные по величине многократные микроударные воздействия, приводящие к возникновению усталостного разрушения пластичных зон и выкрашиванию хрупких составляющих на рабочей поверхности детали. Присутствие коррозионно-активной среды интенсифицирует процессы микро усталостного разрушения и электрохимического растворения металла.

В настоящее время не существует сложностей в выборе оптимальных способов и технических средств, выполнения наплавочных и сварочных работ [3], а также применения высоких технологий снятия напряжений при выполнении этих работ [4].

Наплавка. Из существующих способов повышения износостойкости деталей из различных металлов широкое распространение получила наплавка, которая предусматривает нанесение расплавленного металла на оплавленную металлическую поверхность с последующей его кристаллизацией для создания слоя с заданными свойствами и геометрическими параметрами. Наплавку применяют не только для восстановления изношенных деталей, но и при изготовлении новых деталей с целью получения поверхностных слоев, обладающих повышенными твердостью, износостойкостью, кислотнойстойкостью или другими свойствами. Она позволяет значительно увеличить срок службы деталей и намного сократить расход, дефицитных материалов при их изготовлении.

Наплавку дисков шарошек целесообразно осуществлять перед их эксплуатацией с целью образования поверхностного слоя с заданными физико-механическими свойствами, повышающего их прочностные характеристики. Наплавку дисков шарошек, возможно осуществлять и после их зарубежных поставок, в ремонтных мастерских горнопроходческих предприятий.

Для выполнения наплавки дисков шарошек применим любой из существующих способов – электродуговая, газовая, электрошлаковая, индукционная, плазменная, импульсно-дуговая, вибродуговая, порошковая наплавки. Главное, что при выборе наиболее рационального способа и технологии наплавки следует учитывать условия эксплуатации наплавленного слоя и экономическую эффективность процесса.

Основные принципы наплавки. В основных своих моментах технология наплавки сходна с технологией сварки. Перед ней стоят те же задачи, что и перед сваркой – защита наплавляемого металла от газов, содержащихся в воздухе, получение плотного, без пор, трещин и посторонних включений металла шва.

При наплавке следует соблюдать основные принципы, заключающиеся в ряде требований:

– Необходимо стремиться к минимальному проплавлению основного металла. Это достигается путем наклона электрода в сторону, обратную ходу наплавки.

– Должно быть, как можно меньшее перемешивание наплавленного металла с основным.

– Нужно стараться достичь минимальных остаточных напряжений и деформаций в детали. Это требование во многом обеспечивается соблюдением двух предшествующих.

– Необходимо снижать до приемлемых значений припуски на последующую обработку детали.

Материалы для наплавки существуют в различных формах. Это могут быть присадочные прутки, порошкообразные смеси, наплавочные покрытые электроды, порошковая и цельно-стержневая проволока. В электродуговой наплавке применяются в основном покрытые электроды, присадочные прутки и проволока.

Перечисленные принципы и способы наплавки могут эффективно применяться только при реализации основного требования, обеспечивающего чистоту наплавляемых деталей – поверхности деталей перед наплавкой должны быть очищены от масла, ржавчины

и других загрязнений. Это достигается механической очисткой (дробеструйная, абразивным инструментом) и химической очисткой: моечные ванны и машины, а также, применением кислых и основных очищающих средств.

Технологический процесс наплавки требует определенных навыков в работе и такие высококвалифицированные специалисты в системе горнопроходческих предприятий не перевелись. Оптимальные режимы наплавочных работ предусматривают, в основном, применение минимального тока при минимальном напряжении, чтобы не увеличивалась доля основного, наплавляемого металла. Состав металла определяет тип электрода, а толщину и форму – диаметр электрода. Напряжение дуги определяет форму наплавленного валика, при его повышении увеличивается ширина и уменьшается высота валика, возрастает длина дуги и окисляемость легирующих примесей, особенно углерода.

При наплавке поверхностных слоев с заданными свойствами, как правило, химический состав наплавленного металла существенно отличается от химического состава основного металла. Поэтому при наплавке выполняется ряд технологических требований.

В процессе наплавки необходимо получение наплавленного слоя с минимальным проплавлением основного металла, так как в противном случае возрастает доля основного металла в формировании наплавленного слоя. Это приводит к ненужному разбавлению наплавленного металла расплавляемым основным. Далее при наплавке необходимо обеспечение минимальной зоны термического влияния и минимальных напряжений и деформации. Это требование обеспечивается за счет уменьшения глубины проплавления регулированием параметров режима, погонной энергии, увеличением вылета электрода, применением широкой электродной ленты и другими технологическими приемами.

Применительно к проблеме ООО «Тоннель-2001», в части применения наплавки для шарошек роторных щитов и шнеков насосов проходческого щита, то очевидным является применение ***дуговой наплавки порошковыми проволоками.*** Кроме того, очевидно из числа наплавочных материалов целесообразно использовать порошковую проволоку ПП30ХГСА, хорошо взаимодействующую со стальными металлами, химический состав которых адаптирован к ударным нагрузкам. Отечественная порошковая проволока может соответствовать проволоке Castomag 45-351 ∅1,2 мм, которую ООО «Тоннель-2001» применяют в наплавочных процессах, в частности при наплавке шнеков насосов проходческих щитов.

Выбор технологических условий наплавки производят, исходя из особенностей материала наплавляемой детали. Проведенный анализ технологических металлов, используемых горнопроходческими предприятиями, показал, что химический состав дисков шарошек, ранее поставляемых немецкими производителями – **S355J2J2G3 (St52.3),** близок по составу химических компонентов к российским маркам сталей 40ХН2МА и 30ХГСА. В таблицах 3 и 4 приведены данные по химическому составу сталей 40ХН2МА и 30ХГСА.

Таблица 3 – Химический состав в % материала 40ХН2МА и свойства

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
0,37 - 0,44	0,17 - 1,37	0,5 - 0,8	1,25-1,65	до 0.025	до 0.025	0,6 - 0,9	0,15- 0,25
Твердость материала 40ХН2МА после отжига, МПа					HB = 269		
Ударная вязкость, кДж/м^2					KCU = 780		

Таблица 4 – Химический состав в % материала 30ХГСА и свойства

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,28 - 0,34	0,9 - 1,2	0,8 - 1,1	до 0.3	до 0,025	до 0,025	0,8 - 1,1	до 0.3
Твердость материала 30ХГСА после отжига, МПа					HB = 229		
Ударная вязкость, кДж/м^2					KCU = 490		

Анализ приведенных табличных данных свидетельствует о хорошем их сочетании с порошковой проволокой ПП30ХГСА. Удачный выбор металла может соответствовать тре-

бованиям к ударной вязкости. Так если, ударная вязкость KCU у стали 40ХН2МА составляет 780 кДж/м^2, то у стали 30ХГСА KCU имеет значение 490 кДж/м^2. Такое расхождение значений KCU – более чем на 50% [(780/490)×100 = 152,2], безусловно, свидетельствует о целесообразности применения для изготовления шнеков сталь 40ХН2МА, что по сравнению со сталью 30ХГСА будет способствовать увеличению износостойкости шнеков растворных (грунтовых) насосов проходческих щитов.

Для качественного выполнения наплавочных работ с нанесением износостойких покрытий на поверхности дисков шарошек и шнеки необходимо следовать оптимальным режимам наплавки в среде углекислого газа (Табл. 5).

Таблица 5 – Режимы наплавки в среде углекислого газа

Диаметр электродной проволоки, мм	Сварочный ток, А	Скорость подачи проволоки м/час	Скорость наплавки, м/час
0,2 – 2,5	До 500	150 – 720	15 – 20
1 – 1,25	До 300	100 – 800	10 – 30
0,8 – 2,0	До 300	180 – 720	10 – 80
1 – 2	До 500	160 – 500	

Мероприятия по модернизации привода ИО ТПМК-6,28

Вместе с тем, к одной из причин неэффективного применения шарошек в роторных щитах можно отнести не только в недостаточном эксплуатационном ресурсе их дисков, но и существующей системе гидропривода проходческого щита. Изменения в системе гидропривода теперь возможно решить без согласования с зарубежными поставщиками ТПМК. Безусловно, не лишенная ряда нижеприведенных недостатков система гидропривода обладает и достоинствами, так как применение гидропривода [5], в том числе в ТПМК, обеспечивают:

– простоту получения практически любого вида механического перемещения с независимым расположением выходных элементов, что упрощает компоновку, кинематику и конструкцию проходческого щита;

– малую массу и объем, приходящиеся на единицу передаваемой мощности (0,1-0,2 кВт/дм^3), что характеризует повышение энерговооруженности в заданных габаритах ТПМК;

– возможность бесступенчатого регулирования выходной скорости в широком диапазоне, что обеспечивает эффективность ИО;

– возможность создания низкооборотного высоко моментного привода, что позволяет исключить габаритные механические передачи из конструкции привода ИО;

– надежное ограничение в заданных пределах величин нагрузок и простота защиты машины от экстренных перегрузок, что обеспечивает высокую надежность горных машин;

– хорошие динамические свойства, высокая частота реверсирования и высокое быстродействие, что существенно упрощает создание систем автоматизированного управления ИО.

Однако, применяемая система гидропривода ИО демонстрирует при работе мягкие характеристики, что не создает необходимых усилий при взаимодействии с забоем. При этом многодвигательный привод с мягкой характеристикой, не только не только не обеспечивает необходимые усилия на забой, но и демонстрирует перерасход энергии, так как снижает показатели надежности и долговечности. Перерасход энергии в гидросистеме, в виду циркуляции в ней «потерянной мощности», интенсивно изнашивает силовые элементы гидравлических машин, и естественно, редукторов. Таким образом, можно представить, что при повышении давления в гидросистеме и равенства его давления настройки клапанов они открываются и сливают излишки жидкости в бак.

Недостатки многодвигательного привода с мягкой характеристикой, используемые в роторных щитах проходческих комплексов типа ТПМК-6-28, которые не обеспечивают необходимые усилия на забой, рассмотрим на наглядном примере схемы-графика работы

его гидропривода (Рис. 3).

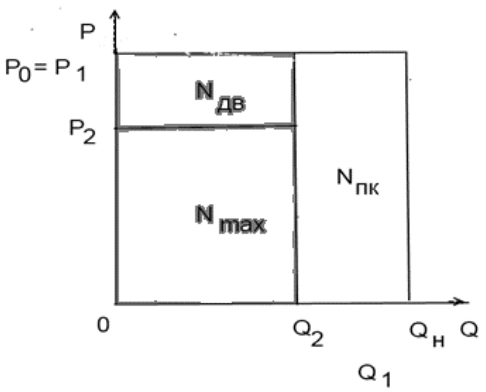


Рисунок 3 – Схема-график работы гидропривода щитов проходческих комплексов

На схеме-графике наглядно демонстрируется, что максимальная затрачиваемая мощность такой гидросистемы, это полная площадь на графике,

$$N_{макс} = P_0 \text{ x } Q_н$$

где P_0 – настройка давления предохранительного клапана; $Q_н$ – максимальная подача насоса.

Мощность, затрачиваемая на перемещение гидродвигателя, т.е. полезная мощность равна:

$$N_{пол} = P_2 \text{ x } Q_2$$

где P_2 – давление у гидродвигателя; Q_2 – расход подаваемый к гидродвигателю.

При повышении давления P_1 и равенстве его давлению настройки клапана P_0, клапан открывается и сливает излишки расхода в бак. Это и выражается в значении “потерянной мощности”:

$$N_{пк} = P_1 \text{ x } Q_2 = P_1 \text{ - } (Q_н – Q_2)$$

Также часть энергии теряется вследствие перепада давления на дроссельном элементе (рассеивается в тепло из-за повышенного сопротивления)

$$N_{др} = Q_2 \text{x } (P_1 – P_2)$$

Таким образом, полная “потерянная” мощность такой системы выразится, как:

$$N_{пот} = N_{др} + N_{пк} = Q_2 \text{ x } (P_1 – P_2) + P_1 \text{ x } (Q_н – Q_2) = P_1 \text{ x } Q_н – Q_2 \text{ x } P_2$$

Перерасход энергии в гидросистеме, в виду циркуляции в ней «потерянной мощности», интенсивно изнашивает силовые элементы гидравлических машин, и естественно, редукторов.

Рассматривая существующие гидроприводы роторных щитов с гидропригрузом – 6 гидродвигателей (с грунтопригрузом – 8 гидродвигателей) проходческих комплексов типа ТПМК-6,28, как гидро- модульные и требующие изменения работы гидравлической системы, предлагаются гидромодули мягкой характеристикой заменить на гидромодули с жесткими рабочими параметрами. Графики зависимости, привода роторного щита проходческих комплексов типа ТПМК от давления потока жидкости и принципиальная схема гидромодуля с жесткой характеристикой приведена на рисунках 4 и 5.

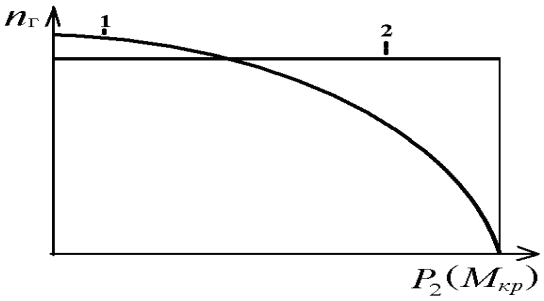


Рисунок 4 – График зависимости характеристик гидропривода

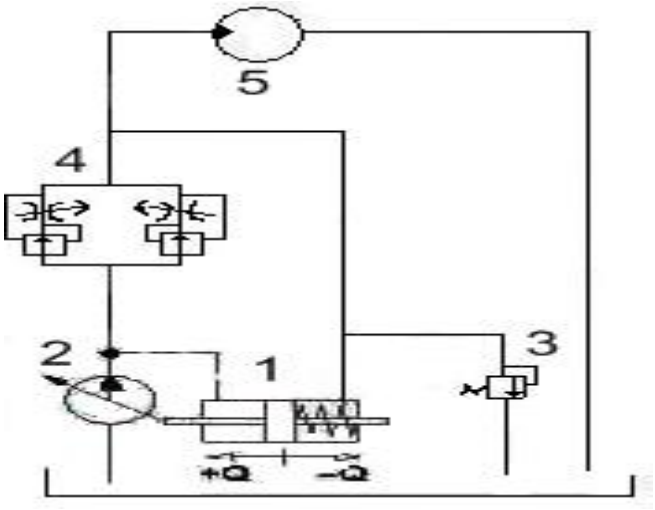


Рисунок 5– Схема гидромодуля с жесткой характеристикой

Характер зависимости мягких (1) и жестких (2) показателей работы привода, роторного щита проходческих комплексов типа ТПМК, от давления потока жидкости (Рис. 4) показывает, что при одних и тех же характеристиках гидродвигателей в гидросистемах с мягкими рабочими параметрами – P_2 снижается, тогда как в гидросистемах с жесткими характеристиками P_2 остается без изменения.

Что же касается гидромодуля с жесткими параметрами работы гидросистемы, то он мог бы включать: регулятор подачи насоса (1); насос регулируемый (2); предохранительный гидроклапан (3); блок, регулирующий потоки (4) и гидродвигатель (5). Блок (4) скомпонован двумя регуляторами, пропускная способность спаренных регуляторов по 150 л/мин каждого. Регуляторы расхода, скомпенсированы по давлению и температуре, обеспечивают диапазон вязкости жидкости и соответствуют Стандарту – RPC2 CETOP 06, RPC3 CETOP 07. Расчёты показали, что по всем показателям, данный насос может подходить для эксплуатации в жёсткой гидравлической схеме.

Выводы

Как установлено, основная причина значительного снижения производительности ТПМК-6,28 кроется, как в недостаточном эксплуатационном ресурсе шарошек роторного щита, так и, в конструктивных факторах присущих существующей системе гидропривода роторного щита. При работе гидропривод щита с гидропригрузом (грунтопригрузом) с мягкими характеристиками, не создает необходимых усилий для взаимодействия с забоем, что демонстрирует перерасход энергии, снижает показатели надежности и долговечности редуктора.

Для повышения эффективности роторных щитов типа ТПМК целесообразно:

– применение гидропривода с жесткими параметрами работы, что обеспечит снижение потерь энергии и увеличение скорости проходки;

– повышение износостойкости дисков шарошек и резцов, организация надлежащего

контроля за дорогостоящим рабочим инструментом.

Список литературы

1. Петренко Е.В., Петренко И.Е. Проблемы и основные направления стратегии освоения подземного пространства Москвы //Горный журнал, №12, 2008. С. 53-55.

2. Голубов А.В. Расчет статической устойчивости забоя щита с пригрузом // Комплексное освоение подземного пространства крупных городов: Сб. научных трудов /. - М.: МГИ, 1993. - С. 69-74.

3. Пантелеенко Ф.И., Лялякин В.П., Иванов В.П. и др. Восстановление деталей машин: Справочник. /Под ред. В.П. Иванова/ - М.: Машиностроение, 2003.- 672с.

4. Ивахник В.Г. Современные конструктивные и технологические инновации для различных отраслей промышленности. Сб. научных трудов XIУ Международного научного форума «Перспективные задачи инженерной науки». Изд-во РГУ им. А.Н. Косыгина. 2023, С.285-291.

5. Коваль П.В. Гидравлика и гидропривод горных машин: Учебник для вузов по специальности Горные машины и комплексы. - М.: Машиностроение, 1979. - 319 с.

6. Frank, Glen and Chapman, Daid; A New Model for Characterizing the Cobble and Boulder Fraction for Soft Ground Tunneling, 2005 RETC Proceedings, Society for Mining Metallurgy, Exploration, Inc., Littleton, Colorado; pages 780-791.

УДК 625.76.08

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ И ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА УДАРНОГО ДЕЙСТВИЯ СО СФЕРИЧЕСКИМИ БОЙКАМИ ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ ЛЬДА НА ДОРОГАХ И ТРОТУАРАХ
SOME RESULTS OF THE DEVELOPMENT AND RESEARCH OF AN IMPACT WORKING BODY WITH SPHERICAL STRIKERS FOR BREAKING ICE ON ROADS AND SIDEWALKS

Гурьянов Георгий Александрович [1,2], Васильева Ольга Юрьевна [1]
Guryanov Georgiy A. [1,2], Vasilyeva Olga Yu. [1]

[1]Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, Казахстан, Усть-Каменогорск
[1]D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Kazakhstan, Ust-Kamenogorsk
(e-mail: gguryanov@mail.ru, ovasilyeva@ektu.kz)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Приведено краткое обоснование выбора механического способа борьбы со льдом на дорогах и тротуарах ударным воздействием сферических бойков и рабочий орган для реализации этого способа, приведена механико-математическая модель процесса разрушения льда сферическим бойком, приведены результаты экспериментальных исследований, стендовых и натурных испытаний опытного образца рабочего органа со сферическими бойками для разрушения льда.

Abstract: A brief justification of the choice of a mechanical method of combating ice on roads and sidewalks by the impact of spherical strikers and a working body for the implementation of this method is given, a mechanical and mathematical model of the process of ice destruction by a spherical striker is given, the results of experimental studies, bench and field tests of a prototype of a working body with spherical strikers for ice destruction are presented.

Ключевые слова: лед, разрушение, дорожное и коммунальное оборудование, рабочий орган, удар, боек

Keywords: ice, destruction, road and municipal equipment, working body, impact, striker

В холодное время года на дорогах и тротуарах может образовываться ледяной слой, существенно затрудняющий движение транспорта и пешеходов [1].

В настоящее время существуют различные методы борьбы с обледенением на дорогах [2, 3]: распределение химических реагентов, механическое разрушение, тепловое воздействие, посыпка инертными фрикционными материалами и другие.

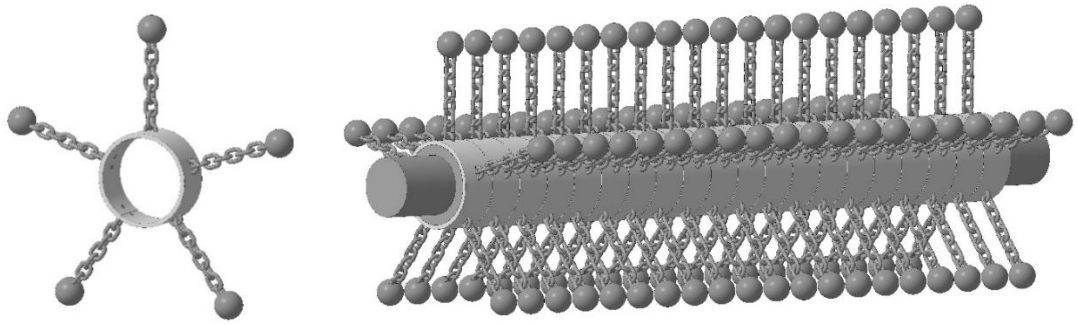
Механический способ [3-6] заключается в механическом разрушении льда на поверхности дорог с помощью специальных рабочих органов (РО). Этот способ наиболее безвредный экологически, качественный и надежный по достигаемому результату и длительный по времени его сохранения, что делает этот способ предпочтительнее других. Недостатками механического способа являются его энергоемкость, зависимость результата от сопротивления льда разрушению и возможность повреждения покрытия дороги. Поэтому не все механические рабочие органы эффективно справляются с разрушением льда и сохраняется потребность в эффективном неэнергоемком оборудовании на основе действенных способов механического разрушения льда, сохраняющем в целости несущие поверхности дорог и тротуаров.

Для решения этой задачи необходимо применение наиболее эффективных способов механического разрушения льда, среди которых можно выделить воздействие ударом [3-6], а особо, – ударное воздействие сферической поверхностью [3, 7], применение которой,

помимо эффективного разрушения льда, практически исключает повреждение при этом самого покрытия дороги или тротуара. Кроме этого, можно отметить эффективность применения свободного подвеса бойка на гибкой тяге (тросе, цепи и т.п.). Такое решение защищено авторами казахстанским патентом №31910 (бюл. №5 от 15.03.2017 г.) на изобретение, а также и другими патентами.

Таким образом, основная идея заключается в научном обосновании и создании инновационных роторных рабочих органов ударного действия со сферической рабочей поверхностью бойков с целью достижения максимального эффекта при минимальных энергозатратах процесса разрушения льда на поверхности дорог и тротуаров при сохранении целостности самой поверхности.

Исходя из таких предпосылок, были разработаны эффективные рабочие органы для разрушения ударом льда на дорогах и тротуарах [3], основу которых составляют ударно-разрушающие секции (УРС) со сферическими бойками, одна из возможных конструкций которых показана на рисунке 1. Основным новшеством здесь является применение бойков со сферической рабочей поверхностью, установленных на гибких связях.



а) б)

Рисунок 1 – Рабочий орган со сферическими бойками на гибких связях: а) ударно-разрушающая секция (УРС); б) комплект УРС в сборе на приводном валу

Одной из причин недостаточной эффективности механических рабочих органов для разрушения льда на дорогах и тротуарах является слабая проработка вопросов теоретического расчета рабочих органов, что не позволяет заранее определять требуемую величину их разрушающего воздействия на лед. Поэтому, чтобы добиться эффективности процесса разрушения льда для новых рабочих органов со сферической ударной поверхностью необходимо иметь сравнительно точную механико-математическую модель в виде соответствующих расчетных зависимостей, которые бы позволяли подбирать величину разрушающего воздействия рабочего органа на лед с известными характеристиками.

На основе теории механики упругодеформируемого твердого тела и компьютерного моделирования процесса разрушения льда сферическим бойком [3, 7, 8] получены теоретические расчетные зависимости, устанавливающие связь между параметрами рабочего органа со сферической ударной поверхностью с учетом характеристик льда. Так, была получена зависимость для определения величины w проникновения сферического бойка в лед, а также выражение для определения напряжений на площадке контакта сферического бойка со льдом, характеризующих процесс их взаимодействия:

$$\sigma = \frac{(1-2\cdot\mu)}{\pi}\cdot\left[\frac{15}{16}\cdot m\cdot\frac{E^4}{(1-\mu^2)^4}\cdot\frac{v^2}{R^3}\right]^{\frac{1}{5}}, \text{ Па.} \quad (1)$$

Из формулы (1) путем преобразований получены практические зависимости для определения массы m (кг) бойка и скорости v (м/с) его соударения со льдом:

$$m = \frac{16\cdot(1-\mu^2)^4\cdot R^3\cdot\pi^5\cdot[\sigma]^5}{15\cdot E^4\cdot v^2\cdot(1-2\cdot\mu)^5}, \text{ кг;} \quad v = \sqrt{\frac{16\cdot(1-\mu^2)^4\cdot R^3\cdot\pi^5\cdot[\sigma]^5}{15\cdot E^4\cdot m\cdot(1-2\cdot\mu)^5}}, \text{ м/с,} \quad (2)$$

где μ – коэффициент Пуассона; E – модуль упругости льда, Па; R – радиус сферической поверхности бойка, м; [σ] – допускаемое напряжения разрушения льда, Па.

Однако расчет по формулам (2) массы m и скорости v соударения со льдом сферических бойков различного радиуса R при допускаемом напряжении разрушения льда [σ]=3 МПа [5, 6] показал, что расчетная масса бойка, как и соответствующая скорость, во всех случаях очень малы и, очевидно, не позволят разрушить лед даже малой толщины, что говорит о неверной количественной оценке процесса разрушения льда по формулам (2).

Предположив, что неточность результатов теоретического расчета может быть вызвана тем, что реальные напряжения в слое льда на твердом основании при его разрушении гораздо больше общепринятых допустимых значений, провели экспериментальные исследования по разрушению льда сферическими бойками на площадках с твердым покрытием [3, 7]. В результате были установлены следующие общие закономерности, необходимые для разрушения льда определенной толщины:

1) Протекание процесса разрушения льда соответствует величине расчетных напряжений на площадке контакта бойка со льдом σ≈99 МПа (согласно формуле (1)), что значительно превышает рекомендуемые допустимые напряжения разрушения для льда σ=1,5...3 МПа. Можно предположить, что именно это значение напряжения (99 МПа) следует подставлять в расчетные формулы (2) механико-математической модели для получения действительных количественных результатов.

2) Фактическая толщина h разрушаемого льда в 6...8 раз больше рассчитанной по механико-математической модели величины проникновения сферического бойка в лед w (т.е. h/w=6…8). То есть боек для разрушения льда толщиной h должен иметь проникновение в лед на величину w=h/(6…8). На этом основании, приняв w=h/7, были получены уточненные зависимости, позволяющие находить массу или скорость бойка в зависимости от толщины h разрушаемого льда:

$$m = \sqrt{\frac{E^2 \cdot R \cdot h^5}{16807 \cdot 0{,}88 \cdot (1-\mu^2)^2 \cdot v_0^4}}, \text{ кг}; \qquad v = \sqrt[4]{\frac{E^2 \cdot R \cdot h^5}{16807 \cdot 0{,}88 \cdot m^2 \cdot (1-\mu^2)^2}}, \text{ м/с}.$$

Проверочные эксперименты [7] по разрушению льда бойками со сферической ударной поверхностью подтвердили сделанные предположения о величине фактических напряжений и соотношении между глубиной проникновения бойка в лед и толщиной разрушаемого льда, а также показали возможность использования уточненных эмпирико-теоретических зависимостей в практических расчетах рабочих органов со сферическими бойками.

Таким образом, получена эмпирико-теоретическая механико-математическая модель ударного взаимодействия сферического бойка со льдом, которая позволяет подобрать для рабочего органа со сферическими бойками такую величину ударного воздействия на лед, характеризуемую массой бойка и скоростью его соударения со льдом, при которой возможно разрушить лед заданной прочности и толщины, что дает возможность проведения инженерных расчетов и регулирования процесса разрушения льда.

На основании теоретических предпосылок были разработаны ударно-разрушающие секции со сферическими бойками (рисунок 1) и на специально разработанном стенде (рисунок 2) были проведены испытания опытного образца УРС при режимах, соответствующих режимам эксплуатации рабочего органа для разрушения льда на дорогах и тротуарах, результаты которых показали надежность, достаточный ресурс, функциональность и работоспособность конструкции УРС.

Также при стендовых испытаниях было проведено измерение напряжений (рисунок 2), которые создаются во льду при ударе о него бойков, при различной частоте вращения УРС. В результате экспериментов были получены значения напряжений, достаточно близкие к теоретическим расчетным значениям, определенным по зависимости (8). Среднее расхождение теоретических и экпериментальных значений составляет 10…15%, а среднеквадратичное отклонение по критерию Кохрена – 12%, что для подобных эксперимментов достаточно хорошо и подтверждает достоверность теоретической модели.

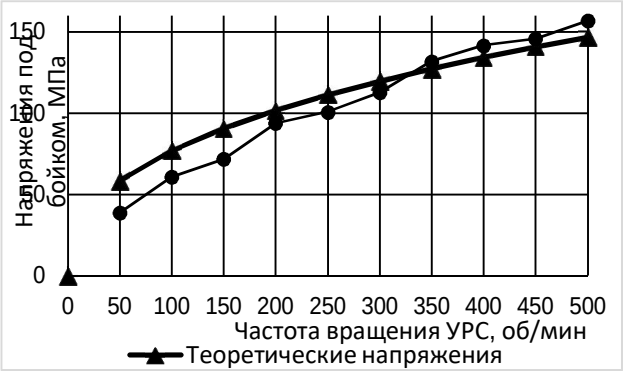


Рисунок 2 – Испытания УРС на стенде и зависимость напряжений от частоты вращения

На основании результатов стендовых испытаний был изготовлен опытно-промышленный образец рабочего органа для разрушения льда на дорогах и тротуарах (рисунок 3) на основе ударно-разрушающих секций со сферическими бойками (m=0,5 кг, R=0,025 м) и проведены его натурные испытания в реальных эксплуатационных условиях.

Рабочие органы продемонстрировали эффективную работу по разрушению льда и очистке поверхности дорог. При испытаниях рабочего органа было установлено, что эффективность разрушения льда возрастает при увеличении скорости удара бойка при частоте вращения рабочего органа 250…300 об/мин и более, что достаточно хорошо согласуется с результатами теоретических расчетов и стендовых испытаний.

Рисунок 3 – Рабочий орган со сферическими бойками на гибких связях (цепях) на базовом тракторе и результат его работы (участки дороги, очищенные ото льда)

Выводы

Механическое разрушение льда ударным воздействием рабочего органа со сферической поверхностью является эффективным способом борьбы со обледенением на дорогах и тротуарах, поэтому имеется потребность в соответствующем оборудовании. Разработаны рабочие органы со сферическими бойками на гибкой связи для разрушения льда на дорогах и тротуарах без повреждения их покрытия. Получена механико-математическая модель ударного взаимодействия сферического бойка со льдом, включающая расчетные зависимости и условия разрушения льда, которые позволяют решать различные задачи ударного разрушения льда сферическими бойками, а также могут быть использованы и для решения других актуальных практических научно-технических задач, связанных с воздействием ударом сферической поверхностью. Экспериментальные исследования, стендовые и натурные испытания опытного образца рабочего органа со сферическими бойками показали положительные результаты и перспективность идеи, лежащей в основе конструкции и рабочих процессов оборудования нового типа, а также в целом подтвердили теоретические предпосылки. Результаты работы позволят создавать новые эффективные неэнергоемкие типы навесного оборудования для очистки дорог и тротуаров ото льда.

Список литературы

1. Куляшов А.П., Молев Ю.И., Шапкин В.А. Зимнее содержание дорог. - Н. Новгород: НГТУ, 2012. - 369 с.

2. Машины для содержания и ремонта городских и автомобильных дорог: Уч. пособие для вузов по дисциплине «Дорожные машины» / В.И. Баловнев, М.А. Беляев и др.; Под общ. ред. В.И. Баловнева. - 2-е изд., дополн. и перераб. - Москва-Омск: ОАО «Омский дом печати», 2005. - 768 с.

3. Дудкин М.В., Гурьянов Г.А., Ким А.И., Роговский В.В. Оборудование разрушения ударом льда на поверхности дорог и тротуаров: теория и эксперимент. Научное издание (монография). / Усть-Каменогорск: ВКГТУ, 2020. - 203 с.

4. Куляшов А.П. Современные методы разрушения льда. - М.: Спутник, 2005. - 134 с.

5. Богородский В.В., Гаврило В.П., Недошивин О.А. Разрушение льда: методы и средства. - Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 2003.

6. Ганжа В.А. Разрушение снежно-ледяных образований механическим способом: монография. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 192 с.

7. Georgiy Guryanov, Samat Baigereyev, Andrey Vavilov, Boris Abdeyev, Olga Vasilyeva, Alexander Likunov The Model of Ice Destruction on a Solid Surface by Spherical Striker Impact // International Review of Mechanical Engineering (I.RE.M.E.), Vol 17, No 1 (2023). P. 22-32.

8. Качанов Л.М. Основы механики разрушения. - Москва: Наука, 2004. - 310 с.

УДК 661.666.1

ОСОБЕННОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПАН-ПРЕКУРСОРА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА УГЛЕРОДНОГО ВОЛОКНА
PECULIARITIES OF PAN PRECURSOR FABRICATION FOR CARBON FIBER PRODUCTION

Аверина Юлия Михайловна [1], Челноков Виталий Вячеславович [1], Черепан Артем Александрович [2]
Averina Yulia M., Chelnokov Vitaly V., Cherepan Artem A.

[1]Международная инженерная академия, Россия, Москва
[1]International Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: averina.i.m@muctr.ru, chelnokov.v.v@muctr.ru)
[2]Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева, Россия, Москва
[2]D. Mendeleev University of Chemical Technology of Russia, Russia, Moscow
(e-mail: cherepan.arch@mail.ru)

Аннотация: В данной работе рассмотрены особенности изготовления волокон на основе полиакрилонитрила. Приведены способы полимеризации полиакрилонитрила (в растворе и суспензии) и методы формования (методом сухого, мокрого и сухо-мокрого формования). Рассмотрен технологический цикл синтеза ПАН-волокон.

Abstract: This paper deals with the peculiarities of polyacrylonitrile-based fiber manufacturing. Methods of polymerization of polyacrylonitrile (in solution and suspension) and methods of forming (by dry, wet and dry-wet forming) are given. The technological cycle of synthesis of PAN-fibers is considered.

Ключевые слова: полиакрилонитрил, полиакрилонитрильные волокна, полимеризация, формование, углеводородные волокна.

Keywords: polyacrylonitrile, polyacrylonitrile fibers, polymerization, molding, carbon fibers.

Введение

Инновации и технологии в настоящее время устанавливают темп развития во многих ключевых отраслях, при этом углеводородное волокно выделяется как один из ключевых материалов нового поколения. Своим происхождением углеводородное волокно обязано достижениям науки XX века, но именно сегодня присущие ему такие уникальные свойства, как высокая прочность, легкость, отличная устойчивость к коррозии и высокие температурные характеристики, делают его незаменимым в ряде современных промышленных конструкций от авиакосмической промышленности до спортивного оборудования. Полиакрилонитрильные волокна (ПАН-волокна) наряду с гидратцеллюлозным волокном являются одним из основных видов сырья, применяемого для получения углеродных волокнистых материалов. Из него изготавливают главным образом высокопрочное и высокомодульное углеродное волокно.

Производство полиакрилонитрильных волокон, ранее активно осуществляемое на предприятии ООО «Саратоворгсинтез» с годовым объемом до 24 тыс. т., с 2011 года было приостановлено. В современных условиях лишь ООО «Композит волокно» в г. Саратове продолжает выпускать данное волокно, хоть и в ограниченных количествах (11 тонн в 2017 г.). Следует отметить, что большая часть ПАН-волокна на российском рынке в настоящее время представлена продукцией зарубежного производства.

В сложных современных геополитических условиях необходимость импортозамещения на территории России способствовала открытию завода ООО «Алабуга-Волокно»,

начавшего свою промышленную деятельность в 2021 году [8].

Актуальность вопроса обеспечения стратегической независимости промышленности, дефицит отечественных производственных площадок по производству современных образцов углеводородных волокон, а также необходимость развития данной отрасли обусловили цель нашего исследования: анализ эффективности существующих технологий синтеза ПАН-волокон для выработки оптимальных способов производства на территории России.

Материалы и методы

Теоретической и методологической основой для данной работы послужили труды отечественных и зарубежных исследователей по проблеме синтеза углеводородных волокон. Основными методами исследования являлись анализ нормативной базы, изучение отечественной и зарубежной литературы, обобщение, синтез, абстрагирование, анализ понятий, сравнительно-сопоставительный анализ.

Результаты и обсуждение

Углеводородные волокна в основном изготавливают из вискозных гидратцеллюлозных волокон (ГЦВ), нефтяных и каменноугольных пеков и полиакрилонитрильных волокон [1].

В свою очередь ПАН-волокно является самым эффективным и перспективным способом производства высокомодульных и высокопрочных УВ на данный момент. Преимуществом ПАН-волокна является большой выход углеводородного остатка (около 40-50%) от массы полимера, в сравнении с ГВЦ – это 15% [1, 2].

Полиакрилонитрил – труднокристаллизирующийся линейный карбоцепный полимер белого цвета. Наличие у него нитрильных групп обеспечивает сильное межмолекулярное взаимодействие. Это в свою очередь позволяет получать волокна с высоким модулем упругости и прочности [3].

Технологический процесс получения ПАН-волокон состоит из стадии получения прядильного раствора и подготовки его к формованию, стадии формования волокон и стадии последующей обработки волокон (вытягивание, термофиксация).

Для получения прядильного раствора, требуется проведение полимеризации акрилонитрила, причем такая полимеризация обычно выполняется в растворе или в суспензии.

Суспензионный метод полимеризации ПАН базируется на способности акрилонитрила образовывать 7%-ные водные растворы при температуре 20°С. Исходящий процесс начинается в однородной среде, где образующиеся олигомеры постепенно выпадают в осадок, завершая реакцию в гетерогенной среде. Процесс полимеризации осуществляется с использованием водорастворимого инициатора (пример: азодикарбонамид), известного как пороформ [4]. Такой пороформ способствует формированию пористой структуры материала, делая его более легким.

Основные этапы процесса включают в себя отделение сформированного ПАН от суспензионной среды, последующую мойку и сушку. Затем полимер растворяется в одном из растворителей, таких как диметилформамид (ДМФА), чтобы получить прядильный раствор, который подвергнется последующей обработке перед формованием [2, 4].

Суспензионная полимеризация имеет свои преимущества: широкие возможности для изменения состава полимера, упрощение процесса регенерации ванны, поскольку акрилонитрил остается в суспензионной среде (воде), и уменьшение токсичности процесса формования, так как растворы ПАН не содержат акрилонитрила. Однако следует отметить, что многоэтапность технологической цепи в суспензионной полимеризации ПАН может существенно снизить эффективность данной технологии [2].

В современной промышленности активно применяется метод полимеризации акрилонитрила в растворе, также известный как лаковая полимеризация. В таком подходе процесс полимеризации происходит в гомогенной среде, что существенно упрощает технологическую цепь [2, 6].

При проведении полимеризации в растворе отпадает необходимость в выполнении

множества этапов, таких как извлечение, очистка и сушка полученного полимера, а также его транспортировка на завод по производству химических волокон и последующее растворение.

Процесс полимеризации в растворе осуществляется с использованием специальных растворителей, в которых как исходные мономеры, так и образующийся полимер обладают высокой растворимостью. Этот метод завершается созданием концентрированного прядильного раствора, который впоследствии используется в процессе формования волокна [4].

Для улучшения эластических свойств волокон, тройной сополимер, содержащий 90% акрилонитрила (АН), 1% итаконовой кислоты (ИтК) и 6% метилакрилата (МА), может растворяться в диметилформамиде (ДМФА), диметилацетамиде (ДМАА), диметилсульфоксиде (ДМСО) и азотной кислоте [5].

Процесс формирования ПАН-волокна представляет собой ключевой этап, направленный на придание полимеру определенной физической структуры, обеспечивающей его необходимыми физико-механическими характеристиками. В современной промышленности применяются различные методы формирования ПАН-волокон: сухой, мокрый и сухо-мокрый.

Сухой метод формования осуществляется в прядильной шахте. В процессе этого метода растворители, будучи неполярными и негигроскопичными испаряются из полимерного раствора благодаря подведенному теплу. Чтобы использовать растворители заново, их необходимо конденсировать в газовоздушной смеси. Однако сухой метод имеет ряд недостатков, включая низкую производительность и сложность технологии [2, 6].

Самым распространенным в промышленности способом формования ПАН-волокон является мокрый метод. Он позволяет применять фильеры с большим количеством отверстий (рисунок 1) [7], благодаря этому можно получить значительные объемы нитей за короткий промежуток времени.

Для сухо-мокрого и мокрого методов необходимы осадительные ванны, наполненные или водными растворами, или органическими растворителями. Обычно в качестве ванны используется разбавленный раствор того органического растворителя, в котором проводилась первоначальная полимеризация [2, 4, 6].

Размеры капилляров, скорость прохождения раствора через них и температурные режимы существенно влияют на качество получаемого волокна.

Рисунок 1 – Процесс прохождения прядильного раствора через фильеры.

Только что сформированные нити являются хрупкими, их вытягивают для придания прочности и эластичности (рисунок 2) [7]. Вытяжка способствует ориентации макромолекул полимера вдоль оси волокна, так молекулы становятся более упорядоченными и плотно связываются между собой [6].

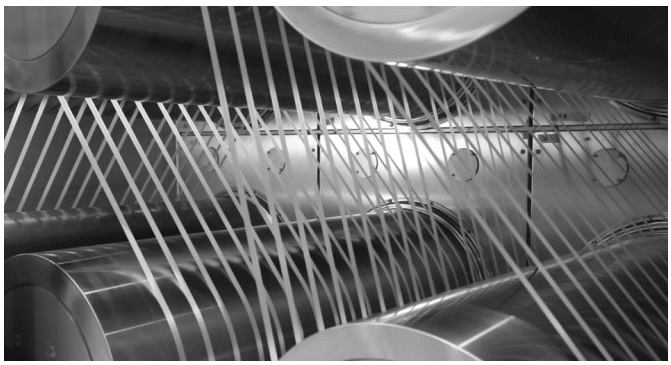


Рисунок 2 – Вытяжка ПАН-волокна.

Волокна вытягивают над нагретой поверхностью или с прямым контактом горячей воды. Во время этой стадии нити пропускают между двумя вращающимися роликами, что обеспечивает их равномерное вытягивание. Далее волокна погружают в водные ванны для промывки и удаления остаточных компонентов. Последующая сушка осуществляется потоком горячего воздуха, затем проводится термофиксация благодаря которой волокна приобретают дополнительную стабильность и устойчивость к деформации [2, 6].

Жгуты выходящие из линии формования и вытяжки наматываются на бобины и упаковываются. Они хранятся на складе для последующей продажи или направляются на следующий этап производственного процесса, где из них будут изготавливать углеродное волокно.

Выводы

Рассмотрены ключевые этапы производства полиакрилонитрильного волокна, начиная с полимеризации акрилонитрила и заканчивая процессами формовки, сушки и фиксации структуры волокна.

Установлено, что значительная часть расходов связана с процессом синтеза полимера акрилонитрила, делая производство ПАН-волокна дорогостоящим. В то же время качество получаемого полупродукта сохраняется на высоком уровне, что достигается благодаря гибкости процесса полимеризации, который позволяет внедрять добавки для улучшения характеристик готового волокна.

Постоянные исследования и инновационные разработки в данной сфере позволят не только преодолеть текущие технические и технологические ограничения, но и расширить сферы применения ПАН-волокна. Что, в свою очередь, будет способствовать стратегии импортозамещения, делая Россию менее зависимой от зарубежных поставок.

Список литературы

1. Комарова Т.В. Углеродные волокна: текст лекций. М.: РХТУ им. Д.И. Менделеева, 1994. 58 с.

2. Роговин З.А. Основы химии и технологии химических волокон, Т.2. М.: Химия, 1974. 180 с.

3. Сидоренко Ю.Н. Конструкционные и функциональные волокнистые композиционные материалы: учебное пособие. Томск: Изд-во ТГУ, 2006. 107 с.

4. Беркович А.К., Сергеев В.Г., Медведев В.А., Малахо А.П. Синтез полимеров на основе акрилонитрила. Технология получения ПАН и углеродных волокон. М.: Изд-во МГУ, 2010. 63 с.

5. Мелешко А.И., Половников С.П. Углерод, углеродные волокна, углеродные композиты. М.: Сайнс-Пресс, 2007. 47 с

6. Устинова Т.П., Зайцева Н.Л. ПАН волокна: технология, свойства, области применения: курс лекций. Саратов: Саратовский государственный технический университет, 2002. 40 с.

7. "Углеволокно. Как это сделано?" [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=0kKSOZfob_E (дата обращения: 09.10.2023)

8. План мероприятий ("дорожная карта») по развитию подотрасли по производству искусственных и синтетических волокон и нитей на период до 2020 года [Электронный ресурс] Режим доступа: http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=203501 (дата обращения: 08.10.23).

УДК 539.434:677.494

МЕТОДЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АРАМИДНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
METHODS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF DEFORMATION PROPERTIES OF ARAMID TEXTILE MATERIALS

Макаров Авинир Геннадьевич[1,2], Киселев Сергей Владимирович[1]
Makarov Avinir Gennadievich [1,2], Kiselyov Sergey Vladimirovich [1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург
[1]St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Russia, St. Petersburg
[2]Российская инженерная академия
[2] Russian Academy of Engineering
(e-mail: makvin@mail.ru, sergkise@mail.ru)

Аннотация: В статье описываются методы сравнительного анализа деформационных свойств арамидных текстильных нитей и изделий на их основе. Изучаются деформационные свойства указанных материалов в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации.

Abstract: The article describes methods for comparative analysis of deformation properties of aramid textile yarns and products based on them. The deformation properties of these materials in the field of non-destructive loads close to their operating conditions are studied.

Ключевые слова: арамидные материалы, математическое моделирование, компьютерное прогнозирование, деформация, пластичность, релаксация, ползучесть.

Keywords: aramid materials, mathematical modeling, computer forecasting, deformation, plasticity, relaxation, creep.

Арамидные нити и текстильные изделия на их основе находят широкое применение в различных областях техники [1]. Указанные материалы, обладающие большой термостойкостью и прочностью, относятся к классу вязкоупругих твердых тел [2]. Большая деформационная жесткость и огнестойкость арамидных нитей и текстильных изделий из них выгодно отличает данные материалы от полимеров других групп. Особый интерес представляет изучение деформационных свойств указанных материалов в области действия неразрушающих нагрузок, близких к условиям их эксплуатации [3]. Применение арамидных нитей в составе таких текстильных объектов, как бронежилеты, веревки в устройствах, обеспечивающих спасение людей из высотных зданий при пожаре, горноспасательное оборудование, пожарозащитное оборудование и др., накладывает особую ответственность и требовательность к качеству при проведении исследований их деформационных свойств [4]. Такие исследования возможны на основе математического моделирования вязкоупругости, включающего в себя построение соответствующих моделей. Актуальными задачами являются: прогнозирование процессов деформирования и восстановления, исследования на прочность и усадку, изучение релаксации и ползучести [5].

Разработка численных методик прогнозирования деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них позволяет решать задачи по сравнительному анализу свойств указанных материалов, исследовать взаимосвязи механических свойств со структурой, проводить целенаправленное технологическое регулирование свойств при разработке и производстве новых материалов, прогнозировать кратковременные и длительные механические воздействия [6].

Для сравнительного анализа и прогнозирования деформационных свойств арамид-

ных нитей и текстильных изделий из них необходима разработка адекватной математической модели на основе физически обоснованного аналитического описания вязкоупругости. Особую ценность имеет решение задачи прогнозирования деформационных процессов для таких материалов, когда помимо сопоставления их механических свойств, приходится учитывать условия их эксплуатации [7].

В основе исследования механических свойств и прогнозирования деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них лежит математическое моделирование вязкоупругости на основе данных краткосрочного эксперимента на простую релаксацию или простую ползучесть [8].

Технические характеристики исследуемых арамидных нитей приведены в табл. 1. В качестве образцов арамидных нитей были выбраны объекты, различные по компонентному составу и производителям. В качестве изделий из арамидных нитей рассмотрены ткани, шнуры и ленты, применяемые в различных областях техники [9].

Таблица 1 – Технические характеристики арамидных нитей

Материал	Линейная плотность, текс	Разрывная нагрузка, Н	Удлинение при разрыве, %	Разрывное напряжение, ГПа	Модуль упругости, ГПа
Технора	110	217	4,0	2,7	81
Тварон	120	226	2,6	2,6	122
Кевлар	130	199	2,2	2,2	109
Терлон	58,5	87	2,7	2,1	98
Русар	58,8	134	3,1	3,3	115
СВМ	29,5	65	2,6	3,2	105

Исследования на растяжение исследуемых материалов (рис. 1, рис. 2) проводились на универсальной измерительной установке "Instron 1122" со скоростями нагружения $\dot{\varepsilon} = 4{,}17 \cdot 10^{-3}\ c^{-1}$ при температурных значениях $T = 20,\ 100,\ 150,\ 200,\ 250,\ 300\ ^{o}C$.

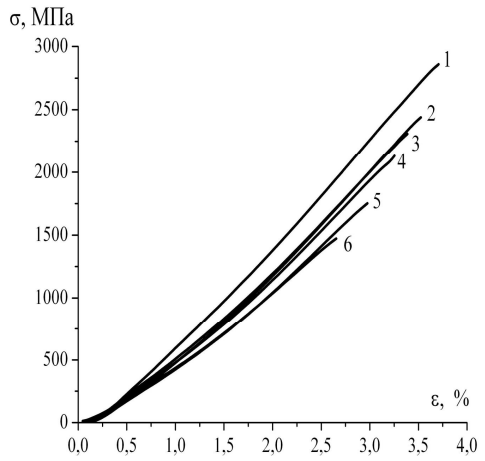


Рисунок 1 – Экспериментальные диаграммы растяжения нити кевлар при температурах 20 (1), 100 (2), 150 (3), 200 (4), 250 (5) и 300 ^{0}C (6)

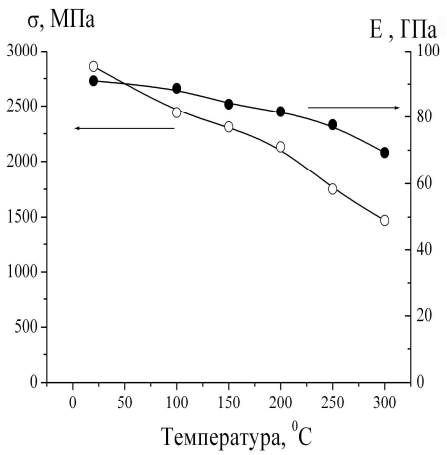


Рисунок 2 – Экспериментальные зависимости прочности при растяжении и модуля упругости нити кевлар от температуры

Для измерения релаксации, ползучести, усадки и последующего восстановления применялись различные релаксометры деформаций и напряжений [10].

Математическое моделирование вязкоупругости арамидных текстильных материалов, изучаемых в статье, проводилось на основе нормированной функции арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ), которая положительно себя зарекомендовала при моделировании вязкоупругости текстильных материалов сложной макроструктуры [11]. Она имеет вид:

$$\phi_{\varepsilon t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arctg\left(\frac{1}{b_{n\varepsilon}} \cdot ln\frac{t}{\tau_\varepsilon}\right) - \quad (1)$$

для процесса релаксации и

$$\phi_{\sigma t} = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arctg\left(\frac{1}{b_{n\sigma}} \cdot ln\frac{t}{\tau_\sigma}\right) - \quad (2)$$

для процесса ползучести.

Обоснованность выбора функции НАЛ заключается в том, что она характеризует вероятностное распределение Коши, обладающее тем важным свойством, что распределение суммы случайных величин, подчиняющихся закону Коши, также подчинено этому закону [12]. Текстильные же объекты сложной макроструктуры типа тканей и шнуров можно считать условно состоящими из "суммы" объектов простой макроструктуры - нитей, моделирования релаксации и ползучести которых проводится также на основе функции НАЛ [13].

С учетом сказанного, математические модели релаксации (3) и ползучести (4) имеют вид:

$$E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \cdot \phi_{\varepsilon t}, \quad (3)$$

$$D_{\sigma t} = D_0 + (D_\infty - D_0) \cdot \phi_{\sigma t}, \quad (4)$$

где t – время, $\frac{1}{b_{n\varepsilon}}$ – параметр интенсивности процесса релаксации, $\frac{1}{b_{n\sigma}}$ – параметр интенсивности процесса ползучести, τ_ε – время релаксации (время, за которое "отрелаксирует" половина всех "релаксирующих" частиц при величине деформации ε), τ_σ – время запаздывания (время, за которое осуществится половина конформационных переходов "запаздывающих" частиц при величине напряжения σ), $E_{\varepsilon t} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ – модуль релаксации, E_0 – модуль упругости, E_∞ – модуль вязкоупругости, $D_{\sigma t} = \frac{\varepsilon}{\sigma}$ – податливость, D_0 – начальная податливость, D_∞ – предельная равновесная податливость, ε – деформация, σ – напряжение.

Использование нормированной функции НАЛ в качестве основы математической модели вязкоупругости, позволяет с достаточной степенью точности моделировать деформационные свойства арамидных нитей и текстильных изделий из них.

Прогнозирование деформационных и восстановительных процессов рассматриваемых материалов проводится на основе известных интегральных соотношений Больцмана-

Вольтерра (5) – для процесса нелинейно-наследственной релаксации и (6) – для процесса нелинейно-наследственной ползучести [14]:

$$\sigma_t = E_0\varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \phi'_{\varepsilon,t-\theta} d\theta, \quad (5)$$

$$\varepsilon_t = D_0\sigma_t + (D_\infty - D_0) \cdot \int_0^t \sigma_\theta \cdot \phi'_{\sigma,t-\theta} d\theta. \quad (6)$$

Преимущество применения такого моделирования деформационных процессов, как следствие математической модели (1-4), состоит в возможности расширения области доверительного прогнозирования в сторону "больших" (длительные процессы) и в сторону "малых" времен (кратковременные процессы) с уменьшением погрешности прогноза за счет снижения влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса, что обусловлено замедленной сходимостью функции НАЛ к своим асимптотическим значениям.

Для повышения точности прогнозирования применялись методы вычисления несобственных нелинейно-наследственных интегралов (5, 6), основанные на неравномерном разбиении временной шкалы с учетом специфики рассматриваемого процесса.

При прогнозировании активных (быстропротекающих) процессов, характеризующихся ростом скорости деформирования, временная шкала разбивалась в возрастающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета влияния квазимгновенного фактора деформирования в начале процесса.

При прогнозировании длительных процессов, характеризующихся снижением скорости деформирования, временная шкала разбивалась в убывающей геометрической прогрессии – с целью наилучшего учета длительных деформационных воздействий.

Показано, что, использование математической модели с функцией НАЛ для прогнозирования деформационных процессов, позволяет с достаточной степенью точности прогнозировать деформационные свойства арамидных нитей и текстильных изделий из них. Расчетные данные полностью подтверждены экспериментом.

Аппарат прогнозирования деформационных процессов арамидных материалов текстильной промышленности можно применять для разделения деформационного процесса на две составляющие – упругую и вязкоупруго-пластическую.

Такое разделение деформационных процессов арамидных нитей и текстильных изделий из них позволяет ответить на многие вопросы, касающихся упругих и вязкоупруго-пластических свойств изучаемых материалов [15].

Рассматриваемые арамидные ткани, предназначенные для индивидуальной бронезащиты, должны обладать не только большой степенью жесткости, которая свойственна всем арамидным материалам, но и определенной долей пластичности, чтобы максимально гасить вредные механические воздействия. Здесь первостепенную роль начинает играть структура арамидной ткани, способ переплетения нитей, геометрическая структура материала, количество слоев ткани. Разработанная методика разделения деформационного процесса на упругую и вязкоупруго-пластическую составляющую позволяет отдать предпочтение тому или иному материалу [16].

Арамидные текстильные материалы, применяемые в качестве арматуры корпусов космических летательных аппаратов, должны обладать несколько иными характеристиками. Здесь на первое место выходит их огнестойкость и возможность наиболее длительного сохранения упругих механических свойств при повышенной температуре. На этот вопрос также можно ответить с помощью предлагаемого метода разделения деформационных процессов на упругую и вязкоупруго-пластическую составляющие [17].

Арамидные шнуры, применяемые при спасении людей из высотных зданий при пожаре, должны обладать определенными упругими и вязкоупруго-пластическими свойствами наряду с огнестойкостью. Применяемая методика расчета упругой составляющей деформационного процесса позволяет произвести технологический отбор материалов, наилучшим образом удовлетворяющим этой цели [18].

Проведенные исследования, позволяют выявить упругие и вязкоупруго-пластические свойства арамидных нитей и текстильных материалов из них. Разработанные методы применяются для решения задач по сравнительному анализу свойств арамидных нитей и текстильных

изделий из них, для исследования взаимосвязи указанных свойств со структурой и их целенаправленного технологического регулирования, а также для расчетного прогнозирования кратковременных и длительных механических воздействий [19].

Проведенный анализ деформационных свойств арамидных нитей и текстильных изделий из них выявил роль влияния геометрических размеров, линейной плотности, способа переплетения нитей и компонентного состава на их деформационные свойства. Выявлены также существенные отличия в протекании процессов релаксации и ползучести у арамидных тканей и шнуров в отличие от арамидных нитей [20].

Процессы релаксации и ползучести тканей и шнуров протекают заметно более активно, чем у образующих их нитей. Это связано с макростроением материалов. В начале процессов релаксации и ползучести происходит перестройка макроструктуры геометрического характера за счет изменения расстояний между образующими материал нитями. На этом этапе ткани и шнуры имеют меньшую деформационную жесткость, чем нити [21].

На втором этапе деформирования, когда изменения макроструктуры геометрического характера будут исчерпаны, включается механизм релаксации и ползучести самих арамидных нитей. Начиная с этого момента деформационное поведение тканей и шнуров аналогично нитям [22].

Таким образом:

1. Разработанные методики расчета релаксации и ползучести арамидных текстильных материалов позволяют с большой степенью точности прогнозировать их релаксационные и деформационные процессы.

2. Сравнительный анализ вязкоупругих характеристик арамидных текстильных материалов и образующих их нитей проясняют внутренний характер релаксации и ползучести арамидных тканей и шнуров – деформирование в первую очередь происходит за счет конформационно-структурных перестроек геометрического характера.

3. Изменение геометрической структуры арамидных тканей и шнуров существенно влияет на перераспределение упругих и вязкоупруго-пластических свойств и является основой для решения технологических задач проектирования и отбора материалов, обладающих заданными упругими и вязкоупруго-пластическими свойствами.

4. Разработанные методики опробованы на большой группе арамидных текстильных материалов различного назначения, что дает основание считать эти методики применимыми для исследования и других типов арамидных текстильных материалов.

Список литературы

1. Переборова Н.В. Цифровое прогнозирование деформационных режимов эксплуатации полимерных волокнистых материалов//Химические волокна, 2022, № 2, с. 18-21.

2. Переборова Н.В. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2022, № 2, с. 93-98.

3. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности//Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 1, с. 154-160.

4. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Овсянников Д.А. Цифровое прогнозирование эксплуатационных процессов полиамидных тканей для куполов парашютов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 5-10.

5. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 19-26.

6. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 27-32.

7. Переборова Н.В., Козлов А.А. Математическое моделирование и прогнозирование эксплуатационных процессов арамидных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 114-119.

8. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Титова Л.В. Решение задачи повышения качества и конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 5-9.

9. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 74-78.

10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 16-22.

11. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Определение компонентов деформации полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 34-37.

12. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Титова Л.В. Математическое моделирование вязкоупругих свойств швейных армированных полиэфирных нитей// Химические волокна, 2021, № 4, с. 3-7.

13. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Овсянников Д.А., Волкова И.Н. Оптимизация выбора математической модели для прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов// Химические волокна, 2021, № 4, с. 11-13.

14. Переборова Н.В., Климова Н.С., Малюков Ю.А., Зурахов В.С. Математическое моделирование деформационных и релаксационных процессов полимерной пряжи//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 7-13.

15. Литвинов А.М., Козлов А.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Разработка методов компьютерного анализа деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 82-87.

16. Переборова Н.В., Климова Н.С., Литвинов А.М., Агеева Е.А. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 2, с. 41-51.

17. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Химические волокна, 2020, № 3, с. 39 - 42.

18. Егорова М.А., Егоров И.М., Переборова Н.В., Демидов А.В. Разработка методов улучшения функционально-эксплуатационных свойств полимерных текстильных материалов//Химические волокна, 2020, № 3, с. 64 - 67.

19. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки деформационно-функциональных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Химические волокна, 2020, № 4, с. 37 - 40.

20. Переборова Н.В., Климова Н.С., Малюков Ю.А., Зурахов В.С. Математическое моделирование деформационных и релаксационных процессов полимерной пряжи// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2020, № 4, с. 5-11.

21. Переборова Н.В. Применение критериев качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов для оценки их функциональности//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 1, с. 101-110.

22. Переборова Н.В., Чалова Е.И. Применение системного анализа для исследования деформационных свойств полиамидных тканей для парашютов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4: Промышленные технологии, 2020, № 2, с. 60-70.

УДК 55.553

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ НЕФТЕГАЗОПОИСКОВЫХ РАБОТ
INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SCHEME OF OIL AND GAS EXPLORATION WORKS

Кузин Виктор Федорович [1], Горбачев Сергей Викторович [1], Чунься Доу[2]
Kuzin Viktor F. [1], Gorbachev Sergey V. [1], Chunxia Dou[2]

[1]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[1]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: hanuman1000@mail.ru, vfkuzin@mail.ru)
[2]Институт передовых технологий углеродной нейтральности Нанкинского университета почты и телекоммуникаций, Нанкин, Китай
[2]Institute of Advanced Technology for Carbon Neutrality, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing, China
(e-mail: cxdou@ysu.edu.cn)

Аннотация: Проведен анализ информативности признаков и условий залегания нефти, газа. На основе инновационных геофизических и геохимических (поверхностных) методов разработана технологическая схема повышения эффективности геологоразведочных работ.

Abstract: The analysis of informative features and conditions of occurrence of oil and gas is carried out. Based on innovative geophysical and geochemical (surface) methods, a technological scheme for improving the efficiency of geological exploration has been developed.

Ключевые слова: геофизические, геохимические методы, нефть, инновационная технология.

Keywords: geophysical, geochemical methods, oil, innovative technology.

С самого начала развития нефтяной геологической науки наметились два основных направления в решении проблемы происхождения нефти: органическая теория происхождения нефти, которая связывает образование нефти с живым веществом, и неорганическая теория, которая считает, что нефть и газ возникли в результате синтеза углерода и водорода в условиях высоких давлений и температур в глубинных зонах земной коры.

Решение вопроса происхождения нефти имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. Наш знаменитый геолог-нефтяник академик И.М. Губкин еще в тридцатых годах прошлого столетия написал, что только тогда, когда мы будем иметь правильное представление о тех процессах, в результате которых возникает нефть, будем знать, каким образом в земной коре формируются её залежи, будем знакомы со всеми структурными формами и литологическими особенностями пластов, благоприятными для скоплений нефти, мы сможем наиболее целесообразно организовать поиск и разведку месторождений нефти [1].

Подавляющее большинство месторождений нефти и газа находится в осадочных отложениях, и только небольшое количество месторождений найдено в трещиноватых изверженных, метаморфических породах [2].

Создание и интерактивный анализ трехмерных объемных интерпретационных моделей, объединяющих результаты анализа природного резервуара с данными различных геофизических или геохимических методов, глубокого бурения, учет структурного строения вмещающих пород, зон угловых и стратиграфических несогласий, блокового строения региона дает нам возможность создать модель взаимосвязи всех составляющих месторождения.

Для залежей углеводородов система «порода-вода-нефть» является сложной геохимической средой, где процессы преобразования изначальных констант настолько сильны, что геологические объекты изменяются до неузнаваемости. Это выражается во вторичном минералообразовании, имеющем доминирующее значение в составе конечного продукта.

Для идентификации этих аномалий с областями скопления углеводородов необходим анализ геологического строения территорий, так как подобные преобразования наблюдаются не только над нефтегазовыми резервуарами, но и на путях интенсивной миграции углеводородных смесей, а также в областях проявления магматизма [3].

Необходимость выделения и отслеживания дизъюнктивных границ, представляющих собой поверхности разрыва сплошности геологического пространства (тектонический контакт), обусловлено тем, что данные разломы представляют собой каналы миграции нефти или газа или, наоборот, запечатывают коллектор и формируют неантиклинальные ловушки, а для рудных месторождений магматического происхождения они являются каналами, по которым проникают к поверхности продукты расщепления магмы.

Под воздействием миграции углеводородов над месторождениями нефти и газа формируется сложное радиогеохимическое поле, распределение которого отражает зоны вторичных геохимических процессов, пространственно связанных с локализацией залежей углеводородов.

На основе анализа информативности признаков и условий залегания нефти, газа, в этой статье предлагается 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). Как показывает практика, лишь около трети выявленных сейсморазведкой структур-ловушек могут содержать нефть и газ [4]. Поэтому прямые поиски нефти и газа – проблема более сложная, требующая привлечения других геолого-геофизических методов. Введение стадийности, общепринятой во всем цивилизованном мире, предполагает перед постановкой сейсморазведочных работ проведение современных "косвенных" поисков залежей нефти и газа (магнитометрия, радиометрия, геохимические методы и т.д.). В основе многих из них лежит "дыхание" залежей – диффузия и фильтрация углеводородных газов по разрезу к поверхности Земли и те геохимические изменения, которые происходят под действием углеводородов в разрезе пород, почве, а также на контакте между скоплениями углеводородов и водой или породами. Это позволяет сократить общую стоимость сейсморазведочных работ в связи с сокращением общей площади работ, а также повысить перспективность и сократить сроки – в связи с тем, что на сейсморазведку возлагается поиск структуры, давшей наличие углеводородов или их фракций на дневной поверхности или в столбе пород над залежей.

Эффективность предлагаемой технологической схемы нефтегазопоисковых работ, рассчитанная на примере Лугинецкого нефтегазодобывающего района, представлена на рис.1.

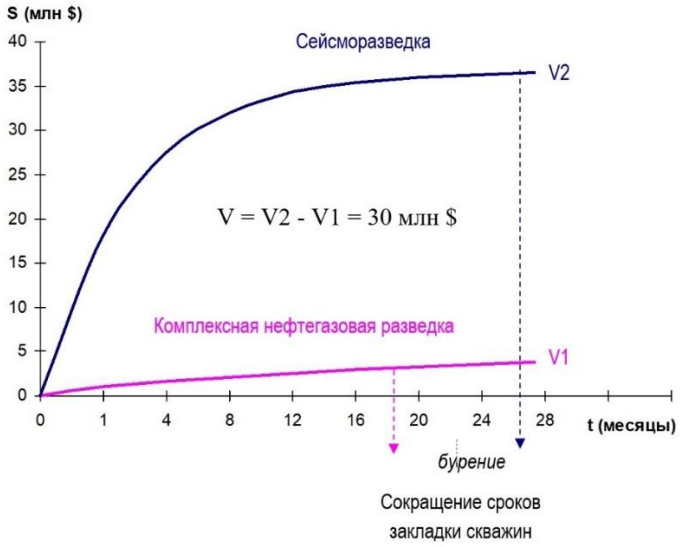


Рис. 1. Экономический эффект применения комплексных поверхностных геофизических и геохимических методов на локализованной нефтегазоперспективной площади

Таким образом, глубокое бурение будет обеспечено большей достоверностью в связи с расчетом оценки перспектив нефтегазоносности на основе независимых методов разведки и их комплексной интерпретации.

Для повышения точности распознавания и классификации многомерных геофизических и геохимических объектов в условиях пересекающихся классов (нефть, водно-нефтяной контакт, вода, порода) мы разработали комбинированный интенсионально-экстенсиональный подход, включающий кластерно-конструктивный анализ обобщенных образов методом адаптивной нечеткой кластеризующей сети Кохонена. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение автоматизированной подсистемы прогнозирования залежей нефти, газа в составе ИКС «ИнформГео» [5], позволяющее:

– рассчитать цифровые модели параметров;

– сформировать обучающую выборку на основе эталонной информации по разведочным скважинам многомерного признакового пространства данных сейсморазведки и геофизических, геохимических материалов;

– реализовать алгоритм формирования нейро-нечетких портретов;

– реализовать алгоритм адаптивной нечеткой кластеризации поисковых объектов с вычислением принадлежностей;

– рассчитать комплексный прогнозный параметр на основе формирования нейро-нечетких портретов;

– вывести диагностические решающие правила.

Построенная прогнозная модель залежей углеводородов в отличие от традиционной включает разбиение каждого класса на кластеры (по методу адаптивной кластеризующей сети Кохонена), что позволяет рассчитать расширенную геолого-геофизическую модель месторождения с вероятностями наличия нефти, водно-нефтяного контакта, воды, породы в данной точке площади. Такой подход повышает достоверность прогноза, что подтверждается бурением 7 скважин, давших промышленные притоки нефти.

Знания, полученные в результате обучения нейронной сети на двух нефтяных месторождениях Юго-Восточной части Западной Сибири, могут применяться для локализации прогноза нефти и на других месторождениях при минимальном объеме скважинной информации вплоть до отсутствия разведочных скважин.

В заключение статьи следует отметить, что разработанная методика может применяться для решения задач диагностики, прогнозирования, распознавания образов не только в геологоразведке, но и в других исследовательских областях.

Выводы

Исследованы информативные признаки и условия залегания нефти, газа. На их основе, опираясь на экспертные оценки, разработана модель многомерного признакового пространства залежей углеводородов, включающая косвенные данные сейсморазведки, магнитной, геофизической, геохимической съемки.

Проведен анализ современных геофизических и геохимических методов съемки месторождения, используемых в настоящее время для прогнозирования месторождений нефти и газа. На основе инновационных геофизических и геохимических (поверхностных) методов 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. Проведенное экспериментальное исследование на нефтяных месторождениях Юго-Восточной части Западной Сибири подтверждает ее эффективность.

Список литературы

1. Орлов В.П. Геологическое прогнозирование. - М.: Недра, 1991. 166 с.

2. Меркулов В.П., Зятев Г.Г., Богачев С.Ф. Комплексные геофизические исследования при прогнозировании залежей углеводородов в сложно построенных ловушках. Томск: Изд-во ТПУ. 1996. 134 с.

3. Тимошин Ю.В., Кривченков Б.С., Турчаненко Н.Т. Прогнозирование залежей углеводородов геофизическими методами в нефтегазоносных регионах УССР. Москва: ВИЭМС. 1985. 66 с.

4. Соболев И.С., Рихванов Л.П. и др. Прогнозирование и поиски месторождений нефти и газа радиохимическими методами // Геология нефти и газа. 1999. № 1. С. 19-24.

5. Горбачев С.В., Гафуров О.М. Интеллектуальная картографическая система "ИнформГео": опыт использования нейроинформационных технологий// Материалы VIII Всероссийского семинара "Нейроинформатика и ее приложения". Красноярск. 2000, С. 146-148.

УДК 621

МЕТОД ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ТРЕХМЕРНОГО ГОЛОГРАФИЧЕСКОГО ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРА С ДРОБНЫМ ПРЕОБРАЗОВАНИЕМ ФУРЬЕ
THREE-DIMENSIONAL HOLOGRAPHIC FEMTOSECOND LASER PARALLEL PROCESSING METHOD WITH THE FRACTIONAL FOURIER TRANSFORM

Цзинь Ван, Шуфэн Сунь*
Jin Wang, Shufeng Sun*

Collaborative Innovation Center for Green Intelligent Laser Manufacturing Technology and Equipment of Shandong Province, School of Mechanical and Automotive Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao, 266520, PR China
Совместный инновационный центр по производству экологически чистых интеллектуальных лазерных технологий и оборудования провинции Шаньдун, Институт машиностроения и автомобилестроения, Технологический университет Циндао, Циндао, 266520, КНР

Abstract: A novel three-dimensional (3D) holographic femtosecond laser parallel processing method with the fractional Fourier transform was proposed for arbitrary microstructures inside glass materials. Relying on the advantages of the fractional Fourier transform, a new expansion in laser 3D processing was realized. A 3D distributed microstructure array was successfully etched using a single irradiation, and a spatially distributed seven-layer wire microstructure was prepared through a single linear scan, in which the interlayer interference can be avoided by optimizing the fractional order. The analysis of computational and experimental results shows that the fractional holographic processing of 3D complex microstructures is an excellent approach for controlling uniformity, energy output and positional accuracy. The holographic 3D laser parallel processing method with high speed and high resolution has shown considerable potential in precision manufacturing, and it can be believed that it will play a significant role in the advancement of high-end technology in the future.

Аннотация: Предложен новый трехмерный (3D) голографический фемтосекундный лазерный метод параллельной обработки с дробным преобразованием Фурье для произвольных микроструктур внутри стеклянных материалов. Опираясь на преимущества дробного преобразования Фурье, было реализовано новое направление в лазерной 3D-обработке. С помощью однократного облучения был успешно вытравлен массив трехмерных распределенных микроструктур, а пространственно распределенная семислойная проволочная микроструктура была получена с помощью однократного линейного сканирования, при котором можно избежать межслойных помех за счет оптимизации дробного порядка. Анализ вычислительных и экспериментальных результатов показывает, что фракционная голографическая обработка сложных трехмерных микроструктур является отличным подходом для контроля однородности, выходной энергии и точности позиционирования. Метод параллельной голографической 3D-лазерной обработки с высокой скоростью и высоким разрешением продемонстрировал значительный потенциал в прецизионном производстве, и можно полагать, что он сыграет значительную роль в продвижении передовых технологий в будущем.

Keywords: holographic laser processing; three-dimensional parallel beam; fractional Fourier transform; glass substrate; spatial microstructure

Ключевые слова: голографическая лазерная обработка; трехмерный параллельный пучок; дробное преобразование Фурье; стеклянная подложка; пространственная микроструктура

1. Introduction

As an advanced manufacturing tool, femtosecond lasers are a powerful solution, and their performance in 3D manufacturing needs to be further improved. Laser processing of 3D structures initially also relied on prelayered calculations and optimized scanning trajectories to achieve the formation of complex microstructure arrays. In particular, the single laser beam processing method needs to be combined with a high-precision stage or a high-speed scanning galvanometer to produce microstructures point by point, which is associated with a lower efficiency and higher investment costs.

To facilitate the processing efficiency, various and significant 3D light field engineering has been investigated in previous works. For example, by including diffractive optical elements (DOEs), microlens arrays or spatial light modulators (SLMs), laser multifocus can be reconstructed in 3D space for micro/nanomanufacturing. Most importantly, SLM, with the advantages of programmable capability and flexibility, has attracted more attention, and it has been widely used in optical storage, image projection, microscopic imaging, biomedicine and laser micro-and nanomanufacturing. In addition, several hologram methods have been proposed to recombine the spatial multifocus and implement 3D parallel microfabrication. Some researchers usually improve the Gerchberg-Saxton algorithm to reconstruct multilayer two-dimensional images and further to form a 3D target, which can be accompanied by the phenomenon of layered superposition. Therefore, many researchers have been dedicated to the development of 3D holographic methods, such as multiplexed phase Fresnel lenses (MPFLs), blazed gratings, Dammann gratings and optimal rotation angles (ORAs). Moreover, 3D light field control based on Debye diffraction theory has excellent performance, and the 3D Fourier transform method of vector diffraction can generate aberration-free and uniform spatial multifocal points on the entire focal area of a high numerical aperture objective lens. Using these methods, many holographic 3D laser processing applications have been verified, such as 3D parallel direct writing photonic crystals, high-throughput 3D nanolithography, 3D lattice patterns, 3D-waveguide devices, laser spark generation for internal combustion engines and 3D double-helix structures. At the same time, the development of artificial intelligence and machine learning also provides new options for 3D holography. Clearly, holographic 3D laser parallel processing is an excellent choice to produce 3D microstructure arrays with only one specially generated hologram.

In this study, a novel 3D holographic femtosecond laser processing method with the fractional Fourier transform is proposed and employed for arbitrary patterns and microstructures. As a new extension of the fractional Fourier transform, the task of this research is to realize the preparation of 3D microstructures inside glass through spatially parallel laser multifocus. The iterative fractional Fourier transform algorithm was improved to be suitable for the generation of holograms in 3D parallel processing, and the holographic laser parallel processing system with the moving camera or linear stage was perfected to realize the observation and recording of 3D images and microstructures.

2. Theoretical analysis

2.1 Three-dimensional holographic reconstruction with fractional Fourier transform

The fractional Fourier transform is a generalized Fourier transform, which has many special properties that the traditional Fourier transform does not have. The flexibility of fractional Fourier holographic laser processing has been illustrated by the characteristics of the transformation order corresponding to the diffraction distance. Likewise, Fig. 1 describes the 3D optical reconstruction of a fractional Fourier holographic system, which can modulate a spatial model to achieve focused 3D laser processing using only one hologram. This new expansion of 3D holographic laser processing will create even more possibilities in rapid manufacturing.

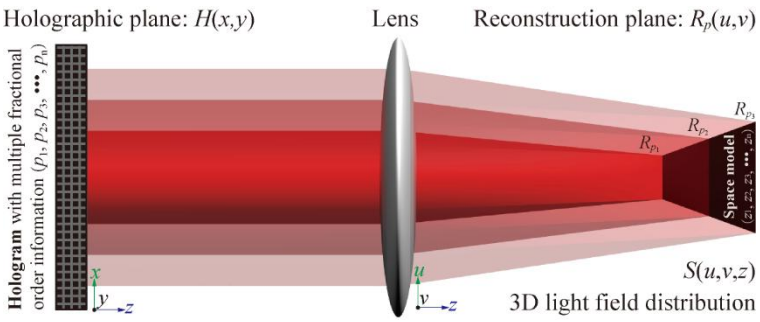


Figure 1 – Three-dimensional optical reconstruction of fractional Fourier holography

The calculation of accurate fractional Fourier holograms is the key to achieving high-efficiency and high-quality holographic laser parallel micromachining. In this single lens system, the light field distribution in the holographic plane and the reconstruction plane are represented by H(x, y) and R(u, v), respectively. Specifically, the three-dimensional spatial model is described by S (u, v, z). The parameter z is the imaging distance behind the lens, which is closely related to the focal length of the lens f and the fractional order p. According to the definition of the fractional Fourier transform in two-dimensional optical realization, the complex amplitude of the recombined signal after the p-order Fourier transform can be expressed as

$$R_p(u,v) = F^p[H(x,y)] = \iint H(x,y) \cdot exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda f\, sin(p\pi/2)}\left[\frac{(x^2+y^2)+(u^2+v^2)}{tan(p\pi/2)} - \frac{2(xu+yv)}{sin(p\pi/2)}\right]\right\} dxdy \quad (1),$$

where the symbol F^p is the *p*-order transform operator. Furthermore, the 3D reconstruction light field distribution *S*(*u*, *v*, *z*) in discrete form can be composed of *n* plane light field information, and the specific mathematical expression is as follows:

$$S(u,v,z) = \sum_{j=0}^{n} R_{p_j}(u_j, v_j) \quad (2).$$

2.2 Holographic algorithm of fractional Fourier transform

To understand the optical diffraction described by the fractional Fourier transform from the light field propagation, the numerical calculation can be decomposed into three steps: the initial light field is first modulated by a quadratic phase factor, and after the Fourier transform of the lens, the transformed light field is modulated by a quadratic phase factor again in imaging space to obtain the final reconstruction image. As a result, the iterative fractional Fourier transform algorithm is further improved to generate 3D computer holograms, and the specific flow chart is shown in Fig. 2.

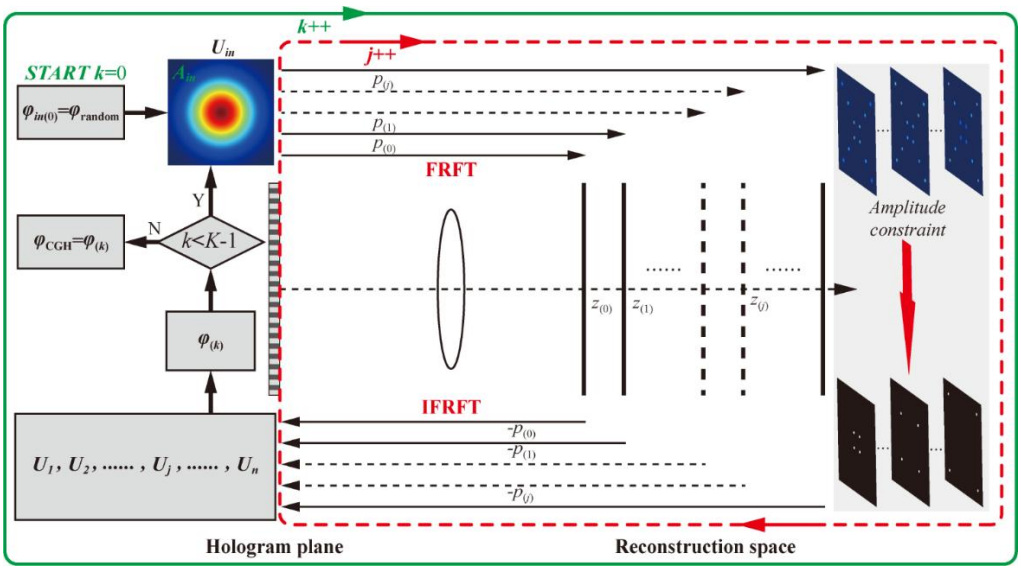


Figure 2 – Schematic diagram of the three-dimensional fractional Fourier holographic algorithm

In the inner loop, the fractional order of transformation is continuously updated from p_0 to p_j to execute image reconstruction at different diffraction distances z, and the light amplitude is weighted by the design value of intensity before the inverse transform. In the outer loop, the index of the iteration number is denoted by k, and the phase information will also be optimized and converged as the iteration proceeds. Through simulation calculation, the performance of the algorithm can be effectively analysed, and the visualization of the reconstructed data can be realized. The focal length of the lens was set to 750 mm in the simulation and imaging experiments. Three target points that focus at distances of 600 mm, 750 mm and 900 mm behind the lens are observed, and the corresponding fractional orders p are approximately equal to 0.872, 1.000 and 1.128, respectively. As shown in Fig. 3(a)-(c), the light field modulation effect of the 3D fractional Fourier hologram was further compared. The light intensity distribution of the three focal points is displayed on the plane perpendicular to the optical axis at each focus position, which is represented by the grey value of 0-255. The red, black and blue lines are used to describe the intensity distribution contours of the spots on these three planes, which can clearly illustrate the energy accumulation and divergence. Fig. 3(d) clearly shows that the light intensity uniformity of the multiple spots focused on different planes can almost reach 1.0, where the uniformity can be evaluated by the ratio of the minimum intensity to the maximum intensity among all focal points.

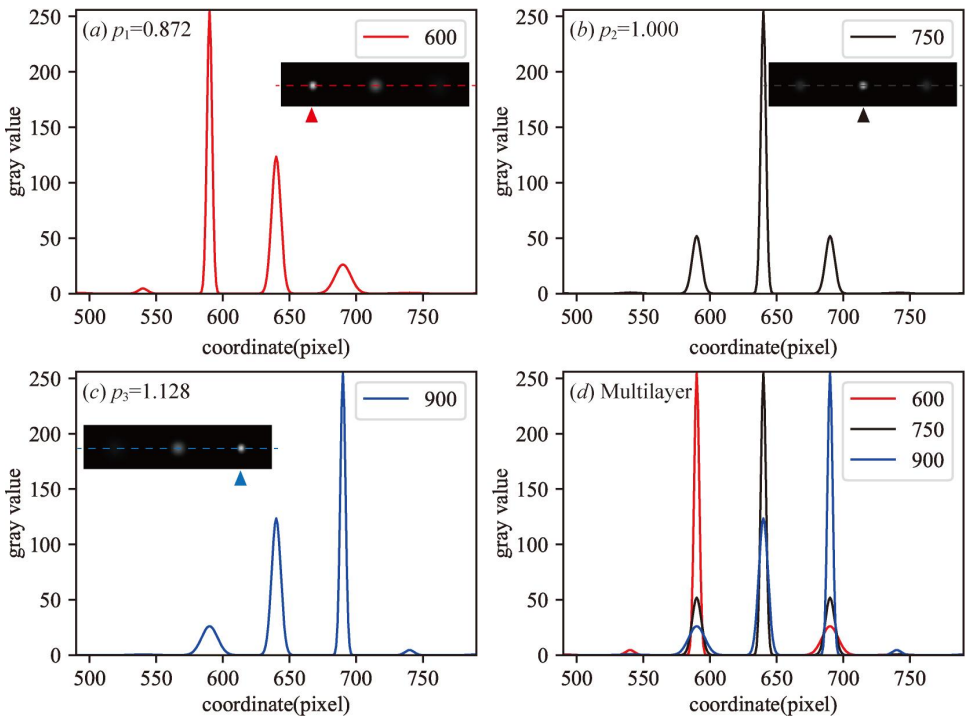


Figure 3 – Reconstruction effect of three spatial focal points in the simulation. (a), (b) and (c) are the focal intensity profiles of fractional orders p_1, p_2 and p_3 at the corresponding imaging positions, respectively. (d) Consistency analysis of focal points at different positions in three-dimensional space

3. Experimental setup

The holographic femtosecond laser system for 3D processing is presented in Fig. 4. The experimental setup was mainly composed of a femtosecond laser system, a liquid crystal on silicon spatial light modulator (LCoS SLM), a 4-*f* system, a microscopic imaging system, a 3D stage and a personal computer. The femtosecond laser pulses for all processing experiments are generated by an ultrafast diode-pumped fibre laser (Coherent, Monaco 1035), where the laser has a central wavelength of 1035 nm, a duration of 400 fs and repetition rates from single shot to 1 MHz. To fully demonstrate the capabilities of the SLM, the Gaussian beam is first magnified with a beam expander (2~10×, JENOPTIK) to be slightly larger than the width of the liquid crystal window, and then the light is irradiated on the SLM (Hamamatsu Photonics, X13138-03) after its energy

and polarization are controlled by a half wave plate (HWP) and a polarizing beam splitter (PBS). Immediately afterwards, the modulated beam will be reduced by a 4-*f* telephoto system, which consists of two plano-convex lenses (f_{L1}=750 mm, f_{L2}=400 mm), to ensure that as much light as possible is within the entrance pupil diameter of the objective lens (OL, EVENOPTICS, NIR-50-95, ×50, NA=0.67) and used for laser processing. In addition, holographic laser processing is detected in real time by microscopic imaging components, which include a white light emitting diode (LED), infrared (IR) cut filter and a complementary metal oxide semiconductor image sensor (CMOS, DCC3240M, THORLABS). In particular, another movable CMOS NIR sensor (DCC3240N, THORLABS) placed after the dichroic mirror (DM) realized automatic acquisition of the reconstructed 3D model. The camera is installed on a linear stage and moves together along the optical axis. In this schematic, the spot patterns show that the shape of the Gaussian beam can be spatially modulated using an appropriate hologram, and the target multifocus distribution can be generated at a prescribed distance. At the terminal of the device, the soda-lime glass with dimensions of 50 mm×50 mm×1 mm was mounted on a 3D translation stage (Thorlabs, MTS25M/MTS50M) to perform laser microfabrication.

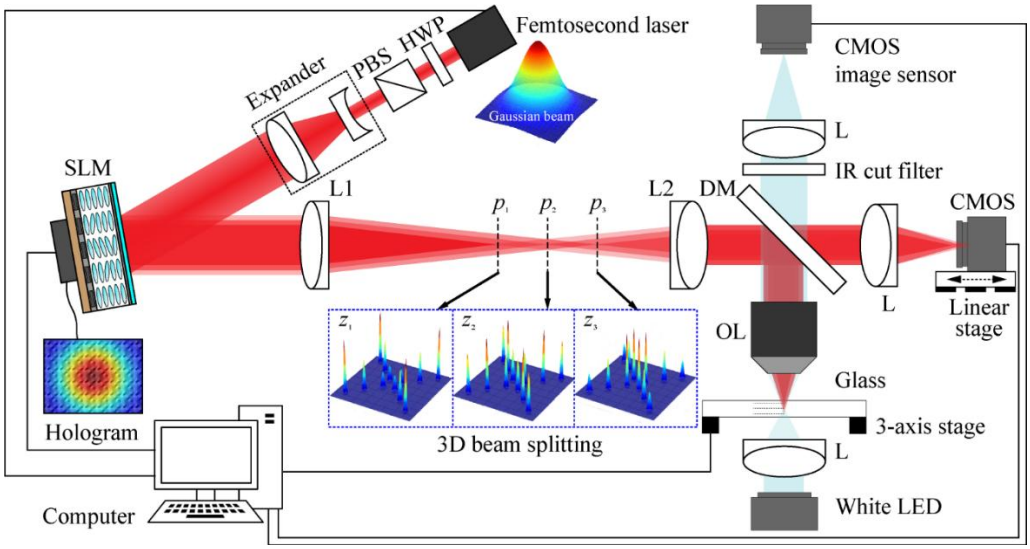


Figure 4 – Schematic of the holographic femtosecond laser processing system

4. Holographic laser three-dimensional processing method

4.1 Dynamic hologram layered three-dimensional processing method

The exploration of fractional Fourier transform computational holography in 3D parallel processing is completely feasible. The purpose of this verification experiment is to use a femtosecond laser to etch spatially distributed microstructures inside the glass, which are composed of three frame-like structures growing from small to large that form a frustum in an orderly manner. In this section, a three-layer microstructure array was fabricated by dynamically loading multiple holograms with different fractional orders. As shown in Fig. 5(a), three fractional holograms with transformation orders of 1.0169785, 1.0424728, and 1.0680355 were used to fulfil the parallel processing. After being dynamically loaded on the SLM, the reconstructed images can be successfully projected on the plane at 770 mm, 800 mm, and 830 mm behind lens L1 in this processing system. Meanwhile, the three images can be captured one by one using a mobile CMOS NIR camera (DCC3240N, THORLABS) on the optical axis, and the processing target can also be favourably observed by the CMOS camera (DCC3240M, THORLABS) at the corresponding position in the glass. The low-energy interference light was ignored in the captured image.

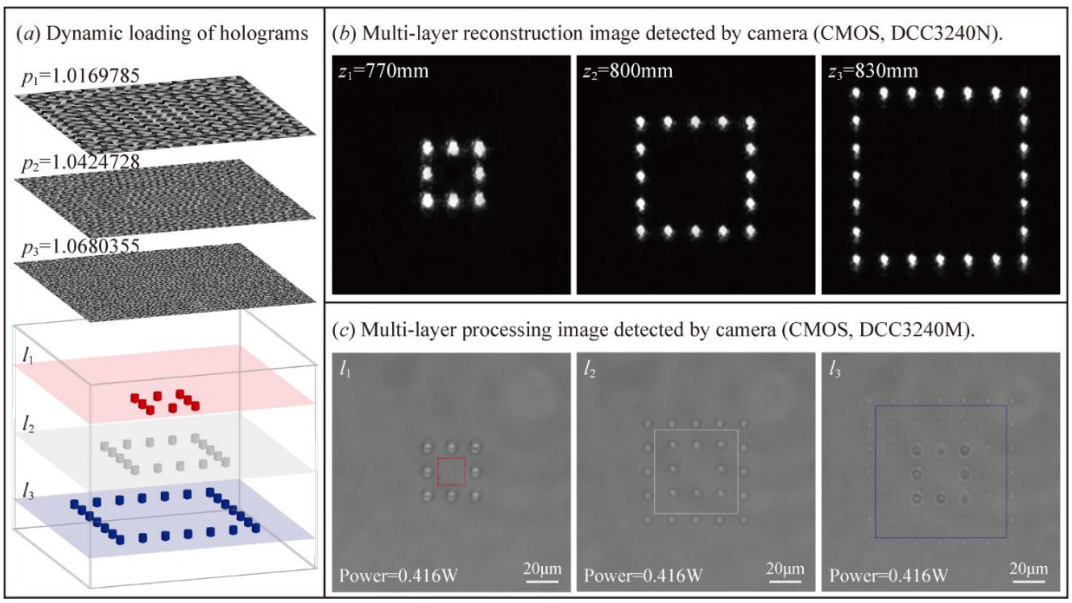


Figure 5 – Dynamic loading holographic three-dimensional processing method. (a) Schematic of dynamic processing methods and expected microstructure patterns. (b) Multilayer reconstruction patterns detected by camera. (c) Multilayer processing microstructure image detected by camera.

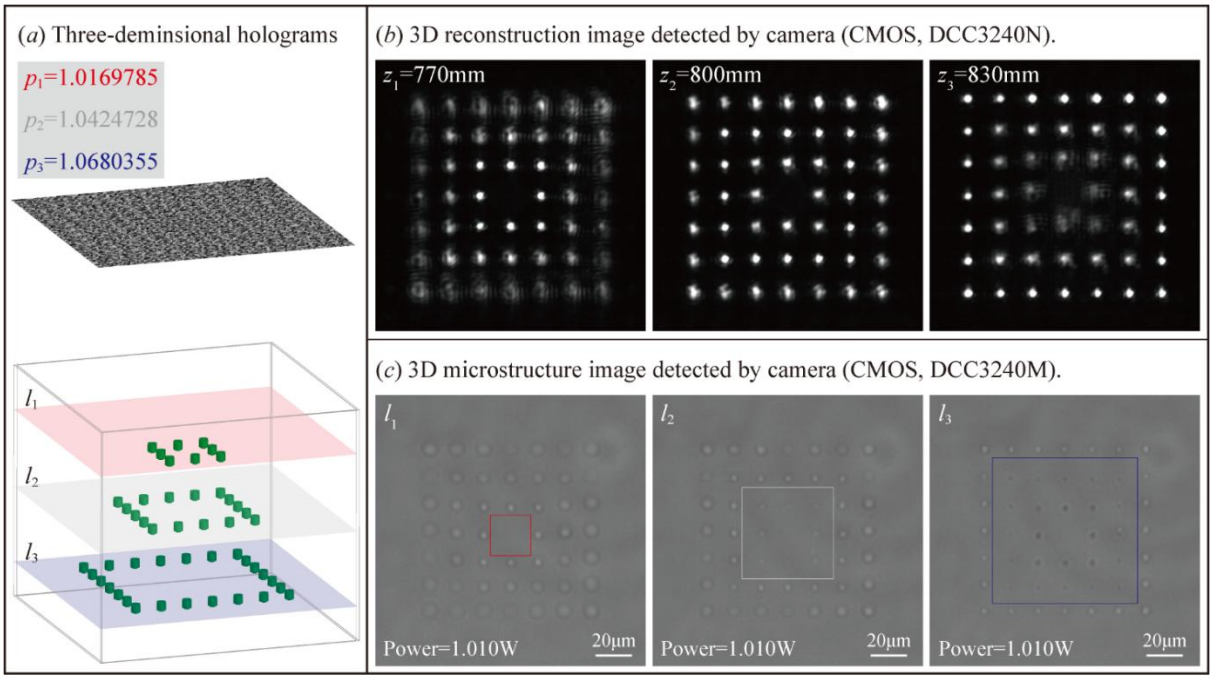


Figure 6 – Three-dimensional fractional holographic femtosecond laser parallel processing method. (a) Schematic of holographic 3D laser parallel processing methods and expected microstructure patterns. (b) 3D reconstruction patterns detected by camera. (c) 3D processing microstructure image detected by camera

4.2 Three-dimensional fractional holographic femtosecond laser parallel processing

To overcome the shortcomings of slice processing, the method of using a 3D fractional hologram to achieve true 3D processing has been further verified. As shown in Fig. 6(a), this description only needs a single irradiation emitted from a femtosecond laser to etch the complicated target structure inside the glass, which is an effective 3D parallel processing method. In Fig. 6(a), the 3D hologram was generated by iterative fractional Fourier transforms with the orders of 1.0169785, 1.0424728, and 1.0680355. Fig. 6(b) illustrates that the distribution of the reconstructed 3D light field can be displayed and recorded by the removable camera placed on the linear motion stage, and it can be observed that the uniform focusing spot array is distributed on different

planes in space. Fig. 6(c) clearly shows the 3D microstructure of the frustum; all positions etched by a femtosecond laser with a power of 1.010 W and a repetition rate of 500 kHz are also uniform, and the centre of the processing pattern has a certain offset. This may be caused by the internal medium and refraction of the glass and aberration of the lens, which needs to be further explored.

5. Fractional holographic three-dimensional processing experiments

In actual applications, more complex 3D application scenarios will be encountered, such as the parallel processing of multilayer transparent materials and nonplanar structures. Therefore, the reliability of the fractional method was verified through arbitrary asymmetric 3D patterns and multilayer spatial line structures. Fig. 7 shows the 3D QUT pattern detected by the CMOS camera. Regarding the design of the 3D holograms, the separation distance between each layer of reconstructed images is 50 mm, and its corresponding fractional levels are 1.0169785, 1.0595045, and 1.1022988. The three pictures that make up the reconstructed image are observed by moving the camera, while the three letters of the processed pattern are individually located on three planes with different depths inside the glass. This experiment was conducted using a femtosecond laser beam with a power of 0.896 W, and the energy carried by each spot was almost the same as that of the homogeneous microstructures.

The processing of micro-nanowire structures and semiconductors has received widespread attention and rapid development and plays an important role in semiconductor technology. As shown in Fig. 8, an axial multi-focus stealth cutting method based on the fractional Fourier transform was proposed, which has a broad application prospect in semiconductor slicing field.

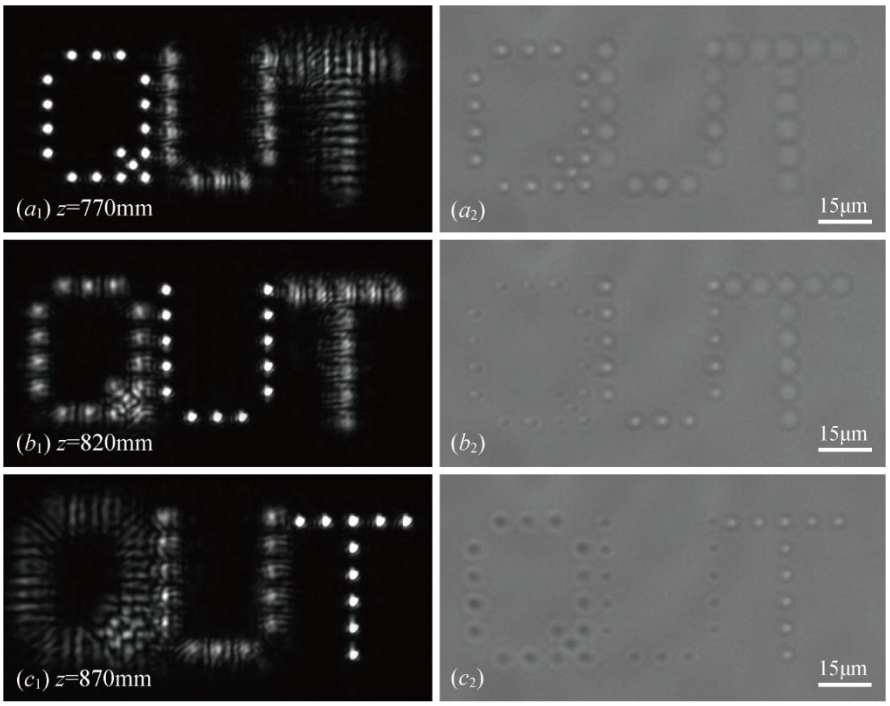


Figure 7 – Three-dimensional QUT captured and processed patterns. (a_1), (b_1) and (c_1) are the QUT reconstruction patterns captured by the camera at different distances. (a_2), (b_2) and (c_2) are the 3D QUT microstructures processed at different heights

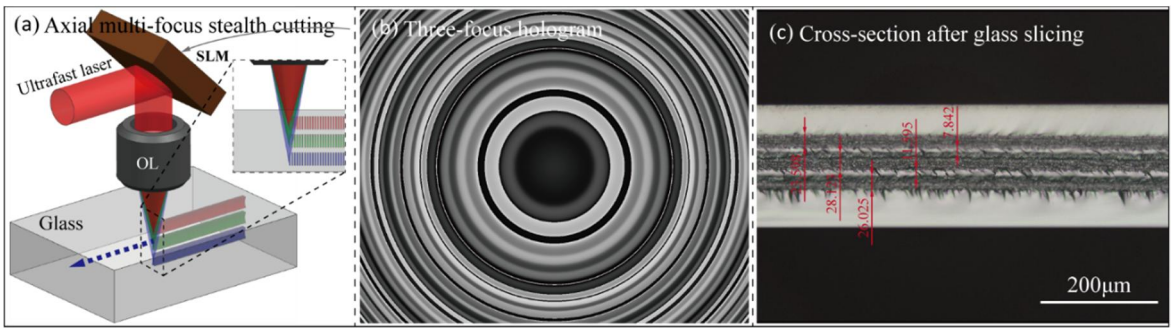


Figure 8 – An axial multi-focus stealth cutting method. (a)Axial multi-focus stealth cutting method, (b) Three focus hologram, and (c) Cross-section after slicing

6. Conclusion

In this study, a novel 3D holographic femtosecond laser parallel processing method with the fractional Fourier transform is proposed and employed for 3D arbitrary microstructures inside glass. This is a new expansion of the fractional Fourier transform in the fields of optical information and laser precision processing. Clearly, a 3D hologram is a better choice to directly perform the 3D parallel processing of complex structures, which can control the uniformity, energy output and position accuracy from a global perspective. The holographic 3D laser parallel processing method has shown considerable potential in the processing of glass or transparent materials, and it is believed that it will play a significant role in the advancement of high-end technology in the future.

УДК 631.363

ИЗУЧЕНИЕ НАСТРАИВАЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ
STUDYING ADJUSTABLE PARAMETERS FOR THE RESULTS OF TRAINING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK

Сторчевой Владимир Федорович [1,2], Судник Юрий Александрович [1,2]
Storchevoy Vladimir Fedorovich [1,2], Sudnik Yuri Aleksandrovich [1,2]

[1]Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Россия, Москва
[1]Russian state agrarian University – MAA after K.A. Timiryazev, Russia, Moscow
(e-mail: v.storchevoy@rgau-msha)
[2]Российская инженерная академия
[2] Russian Engineering Academy

Аннотация: Рассмотрены вопросы исследования настраиваемых параметров на результаты обучения искусственной нейронной сети, приведены результаты экспериментального исследования разработанных метрик, используемых для оценки моделей, проведены сбор и обработка экспериментальных результатов согласно матрице планирования эксперимента, построены поверхности отклика метрик моделей, построены поверхности отклика и получены уравнения множественной линейной регрессии.

Abstract: The issues of studying customizable parameters on the results of training an artificial neural network are considered, the results of an experimental study of the developed metrics used to evaluate models are presented, experimental results were collected and processed according to the experiment planning matrix, response surfaces of model metrics were constructed, response surfaces were constructed and multiple linear regression equations were obtained.

Ключевые слова: нейронная сеть, машинное зрение, машинное обучение.

Keywords: neural network, computer vision, machine learning.

В настоящее время в пищевой перерабатывающей промышленности одним из наиболее важных является вопрос определения сортности, выявления брака, повышения товарности и снижения себестоимости продукции. В большинстве случаев при осуществлении технологических операций используется ручной труд, где заняты десятки человек и тратится большое количество рабочего времени. Не всегда эти затраты являются эффективными. Повышение качества продукции и снижение затрат – одна из главных задач пищевой перерабатывающей промышленности.

В последнее время огромную популярность приобретают бесконтактные методы контроля качества, которые не требуют остановки технологического процесса, методы, позволяющие оперативно оценить интересующие показатели качества в процессе производства. Разрабатываются аппаратно-программные комплексы, где для конкретного технического обеспечения подбирается или создается уникальное оптимальное программное обеспечение. В большинстве случаев решением проблемы является внедрение систем компьютерного зрения.

Высокотехнологичные автоматизированные комплексы из-за высокой стоимости не могут быть приобретены малыми и средними предприятиями. Высокую актуальность имеют исследования в области разработки приемлемых по цене комплексов, основанных на доступных технических средствах.

В настоящее время завоёвывают всё большую популярность системы распознавания образов, интегрированные в сортировочные устройства. Основной задачей таких систем является распознавание и классификация объектов и дефектов. Также, одной из главных проблем явля-

ется поиск подходящего аппаратного обеспечения, которое было бы приемлемо по цене и обладало достаточной вычислительной мощностью для осуществления распознавания в режиме реального времени. Программное обеспечение играет не меньшую роль, потому что необходимо извлечь максимальную производительность.

Целью работы является исследование влияния настраиваемых параметров на результаты обучения нейросети. Задачами данной работы являются: сбор и анализ результатов обучения моделей, построение графиков и поверхностей отклика оценочных метрик в зависимости от изменения настраиваемых параметров.

Материалами исследований послужили собранные результаты обучения моделей. Обучение производилось по матрице планирования. По собранным на протяжении обучения моделей данным строились поверхности отклика оценочных метрик и их графики, производился анализ полученных графических материалов.

Решения в области распознавания изображений в режиме реального времени делятся на два основных семейства: Region Proposal (регионы кадра, на которых вероятно изображен объект, поочередно обрабатываются) и Single Shot (на полученном изображении сразу детектируются все объекты). К первому семейству относятся такие нейронные сети, как R-CNN, Fast R-CNN, Faster R-CNN. Ко второму же семейству относятся YOLO CNN, SSD. Нейронные сети, использующие распознавание по регионам, обладают достаточно большим временем распознавания при качественном определении объектов. Однако для потоковой обработки видеофрагментов лучше подходят нейронные сети семейства Single Shot CNN, у которых время обработки меньше. [1, 2]

В данной статье будет рассмотрена искусственная нейронная сеть YOLO v5, первая презентация которой состоялась в июне 2020 года. [3]

В данной работе для исследования влияния настраиваемых параметров на результаты обучения нейросети были выбраны следующие параметры:

– Варьируемые параметры: **--img** (Диапазон от 64 до 288 с шагом 32); **--batch-size** (Диапазон от 1 до 4 с шагом 1 и от 8 до 40 с шагом 4).

– Параметры с постоянным значением: **--epochs** 300 (300 эпох); **--patience** 0 (Отключаем функцию предварительной остановки обучения для того, чтобы можно было собирать результаты на протяжении всего времени обучения); **--weights** yolov5m.pt (Выберем предобученную модель среднего размера из ряда предлагаемых автором нейросети).

Характеристики системы, на которой будет производится обучение: OS – Windows 7 64-bit; CPU – Intel Xeon E5-2670 2,60 GHz; GPU – NVIDIA GeForce GTX 1070 8 GB; RAM – 32 GB DDR3 1333 MHz.

Было выбрано легкоузнаваемое изображение-маркер и создан набор изображений с обучающей выборкой из 41 изображения и валидационной выборки из 11 изображений.

Чтобы процесс обучения проходил корректно, выборка должна обладать свойством репрезентативности, то есть предоставлять достаточное количество разных обучающих изображений. Таким образом, к выборке будут предъявляться следующие требования [4]:

– Достаточность: обучающие изображения должны быть представлены в достаточном количестве. Необходимо, чтобы число обучающих изображений было в несколько раз больше числа весов межнейронных связей. В противоположном же случае нейросеть не сможет получить способность к обобщению просто «зазубрив» ответы.

– Разнообразие: выборка должна содержать в себе большое число разнообразных изображений. Способность к обобщению также не сможет быть получена в случаях, когда выборка большая, но однообразная.

– Классы объектов должны быть представлены в одинаковых пропорциях. Если какие-либо из классов будут преобладать над другими, то данные классы будут определены нейросетью как одни из наиболее вероятных.

– Все экземпляры классов во всех изображениях должны быть размечены. Частичная маркировка может негативно отразиться на результатах обучения.

– При разметке изображений необходимо чтобы обрамляющие прямоугольники прилегали к объектам. Между создаваемой рамкой и объектом не должно быть зазоров.

– Изображения, которые не содержат искомые объекты, добавляемые с целью уменьшения числа ложных срабатываний. Авторы нейросети YOLO v5 рекомендуют держать число подобных изображений в размере от 0 до 10% от общего объема выборки.

Разметка изображений тренировочной и валидационной выборок производилась с помощью программы LabelImg. [5]

Заданные параметры и лучшие результаты обучения сведем в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты обучения (Epochs = 300, weights = yolov5m.pt).

Img	Batch size	P	R	mAP 0,5	mAP 0,5:0,95	Img	Batch size	P	R	mAP 0,5	mAP 0,5:0,95
64	1	0,670	0,547	0,548	0,177	192	1	0,941	0,990	0,963	0,755
64	2	0,737	0,780	0,753	0,302	192	2	0,953	0,997	0,970	0,758
64	3	0,839	0,767	0,776	0,337	192	3	0,941	0,990	0,968	0,772
64	4	0,844	0,767	0,795	0,350	192	4	0,935	0,987	0,957	0,769
64	8	0,740	0,669	0,658	0,263	192	8	0,950	1,000	0,971	0,780
64	12	0,652	0,593	0,562	0,238	192	12	0,944	0,993	0,966	0,759
64	16	0,789	0,698	0,702	0,311	192	16	0,938	0,997	0,971	0,762
64	20	0,649	0,610	0,590	0,226	192	20	0,933	1,000	0,980	0,774
64	24	0,642	0,616	0,582	0,247	192	24	0,938	1,000	0,971	0,748
64	28	0,615	0,577	0,551	0,208	192	28	0,924	1,000	0,978	0,732
64	32	0,650	0,593	0,593	0,239	192	32	0,938	1,000	0,972	0,742
64	36	0,542	0,534	0,463	0,173	192	36	0,938	0,983	0,973	0,736
64	40	0,485	0,269	0,217	0,078	192	40	0,917	0,996	0,964	0,721
96	1	0,900	0,875	0,882	0,486	224	1	0,951	1,000	0,966	0,778
96	2	0,911	0,905	0,910	0,526	224	2	0,944	0,997	0,968	0,784
96	3	0,897	0,902	0,901	0,535	224	3	0,941	0,997	0,964	0,794
96	4	0,917	0,898	0,903	0,565	224	4	0,935	0,993	0,978	0,789
96	8	0,891	0,885	0,894	0,540	224	8	0,947	1,000	0,979	0,800
96	12	0,893	0,842	0,860	0,498	224	12	0,938	1,000	0,978	0,775
96	16	0,905	0,879	0,899	0,533	224	16	0,938	1,000	0,978	0,781
96	20	0,880	0,833	0,852	0,472	224	20	0,936	1,000	0,981	0,793
96	24	0,820	0,754	0,808	0,429	224	24	0,936	1,000	0,973	0,748
96	28	0,856	0,852	0,861	0,441	224	28	0,935	0,997	0,972	0,750
96	32	0,872	0,885	0,880	0,503	224	32	0,938	1,000	0,967	0,748
96	36	0,828	0,862	0,853	0,454	224	36	0,936	1,000	0,967	0,727
96	40	0,825	0,820	0,838	0,401	224	40	0,947	1,000	0,962	0,717
128	1	0,923	0,934	0,924	0,624	256	1	0,953	1,000	0,981	0,810
128	2	0,934	0,967	0,944	0,646	256	2	0,953	0,997	0,972	0,801
128	3	0,942	0,964	0,934	0,676	256	3	0,953	1,000	0,968	0,814
128	4	0,921	0,957	0,935	0,680	256	4	0,941	0,990	0,962	0,805
128	8	0,941	0,934	0,920	0,666	256	8	0,953	1,000	0,975	0,811
128	12	0,914	0,934	0,922	0,649	256	12	0,953	1,000	0,978	0,797
128	16	0,930	0,957	0,938	0,682	256	16	0,953	1,000	0,976	0,784
128	20	0,934	0,934	0,915	0,643	256	20	0,947	1,000	0,974	0,796
128	24	0,921	0,957	0,932	0,641	256	24	0,953	1,000	0,978	0,757
128	28	0,921	0,944	0,932	0,635	256	28	0,953	1,000	0,976	0,765

Img	Batch size	P	R	mAP 0,5	mAP 0,5:0,95	Img	Batch size	P	R	mAP 0,5	mAP 0,5:0,95
128	32	0,937	0,970	0,943	0,639	256	32	0,953	1,000	0,978	0,763
128	36	0,933	0,951	0,940	0,631	256	36	0,953	1,000	0,978	0,742
128	40	0,926	0,980	0,948	0,605	256	40	0,956	1,000	0,982	0,758
160	1	0,943	0,970	0,960	0,717	288	1	0,947	0,997	0,963	0,799
160	2	0,944	0,990	0,960	0,724	288	2	0,950	1,000	0,970	0,815
160	3	0,946	0,967	0,952	0,751	288	3	0,950	1,000	0,976	0,814
160	4	0,945	0,954	0,938	0,724	288	4	0,941	0,997	0,967	0,816
160	8	0,940	0,970	0,963	0,742	288	8	0,950	1,000	0,971	0,807
160	12	0,938	0,951	0,951	0,709	288	12	0,944	1,000	0,958	0,787
160	16	0,942	0,951	0,967	0,734	288	16	0,935	0,997	0,961	0,786
160	20	0,931	0,964	0,967	0,727	288	20	0,933	1,000	0,967	0,800
160	24	0,927	0,954	0,960	0,695	288	24	0,936	1,000	0,958	0,764
160	28	0,934	0,974	0,961	0,687	288	28	0,942	1,000	0,956	0,769
160	32	0,920	0,970	0,952	0,690	288	32	0,929	1,000	0,960	0,758
160	36	0,916	0,964	0,958	0,683	288	36	0,929	1,000	0,957	0,747
160	40	0,935	0,984	0,976	0,679	288	40	0,934	1,000	0,960	0,746

За лучшую модель принимается модель той эпохи, в которой сумма метрик P, R, $mAP(0{,}5)$ и $mAP(0{,}5{:}\,0{,}95)$ будет наибольшей. Для каждой и данных метрик предусмотрены коэффициенты веса, заданные автором нейросети:

$$best.pt = 0{,}0 \cdot P + 0{,}0 \cdot R + 0{,}1 \cdot mAP(0{,}5) + 0{,}9 \cdot mAP(0{,}5{:}\,0{,}95) \rightarrow \max \quad (1)$$

Разберем метрики P, R, $mAP(0{,}5)$ и $mAP(0{,}5{:}\,0{,}95)$ [6, 7]:

P – Точность (Precision) обозначает процент True Positive предсказаний рамочного прямоугольника для определенного класса по отношению к общему количеству положительных предсказаний для данного класса:

$$P = TP/(TP + FP) = TP/number\ of\ positive\ predictions \quad (2)$$

R – Полнота (Recall) обозначает какая доля TP предсказаний прямоугольников для определенного класса действительно принадлежала к размеченным Ground Truth прямоугольникам данного класса, то есть какую долю объектов определенного класса из всех размеченных объектов данного класса нашла модель:

$$R = TP/(TP + FN) = TP/number\ of\ ground\ truths \quad (3)$$

$mAP(0{,}5)$ – Усредненная средняя точность (Mean average precision). Метрика, вычисляемая для предсказаний по пороговому значению $IoU \geq 0{,}5$, равная среднему значению от суммы значений средней точности AP (average precision) для каждого класса:

$$mAP(IoU \geq 0{,}5) = \frac{1}{number\ of\ classes} \cdot \sum_{i=1}^{\substack{number\\of\\classes}} AP_{class\ i} \quad (4)$$

где значения средней точности AP для каждого класса вычисляются следующим образом [8]:

$$AP_{class\ i} = \frac{1}{11} \cdot \sum_{R \in \{0.0,0.1,0.2,0.3,0.4,0.5,0.6,0.7,0.8,0.9,1.0\}} P_i(R_i) \quad (5)$$

где значение $p_i(r_i)$ для каждого класса принимается из условия:

$$P_i(R_i) = \max P_i(\tilde{R}_i)_{\tilde{R}_i : \tilde{R}_i \geq R_i} \quad (6)$$

$mAP(0{,}5{:}0{,}95)$ – Усредненное значение mAP нескольких пороговых значений IoU в диапазоне от 0,5 до 0,95 с шагом 0,05 для каждого класса:

$$mAP(0{,}5{:}0{,}95) = \frac{mAP(IoU \geq 0{,}5) + mAP(IoU \geq 0{,}55) + \ldots + mAP(IoU \geq 0{,}9) + mAP(IoU \geq 0{,}95)}{10} \quad (7)$$

Теперь визуализируем результаты обучения путем построения поверхностей отклика для данных метрик (рисунок 1).

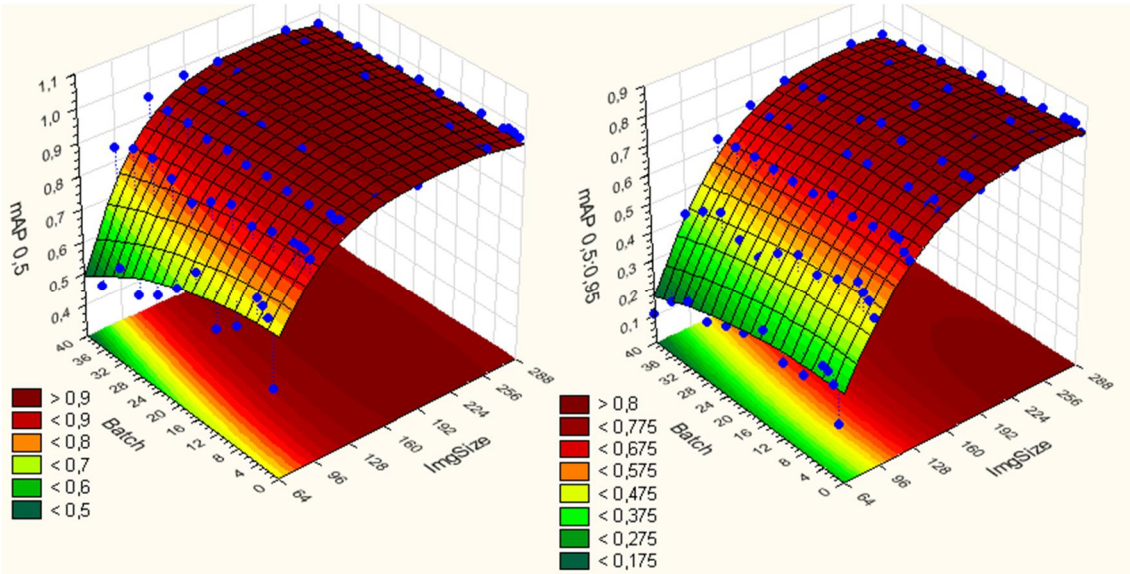


Рисунок 1 – Поверхность отклика изменения метрики $mAP(0,5)$ и $mAP(0,5{:}0,95)$ от параметров --img и --batch-size (сплайны).

Если с размерами изображения достаточно очевидно, что при большем размере изображения можно будет легче замечать мелкие объекты, а при минимальном размере изображения результаты будут хуже, так как при составлении нейросетью мозаик в процессе обучения с целью расширения тренировочного набор изображений мы можем получить набор из перемешанных пикселов, на которых будет проблематично что-либо разглядеть, то для того, чтобы понять какой размер пакета изображений использовать нам необходимо посмотреть на величину еще нескольких метрик, которые рассчитываются в процессе обучения: train/box_loss, train/obj_loss, train/cls_loss, val/box_loss, val/obj_loss, val/cls_loss. [9, 10]

Данные метрики связаны со соответствующими им штрафным функциям: за определение класса объекта; за определение координат центра объекта и, соответственно, центра обрамляющего прямоугольника; за оценку достоверности (объектности). Чем больше ошибка, тем больше будет и штраф.

Возьмем наибольшую величину параметра **--img**, равную 288, и построим для нее графики метрик train/box_loss, train/obj_loss, val/box_loss, val/obj_loss.

Величина метрик train/cls_loss и val/cls_loss будет равна нулю, так как модель будет выбирать единственный указанный класс.

При построении графиков метрик для параметра **--img** 288 для разных размеров параметра **--batch-size** выяснилось, что самой успешной моделью оказалась модель, которая тренировалась с величиной параметра **--batch-size** 4. Величина ошибок данной модели в метриках val/box_loss, val/obj_loss была меньше, чем у других моделей. Это значит, что, получив на вход изображение, которое раньше не встречалось в обучающей выборке, модель смогла наилучшим образом справиться с задачей поиска объектов на изображении.

Также из графиков можно сделать вывод о том, что число эпох обучения можно увеличить чтобы потенциально улучшить результаты. Это можно увидеть, сопоставив графики train/ и val/ (рисунок 2). По мере возрастания эпох данные графики имеют тенденцию к снижению. Но при увеличении числа эпох стоит помнить о явлении переобучения (overfitting) в машинном

обучении [11]. Когда число эпох будет слишком велико, то, начиная с определенной эпохи, может наступить процесс переобучения модели. При переобучении, график обучающей выборки будет продолжать снижаться, а график валидационной выборки начнет возрастать. Это означает, что модель смогла увидеть для себя некоторую закономерность, которая позволяет ей достигать наилучших результатов на обучающей выборке, но при получении изображения из валидационной выборки модель потерпит неудачу, так как данная закономерность не сможет помочь ей справиться с неожиданными для нее задачами.

Определившись с величиной параметров ***--img*** 288 и ***--batch-size*** 4, можем построить поверхности отклика (рисунки 3 и 4).

Выпишем уравнения множественной линейной регрессии для каждого критерия оптимизации, полученные с помощью пакета «STATISTICA» [12]:

Для const ***--img*** 288:

$$mAP(0{,}5) = 0{,}4255 - 0{,}0034 \cdot batch + 0{,}0026 \cdot epoch \quad (8)$$

$$mAP(0{,}5{:}\,0{,}95) = 0{,}1293 - 0{,}0042 \cdot batch + 0{,}0028 \cdot epoch \quad (9)$$

$$val/box_ls = 0{,}0741 + 0{,}0003 \cdot batch - 0{,}0003 \cdot epoch \quad (10)$$

$$val/ob_ls = 0{,}028 + 0{,}0001 \cdot batch - 6{,}2613E - 5 \cdot epoch \quad (11)$$

Для const ***--batch*** 4:

$$mAP(0{,}5) = 0{,}1158 + 0{,}0013 \cdot img + 0{,}0026 \cdot epoch \quad (12)$$

$$mAP(0{,}5{:}\,0{,}95) = -0{,}179 + 0{,}0014 \cdot img + 0{,}0025 \cdot epoch \quad (13)$$

$$val/box_loss = 0{,}0976 - 7{,}9108E - 5 \cdot img - 0{,}0003 \cdot epoch \quad (14)$$

$$val/obj_loss = 0{,}0062 + 6{,}1224E - 5 \cdot img - 2{,}8647E - 5 \cdot epoch \quad (15)$$

Выводы

Таким образом, в данной статье были разобраны метрики, используемые для оценки моделей, проведены сбор и обработка экспериментальных результатов согласно матрице планирования эксперимента, построены поверхности отклика метрик моделей. На основе графиков величины ошибок был сделан вывод о том какая модель оказалась наиболее успешной для выполнения наших задач. Для модели с лучшими результатами также были построены поверхности отклика и получены уравнения множественной линейной регрессии.

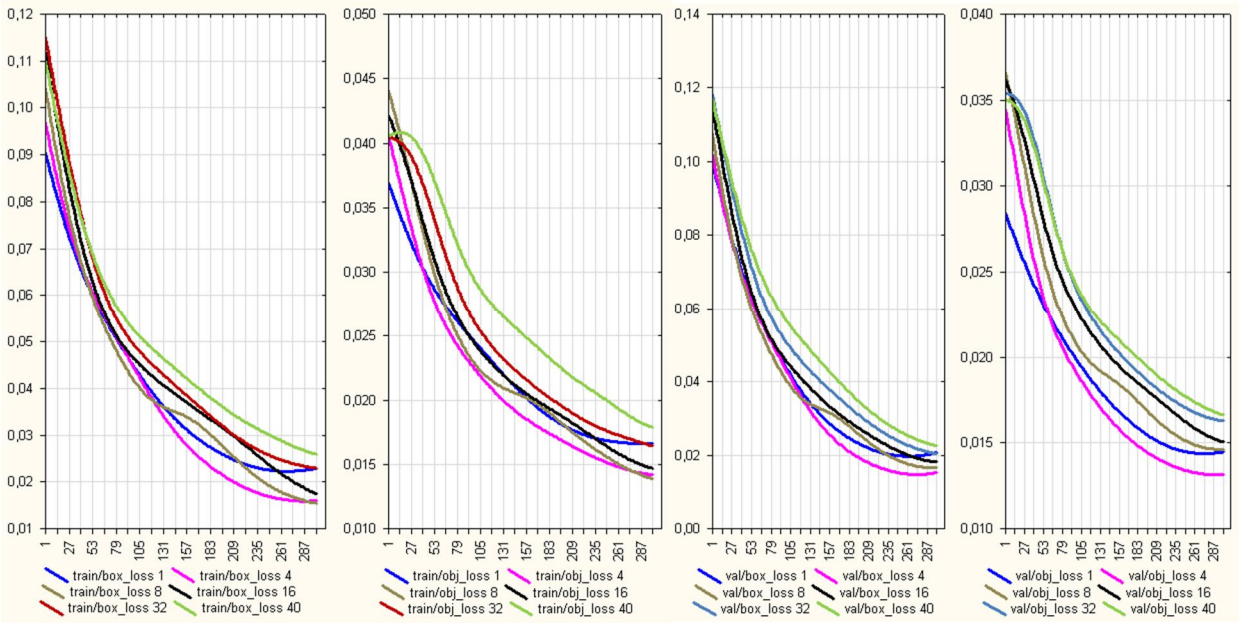


Рисунок 2 – Графики изменения метрик train/box_loss, train/obj_loss, val/box_loss, val/obj_loss для разных размеров --batch-size в зависимости от числа эпох.

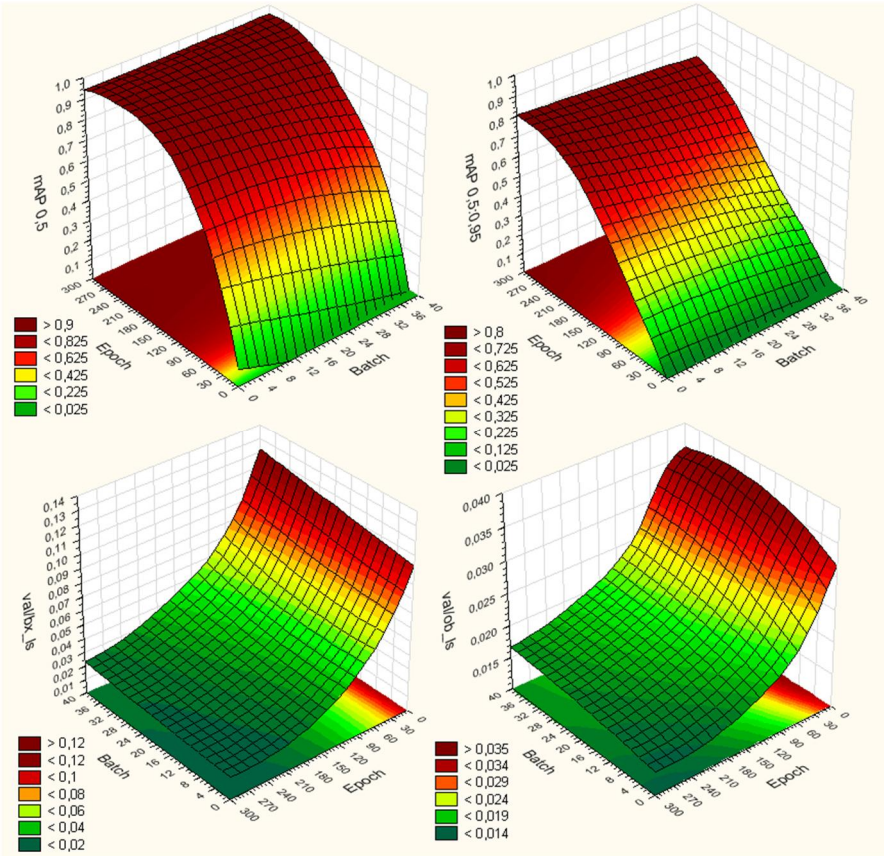


Рисунок 3 – Поверхность отклика метрики $mAP(0,5)$, $mAP(0,5{:}\,0,95)$, val/box_loss, val/obj_loss от параметров --epoch и --batch-size (сплайны, const --img 288).

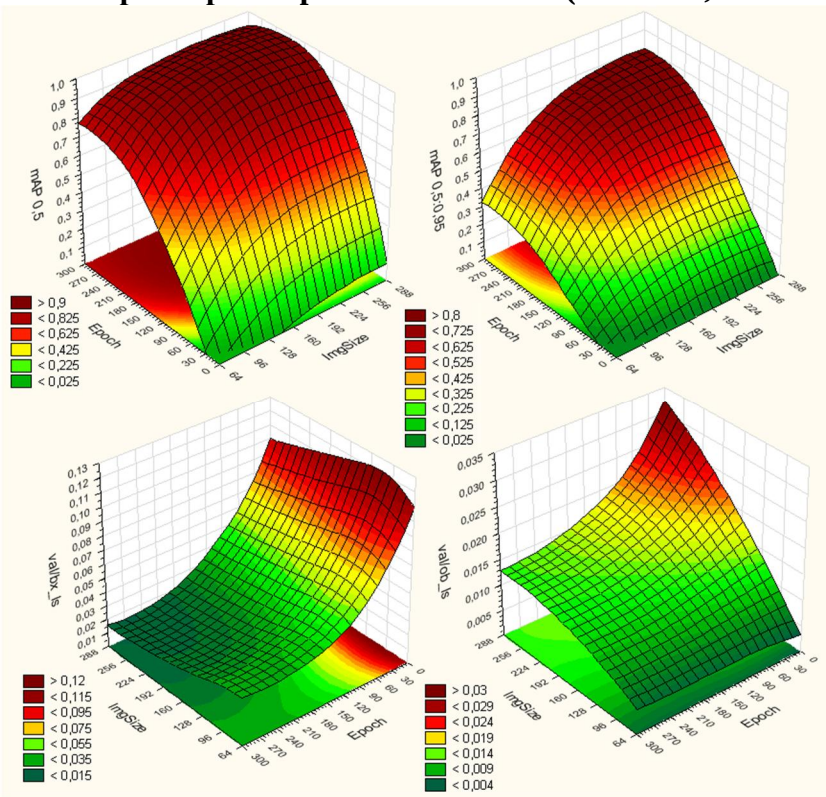


Рисунок 4 – Поверхность отклика метрик $mAP(0,5)$, $mAP(0,5{:}\,0,95)$, val/box_loss, val/obj_loss от параметров --epoch и --img (сплайны, const --batch-size 4).

Список литературы

1. Ерохин Д.Ю. Современные сверточные нейронные сети для обнаружения и распознавания объектов / Д.Ю. Ерохин, М.Д. Ершов // Цифровая Обработка Сигналов. – 2018. – №3 – С.64-69.

2. Бондаренко В.А. Нейросетевой алгоритм полнокадрового распознавания надводных объектов в реальном времени / В.А. Бондаренко, В.А. Павлова, В.А. Тупиков, Н.Г. Холод // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2020. – №1 – С. 188-199.

3. YOLOv5 by ultralytics. [Электронный ресурс] Режим доступа: открытый. URL: https://github.com/ultralytics/yolov5

4. YOLOv5 by ultralytics. Tips for Best Training Results. [Электронный ресурс] Режим доступа: открытый. URL: https://github.com/ultralytics/yolov5/wiki/Tips-for-Best-Training-Results

5. LabelImg by tzutalin. [Электронный ресурс] Режим доступа: открытый. URL: https://github.com/tztalin/labelImg

6. Кузнецова А.А. Условия эффективности роботизированного сбора урожая плодовых культур / А.А. Кузнецова // Известия ВУЗов. Серия «Экономика, финансы и управление производством». – 2020. – № 2 (44). – С. 24-30.

7. Шапиро Л. Компьютерное зрение, 3-е издание: Пер. с англ. / Л. Шапиро, Дж. Стокман. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2015. – 763 с.

8. Everingham Mark. The Pascal Visual Object Classes (VOC) Challenge / Mark Everingham, Luc Van Gool, Christopher K.I. Williams, John Winn, Andrew Zisserman // Internation Journal of Computer Vision. – 2009. – №88 – С. 303-338.

9. YOLOv5 by ultralytics. YOLOv5 (6.0/6.1) brief summary. [Электронный ресурс] Режим доступа: открытый. URL: https://github.com/ultralytics/yolov5/issues/6998

10. Redmon Joseph. YOLOv3: An Incremental Improvement. / Joseph Redmon, Ali Farhadi. // arXiv:1804.02767 [cs.CV]. – 2018. – 6 с. [Электронный ресурс] Режим доступа: открытый. URL: https://arxiv.org/abs/1804.02767

11. Хайкин Саймон. Нейронные сети: полный курс, 2-е издание: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.

12. Боровиков В.П. Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA. Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 288 с.

УДК 621.34

РИСКИ РЕСТРУКТУРИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ ТАДЖИКИСТАНА И ГИПОТЕЗЫ ПО ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ
RISKS OF RESTRUCTURING THE ELECTRIC POWER INDUSTRY OF TAJIKISTAN AND HYPOTHESES FOR THEIR PREVENTION

Авезов Азизулло Хабибович [1,2]
Avezov Azizullo Kh. [1,2]

[1]Политехнический институт Таджикского технического университета имени Академика М.С. Осими, Таджикистан, Худжанд
[1]Polytechnic Institute of the Tajik Technical University named after academician M.S. Osimi, Tajikistan, Khujand
(e-mail: rudobashta@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineeringдля

Аннотация: Рассмотрены возможные риски реструктуризации электроэнергетики Таджикистана и перспективные гипотезы их предупреждения. В качестве мероприятий, определяющих возможные риски рассмотрены: ликвидация вертикально-интегрированной системы электроэнергетики, внедрение тарифного регулирования для привлечения инвестиций, влияние тарифного регулирования электроэнергетики на рост ВВП страны.

Abstract: Possible risks of restructuring the electric power industry in Tajikistan and promising hypotheses for their prevention are considered. The following measures were considered to determine possible risks: the liquidation of a vertically integrated electric power system, the introduction of tariff regulation to attract investment, the impact of tariff regulation of the electric power industry on the growth of the country's GDP.

Ключевые слова: реструктуризация электроэнергетики, вероятностные риски, гипотезы предупреждения, вертикально-интегрированные системы, тарифное регулирование.

Keywords: restructuring of the electric power industry, probabilistic risks, warning hypotheses, vertically integrated systems, tariff regulation.

Реструктуризация в электроэнергетике Таджикистана представляет для страны одну из ключевых проблем. Это связано с тем, что электроэнергетика играет важную роль в развитии всех отраслей экономики страны. Долгое время электроэнергетическая отрасль успешно управлялась централизованно, как вертикально-интегрированное предприятие. В современных экономических реалиях принципы организации конкурентных отношений и развития рынка появились и в электроэнергетике, не до конца учитывая ряд ее технологических и экономических особенностей. Цель статьи заключается в оценке вероятностных рисков реструктуризации в электроэнергетике Таджикистана и определении перспективных путей их предупреждения.

Ликвидация вертикально-интегрированной системы электроэнергетики и их риски. Одна из основных направлений реструктуризации в электроэнергетике, заключается в преобразовании вертикально-интегрированной компании на основе ее дробления на независимые генерирующие, передающие и распределительные предприятия. В последующем, предполагается, что развитие конкуренции среди генерирующих и распределительных предприятий позволит снизить цены и повысить качество обеспечения потребителей электроэнергией. Как показывает анализ мирового опыта реформ в электроэнергетике, очень часто следствием дробления централизованно регулируемой единой системы, на первых порах оказывается сохранение или даже некоторое снижение цены на электроэнергию. Од-

нако затем следует снижение уровня инвестиций и нарастание дефицита. Как следствие дефицита, через несколько лет происходит резкое многократное увеличение тарифов на электроэнергию. Существующая экономическая и финансовая ситуация в электроэнергетике, обуславливает вероятность риска ухудшения ситуации в отрасли, после ликвидации ее вертикально-интегрированной структуры организации управления, без предварительного экономического и финансового оздоровления.

Риск 1. Ликвидация вертикально-интегрированной компании и внедрение в электроэнергетику принципов рыночной конкуренции, при существующем экономическом и финансовом состоянии отрасли, может привести к ухудшению ситуации в энергосистеме.

Альтернативой дробления единой энергосистемы является ее сохранение с введением раздельного учета на уровнях генерации, передачи и сбыта и организацией конкуренции на этих уровнях. После предварительного оздоровления экономической и финансовой ситуации можно будет продолжить реформы, с перспективой объединения генерирующих мощностей в единую энергосистему, по примеру бывшей ЕЭС Центральной Азии. Отсюда, гипотеза альтернативного направления реализации этого этапа реформы выглядит следующим образом.

Гипотеза 1. Предполагается, что сохранение вертикально-интегрированной системы с введением раздельного учета на уровнях генерации, передачи и сбыта и организация конкуренции на этих уровнях, повысит эффективность реструктуризации, по сравнению с дроблением единой системы.

В большей части государств, с развитой рыночной экономикой, например, в большинстве штатов США, Японии, во Франции, в Германии, и др. сохранены вертикально-интегрированные системы. Разделение электроэнергетики на независимые структуры проведено только в отдельных из них: Финляндии, Великобритании, Швеции. Директива Евросоюза по энергетике от 1997 года, ни в коей мере не предписывают ликвидации ВИК.

Вертикально-интегрированные системы несут полную ответственность за энергоснабжение страны или региона. Поэтому они заинтересованы в проведении мероприятий по повышению надежности электроснабжения и энергосбережению у потребителей электроэнергии. С другой стороны, у частных компаний по генерации, передаче и реализации электроэнергии относительно мало стимулов по энергосбережению у потребителей, поэтому ответственность за надежное обеспечение региона электроэнергией в целом практически никто не несет. Конкурентный рынок стимулирует максимальное использование существующих мощностей, создает напряженность в покрытии пиковых режимов графика. Это приводит к высоким ценам на пиковую мощность и электроэнергию [1, с. 24], которые способствуют повышению рентабельности инвестиций при строительстве генерирующих мощностей, но не мотивируют собственников мощностей к созданию их резервов.

Более того, если вертикально-интегрированная система выступает на оптовом рынке электроэнергии как единый субъект, то после ее разделения существенно усложняется координация множества независимых участников рынка. Это дает основания предполагать, что экономические преимущества схемы создания конкурентного рынка, на основе дробления вертикально-интегрированных компаний и внедрением в электроэнергетику принципов рыночной конкуренции не столь очевидны. Такие реформы могут привести к временной потере управляемости отдельными частями электроэнергетики и потребуют дополнительных затрат.

Тарифное регулирование привлечения инвестиций в электроэнергетику. Одной из целей проведения реформ в электроэнергетике является привлечение инвестиций в электроэнергетическую отрасль посредством организации тарифного регулирования. Предварительные оценки показывают, что только для решения первоочередных проблем жизнеобеспечения энергетики Таджикистана необходимы порядка 750-900 млн. долл. А для дальнейшего развития и модернизации существующих и строительства новых ГЭС необходимо 7-9 миллиардов долларов к 2030 году, без учета затрат на завершение строи-

тельства Рогунской ГЭС [2], что выходит далеко за рамки возможностей традиционных финансовых источников.

Реформы предполагают, что основным источником финансирования инвестиций для электроэнергетики Таджикистана, должны явиться частные инвестиции. Поэтому, второй риск реформ связан с вероятностным недобором объема отечественных и зарубежных частных инвестиций для финансирования электроэнергетической отрасли. Риск 2. Вероятностный недобор объема частных инвестиций для финансирования электроэнергетической отрасли для повышения эффективности ее функционирования.

Альтернативой является использование амортизационного фонда и части прибыли, а также привлечение финансовых средств крупных потребителей на взаимовыгодной основе. Гипотеза выглядит следующим образом.

Гипотеза 2. Предполагается, что источниками финансирования инвестиций в электроэнергетику, наряду с существующими, могут стать собственные средства предприятий отрасли, образованные за счет амортизационного фонда и части прибыли, реинвестируемых в основные производственные фонды, после обязательной переоценки последних.

Анализ экономики страны показывает, что в промышленности Таджикистана крайне мало отраслей, которые обеспечили бы себя минимально необходимыми капитальными вложениями даже для простого воспроизводства. Поэтому, в последнее время, почти во всех отраслях реального сектора экономики Таджикистана, имеющих более высокие показатели рентабельности, существует большая конкуренция за инвестиции, обусловленный высоким физическим износом производственных фондов [3]. Из-за высокого спроса на заемный капитал его процентные ставки резко возрастут. Более привлекательными источниками финансирования инвестиций в электроэнергетику могут стать средства предприятий отрасли, формирующиеся за счет собственных накоплений [4, с. 36-37]. Речь идет об амортизационном фонде и части чистой прибыли, реинвестируемых в основные производственные фонды. Для этого, государству необходимо временно освободить от налогов реинвестируемую часть прибыли предприятия, что по форме может рассматриваться как увеличение государственных активов в электроэнергетику. Несобранные налоговые поступления от электроэнергетики будут компенсированы за счет налогов, поступающих от прироста валовых выпусков продукции и услуг других отраслей экономики Таджикистана.

В настоящее время, объемы амортизационных отчислений объектов электроэнергетики не позволяют обеспечить даже простое воспроизводство. Поэтому необходима переоценка основных фондов, что предполагает увеличение амортизационных отчислений в несколько раз. Это позволит электроэнергетике за счет амортизационного фонда и реинвестируемой части прибыли обеспечить финансирование инвестиций в энергетические объекты.

Влияние тарифного регулирования электроэнергетики на рост ВВП страны. Согласно результатам проведенного анализа многих экспертов, существующие тарифы на электроэнергию в Таджикистане не в полной мере покрывают затраты предприятий отрасли для обеспечения ее функционирования и требуют повышения. Однако, поскольку электроэнергетика выполняет системообразующую роль в народном хозяйстве, повышение тарифов на ее продукцию двояко влияет на экономику. С одной стороны, повышение тарифов до определенного уровня, укрепляет финансовое состояние электроэнергетической отрасли, но, с другой, может оказать негативное влияние на экономику в целом. Снижается конкурентоспособность других отраслей экономики, вынужденных повышать цену на свою продукцию для компенсации дополнительных расходов на электроэнергию, усиливаются процессы инфляции, что может иметь обратный эффект для самой электроэнергетики и т.д. В этой связи, чрезвычайно важен всесторонний анализ влияния повышения изменение тарифов на электроэнергию на развитие национальной экономики. Альтернативой является использование собственных средства предприятий отрасли, образованных за счет амортизационного фонда и части прибыли. Гипотеза альтернативного направления привлечения инвестиций выглядит следующим образом.

Гипотеза 3. Предполагается, что в условиях Таджикистана, повышение тарифов на

электроэнергию, при прочих равных условиях, приведет к сокращению производства, а стабилизация или снижение тарифов на электроэнергию, наоборот, обусловит рост объемов производства.

Экономическая сущность регулирования тарифов есть изменение ценовых пропорций, обусловливающих перераспределение добавленной стоимости, создаваемой в экономике. Поскольку все отрасли национальной экономики сложным образом связаны друг с другом, изменение цен в одной из них вызывает цепную реакцию изменения цен на продукцию в других отраслях. Наиболее адекватным инструментом исследования результатов изменения ценовых пропорций в экономике, на сегодня, является модель В. Леонтьева или матрица межотраслевого баланса «затраты – выпуск» [4; 5]. В общем виде, для каждой отрасли экономики с i = 1,2,3, …n отраслями, уравнение модели «затраты – выпуск» имеет вид (1):

$$\boldsymbol{x_i} = \sum_{\boldsymbol{j=1}}^{\boldsymbol{n}} \boldsymbol{x_{ij}} + \boldsymbol{y_i} \qquad (1)$$

где: x_i – отрасль i экономики, состоящей из i = 1, 2, 3, …n отраслей; x_{ij} – это затраты продукции отрасли i на производство продукции вида j; y_i – конечное потребление отрасли i.

В рамках межотраслевого баланса принята гипотеза о прямой пропорциональности затрат и выпуска в рамках отдельной отрасли, или $x_{ij} = a_{ij}X_j$, где a_{ij} – коэффициент прямых затрат, удельный расход материальных ресурсов вида i на производство единицы продукции вида j [5].

Качественный анализ этой модели показывает, что если цены на продукцию отрасли растут, и вся продукция этой отрасли потребляется другими отраслями, то номинальное приращение доходов этой отрасли равно сумме сокращений доходов в остальных отраслях. Но в реальности, часть продукции отрасли, попадает в конечное потребление, поэтому прирост доходов этой отрасли превышает сокращение доходов отраслей потребителей. В то же время, рост промежуточного и конечного спроса, в реальном выражении, проявляется тогда, когда расходы конечных потребителей опережают рост цен.

Модель В. Леонтьева позволяет выявить результаты взаимодействия размера производства, доходов и цен. Здесь очень важен анализ взаимоотношений промежуточного потребления и добавленной стоимости, возникающих в результате ценовых изменений [4, с. 37]. При этом важно, что суммарная добавленная стоимость в экономике увеличивается быстрее суммарных материальных затрат (в текущих ценах) только в том случае, если доля конечной продукции отрасли в ее валовом выпуске выше среднего значения. Иными словами, эта доля должна быть выше, чем доля в совокупном валовом выпуске ВВП. Тогда возникает импульс к росту производства, поскольку доходы растут быстрее цен на затрачиваемые ресурсы.

В электроэнергетике ситуация совершенно иная: доля конечного продукта электроэнергетики в ее валовом выпуске значительно ниже среднего уровня. Поэтому рост тарифов, при прочих равных условиях, приведет к сокращению производства, а снижение тарифов на электроэнергию, наоборот, способно обусловить рост производства. В работах российских и зарубежных энергетиков доказано, что рост тарифов на электроэнергию снижает темпы роста ВВП, поскольку доля добавленной стоимости в продукции электроэнергетики ниже, чем в среднем по экономике. Например, это было подтверждено в результате анализа взаимосвязи развития экономики и изменения тарифов за прошлые годы в России.

Таким образом, исследование позволяет заключить, что накопившиеся проблемы в электроэнергетической отрасли Таджикистана обусловливают высокую актуальность проведения ее реструктуризации. Проведению реструктуризации должен предшествовать глубокий анализ причин нынешнего состояния отрасли и, особенно, ее финансового состояния. Невыполнение этого, грозит повторением совершенных ошибок и возврату к существующей состоянию в более усугубленной ситуации. Проблемы реструктуризации в электроэнергетике Таджикистана весьма актуальны и требуют дальнейших глубоких исследований

и практических проработок.

Список литературы

1. Кузовкин А.И. Энергетический кризис и энергореформа в России: конкуренция вместо надежности // Проблемы прогнозирования. 2006. № 2.

2. Кариас А., Лиан Г., Каду Ч., Мани А. Таджикистан. Генеральный план развития энергетического сектора. Региональный проект по передаче электроэнергии. Улучшение операционной деятельности сектора. Т 1. Душанбе, 2017. 253 с.

3. Некрасов А.С., Синяк Ю.В., Узяков М.Н. Электроэнергетика России: экономика и реформирование // Проблемы прогнозирования. 2001. № 5.

4. Суворов П. А. Метод «Затраты-Выпуск» как инструмент оценки макроэкономической эффективности инновационно-инвестиционных проектов. Автореф. дисс. на соиск. … канд. экон. наук. Москва, 2014.

5. Авезов А.Х., Рахими Ш. Конкурентоспособность региона и метод ее оценки. Вестник Череповецкого государственного университета. 2013. № 1-1 (45). С. 62-65.

УДК 620.22

ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В СОЗДАНИИ КЛЮЧЕВЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
APPLICATION OF MODERN COMPOSITE MATERIALS IN THE CREATION OF KEY STRUCTURAL PARTS OF UNMANNED AIRCRAFT VEHICLES

Комротов Иван Сергеевич [1], Челноков Виталий Вячеславович [1,2], Аверина Юлия Михайловна [1,2]
Komrotov Ivan S. [1], Chelnokov Viyaliy V. [1,2], Averina Julia M. [1,2]

[1]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия, Москва
[1]D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: uzbekovruslan01@yandex.ru)

Аннотация: Рассмотрена значимость и преимущество композитных материалов в дроностроении, а также их применение в различных компонентах беспилотных летательных аппаратов.

Abstract: The importance and advantage of composite materials in drone engineering, as well as their use in various components of unmanned aerial vehicles, are considered.

Ключевые слова: Композитные материалы, беспилотные летательные аппараты, дроностроение, углеволокно, арамид.

Keywords: Composite materials, unmanned aerial vehicles, drone construction, carbon fiber, aramid.

С развитием технологий и расширением применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или дронов, возникает необходимость в поиске и разработке материалов, способных оптимизировать характеристики этих устройств. Композитные материалы, состоящие из различных компонентов, представляют собой перспективное направление в области материаловедения и инженерии. Их уникальные свойства, такие как прочность, легкость и гибкость дизайна, делают их идеальным выбором для применения в дроностроении. Давайте рассмотрим, какие преимущества они приносят и каким образом применяются в данной области.

Преимущества использования композитных материалов для БПЛА:

Легкий вес и высокая прочность: композитные материалы, такие как углеродные и стекловолокна, обеспечивают высокую прочность конструкции при небольшом весе. Это позволяет значительно уменьшить общий вес дрона, что, в свою очередь, способствует увеличению времени полета и маневренности.

Аэродинамическая эффективность: композитные материалы позволяют создавать сложные аэродинамические формы, оптимизированные для уменьшения сопротивления воздуха. Это существенно повышает эффективность дронов, улучшая их скорость и стабильность в полете [1].

Коррозионная стойкость: в отличие от металлических материалов, композиты устойчивы к коррозии. Это делает их идеальным выбором для использования в условиях переменных погодных условий и повышенной влажности.

Электромагнитная прозрачность: композитные материалы могут быть спроектированы с учетом электромагнитной прозрачности, что позволяет успешно интегрировать различные электронные компоненты и устройства в корпус дрона.

Энергосбережение: благодаря низкому весу композитных материалов уменьшается энергозатраты дрона, что ведет к увеличению времени полета и эффективному использованию энергии [2].

Гибкость конструкции: применение композитных материалов обеспечивает возможность создания деталей различной сложности и формы, что способствует индивидуализации и оптимизации конструкции дрона.

Устойчивость к ударам и вибрациям: композитные материалы поглощают удары и вибрации, снижая воздействие на внутренние компоненты дрона и повышая его надежность и долговечность.

Сами композитные материалы представляют собой соединение двух или более различных типов материалов, которое позволяет создавать новые материалы с улучшенными свойствами. В контексте БПЛА особенно важным является сочетание углеродных волокон, стекловолокна, арамидных волокон и матрицы из полимеров.

Виды композитных материалов, используемых в БПЛА:

Углеродные композиты: Углеродные композиты являются одними из наиболее распространенных материалов в дроностроении. Они отличаются высокой прочностью и низким весом, что делает их идеальным выбором для обеспечения легкости и прочности конструкции БПЛА.

Стекловолоконные композиты: Стекловолоконные композиты обладают хорошей прочностью и устойчивостью к коррозии. Они могут быть использованы в различных частях дрона для обеспечения долговечности и устойчивости к агрессивной среде.

Арамидные (кевларовые) композиты: Арамидные волокна, такие как кевлар, обладают высокой прочностью и устойчивостью к ударам. Использование арамидных композитов может усилить защитные характеристики дрона, особенно в военных и безопасностных приложениях [3].

Нанокомпозиты: Эти композиты содержат наночастицы, усиливающие механические и термические свойства материала. Их использование может значительно улучшить производительность и эффективность БПЛА.

Применение композитных материалов в конструкции БПЛА:

Конструкцию БПЛА можно поделить на 3 ключевых части: Корпус, крылья или винты, структурные элементы.

В корпусе и обшивке Беспилотных Летательных Аппаратов (БПЛА) используются в основном 3 типа композитных материалов и их комбинаций, включая углеродные композиты, стекловолоконные композиты и арамидные (кевларовые) композиты. Выбор конкретного материала зависит от требований к конструкции, бюджета, предполагаемых условий эксплуатации и прикладной области:

1. Углеродные композиты предоставляют выдающуюся прочность и жесткость при невысоком весе. Их высокая прочность и низкий коэффициент теплового расширения делают их отличным выбором для корпусов и обшивки, особенно для высокопроизводительных БПЛА. Эти материалы устойчивы к коррозии и обеспечивают отличные аэродинамические характеристики, что важно для максимизации производительности и эффективности полета.

2. Стекловолоконные композиты обладают большей прочностью, а также могут быть более экономически выгодными по сравнению с углеродными композитами и часто используются в корпусах и обшивке легких коммерческих БПЛА. Они также подходят для задач, где требуется устойчивость к агрессивным средам.

3. Арамидные волокна, такие как кевлар, обладают высокой прочностью и способностью амортизировать удары. Их применение может быть важным в военных целях для защиты от механических повреждений и воздействия вибраций. Кевларовые композиты также могут быть полезными в области баллистической защиты [4].

Корпус БПЛА требует высокой прочности для защиты внутренних компонентов и

обеспечения его надежности. Можно выделить что для корпуса важны следующие параметры:

Прочность и жесткость: Корпус БПЛА требует высокой прочности для защиты внутренних компонентов и обеспечения его надежности.

Легкий вес: Легкий вес корпуса имеет большое значение для общей эффективности БПЛА. Экономия веса в корпусе способствует увеличению времени полета и эффективности энергопотребления.

Электромагнитная прозрачность: В некоторых случаях, особенно в коммерческих и военных БПЛА, требуется, чтобы корпус был электромагнитно прозрачным для обеспечения работы радиосвязи и навигационных систем. Подходящие композиты должны учитывать этот аспект.

Выбор конкретного композитного материала в корпусе и обшивке БПЛА зависит ещё от множества других факторов, включая аэродинамические характеристики, условия эксплуатации и конкретное предназначение летательного аппарата и чаще всего желаемого результата можно достичь путём комбинирования нескольких композитов [5].

Материалы для винтов и крыльев БПЛА в свою очередь должны обеспечивать высокую прочность и жесткость для эффективной аэродинамики, и оптимизации эффективности воздушного потока. Углеродные композиты часто предпочтительны благодаря своей выдающейся прочности и устойчивости к деформациям. Хотя для крыльев БПЛА самолетного типа фактор электромагнитной прозрачности остаётся всё ещё важным. Винты в свою очередь подвергаются механическим напряжениям, включая удары и вибрации. Композиты, такие как углеродные, способны обеспечить высокую устойчивость к ударам и вибрациям, что повышает надежность и долговечность лопастей. Общим для обоих случаев является стремление к созданию легких и прочных конструкций.

Структурные элементы БПЛА: При выборе материалов для структурных элементов БПЛА также учитывается баланс прочности и лёгкости и электромагнитные характеристики, однако более подробно обращают внимание на такие характеристики как:

Модуль упругости: Это характеристика, определяющая способность материала упруго деформироваться под воздействием нагрузок и возвращаться к исходной форме.

Усталостная прочность: Это параметр, оценивающий устойчивость материала к повторяющимся нагрузкам и циклическим деформациям, что особенно важно для летательных аппаратов.

Способность к формовке и обработке: Учитывается возможность формовки и обработки материала с учетом конструктивных особенностей.

Такими характеристиками обладают углеродные композиты, а также их комбинации с другими композитами [6].

Таким образом применение композитных материалов в дроностроении открывает новые возможности для создания легких, прочных и высокоэффективных беспилотных летательных аппаратов. Это направление интенсивно развивается, и будущее дронов будет неразрывно связано с инновациями в области композитных материалов, открывая путь к созданию более эффективных, функциональных и устойчивых технологий.

Список литературы

1. Бедилов О.Т., Ганихонов А.А. Применение композиционных материалов в конструкциях летательных аппаратов // Теория и практика современной науки. 2022. – №12(90) – С.115-119.

2. Величко Я.В., Чирков П.Р. Анализ перспектив применения композиционных материалов при производстве современных летательных аппаратов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2017. – №13 – С. 458-460.

3. Медведева Г.С., Иванов В.А., Спицын А.Е. Анализ характеристик композитных материалов, используемых в авиастроении // Решетневские чтения. 2016. – №20 – С. 509-510.

4. Баранов М.И. Антология выдающихся достижений в науке и технике. Часть 41:

композиционные материалы: их классификация, технологии изготовления, свойства и области применения в современной технике // EiE. – 2017. – №6 – С. 3-13.

5. Крылов Е.Д., Лопатин А.В. Методика проектирования конструкций беспилотных летательных аппаратов из композиционных материалов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2013. – №9 – С. 96-97.

6. Подтелкина О.А. Применение композиционных материалов при конструировании беспилотных летательных аппаратов / О.А. Подтелкина // Современные научные исследования и инновации. – 2018. – № 11(91). – С. 9.

УДК 539.434:677.494

ЦИФРОВОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
DIGITAL PREDICTION OF DEFORMATION PROCESSES OF POLYMER TEXTILE MATERIALS

Демидов Алексей Вячеславович, Макаров Авинир Геннадьевич
Demidov Alexey Vyacheslavovich, Makarov Avinir Gennadievich

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна
Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
(e-mail: rector@sutd.ru, makvin@mail.ru)

Ключевые слова: полимерные материалы, деформационные процессы, прогнозирование, эксплуатационные свойства, конкурентоспособность

Keywords: polymer materials, deformation processes, forecasting, operational properties, competitiveness

Традиционно прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов сталкивается с определенными объективными трудностями, вызванными неоднородностью реологической структуры указанных материалов.

Широкое применение полимерных текстильных материалов в различных отраслях техники – от полимеров бытового назначения до обшивки космических ракет и глубоководных аппаратов – диктует необходимость разработки современных методов прогнозирования повышенной точности их функциональных свойств, включая различные деформационно-релаксационные процессы.

Разработка новых цифровых методов прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов обосновывается необходимостью проектирования новых инновационных изделий на основе указанных материалов, обладающих требуемой функциональностью и повышенной конкурентоспособностью.

Основной целью прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов является определение их функциональности [1]. Поэтому, чем точнее будет прогноз, тем более достоверной будет информация о функциональных свойствах указанных материалов.

Прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов традиционно проводится на основе классических определяющих интегральных соотношений типа Больцмана-Вольтерра нелинейно-наследственного типа с различными интегральными ядрами [2].

При этом основными объективными трудностями, встречающимися при таком прогнозировании, является то, что, интегральные ядра, идеально подходящие для прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов одной макроструктуры и некоторого компонентного состава, совсем не подходят для прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных материалов другой макроструктуры или другого компонентного состава.

Поэтому критерием достоверности и точности указанного прогнозирования деформационных процессов является, в основном, выборочный эксперимент [3].

Основными деформационными процессорами полимерных текстильных материалов, определяющими их функциональность, являются релаксационный процесс и процесс ползучести.

Классические методы прогнозирования релаксационных процессов и процессов

ползучести полимерных материалов основаны на численном решении интегральных определяющих уравнений типа Больцмана-Вольтерра с различными интегральными ядрами [4].

Определяющее уравнение Больцмана-Вольтерра для прогнозирования релаксационного процесса, представляющего собой временной процесс изменения напряжения в полимерном материале вследствие приложенной к материалу деформации, имеет вид [5]

$$\sigma_t = E_0 \cdot \varepsilon_t - (E_0 - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_{t-s} \cdot \frac{\partial \phi_{\varepsilon s}}{\partial s} \cdot ds, \quad (1)$$

где ε_t – деформация, меняющаяся во времени t, σ_t – напряжение, меняющееся во времени t, E_0 – модуль упругости, E_∞ – модуль вязкоупругости, $\phi_{\varepsilon t} \in (0;1)$ – релаксационная функция, составляющая основу интегрального ядра релаксации $\frac{\partial \phi_{\varepsilon t}}{\partial t}$.

Аналогично, определяющее уравнение Больцмана-Вольтерра для прогнозирования процесса ползучести, представляющего собой временной процесс изменения деформации полимерного материала вследствие приложенного к материалу напряжения, имеет вид [6]

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E_0} \cdot \sigma_t + \left(\frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0}\right) \cdot \int_0^t \sigma_{t-s} \cdot \frac{\partial \phi_{\sigma s}}{\partial s} \cdot ds \quad (2)$$

где $\phi_{\sigma t} \in (0;1)$ – функция запаздывания (ползучести), составляющая основу интегрального ядра запаздывания $\frac{\partial \phi_{\sigma t}}{\partial t}$.

Развиваемое авторами научное направление по математическому моделированию, системному анализу и расчетному прогнозированию деформационно-релаксационных функциональных свойств полимерных материалов предполагает использование в качестве релаксационных функций и функций запаздывания одну из следующих нормированных функций [7]

$$\phi_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{a^{-1} \cdot ln(t/\tau)} e^{-z^2/2} dz - \quad (3)$$

ИВ (интеграл вероятностей, характеризующий нормальное распределение);

$$\phi_t = \frac{1}{2}\left(1 + th\left(\frac{A}{2} ln \frac{t}{\tau}\right)\right) = \left(1 + \left(\frac{t}{\tau}\right)^{-A}\right)^{-1} - \quad (4)$$

ГТ (гиперболический тангенс);

$$\phi_t = 1 - e^{-(t/\tau)^k} - \quad (5)$$

ФК (функция Кольрауша, не обладающую центрально-симметричным графиком, в отличие от ИВ и ГТ, но имеющую относительно простой вид);

$$\phi_t = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arctg\left(\frac{1}{b} ln \frac{t}{\tau}\right) - \quad (6)$$

НАЛ (нормированный арктангенс логарифма, характеризующий вероятностное распределение Коши).

Здесь: a, A, k, b – параметры интенсивности релаксационных процессов или процессов ползучести, t/τ – приведенное время.

Наличие нескольких различных видов релаксационных функций и функций запаздывания оправдано, так как позволяет получать результаты прогнозирования деформационных процессов, независящие друг от друга.

Прогнозируемые деформационные характеристики, получаемые усреднением характеристик, определенных с использованием разных математических моделей, обладают более высокой степенью достоверности, чем характеристики, определенные с использованием одной математической модели [8].

Частным случаем релаксационного процесса является процесс простой релаксации, в котором значение деформации полимерного материала остается постоянным ($\varepsilon = const$).

Для случая простой релаксации уравнение (1) упрощается к виду [9]

$$\sigma_t = E_0 \cdot \varepsilon - (E_0 - E_\infty) \cdot \varepsilon \cdot \phi_{\varepsilon t} \quad (7)$$

или

$$\frac{\sigma_t}{\varepsilon} = E_{\varepsilon t} = E_0 - (E_0 - E_\infty) \cdot \phi_{\varepsilon t}, \quad (8)$$

где $E_{\varepsilon t}$ – модуль релаксации полимерного материала.

Частным случаем процесса ползучести является процесс простой ползучести, в котором значение приложенного напряжения к полимерному материалу остается постоянным ($\sigma = const$).

Для случая простой ползучести уравнение (2) упрощается к виду [10]

$$\varepsilon_t = \frac{1}{E_0} \cdot \sigma + \left(\frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0}\right) \cdot \sigma \cdot \phi_{\sigma t} \quad (9)$$

или

$$\frac{\varepsilon_t}{\sigma} = D_{\sigma t} = \frac{1}{E_0} + \left(\frac{1}{E_\infty} - \frac{1}{E_0}\right) \cdot \phi_{\sigma t}, \quad (10)$$

где $D_{\sigma t}$ – податливость полимерного материала.

Разрабатываемую методологию расчетного прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов проиллюстрируем на примере полиэфирной текстильной нити (рис. 1), изготовленной из полиэфирных волокон (рис. 2).

Выбор объекта исследования не случаен. Приведенное на рис. 2 полиэфирное волокно считается наноразработкой, технология его производства позволила получить материал с множеством полезных свойств.

Полиэфирное волокно непрозрачно, эластично, пропускает воздух, поглощает влагу. Оно отличается мягкостью, не сбивается в комки, гипоаллергенено, биостойкое, устойчиво к загрязнениям, практически не накапливает статическое электричество и т.д. [11].

Полиэфирные волокна широко применяются в текстильном производстве. Они используются не только для изготовления одежды, но и в качестве сырья при изготовлении материалов медицинского, санитарно-гигиенического назначения. Применение микроволокна позволяет создавать уникальную одежду для спорта, эффективные изделия по уходу за кожей.

Химически полиэфирные волокна являются результатом взаимодействия двухатомного спирта этиленгликоля и терефталевой кислоты.

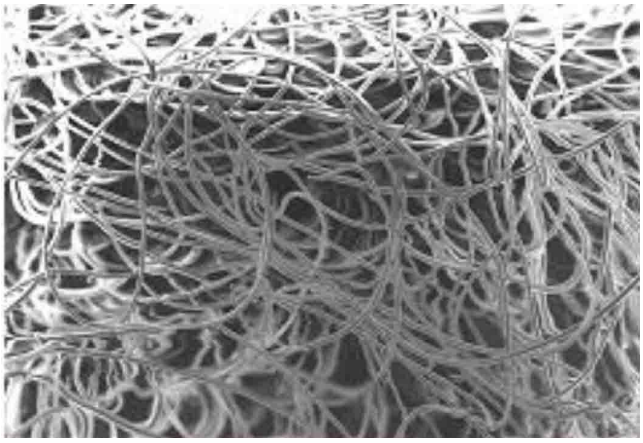


Рисунок 1 – Фотография изготовленной из полиэфирного волокна полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс

Рисунок 2 – Фотография полиэфирного волокна – сырья для изготовления полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс

Сложная полимеризационная реакция позволяет получить белые или прозрачные кристаллы, основным свойством которых является вязкость при нагревании. Именно таким способом получают полиэфирное волокно из химического вещества.

Материал изготавливается при температуре выше 260°С. Это позволяет впоследствии гарантировать стабильность изделий из полиэфирных волокон. Они выдерживают кипячение, большинство видов современной стерилизации материалов [12].

Полиэфирные волокна и материалы, изготовленные из них, во многом по текстильным и техническим характеристикам превосходят искусственные волокна иной природы и способа производства. Они являются полностью синтетическими. Это делает их универсальными в аспекте медицинского применения.

Сами по себе полиэфирные волокна и изготовленные из них изделия не являются питательной средой для микроорганизмов. Применение таких материалов позволяет существенно снизить риск инфицирования при проведении манипуляций и хирургических операций [13].

Полиэфирное волокно – материал, который произвел качественную революцию в текстильной промышленности. Его не случайно называют "синтетическим волокном №1" и "материалом 21 века".

Объемы применения этого типа волокна постоянно увеличиваются, так как композиции с ним позволяют придать готовой продукции целый «букет» потребительских признаков высшего порядка: не только оптимальное соотношение цены и качества, но и современную эстетику, длительную эксплуатацию, антибактериальную чистоту [14].

Ни один из натуральных и известных химических материалов не обладает таким качественным набором, как волокно из полиэфира.

На рис. 3 представлено полученное экспериментально семейство модуля релаксации полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс.

Из рис. 3 видно, что кривые семейства модуля релаксации обладают свойством деформационно-временной аналогии, то есть при увеличении деформации линии кривых сдвигаются в сторону малых времен без изменения своей формы [15].

На рис. 4 представлено полученное экспериментально семейство кривых податливости полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс.

Из рис. 4 видно, что кривые семейства податливости обладают свойством сило-временной аналогии, то есть при увеличении напряжения линии кривых сдвигаются в сторону малых времен без изменения своей формы [16].

Об уравнениях, описывающих процессы релаксации (1) и ползучести (2) можно сказать, что они являются альтернативными друг для друга, хотя при этом нельзя отдать преимущество какому-нибудь одному из них [17].

Прогнозирование эксплуатационных процессов одноосно ориентированных полимерных материалов имеет определяющее значение для определения их функциональности. Чем точнее и надежнее будет такое прогнозирование, тем более достоверная информация будет получена о функциональных свойствах того или иного материала [18].

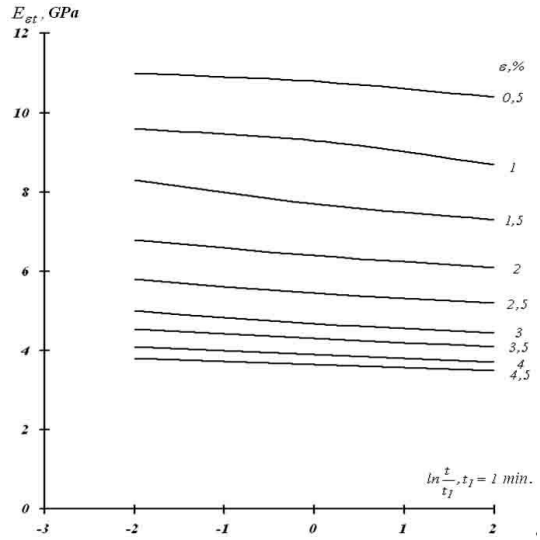


Рисунок 3 – Семейство модуля релаксации полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс для различных значений деформации

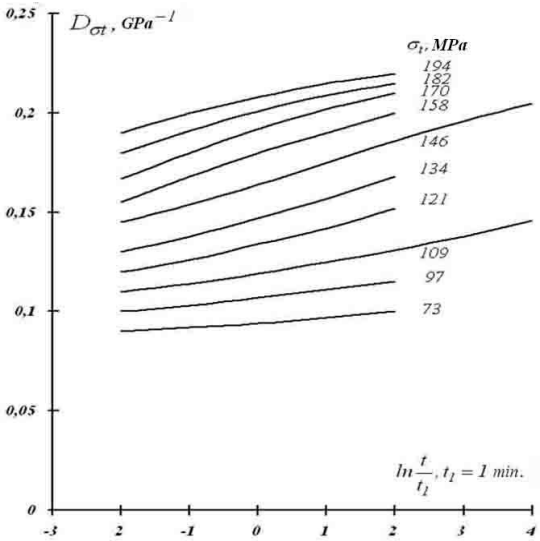


Рисунок 4 – Семейство податливости полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс для различных значений деформации

Прогнозирование эксплуатационных процессов является главенствующим направлением и может быть использовано методами цифровой экономики по проектированию структур новых материалов, обладающих заданной функциональностью [19].

Так, например, имея цифровую библиотеку виртуальных аналогов образцов полимерных материалов и их функциональных свойств, значительно проще проектировать новые материалы с конкретной функциональностью [20].

В силу сказанного, повышению точности расчетного прогнозирования эксплуатационных процессов полимерных материалов, основными из которых являются процессы релаксации и ползучести, уделяется особое внимание.

Таким образом, предложенная методология цифрового прогнозирования деформационных процессов полимерных текстильных материалов, основанная на использовании принципов деформационно-временной и сило-временной аналогий при аппроксимации экспериментальных семейств релаксации и ползучести нормированными функциями, близкими к нормальному распределению и распределению Коши, позволяет с достаточной точностью прогнозировать указанные процессы [21].

Разработанные методы направлены на повышение конкурентоспособности одноосно-ориентированных полимерных материалов, а также на проектирование новой инновационной продукции, обладающей требуемой функциональностью.

Список литературы

1. Переборова Н.В. Цифровое прогнозирование деформационных режимов эксплуатации полимерных волокнистых материалов//Химические волокна, 2022, № 2, с. 18-21.

2. Н.В. Переборова. Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2022, № 2, с. 93-98.

3. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности//Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 1, с. 154-160.

4. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Овсянников Д.А. Цифровое прогнозирование эксплуатационных процессов полиамидных тканей для куполов парашютов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 5-10.

5. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 19-26.

6. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 27-32.

7. Переборова Н.В., Козлов А.А. Математическое моделирование и прогнозирование эксплуатационных процессов арамидных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 114-119.

8. Переборова Н.В., Киселев С.В. Спектральное моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 39-44.

9. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Титова Л.В. Решение задачи повышения качества и конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 5-9.

10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 16-22.

11. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Определение компонентов деформации полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 34-37.

12. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 74-78.

13. Киселев С.В., Переборова Н.В., Титова Л.В., Климова Н.С. Влияние степени крутки швейных полиэфирных нитей на их деформационные свойства// Химические волокна, 2021, № 3, с. 23-27.

14. Буряк Е.А., Климова Н.С., Переборова Н.В., Титова Л.В. Математическое моделирование вязкоупругих свойств швейных армированных полиэфирных нитей// Химические волокна, 2021, № 4, с. 3-7.

15. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Овсянников Д.А., Волкова И.Н. Оптимизация выбора математической модели для прогнозирования деформационных процессов полимерных материалов// Химические волокна, 2021, № 4, с. 11-13.

16. Переборова Н.В., Климова Н.С., Малюков Ю.А., Зурахов В.С. Математическое моделирование деформационных и релаксационных процессов полимерной пряжи//Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 7-13.

17. Литвинов А.М., Козлов А.А., Климова Н.С., Переборова Н.В. Разработка методов компьютерного анализа деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 82-87.

18. Климова Н.С., Литвинов А.М., Переборова Н.В., Киселев С.В. Спектральная интерпретация деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 1, с. 100-105.

19. Переборова Н.В., Вагнер В.И., Козлов А.А., Киселев С.В. Разработка математических моделей вязкоупругости полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2021, № 2, с. 110-114.

20. Переборова Н.В., Климова Н.С., Литвинов А.М., Агеева Е.А. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 2, с. 41-51.

21. Переборова Н.В., Козлов А.А., Киселев С.В. Математическое моделирование эксплуатационных свойств полимерных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1. Естественные и технические науки, 2021, № 4, с. 28-33.

УДК 69.005

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАВИСИМОСТИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ ЭКОНОМИКИ И ЕЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО СЕКТОРА ОТ ВВЕДЕННЫХ ПРОТИВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

GENERAL CHARACTERISTICS OF THE DEPENDENCE OF THE DOMESTIC CONSTRUCTION ECONOMY AND ITS MANUFACTURING SECTOR ON THE SANCTIONS IMPOSED AGAINST THE RUSSIAN FEDERATION

Кротов Александр Евгеньевич[1], Швейдель Александр Григорьевич [2]
Krotov Aleksandr E. [1], Shveidel Aleksandr G. [2]

[1] Национальный исследовательский университет «Московский государственный строительный университет», Россия, Москва
[1]National Research University "Moscow State University of Civil Engineering", Russia, Moscow
(e-mail: krotovae@mos.ru)
[2]ООО «Континент», Россия, Москва
[2]OOO "Kontinent", Russia, Moscow
(e-mail: shveydelalex@mail.ru)

Аннотация: В статье дана общая характеристика зависимости отечественной строительной экономики и ее производственного сектора от введенных против Российской Федерации санкционных ограничений со стороны США, Европейского Союза и ряда примкнувших к ним государств. Особое внимание уделено динамики развития в секторе строительных высокотехнологического оборудования и материалов с учетом влияния политики импортозамещения.

Abstract: The article provides a general description of the dependence of the domestic construction economy and its production sector on the sanctions restrictions imposed against the Russian Federation by the United States, the European Union and a number of states that have joined them.

Ключевые слова: экономика, санкции, потребление, производственный сектор, импортозамещение, отсутствие квалифицированных кадров.

Keywords: economy, sanctions, consumption, manufacturing sector, import substitution, lack of qualified personnel.

Руководство Российской Федерации неоднократно подчеркивало не правовой характер введенных против страны санкций. Как отмечал Президент Российской Федерации В.В. Путин, односторонние санкции являются контрпродуктивными: не соответствуя нормам международного права, они не только не служат декларированной цели, но и наносят несомненный вред России и ее зарубежным партнерам, принявшим ограничительные меры в политической и экономической сферах [1].

Приверженность России парадигме устойчивого и сбалансированного социально-экономического развития в условиях процессов глобализации мировой экономики, подтвержденная ее вступлением во Всемирную Торговую Организацию (ВТО) и интенсификацией программ международного сотрудничества, безусловно, испытывает в настоящее время, в связи с введенными против государства санкционными ограничениями, серьезные испытания, вызывающие необходимость применения контрмер. Беспрецедентные меры принуждения в этих условиях носят откровенно недружественный характер и имеют все

признаки недобросовестной конкурентной борьбы за наиболее важные ресурсы развития в глобальной экономике [2]. Становится очевидным, что масштабная государственная поддержка развитыми странами экономической экспансии международных производственных и строительных компаний (крупнейшие международные строительные корпорации и объединения, являясь транснациональными по статусу, контролируются конкретными национальными элитами, следуя общей логике отстаивания интересов государственной политики и стратегии развития), а также использование в государственных интересах инструментария концепции сетецентрического управления, осуществляется с целью получения экономических преференций и формирования новых разграничений рынков ресурсов и материалов в рамках соглашений о разделе сфер влияния.

В этом смысле односторонние санкции против России, введенные *по поводу* событий на Украине в 2022 году, сформированы и реализованы *целенаправленно* по плану разрушения потенциала конкурентного центра силы на международной арене, что привело к изменениям в строительном секторе, показаны на рисунке 1.

Сбалансированное развитие отношений России с Европейским Союзом (ЕС) и Китаем создавало ощущение угрозы для США, которые по причине более сильных политических и военных рычагов воздействия на европейских союзников предприняли попытку первоначально разрушить стратегическое партнерство Западной Европы и России (имеющих между собой существенно больший объем торгово-экономических связей по сравнению с российско-американским экономическим сотрудничеством). Можно предположить, что *одновременное* разрушение российско-китайских экономических связей (динамично развивавшийся и до кризиса на Украине потенциал сотрудничества в условиях санкционного давления на Российскую Федерацию естественным образом стал наращиваться еще более интенсивно) было наиболее желательной целью, но ее достижение могло бы оказаться слишком затратным и рискованным для американской администрации. В вопросе влияния на Россию противостояние с Китаем, являющимся не только ключевым экономическим партнером и крупнейшим кредитором США, но крупнейшей по паритету покупательной способности экономикой мира, в связи с этим не стало приоритетной задачей. Однако вряд ли она полностью исключена из схемы стратегического планирования США, учитывая нарастающее конкурентное противостояние в зоне создания Тихоокеанского торгового партнерства (наряду с традиционно динамичной и близкой Китаю Юго-Восточной Азией) [3].

Следовательно, можно сегодня с уверенностью констатировать, что происходящие события носят, несмотря на противодействие ряда европейских государств, долговременный характер, отражая их включенность в процессы глобальной системной перестройки мировой экономики, о чем свидетельствуют и участившиеся в ней кризисные явления.

Отсутствие принципиальной незаменимости импортным материалам и их высокая стоимость должно способствовать развитию внутреннего рынка, снижению цен и улучшению качества производимых материалов, и соответственно, расширению и совершенствованию производств, техники и технологий, что снижает экономическую зависимость от внешних факторов, формирует дополнительные рабочие места и удовлетворяет спрос населения, представлены в таблице 1.

В этом смысле, санкции и девальвация рубля могут сыграть положительную роль в развитии отраслей промышленности, которые работают на строительном рынке и стимулировать создание новых, более конкурентоспособных технологий и материалов.

Несмотря на вышесказанное, необходимо отметить, что в настоящее время, снижения цен и повышение качества на строительном рынке не происходит. Сейчас наблюдаются обратные процессы: ни качество, ни цена существенно не меняются – повышение себестоимости площадей (будь то офисные или жилые помещения) не может себе позволить перенаселенный посредниками рынок, а инфляция и рост цен на стройматериалы заставляют застройщиков снижать маржу. На это они не готовы и потому стараются решить вопрос падения прибыли посредством снижения качества. К сожалению, этой «болезнью» сейчас

страдает не только строительная отрасль.

Для отрасли промышленного строительства сложности возникают не только при поставке строительных и отделочных материалов, но и при закупках сложного технологического оборудования, инженерных систем и комплектующих, программного обеспечения. В рамках программы импортозамещения за последние годы удалось заместить большую часть данного сегмента отечественными товарами, но некоторая доля зарубежного рынка присутствует до сих пор. Особенно это касается гарантийных обязательств для ранее приобретенного иностранного оборудования и необходимости его ремонта и обслуживания [4].

Основываясь на вышесказанном видно, что основная проблематика в период санкционного воздействия, как фактор ограничения каких-либо действий или распределения финансовых потоков имеет за собой ряд отрицательных последствий. В зависимости от степени развития экономического сектор, это влияние может быть управляемым, что позволит несколько снизить негативное влияние ограничительных мер.

Например, ограничения по международному движению капиталов создают ряд трудностей для всех крупных холдингов строительного бизнеса. При этом сложившаяся за многие десятилетия интеграция российских и европейских компаний позволяет осуществлять ряд поставок или исполнения договоров за счет обхода некоторых санкционных мер.

При этом большая часть ограничений для строительного сегмента коснулась сферы строительства и ввода в эксплуатацию жилья элитного уровня. Это связано с большой долей иностранных отделочных материалов, тканей или инженерных систем премиум-сегмента. Тогда как строительство жилой и коммерческой недвижимости эконом или комфорт-класса, а также производственных помещений не требуют дорогостоящей отделки. При этом основной объем строительных материалов производится на отечественном рынке, а трудности в условиях санкционного давления возникают вследствие быстрого наращивания объемов производства или ремонта необходимого оборудования иностранных марок.

Таблица 1 – Таблица удорожания стоимости материалов.

Элемент затрат	Удорожание материала	Удорожание общей себестоимости
Фасадные, кровельные и светопрозрачные конструкции	170%	14%
Кладочные материалы	144%	6%
Инженерные сети	118%	11%
Отделочные материалы	67%	6%
Инертные материалы, благоустройство и прочее	67%	3%
Арматура и металл	59%	5%
Бетон и растворы	44%	3%
Работа и механизмы	16%	7%
Общее удорожание (март 2023)		55%

Рисунок 1 – Секториальные изменения воздействия введенных санкций

Основной проблемой стало отсутствие квалифицированных кадров для выполнения не только производственных задач, но и в секторе проектирования. В связи с активной призывной компанией, развернутой государством, многие молодые специалисты либо покинули страну, «спасаясь» в других странах, либо ушли служить в Вооружённые Силы Российской Федерации. Особенно это коснулось сферы IT технологий.

Особенно остро встает вопрос правильной оценке ценообразования на поставляемое оборудование, аналогов которым в Российской Федерации пока еще нет.

Дополнительные инструменты, применяемые Российской Федерацией в финансовом секторе по удержанию курса рубля, за счет изменения ключевой ставки Центрального банка Российской Федерации, сделали недоступными банковские продукты, которые стимулировали строительных сектор.

Грядущая реформа, с последующим переходом к электронному рублю, обеспечивающая контроль Государства за движением денежных потоков, вынуждает участников процесса на всех уровнях менять подходы к деятельности и способствует к «теневому» товарообороту.

Потенциальные возможности и перспективы для отечественного строительства в условиях санкционного давления

В качестве потенциальных возможностей для развития строительной отрасли часто рассматривают следующие:

- создание собственных предприятий полного цикла для производства необходимого инженерного или строительного оборудования;
- разработка компонентов для создания всех видов отделочных материалов широкого ценового диапазона – лакокрасочная продукция, цементные, гипсовые смеси, разные виды облицовочных поверхностей;
- развитие деревообрабатывающей отрасли как неотъемлемой части строительного блока;
- обеспечение работы собственных информационных платформ для проектирования и управления инженерными системами;
- внедрение отечественных инновационных технологий и решений для создания сильной и конкурентоспособной отрасли.

Создание отечественных предприятий и производств строительного сегмента – это своеобразный вектор для развития отрасли в условиях санкций.

В связи с ограничениями, наложенными на возможность использования и покупки

недвижимости на территории некоторых иностранных государств, есть перспективы для развития жилищного строительства в курортных зонах, привлекательных для туристического отдыха. При этом не стоит забывать о государственном ценовом регулировании стоимости квадратного метра жилья.

Возможные перспективы развития отрасли касаются не только вопросов финансирования или поставок, но и документационного обеспечения при получении согласований и разрешений. Принят законопроект, согласно которому сроки согласования проектов генплана сокращаются с 3 до 1 месяца. Также допускается одновременное обсуждение на слушаниях правил землепользования, планов застройки территорий и генплана. Это позволит несколько ускорить процесс получения необходимых разрешительных документов.

Поддержка государства и программы развития строительства в контексте санкций

Поддержка государства в условиях вводимых санкций является своеобразной подушкой безопасности. При этом не стоит забывать, что чаще всего она носит временный характер. На данный момент реализуются или находятся на этапе согласования следующие меры поддержки:

- возможность аренды земельных участков на льготных условиях;
- обнуление ввозных пошлин на импортируемые материалы и оборудование для ведения инвестиционных проектов;
- продление сроков действия и упрощение перерегистраций некоторых лицензий, разрешений, аттестаций;
- сокращение сроков рассмотрения изменений градостроительной документации;
- льготное кредитование как для малого бизнеса, так и для крупных девелоперов;
- предоставление сниженной ипотечной ставки при покупке жилой недвижимости от юридического лица (застройщика);
- ценовое регулирование при обороте природных ресурсов, товаров или услуг.

Для успешного развития данной отрасли не стоит забывать о ценности кадров, задействованных на разных этапах строительства. Это все рабочие специальности, проектировщики, ИТР, специалисты технического надзора. Важно поддержание конкурентоспособной заработной платы на уровне государственных решений и дополнительных стимулирующих выплат.

Список литературы

1. http://www.kremlin.ru - официальный сайт Президента Российской Федерации.

2, Березинская О.Б., Ведев А.Л. Производственная зависимость российской промышленности от импорта и механизм стратегического импортозамещения // Вопросы экономики. – 2015. – № 1. 131 с

3. Девятов А.П. Разведка сознанием и временем. Новые грезы о земле и небе. 2022. С. 189-191

4. Фролов И.Э. Теоретико-методологические аспекты проблемы прогнозирования мировых финансово-экономических кризисов // В сборнике «Научные труды УРАН ИНП РАН». - 2010. - Выпуск 8. - М.: МАКС Пресс, 2010. 89 с

УДК 004.896

ПРОТОТИП СИСТЕМЫ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ПОЖАРЕ НА ОСНОВЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО НЕЙРОСЕТЕВОГО РАСПОЗНАВАНИЯ
PROTOTYPE OF AN EARLY WARNING SYSTEM FOR FIRE BASED ON INTELLIGENT NEURAL NETWORK RECOGNITION

Кулагина Людмила Владимировна [1,2], Шефер Эдуард Артурович [1]
Kulagina Liudmila V. [1,2], Shefer Edward A. [1]

[1]ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет, Россия, Красноярск
[1]Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia
(e-mail: klvation@gmail.com, shefer.edik560@gmail.com)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Представлен подход для идентификации пожара на основе программно-аппаратного комплекса, с помощью технологии обработки изображений. Нейросетевой алгоритм как часть системы для обнаружения, локализации и ликвидации возгораний на промышленных объектах может распознавать местоположение, тип и характеристики очага пожара, а также прогнозировать дальнейшие модели развития событий и выдавать рекомендации по наиболее оптимальным механизмам и способам локализации и тушения.

Abstract: An approach for identifying a fire based on a software and hardware system using image processing technology is presented. A neural network algorithm, as part of a system for detecting, localizing and eliminating fires at industrial facilities, can recognize the location, type and characteristics of the fire, as well as predict further patterns of events and issue recommendations on the most optimal mechanisms and methods of localization and extinguishing.

Ключевые слова: обнаружение пожара, нейронная сеть, раннее оповещение о пожаре.
Keywords: fire detection, neural network, early fire warning.

Раннее обнаружение пожара имеет решающее значение для предотвращения катастрофических последствий. Существующие промышленные системы (точечные тепловые датчики, детекторы дыма, тепловые детекторы и системы визуального обнаружения) представляют собой системы типа датчиков дыма и системы спринклерного типа, которые обнаруживают возгорание по дыму и предназначены для активации после достижения порога заданной температуры. Как правило, они устанавливаются на определенном расстоянии от потенциальных источников горения. Рабочий механизм и место установки этих традиционных пожарных извещателей неизбежно приводят к серьезной задержке оповещения о пожаре. При такой системе существует множество недостатков, такие как ложная тревога, сложность охвата значительного пространства, задержки при передаче сигнала, а также отложенное срабатывание. Время реагирования на пожар достигает 10 минут [1]. Более того, традиционные детекторы срабатывают только после наступления пожара, а это означает, что они не могут в режиме реального времени и на месте отслеживать изменение температуры горючих материалов в процессе предварительного возгорания. Чтобы преодолеть эти проблемы, в работе предложен метод предотвращения пожаров на основе нейронной сети.

Области использования искусственного интеллекта (ИИ) в научных задачах увеличиваются [2, 3]. В целом искусственный интеллект (ИИ) подходит для выявления ситуаций, которые трудно классифицировать с использованием признаков, извлеченных из данных зондирования [4]. Например, ИИ может определять набор особых характеристик или особенности различных пожарных ситуаций, используя собранные данные, и применять их для принятия решений в реальных пожарных ситуациях. Поскольку машинное обучение (МО)

классифицируется как подобласть ИИ, МО наследует характеристики ИИ, предоставляя машинам возможность принимать решения путем обучения на данных и оптимизации функциональных весов или параметров алгоритмов вместо того, чтобы полагаться на то, что пользователь укажет их. правила по ситуации [4]. Каждый алгоритм МО может использовать определенные типы обучающих данных в зависимости от целей.

Многие работы, посвященные прогнозированию пожаров, включают прогнозирование их поведения. Данная работа реализована с использованием Raspberry Pi3 Model, в качестве источника входного сигнала выбрана веб-камера, которая захватывает видеопоток с окружающего пространства и подает в Raspberry Pi. Код написан на языке Python с использованием библиотеки для обработки изображений.

Для обучения модели требуется большой объем данных. Однако в реальных сценариях зачастую трудно получить данные о пожарах в конкретном месте промышленного объекта, и в настоящее время не существует специального общедоступного набора данных о пожарах. Изображения реальных пожаров взяты из общедоступных источников, а имитация пожара в основном опирается на технологию моделирования системы частиц, которая позволяет построить модель пламени для имитации процесса возникновения пожара. Результаты методов обнаружения дыма, основанных на глубоком обучении, показывают, что эти подходы достигли значительных успехов в повышении точности обнаружения дыма. Однако в этих подходах не была принята во внимание важная характеристика; уникальное поведение движения дыма, оно поведение включает в себя его внутринерегулярные движения и нерегулярные движения по внешнему контуру [5]. Игнорирование этих движений приводит к созданию ненадежной системы, которая неприменима в реальных приложениях. В прототипе набор данных был разбит на обучающий набор, проверочный набор и тестовый набор в соответствии с соотношением 6:2:2. На рисунке 1 показаны результаты визуализации анализа набора данных. Фактически, дым часто появляется раньше пламени, поэтому обнаружение дыма также очень важно для раннего предупреждения о пожаре.

Рисунок 1 – Обнаружение огня и дыма с помощью нейросетевого распознавания объектов

Предлагаемое решение для обнаружения возгорания отличается малой задержкой и работой в режиме реального времени по сравнению с традиционными детекторами обнаружения пожара. Действительно, он может обнаружить огонь и дым за 1 или 2 секунды и подать сигнал раннего оповещения. Вариантом дальнейшего развития прототипа может

стать оценка степени и моделей развития пожара для принятия решения ответственными лицами и соответствующее исследование ситуации после пожара, например, пути эвакуации людей и т.д.

Выводы

В статье предложен метод, основанный на алгоритмах МО. Апробированный прототип на основе Raspberry Pi3 Model, эффективен по сравнению с традиционными методами, более надежен, поскольку это бесконтактный метод обнаружения. и может быть применен в режиме реального времени в сочетании с уже установленными на предприятии системами пожаротушения. Точность рассмотренной модели составляет более 99%, что в дальнейшем позволяет её масштабировать и дополнять инфраструктуру безопасности промышленных объектов, а также разработать многофункциональную систему ИИ для адаптивного обнаружения пожара в реальной среде.

Список литературы

1. Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий: сайт / https://01.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/dopolnitelnye-stranicy/ staticheskie-stranicy/poleznaya-informaciya/vremya-pribytiya-10-min-i-20-min

2. Программа для ЭВМ № 2023616496 Российская Федерация. Программа для прогнозирования качества воздуха на основе модели машинного обучения : № 2023611680 : заявл. 2023.01.02 : опубл. и выдача пат. 2023.28.03 / Кулагина Л. В.; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

3. Программа для ЭВМ № 2023665492 Российская Федерация. Программа для прогнозирования и мониторинга термоточек, в том числе техногенного происхождение (объекты теплоэнергетики) : № 2023664095: заявл. 2023.05.07 : опубл. и выдача пат. 2023.05.17 / Кулагина Л. В., Кириллова И.В.; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет».

4. Harman M. The role of artificial intelligence in software engineering; Proceedings of the 2012 First International Workshop on Realizing AI Synergies in Software Engineering (RAISE); Zurich, Switzerland. 5 June 2012; pp. 1-6.

5. Castelli M., L. Vanneschi and A. Popovič. 2015. Predicting burned areas of forest fires: an artificial intelligence approach. Fire ecology 11 (1): 106–118.

УДК 677.074

ЭЛАСТИЧНЫЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ НЕТКАНЫХ ПОЛОТЕН
ELASTIC WATERPROOFING COMPOSITE MATERIALS BASED ON NON-WOVEN FABRICS

Трещалин Юрий Михайлович [1], Разумеев Константин Эдуардович [2,3]
Treshchalin Yuri M. [1], Razumeev Konstantin E. [2,3]

[1]Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва
[1]Lomonosov Moscow State University, Russia Moscow
(e-mail: antropog@yandex.ru)
[2]Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
[2]The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
[3]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[3]Russian Engineering Academy, Russia, Moscow
(e-mail: ker2210@yandex.ru)

Аннотация: В статье изложены результаты исследований композиционных материалов на основе нетканых полотен, предназначенных для использования в качестве гидроизоляции строительных конструкций и трубопроводов. Приведены физико-механические характеристики образцов композитов, изготовленных с использованием водостойких клеящих веществ.

Abstract: In article results of research of composite materials on the basis of non-woven sheets intended for use as waterproofing of building structures and pipelines. The physical-mechanical characteristics of composites made using water-resistant adhesives.

Ключевые слова: эластичные композиты, прочность, водостойкость, гидроизоляция, нетканая основа, клеевые соединения.

Keywords: elastic composites, durability, water resistance, waterproofing, non-woven backing, adhesive bonding.

Эластичные композиты представляют собой новое поколение материалов, сочетающих в себе уникальные свойства нетканых полотен и полимерных связующих. Благодаря структуре основы, состоящей из хаотически расположенных мононитей, такие композиты обладают высокой прочностью, гибкостью и износостойкостью.

Проведенный анализ взаимодействия единичных химических волокон и нитей с клеящими веществами (герметик, клей ПВА, резиновый клей) показал достаточно высокую адгезионную способность этих компонентов, что дает возможность перейти к изготовлению и исследованию образцов эластичных композитов на нетканой основе [1].

Учитывая перспективное использование в промышленности, строительстве или жилищно-коммунальном и бытовом хозяйстве для тепло и гидроизоляции фундаментов, магистральных трубопроводов, нефте-газопроводов, антикоррозионных покрытий металлических изделий и т.п., образцы композиционных материалов пропитывались клеящими веществами двумя способами в зависимости от целевого назначения:

– для создания гидроизоляционного слоя пропитка осуществлялась методом капиллярного подъема: в форму, проложенную полиэтиленовой пленкой или обработанную жидким воском, наливалось клеящее вещество, на которое сверху, без какой-либо нагрузки, укладывалась нетканая основа, которая в течение 6-8 минут полностью впитывала в себя вещество до начала его полимеризации за счет капиллярного подъема. При этом структура нетканого полотна не претерпевает никаких изменений;

– для полной пропитки основы использовался метод полива: на нетканую основу наносилось клеящее вещество, в количестве, равном объему порового пространства основы, которое при помощи валика равномерно распределялось по всей поверхности основы, за счет чего достигалась равномерность пропитки всего объема нетканого полотна. После чего пропитанная основа укладывалась в форму, предварительно пропитанную воском и проложенную изнутри полиэтиленовой пленкой, соответствующую профилю создаваемого изделия.

Пропитка герметиком, в отличие от резинового клея и клея ПВА, затрудняется в связи в высокой вязкостью (густотой) герметика [2-4]. Поэтому процесс пропитки основы производился следующими способами:

– герметик наносился на основу, по возможности равномерно распределялся по поверхности, после чего сверху накладывалась полиэтиленовая пленка, по которой, для улучшения впитывания, несколько раз в продольном и поперечном направлениях производилась прокатка валиком. После чего образец переворачивался, укладывался обработанной поверхностью на полиэтиленовую пленку, и операция повторялась с противоположной поверхностью основы;

– образец помещался в полиэтиленовый пакет, внутри которого находился герметик. После чего при закрытом пакете герметик равномерно наносился по обеим поверхностям образца, и производилась его пропитка при помощи валика, находящегося с внешней стороны пакета;

– герметик из тюбика выдавливался в стакан. Далее, для понижения степени вязкости (густоты), в стакан наливался растворитель (бензин) в количестве, обеспечивающем необходимую концентрацию герметика. Затем кисточкой жидкий герметик равномерно поочередно наносился на поверхности образца, накрывался полиэтиленовой пленкой и прокатывался валиком.

Следует отметить, что независимо от способа, обеспечивалось требуемое качество пропитки, и влагозащитные свойства образцов не ухудшались.

В качестве основы для изготовления образцов композиционных материалов в виде пластин, размером 200×50 мм, использовались полоски нетканого полотна «Холлофайбер Хард Р 355, 400 г/м^2» (рисунок 1).

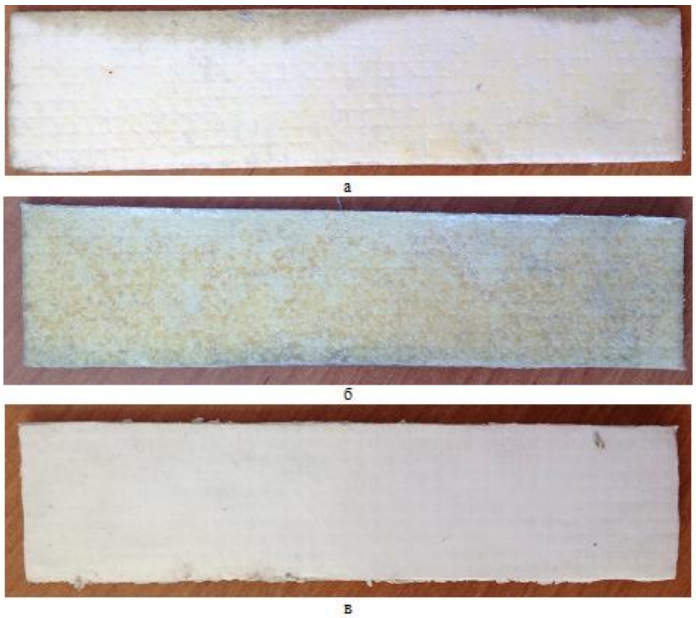


Рисунок 1 – Образцы эластичных композитов, пропитанные: а – клеем ПВА; б – резиновым клеем; в – герметиком.

Оценка прочности на растяжение полученных образцов эластичных композитов производилась в соответствии с ГОСТ 25.601-80 «Метод испытания плоских образцов на

растяжение при нормальной, повышенной и пониженной температурах» при помощи разрывной машины, марки Instron 4411. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний образцов эластичных композитов на основе нетканого полотна «Холлофайбер Хард Р 355, 400 г/м^2»

Пропитка	Масса, г	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм	Поверхн плотность, г/м^2	Прочность при разрыве, Н	Относительн ое удлинение при разрыве, %	Изменение прочности за счет добавок, %
НМ без пропитки	3,959	207,3	49, 7	11,7	384,5	85,8	20,09	0
Резиновый клей	19,848	210	49,2	5,1	1922,3	829,3	47,22	866,6
Герметик	45,291	205,3	49,7	6,7	4441,1	624,7	83,8	628,1
Клей ПВА	17,933	200	50	5,2	1793,3	955	41,92	1013,1

Как следует из экспериментальных данных, прочность образцов на растяжение значительно возросла по сравнению с характеристиками основы:

– на 628,1% при пропитке герметиком;

– на 866,5% при пропитке резиновым клеем;

– на 1013,1% при пропитке клеем ПВА.

Кроме того, герметик и резиновый клей являются водостойкими, что позволяет эффективно применять разработанные эластичные композиты для защиты от коррозии трубопроводов различного назначения.

Применение эластичных композитов определяется эксплуатационными требованиями. В частности, представляется целесообразным использование в качестве гидроизоляции трубопроводов материалы, в которых связующим является силиконовый герметик. Учитывая необходимость плотного прилегания гидроизоляции по всей внешней поверхности трубы, а также простоты и высокой скорости нанесения влагозащитного покрытия, наиболее эффективным является вариант изготовления композиционного материала на основе нетканого полотна малой поверхностной плотности. Проведенный эксперимент с использованием основы поверхностной плотностью 50, 120 и 150 г/м^2 показал, что полученный композит может быть в виде листа или свертываться в рулон на подобие медицинского бинта. Причем, в зависимости от задаваемой прочности, нетканая основа складывается в два, и более слоев. Для защиты от повреждений гидроизоляционного слоя с обеих сторон поверхности композитов наносилась тонкая полиэтиленовая пленка, которая легко отслаивается перед проведением монтажа.

В целом, эластичные гидроизоляционные композиты на основе нетканых полотен открывают новые возможности для создания материалов с уникальными свойствами и возможностями применения в различных отраслях.

Список литературы

1. Трещалин Ю.М. Композиционные материалы на основе нетканых полотен / Ю.М. Трещалин. - М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2015. - 221 с. – ISBN 978-5-905117-05-3.

2. Резиновые клеи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/3862.html

3. Клей ПВА – состав, технические характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://arbolit.org/tehnologii/kley-pva-sostav-tehnicheskie-harakteristiki.html

4. Герметики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xumuk.ru/encyklopedia/988.html

УДК 577.1

CD47KO/CRT НАНОВАКЦИНА С ДВОЙНЫМ БИОИНЖЕНЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ИММУНОТЕРАПИИ ОПУХОЛЕЙ
CD47KO/CRT DUAL-BIOENGINEERED CELL MEMBRANE-COATED NANOVACCINE COMBINED WITH ANTI-PD-L1 ANTIBODY FOR BOOSTING TUMOR IMMUNOTHERAPY

Дацюань Чэнь
Daquan Chen

Yantai University, Yantai City, Shandong Province, China
Университет Яньтай, Город Яньтай, провинция Шаньдун, Китай
(e-mail: cdq1981@126.com)

Abstract: Tumor vaccines trigger tumor-specific immune responses to prevent or treat tumors by activating the hosts' immune systems, and therefore, these vaccines have potential clinical applications. However, the low immunogenicity of the tumor antigen itself and the low efficiency of the vaccine delivery system hinder the efficacy of tumor vaccines that cannot produce high-efficiency and long-lasting antitumor immune effects. Here, we constructed a nanovaccine by integrating CD47KO/CRT dual-bioengineered B16F10 cancer cell membranes and the unmethylated cytosine-phosphate-guanine (CpG) adjuvant. Hyperbranched PEI25k was used to load unmethylated cytosine-phosphate-guanine (CpG) through electrostatic adsorption to prepare PEI25k/CpG nanoparticles (PEI25k/CpG-NPs). CD47KO/CRT dual-bioengineered cells were obtained by CRISPR-Cas9 gene editing technology, followed by the cell surface translocation of calreticulin (CRT) to induce immunogenic cell death (ICD) in vitro. Finally, the extracted cell membranes were coextruded with PEI25k/CpG-NPs to construct the CD47KO/ CRT dual-bioengineered cancer cell membrane-coated nanoparticles (DBE@CCNPs). DBE@CCNPs could promote endocytosis of antigens and adjuvants in murine bone marrow derived dendritic cells (BMDCs) and induce their maturation and antigen cross-presentation. To avoid immune checkpoint molecule-induced T cell dysfunction, the immune checkpoint inhibitor, the anti-PD-L1 antibody, was introduced to boost tumor immunotherapy through a combination with the DBE@CCNPs nanovaccine. This combination therapy strategy can significantly alleviate tumor growth and may open up a potential strategy for clinical tumor immunotherapy.

Аннотация: Противоопухолевые вакцины вызывают опухолеспецифический иммунный ответ для профилактики или лечения опухолей путем активации иммунной системы хозяина, и, следовательно, эти вакцины имеют потенциальное клиническое применение. Однако низкая иммуногенность самого опухолевого антигена и низкая эффективность системы доставки вакцины препятствуют эффективности опухолевых вакцин, которые не могут оказывать высокоэффективное и длительное противоопухолевое иммунное действие. Здесь мы создали нановакцину, интегрировав CD47KO/CRT мембраны раковых клеток B16F10 с двойной биоинженерией и неметилированный адъювант цитозинфосфат-гуанина (CpG). Гиперразветвленный PEI25k использовали для загрузки неметилированного цитозинфосфат-гуанина (CpG) путем электростатической адсорбции для получения наночастиц PEI25k/CpG (PEI25k/CpG-NPs). Двойные биоинженерные клетки CD47KO/CRT были получены с помощью технологии редактирования гена CRISPR-Cas9 с последующей транслокацией кальретикулина (CRT) на клеточной поверхности для индуцирования иммуногенной клеточной гибели (ICD) in vitro. Наконец, экстрагированные клеточные мембраны были соэкструдированы с PEI25k/CpG-NP для создания наночастиц CD47KO/CRT с двойным биоинженерным покрытием мембраны раковых клеток (DBE@CCNPs). DBE@CCNPs может способствовать эндоцитозу антигенов и адъювантов в дендритных клетках, получен-

ных из костного мозга мышей (BMDC), и индуцировать их созревание и перекрестную презентацию антигенов. Чтобы избежать дисфункции Т-клеток, индуцированных молекулами контрольных точек иммунного ответа, был введен ингибитор контрольных точек иммунного ответа, антитело против PD-L1, для усиления иммунотерапии опухолей в комбинации с нановакциной DBE@CCNPs. Эта стратегия комбинированной терапии может значительно облегчить рост опухоли и может открыть потенциальную стратегию клинической иммунотерапии опухолей.

Keywords: CRISPR–Cas9, Dual-bioengineered cell membrane, Immune checkpoint blockade, Nanovaccine, Tumor immunotherapy.

Ключевые слова: CRISPR-Cas9, двойная биоинженерная клеточная мембрана, блокада контрольных точек иммунного ответа, нановакцина, иммунотерапия опухолей.

Tumor vaccines can facilitate immune system recognition and elimination of tumor cells by inducing antitumor-specific immune responses. In recent years, a good progress has been made in clinical practice [1, 2]. Scientists have identified many tumor-specific antigens (TSA) that are used to generate tumor vaccines [3, 4]. However, personalized vaccines show unique advantages due to the diversity of tumor antigen epitopes between individuals [5]. Moreover, tumor cells often experience high mutation rates, which may result in the loss of one or more antigenic sites, and therefore, it is ideal to design vaccines that are directed against multiple epitopes [6]. A patient's autologous whole tumor cell antigen has the unique advantage of enabling dendritic cells to process and present a large number of tumor antigens, which triggers powerful polyclonal T cell responses to prevent tumor immune escape [7]. However, tumor cells evade immune surveillance by highly expressing immunosuppressive molecules that downregulate their immunogenicity [8, 9]. Therefore, improving APCs' recognition and uptake of whole tumor antigens is a key issue for its application as tumor vaccine.

CD47 is a transmembrane protein that is overexpressed on the surface of a variety of tumor cells. It can bind to signal-regulatory protein alpha (SIRPα) in myeloid cells and sends a "do not eat me" signal to avoid clearance by the immune system [10]. Blocking this pathway can promote the uptake of tumor cells by APCs, which is conducive to the presentation of tumor antigens [11]. Recently, researchers have developed CD47 antibodies that inhibit the CD47-SIRPα immune checkpoint pathway [12, 13]. However, according to clinical data, CD47 antibodies may induce systemic side effects, including the accumulation or clearance of red blood cells [14]. Therefore, developing a safer and more efficient method to block CD47 is needed to improve the immunogenicity of tumor-associated antigens. However, blocking this signal alone cannot effectively promote the recognition of multiple antigens on the membrane surface by the immune system [15]. The main reason is the requirement of an "eat me" signal that guide antigen-presenting cells to perform phagocytosis. Preclinical studies have found that in addition to their original antitumor effects, chemotherapeutic drugs such as anthracyclines or taxanes, also induce the release of many immune stimulating signals by inducing immunogenic cell death (ICD) [16]. These signals can promote the endocytosis of tumor-associated antigens by phagocytes and stimulate the host to produce antitumor immune responses [17]. ICD typical biochemical characteristics are calreticulin (CRT) cell membrane translocation and the release of high mobility group box 1 (HMGB1) and adenosine triphosphate (ATP) [18, 19]. It is particularly noteworthy that the translocated CRT can interact with its receptors on the surface of DCs and send "eat me" signals to promote antigen phagocytosis, which activates natural and adaptive immunity [20]. Thus, CD47 and CRT are a group of positive and negative signaling molecules that improves cell immunogenicity.

In addition, the inactivation of tumor infiltrating T cells is an important factor affecting the effect of immunotherapy [21]. Typically, tumor cells counteract immune cell clearance by upregulating PD-L1 expression [22, 23], while also secreting exosomes to suppress naive T cell activation and effector T cell function [24, 25]. Therefore, the commonly used strategy in combination therapy is the activation of tumor-specific effector T cells using tumor vaccines while also maintaining their antitumor capacity through an immune checkpoint blockade (ICB) strategy [26, 27].

In this study, we designed a therapy strategy using a CD47KO/CRT dual-bioengineered cell membrane-coated nanovaccine combined with anti-PD-L1 antibody for boosting tumor immunotherapy. The CD47- SIRPα tumor phagocytosis checkpoint was knocked out in vitro using the CRISPR-Cas9 gene editing technology. The ICD of CD47 knockout tumor cells was induced by mitoxantrone in vitro. Then, cell membranes expressing "eat me" signals were extracted from these CD47KO/CRT dual-bioengineered tumor cells. The core of the nanovaccine was constructed by hyperbranched PEI25K that were loaded with unmethylated CpG adjuvant through electrostatic adsorption. CpG is an immunoadjuvant with a strong immunostimulatory ability that can be recognized by Toll-like receptor 9 (TLR9) in the APCs' endosomes [28]. The nanovaccine were prepared by coating CD47KO/CRT dual-bioengineered tumor cell membranes on immune adjuvant nanoparticles (PEI25k/CpG) by physical extrusion. The nanovaccine efficiently stimulated APCs, resulting in the stimulation of tumor-specific effector CD8+ T cells which generate a powerful anti-tumor immune response. In melanoma mice, the nanovaccine was further used in combination with an immune checkpoint anti-PD-L1 antibody to further block the immunosuppressive effect of the tumor tissue on T cells. This method led to satisfactory tumor suppression effects in tumor prevention and treatment models (Fig.1). This study provides a personalized nanovaccine preparation platform technology through the bioengineering design of tumor cells, which can be used in combination with other therapeutic strategies as a potential strategy for clinical antitumor treatment.

CONSTRUCTION AND VERIFICATION OF THE DUAL-BIOENGINEERED B16F10 TUMOR CELLS

Eliminating the "do not eat me" signals [11] or increasing the "eat me" signals [20] on tumor cells can activate immune cells and promote the hosts' antitumor immune killing effect. Based on this, we constructed a CD47KO/CRT dual-bioengineered cell membrane-coated nanovaccine.

First, the CD47 protein on the surface of B16F10 cells, which can assist tumor cells escape the uptake of antigen-presenting cells, and thus, avoid immune surveillance, was knocked out using the CRISPR–Cas9 gene editing technology. This signal blocking method does not involve the use of an CD47 antibody, thus avoiding toxicity to blood cells. Gene editing was performed under the action of a CRISPR/Cas9-targeted CD47 gene knockout plasmid, and the CD47-deficient B16F10 cell line was obtained after 3 cycles of cell sorting. The gene knockout efficiency was verified by gene sequencing. The results showed that the gene sequence had an uncertain set of nested peaks compared with the genome of wild-type B16F10 cells at the designed knockout site. This was mainly due to the nonhomologous end joining (NHEJ) repair of the genome in tumor cells, which caused the deletion of a part of the gene sequence or the insertion of a part of the gene fragment. CD47 knockout was further confirmed by flow cytometry.

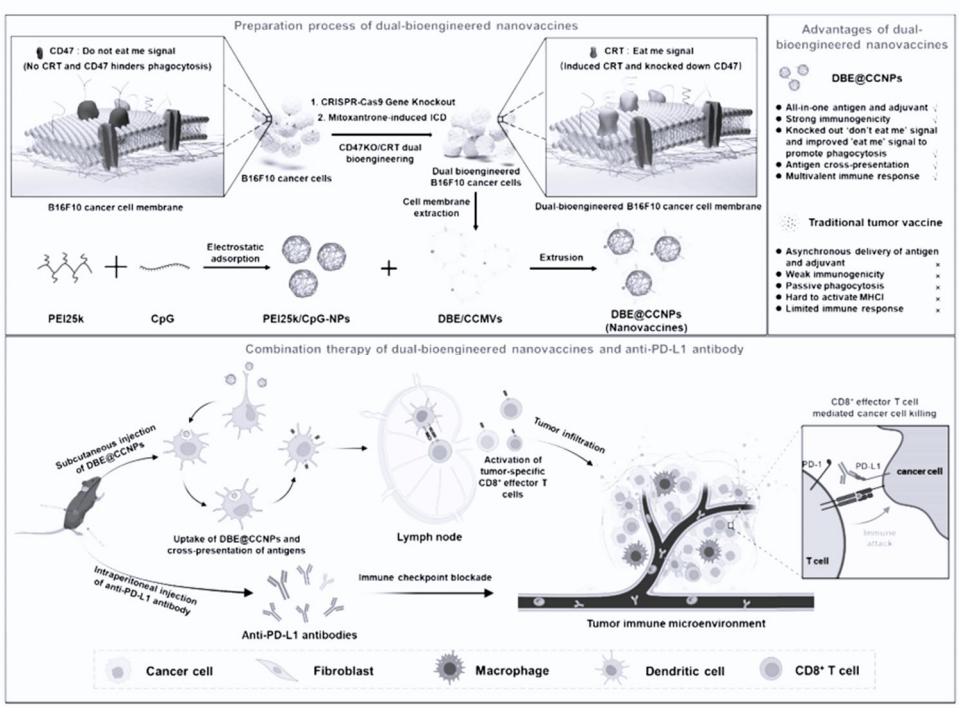


Fig.1. Graphical figure showing the idea underlying the construction of the CD47KO/CRT dual-bioengineered cell membrane-coated nanovaccine and their anti-tumor therapeutic strategy in combination with an anti-PD-L1 antibody.

In addition, to eliminate the “do not eat me” signal, the addition of a “eat me” signal is also very important to improve the immunogenicity of the antigen [15]. Typically, when the tumors exhibit ICD, tumor cells change from nonimmunogenic to highly immunogenic. This process was accompanied by changes in the expression levels of several signaling molecules on the cell membrane surface and the release of immune-promoting effectors [19]. However, some factors could also shift the tumor immune microenvironment from an immune-promoting type to an immunosuppressive type after ICD induction [32, 33]. This is due to the release of a large amount of ATP in the process of ICD in tumor tissue, which is further metabolized into adenosine (ADO) by an exonuclease [34]. ADO is an immunosuppressive metabolite that can bind to ADO 2A receptors on the surface of immune cells [35]. It can limit the activation of cytotoxic lymphocytes and inhibit the maturation of natural killer cells, thereby impairing the antitumor immune response [33]. Moreover, in tumor cells’ late ICD stage, the cells rupture and release potassium ions into the extracellular space [32]. Under normal circumstances, potassium ions are present in high concentrations inside the cell rather than outside the cell. The increased levels of potassium ions can reduce the activity and antitumor effect of T cells [36]. Therefore, to avoid these problems, we induced tumor cells’ ICD in vitro and applied it in vivo after calreticulin translocation. Mitoxantrone is commonly used anthracycline in clinic that can induce tumor cell apoptosis cause ICD [16]. To maximize the translocation of CRT to cell membranes, we optimized the drug concentration and incubation time on that of calreticulin induction. Flow cytometry results demonstrated that the expression of calreticulin achieved the maximum value at 2 μM of Mitoxantrone after 24 h incubation, indicating a high translocation of calreticulin in tumor cells. The exposure of calreticulin was further confirmed by flow cytometry assay. Furthermore, the cell membranes were extracted for calreticulin quantification by ELISA and the results achieved the same trends.

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF THE DUAL-BIOENGINEERED B16F10 TUMOR CELL MEMBRANE-COATED NANOPARTICLES

The cell membranes of single/dual-bioengineered B16F10 tumor cells were extracted as the antigen of tumor vaccines’ antigens. Since the translocation of calreticulin and the CD47 knockout occurred on tumor cell membranes, extracting the cell membrane as antigens could not only inherit the broad antigen spectrum and bioengineering characteristics of tumor cells, but also

remove the huge cellular organelle structure, thereby paving the way for the subsequent preparation of a tumor nanovaccine [37]. The cell lysates were harvested by repeated freezing and thawing to completely rupture the tumor cells and the cell plasma membranes were separated from other cell components by centrifugation. Afterwards, the cytoplasmic membranes were extruded into vesicles through a 400 nm porous polycarbonate membrane. The hydrated particle size of the vesicles was approximately 283 nm, and the zeta potentials were − 24 mV. (Fig. 2a and b). The delivery strategy of tumor antigens is also crucial to the final immune effect [38, 39]. Nanodelivery systems have been widely used in the field of vaccines due to their unique advantages. These include codelivery of antigens and immune adjuvants, enhancing the uptake of APCs, and improving the materials' biological distribution [40, 41].

Therefore, we mixed hyperbranched PEI25k with immune adjuvant CpG to construct the nanodelivery carrier by electrostatic adsorption. The uniform nanoparticles were obtained with a hydrodynamic diameter of 165 nm. (Fig. 2a). The zeta potentials of PEI25k/CpG nanoparticles were − 13 mV (Fig. 2b), which was convenient for their encapsulation by cell membranes. To confirm that CpG was completely integrated into the PEI/CpG complex, we performed DNA gel electrophoresis experiments. The experimental results showed that CpG was completely blocked when the PEI was 0.5 times that of CpG (Fig. S3). To evaluate the biocompatibility of this nanocomposite, we characterized the cytotoxicity of PEI/CpG using the CCK-8 assay. The results showed that the toxicity of PEI/CpG complex is negligible (Fig. S4). This is because only a small amount of PEI is required to adsorb CpG to form nanoparticles. However, in gene transfection experiments, the mass of PEI is often ten times that of the plasmid [42, 43]. As a result, the excessive use of PEI resulted in cytotoxicity. However, the PEI in our nanovaccine is one-half the mass of CpG. Thus, the dose of the used PEI in this study was within the safe range and did not cause cytotoxicity. To simultaneously deliver antigens and adjuvants and exert a spatiotemporal synergistic effect, we constructed cell membrane-coated nanoparticles by coextruding cell membrane vesicles with PEI25k/CpGNPs cores. The final hydrodynamic diameters of cell membrane-coated nanoparticles increased to approximately 184 nm and their zeta potentials decreased to − 22 mV (Fig. 2a, b and c). The increased particle size was about 20 nm, which was equivalent to the thickness of the two cell membranes, and the final zeta potentials also appeared to be consistent with the zeta potential of the membrane vesicles. TEM images of the nanoparticles also showed a clear core-shell structure (Fig. 2d). The outermost cell membrane structure was clearly visible. These results indicated the successful construction of cell membrane-coated nanoparticles. To optimize the efficiency of the cell membranes' encapsulation, we evaluated the optimal composite ratio of PEI25k/CpG nanoparticles and the cell membranes through stability experiments. As shown in Fig. S5, the particle size of bare nanoparticles was extremely unstable and increased rapidly in PBS solution. However, the particle size of CCNPs did not change significantly in PBS solution, which was mainly due to the shielding of ion interference in PBS solution by the coated cell membrane. As shown in Fig. 2e, the hydrodynamic particle sizes of the membrane-coated nanoparticles show that their best stability is achieved at their mass ratio of 2:1. It is worth noting that excessive cell membrane does not increase the stability of nanoparticles. This may be due to the fact that excessive cell membrane may affect the integrity of cell membrane which coated on the surface of nanoparticles during the process of co-extrusion preparation of nanoparticles. After optimizing the ratio of membrane protein to nanoparticle core, we further verified the integrity of the membrane surface functional proteins after assembly of the nanovaccine by SDS–PAGE and Western blot experiments. SDS–PAGE results showed that the protein profile of the membrane-coated nanoparticles closely matched that of the corresponding membrane vesicles (Fig. 2f), demonstrating the integrity of the membrane proteins during the nanovaccine preparation. Furthermore, the Western blot results confirmed that the specific antigens gp100 and MART1 of B16F10 tumor cells and Na+/K+-ATPase in the cell membranes, were not damaged during the nanovaccine preparation (Fig. 2g and h). The different grayscale in WB bands indicated the degree of antigen enrichment in the nanoparticles, which was much greater than that in pure tumor cell lysates. These results suggested that the efficiency of cell membrane antigens was higher than that of tumor cells or pure

tumor cell lysates under the same protein condition. To verify whether the membrane-coated nanovaccine could simultaneously and successfully deliver the antigens and adjuvants into BMDCs, we used Cy5-HNS labeled cell membranes and FAM-CpG to construct a nanovaccine and evaluated its intracellular uptake in BMDCs. CLSM images showed that the red fluorescence and green fluorescence signals colocalize, indicating that the membrane-coated nanoparticles can spatiotemporally co-deliver antigens and immune adjuvants so that the two components can play a synergistic effect. In addition, we detected the endocytosis efficiency of different bioengineered cell membranes-coated nanovaccine in BMDCs. Fluorescence quantitative results showed that the uptake of BMDCs in the dualbioengineered B16F10 cancer cell membrane-coated nanoparticles (DBE@CCNPs) was significantly higher than that of the CD47KO B16F10 cancer cell membrane-coated nanoparticles (CD47KO@CCNPs) or CRT-induced B16F10 cancer cell membrane-coated nanoparticles (CRT@CCNPs) (Fig. 2i). This further proved that DBE@CCNPs inherited the biological functions of the cell membrane and promoted the endocytosis of the nanovaccine in APCs. Then, we evaluated the maturation of BMDCs induced by different types of bioengineered cell membrane-coated nanovaccine in vitro. The expressions of costimulatory markers on BMDCs were detected by flow cytometry. The secretion of the immune factors, IL-6 and IL-12P70, by BMDCs were tested by ELISA. Compared with the PBS group, the PEI25k/CpG nanoparticles (PEI25k/CpG-NPs) treated group showed a significant upregulation of costimulatory molecules (Fig. 2j) and the secretion of immune factors (Fig. 2k), indicating that the immune adjuvant nanoparticle core could induce the maturation of BMDCs. For the group of nanoparticles coated with different types of bioengineered cell membranes, they can all activate the maturation of BMDCs, but the mechanism of activating the maturation of BMDCs is different. For the CD47KO@CCNPs group, knockout of CD47 can remove the “don’t eat me” signal and increase the phagocytic efficiency of BMDCs to nanoparticles. For the CRT@CCNPs group, CRT can bind to low-density lipoprotein receptor related proteins on the surface of BMDCs, thereby enhancing the activation of BMDCs and improving the phagocytic efficiency of BMDCs to nanoparticles [44]. We noticed that the stimulation effect of DBE@CCNPs group on BMDCs was significantly better than those of the single bioengineered CCNPs group or the non-bioengineered CCNPs group. This was due to the two signals on the cell membrane cooperate with each other, so that the nanovaccine could efficiently induce the maturation of BMDCs (Fig. 2j and k).

ANTITUMOR IMMUNOTHERAPY OF THE TUMOR NANOVACCINE

We have proved that dual-bioengineering technology can significantly improve the immunogenicity of tumor antigens in vitro. Next, we evaluated the antitumor efficiency of different assembly forms of adjuvant and antigen to optimize in vivo conditions. First, we subcutaneously injected different types of materials into mice, including dualbioengineered cancer cell membrane vesicles (DBE/CCMVs), PEI25k/CpG-NPs, vortex mixing of double bioengineered whole cell lysate and PEI25k/CpG-NPs (DBE/WC + PEI/CpG-NPs), vortex mixing of DBE/ CCMVs and PEI25k/CpG-NPs (DBE/CCMVs + PEI/CpG-NPs), and coextrusion mixing of DBE/CCMVs and PEI25k/CpG-NPs (DBE@CCNPs). To achieve a long-term immune memory effect, we adopted a preventive tumor vaccine immunization strategy, with a total of 3 immunization rounds, each with a one-week interval. On day 0, B16F10 tumor cells were subcutaneously injected to the mice and the growth curves of the tumors were monitored. The results showed that the therapeutic effect of PEI25k/CpG-NPs was comparable with that of the PBS control group, due to the absence of antigens. The immune adjuvant alone could hardly trigger a specific antitumor immune response. DBE/CCMVs showed a limited therapeutic effect. This suggested that multiple antigen vaccinations can achieve a certain immune effect, but not enough to inhibit the rapid growth of tumors. In addition, the DBE/WC + PEI/CpG-NPs and DBE/CCMVs + PEI25k/CpG-NPs groups slowed down the growth rate of tumors, and their preventive effects were not significantly different. The best tumor prevention effect was observed in the DBE@CCNPs group, and the preventive effect was around 75% compared with that in the PBS group.

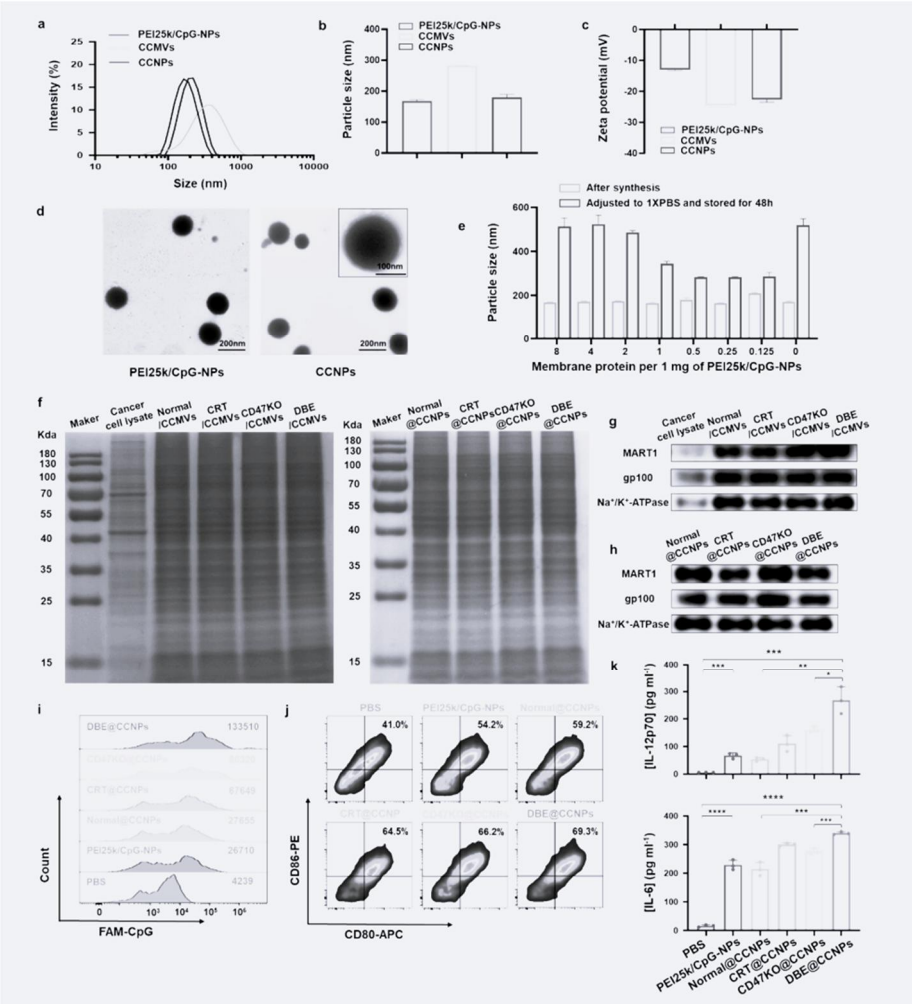


Fig. 2. Physicochemical identification and biofunctional verification of DBE@CCNPs. (a) Size intensity curves of PEI25K/CpG-NPs, CCMVs, and CCNPs. (b) Hydrodynamic size of PEI25K/CpG-NPs, CCMVs and CCNPs (n = 3). (c) Zeta potentials of PEI25K/CpGNPs, CCMVs and CCNPs (n = 3). (d) TEM of PEI25k/CpG-NPs and CCNPs. (e)Hydrodynamic size of CCNPs at different mass ratios of membrane protein to PEI25k/CpGNPs, right after synthesis, and after mixing with 2 × PBS and storage for 48 h (n = 3). (f) SDS-PAGE protein analysis of cancer cell lysates, different types of bioengineered CCMVs and CCNPs. (g – h) Western blotting analysis for membrane-specific proteins, including MART1, gp100, and Na+/K+-ATPase. (i) Endocytosis efficiency of the different types of bioengineered CCNPs by BMDCs. (j) Representative flow cytometry data showing that different types of bioengineered CCNPs can induce DCs maturation. (k) Secretion of IL-6 and IL-12p70 after endocytosis of the different types of nanoparticles. ****P < 0.0001; ***P < 0.001; **P < 0.01; *P < 0.05.

To evaluate the anti-tumor mechanism of the tumor nanovaccine, we tested the physical behavior of the nanovaccine and the activation of the antitumor immune response in vivo. We first tested the residence ability of the nanovaccine at the subcutaneous injection site. The results of in vivo fluorescence imaging of the mice showed that there was still a strong fluorescence at 48 h, indicating that the nanovaccine can form a subcutaneous tumor vaccine repository and activate APCs for a long time. In addition, the experimental results of the nanovaccine biological distribution showed that the nanomaterials mainly accumulate in lymph nodes, and that the main components are metabolized through the liver and kidney pathways. Next, we explored the activation of the immune system by the nanovaccine. On the second day after the 3 immunization rounds, the lymph nodes of the mice were resected for the analysis of DCs' activation and the secretion of cytokines. Data on the costimulatory molecule expression and secretion of cytokines showed that

the DBE/CCMVs + PEI25k/CpGNPs group is not as effective as the DBE@CCNPs group in DCs' activation, but it was approximatively equivalent to that of pure adjuvant nanoparticles. These results suggested that DCs' activation was mainly due to the uptake of immune adjuvants, and that the dual-bioengineered membranes can improve the endocytosis efficiency of the immune adjuvant nanoparticles. However, the DBE/CCMVs + PEI25k/CpG-NPs group can only deliver antigens and adjuvants separately, leading to a poor DCs' activation. Therefore, we used the coextrusion mixing method as the preparation form of the tumor nanovaccine.

PROPHYLACTIC NANOVACCINE COMBINED WITH ANTI-PD-L1 ANTIBODY FOR ANTITUMOR IMMUNOTHERAPY

PD-L1 is overexpressed on the surface of tumor cells where it binds to T cells PD-1 to impair their antitumor effects [47, 48]. Normally, tumor cells are capable of upregulating the expression levels of PD-L1 to combat the continuous infiltration of T cells [49]. At the end of the previous tumor suppression experiment, we immunohistochemically detected PD-L1 expression on tumors in the PBS and DBE@CCNPs groups. the immunohistochemical results of PD-L1 on tumor tissues also proved that the tumor nanovaccine alone can induce the upregulation of PD-L1 expression. Therefore, an anti-PD-L1 antibody was introduced to boost the antitumor effect of the DBE@CCNPs nanovaccine. The detailed combined antitumor immunotherapy was performed as shown in Fig. 3a. The tumor sizes were monitored every two days (Fig. 3b). The results showed that compared with the vaccine or anti-PD-L1 antibody group, the combined group significantly delayed tumor growth (Fig.3c and d). Blocking PD-1/PD-L1 immune checkpoint could effectively boost the antitumor immune effect of the DBE@CCNPs nanovaccine. We also conducted survival experiments on mice, and the results demonstrated that the survival time of mice in the combination treatment group was significantly prolonged.

THERAPEUTIC NANOVACCINE COMBINED WITH ANTI-PD-L1 ANTIBODY FOR ANTITUMOR IMMUNOTHERAPY

The strategy of the combined application of a therapeutic nanovaccine and anti-PD-L1 antibody is shown in Fig. 4e. The mice were subcutaneously immunized twice on day 5 and day 7. Anti-PD-L1 antibody was intraperitoneally injected on day 6 and day 8. All mice were euthanized when the tumors' size in the PBS group was greater than 1500 mm^3. Lymph nodes, spleen, and tumor tissues were surgically removed and dissociated into single-cell suspensions for immune cell analysis. Both the anti-PD-L1 antibody treatment group and the DBE@CCNPs treatment group successfully controlled the growth of tumors in the early stage but rebounded after day 18 (Fig. 4f). It was mainly due to the gradual development of a tumor drug tolerance to the monotherapy. As expected, the tumor growth of the combined treatment group was significantly inhibited, and the tumor inhibition rate was approximately 75% compared with that of the PBS group (Fig. 4g and h). The tumors' H&E slices also showed a higher density of tumor cells in the PBS group, while the tumor cells were significantly eliminated in the treatment group. The body weights of mice in the combined treatment group did not significantly decrease, indicating the safety of the combined treatment strategy. Histopathology of the mice main organs and serum biochemical indexes further confirmed this safety as no obvious toxic side effects were observed in mice.

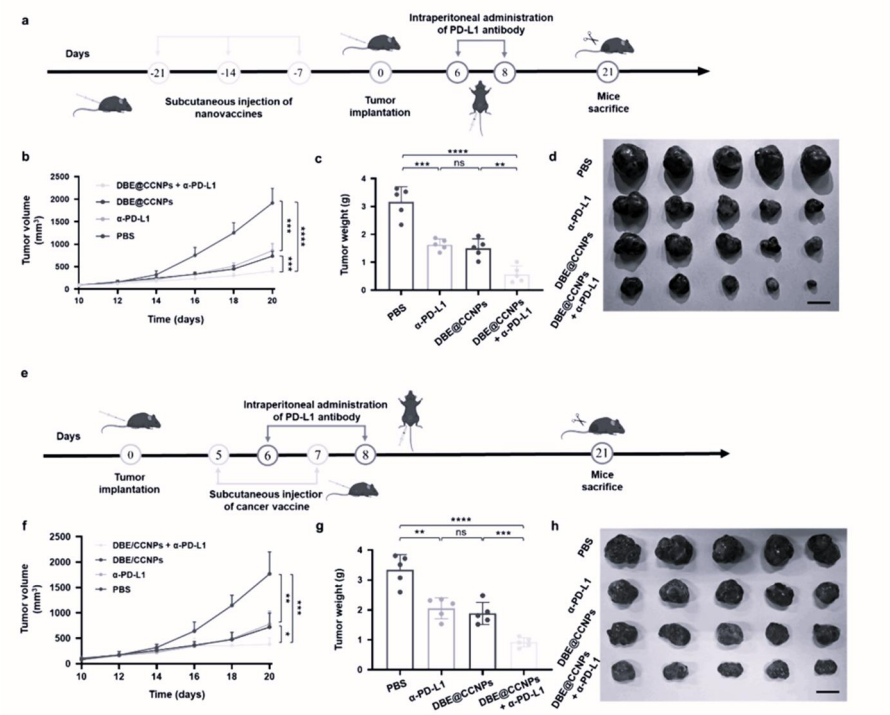


Fig. 4. Nanovaccine combination with a PD-L1 antibody for B16F10 tumor treatment. (a) Schematic illustration of the tumor prevention experiment. (b) Tumor growth curves of different groups. (c) Tumor weights after the preventive experiment. (d) Tumor images after tumor the preventive experiments. Scale bar = 1 cm. (e) Schematic illustration of the tumor treatment experiment. (f) Tumor growth curves of the different groups. (g) Tumor weights after the anti-tumor experiment. (h) Tumor images after the tumor treatment experiments. Scale bar = 1 cm ****p < 0.0001; ***p < 0.001; **p < 0.01; ns, not significant.

ANTITUMOR MECHANISMS OF COMBINATION THERAPY

To explore the antitumor mechanisms of the combination therapy, we analyzed the immune cells in the mice lymph nodes and spleens. The results showed that both DBE@CCNPs and combination treatment groups can increase the expression of costimulatory molecules in DCs, while the intraperitoneal injection of an anti-PD-L1 antibody did not significantly stimulate DCs maturation in the lymph nodes. This indicates that the activation of DCs is mainly caused by the activation of Toll-like receptors by immune adjuvants. In addition, the combined treatment group showed the greatest activation effect on DCsin the lymph nodes, and the activation effect was better than that of the DBE@CCNPs group, suggesting that the anti-PD-L1 antibody can enhance the effect of nanovaccine in activating DCs. The proportions of CD8+T cells in the DBE@CCNPs group and the combination treatment group were significantly increased. This was mainly due to the recognition of the DBE@CCNPs nanovaccine by the T cells via the MHC- 1-antigen complex and through the cross-presentation of antigens after endocytosis by DCs. These events triggered the activation and proliferation of tumor-specific CD8+ T cells. Besides, if these active T cells were not differentiated into memory T cells, the antitumor immune responses could not achieve long-term effects, and the exhaustion of tumorspecific T cells would also lead to immune resistance [50]. Therefore, we focused on the changes in memory T cells in the spleen. The results demonstrated that the number of central memory CD8+ T cells and their effect in the mice spleen were notably upregulated after combined treatment. This was probably the main reason why the tumors in the combined treatment group were well controlled in the later stage of tumor treatment.

Finally, we analyzed the immune cells of the tumors. The results of flow cytometry showed that the number of mature T lymphocytes in the tumor tissue in the combined treatment group significantly increased which could release granzyme and perforin to kill the tumor, indicating that the immune status of the tumor tissues was improved. The results of flow cytometry and IHC showed that both ICB therapy and the tumor nanovaccine can promote the infiltration of CD8+ T

cells. In the combined treatment group, this infiltration was more obvious. Generally, the tumor microenvironment was immunosuppressive, which assisted the immune escape of tumor cells [51, 52]. Therefore, we evaluated the activated CD8+ T cells in the tumor microenvironment after treatment. The results showed that the number of activated CD8+ T cells in the tumor microenvironment of the combined treatment group was significantly higher than that in other groups, indicating that the combined therapy reversed the immunosuppressive microenvironment. The immunohistochemistry of PD-L1 in tumors showed that the expression of PD-L1 in tumor tissues was upregulated when treated with the tumor nanovaccine.

This event reduced the activity of infiltrating T cells and impaired the therapeutic effect. When combined with an anti-PD-L1 antibody, PD-L1 was significantly inhibited, and the infiltrating T cells could maintain their antitumor activity and achieve a sustained antitumor effect.

CONCLUSIONS

In summary, this study designed a dual bioengineering process, which subtly changed the biological signals on the surface of the tumor cell membrane, enhanced the immunogenicity of tumor antigens, and improved the uptake of the nanovaccine by DCs. The nanosized design allows synergistic function between antigens and adjuvants. After subcutaneous injection, the nanovaccine forms an antigen reservoir and activates DCs for a long time. After endocytosis by DCs, the nanovaccine can achieve antigen cross presentation through the process of lysosomal escape, thereby activating a large number of tumor-specific CD8+T cells to kill tumors. In addition, after the combined use of immune checkpoints, the tumor inhibition effect has been further strengthened. This dual bioengineering technology provides a new idea for the development of a personalized tumor vaccine.

REFERENCES

[1] R.T. Shroff, P. Chalasani, R. Wei, D. Pennington, G. Quirk, M.V. Schoenle, K.L. Peyton, J.L. Uhrlaub, T.J. Ripperger, M. Jergovic, S. Dalgai, A. Wolf, R. Whitmer, H. Hammad, A. Carrier, A.J. Scott, J. Nikolich-Zugich, M. Worobey, R. Sprissler, M. Dake, B.J. LaFleur, D. Bhattacharya, Immune responses to two and three doses of the BNT162b2 mRNA vaccine in adults with solid tumors, Nat. Med. 27 (11) (2021) 2002–2011.

[2] M. Saxena, S.H. van der Burg, C.J.M. Melief, N. Bhardwaj, Therapeutic cancer vaccines, Nat. Rev. Cancer 21 (6) (2021) 360–378.

[3] P.A. Ott, Z. Hu, D.B. Keskin, S.A. Shukla, J. Sun, D.J. Bozym, W. Zhang, A. Luoma, A. Giobbie-Hurder, L. Peter, C. Chen, O. Olive, T.A. Carter, S. Li, D.J. Lieb, T. Eisenhaure, E. Gjini, J. Stevens, W.J. Lane, I. Javeri, K. Nellaiappan, A. M. Salazar, H. Daley, M. Seaman, E.I. Buchbinder, C.H. Yoon, M. Harden, N. Lennon, S. Gabriel, S.J. Rodig, D.H. Barouch, J.C. Aster, G. Getz, K.Wucherpfennig, D. Neuberg, J. Ritz, E.S. Lander, E.F. Fritsch, N. Hacohen, C. J. Wu, An immunogenic personal neoantigen vaccine for patients with melanoma, Nature 547 (7662) (2017) 217–221.

[4] C. Chong, G. Coukos, M. Bassani-Sternberg, Identification of tumor antigens with immunopeptidomics, Nat. Biotechnol. 40 (2) (2022) 175–188.

[5] U. Sahin, ¨O. Türeci, Personalized vaccines for cancer immunotherapy, Science 359 (6382) (2018) 1355–1360.

[6] L.M. Sholl, F.R. Hirsch, D. Hwang, J. Botling, The promises and challenges of tumor mutation burden as an immunotherapy biomarker: a perspective from the International Association for the Study of Lung Cancer Pathology Committee, J. Thorac. Oncol. 15 (9) (2020) 1409–1424.

[7] L. Ma, L. Diao, Z. Peng, Y. Jia, H. Xie, B. Li, J. Ma, M. Zhang, L. Cheng, D. Ding, X. Zhang, H. Chen, F. Mo, H. Jiang, G. Xu, F. Meng, Z. Zhong, M. Liu, Immunotherapy and prevention of cancer by nanovaccines loaded with whole-cell components of tumor tissues or cells, Adv. Mater. 33 (43) (2021), 2104849.

[8] M.A. Morrissey, N. Kern, R.D. Vale, CD47 ligation repositions the inhibitory receptor SIRPA to suppress integrin activation and phagocytosis, Immunity 53 (2) (2020) 290–302.

[9] P.A. Betancur, B.J. Abraham, A CD47-associated super-enhancer links pro-inflammatory signalling to CD47 upregulation in breast cancer, Nat. Commun. 8 (1) (2017), 14802.

[10] A. Veillette, J. Chen, SIRPalpha-CD47 immune checkpoint blockade in anticancer therapy, Trends Immunol. 39 (3) (2018) 173–184.

[11] Y. Li, M. Zhang, X. Wang, W. Liu, H. Wang, Y.G. Yang, Vaccination with CD47 deficient tumor cells elicits an antitumor immune response in mice, Nat. Commun. 11 (1) (2020) 581.

[12] Z. Johnson, A. Papaioannou, L. Bernard, E. Cosimo, B. Daubeuf, F. Richard, X. Chauchet, V. Moine, L. Broyer, L. Shang, M. Deehan, N. Fischer, K. Masternak, M. Kosco-Vilbois, A. Michie, W. Ferlin, Bispecific antibody targeting of CD47/CD19 to promote enhanced phagocytosis of patient B lymphoma cells, J. Clin. Oncol. 33 (15_suppl) (2015) e14016-e14016.

[13] N.J. Lakhani, L.Q.M. Chow, J.F. Gainor, P. LoRusso, K.-W. Lee, H.C. Chung, J. Lee, Y.-J. Bang, F.S. Hodi, W.S. Kim, R. Santana-Davila, P. Fanning, P. Squifflet, F. Jin, T.C. Kuo, H.I. Wan, J. Pons, S.S. Randolph, W.A. Messersmith, Evorpacept alone and in combination with pembrolizumab or trastuzumab in patients with advanced solid tumours (ASPEN-01): a first-in-human, open-label, multicentre, phase 1 doseescalation and dose-expansion study, Lancet Oncol. 22 (12) (2021) 1740–1751.

[14] B.I. Sikic, N. Lakhani, A. Patnaik, S.A. Shah, First-in-Human, first-in-class phase I trial of the anti-CD47 antibody Hu5F9-G4 in patients with advanced cancers, J. Clin. Oncol. 37 (12) (2019) 946–953.

[15] M.P. Chao, C.H. Takimoto, D.D. Feng, K. McKenna, P. Gip, J. Liu, J.P. Volkmer, I. L. Weissman, R. Majeti, Therapeutic targeting of the macrophage immune checkpoint CD47 in myeloid malignancies, Front. Oncol. 9 (2019) 1380.

[16] F. Castoldi, E. Vacchelli, L. Zitvogel, M.C. Maiuri, F. Pietrocola, G. Kroemer, Systemic autophagy in the therapeutic response to anthracycline-based chemotherapy, OncoImmunology 8 (1) (2019), e1498285.

[17] J. Fucikova, O. Kepp, L. Kasikova, G. Petroni, T. Yamazaki, P. Liu, L. Zhao, R. Spisek, G. Kroemer, L. Galluzzi, Detection of immunogenic cell death and its relevance for cancer therapy, Cell Death Dis. 11 (11) (2020) 1013.

[18] L. Galluzzi, I. Vitale, S. Warren, S. Adjemian, P. Agostinis,Consensus guidelines for the definition, detection and interpretation of immunogenic cell death, J. Immunother. Cancer 8 (1) (2020), e000337.

[19] L. Galluzzi, A. Buque, O. Kepp, L. Zitvogel, G. Kroemer, Immunogenic cell death in cancer and infectious disease, Nat. Rev. Immunol. 17 (2) (2017) 97–111.

[20] M. Obeid, A. Tesniere, F. Ghiringhelli, G.M. Fimia, L. Apetoh, J.L. Perfettini, M. Castedo, G. Mignot, T. Panaretakis, N. Casares, D. Metivier, N. Larochette, P. van Endert, F. Ciccosanti, M. Piacentini, L. Zitvogel, G. Kroemer, Calreticulin exposure dictates the immunogenicity of cancer cell death, Nat. Med. 13 (1) (2007) 54–61.

[21] Y. Chen, L. Wang, M. Zheng, C. Zhu, G. Wang, Y. Xia, E.J. Blumenthal, W. Mao, Y. Wan, Engineered extracellular vesicles for concurrent Anti-PDL1 immunotherapy and chemotherapy, Bioact. Mater. 9 (2022) 251–265.

[22] H. Fang, Z. Guo, J. Chen, L. Lin, Y. Hu, Y. Li, H. Tian, X. Chen, Combination of epigenetic regulation with gene therapy-mediated immune checkpoint blockade induces anti-tumour effects and immune response in vivo, Nat. Commun. 12 (1) (2021) 6742.

[23] J. Chen, H. Fang, Y. Hu, J. Wu, S. Zhang, Y. Feng, L. Lin, H. Tian, X. Chen, Combining mannose receptor mediated nanovaccines and gene regulated PD-L1 blockade for boosting cancer immunotherapy, Bioact. Mater. 7 (2022) 167–180.

[24] M. Wang, Q. Hu, J. Huang, X. Zhao, S. Shao, F. Zhang, Z. Yao, Y. Ping, T. Liang, Engineered a dual-targeting biomimetic nanomedicine for pancreatic cancer chemoimmunotherapy, J. Nanobiotechnol. 20 (1) (2022) 85.

[25] L. Lin, Y. Hu, Z. Guo, J. Chen, P. Sun, H. Tian, X. Chen, Gene-guided OX40L anchoring to tumor cells for synergetic tumor “self-killing” immunotherapy, Bioact. Mater. (2022).

[26] Y. Hu, L. Lin, J. Chen, K. Hao, S. Zhang, X. Guo, Z. Guo, H. Tian, X. Chen, Highly enhanced antitumor immunity by a three-barreled strategy of the l-arginine promoted nanovaccine and gene-mediated PD-L1 blockade, ACS Appl. Mater. Interfaces 12 (37) (2020) 41127–41137.

[27] Y. Zhao, Engineering biomimetic epigenetic nanoinducer improves cancer immunotherapy, Sci. China Chem. 64 (12) (2021) 2055–2056.

[28] J. Scheiermann, D.M. Klinman, Clinical evaluation of CpG oligonucleotides as adjuvants for vaccines targeting infectious diseases and cancer, Vaccine 32 (48) (2014) 6377–6389.

[29] Y. Hu, L. Lin, J. Chen, A. Maruyama, H. Tian, X. Chen, Synergistic tumor immunological strategy by combining tumor nanovaccine with gene-mediated extracellular matrix scavenger, Biomaterials 252 (2020), 120114.

[30] R.H. Fang, C.M. Hu, B.T. Luk, W. Gao, J.A. Copp, Y. Tai, D.E. O'Connor, L. Zhang, Cancer cell membrane-coated nanoparticles for anticancer vaccination and drug delivery, Nano Lett. 14 (4) (2014) 2181–2188.

[31] A.V. Kroll, R.H. Fang, Y. Jiang, J. Zhou, X. Wei, C.L. Yu, J. Gao, B.T. Luk, D. Dehaini, W. Gao, L. Zhang, Nanoparticulate delivery of cancer cell membrane elicits multiantigenic antitumor immunity, Adv. Mater. 29 (47) (2017), 1703969.

[32] R. Eil, S.K. Vodnala, D. Clever, C.A. Klebanoff, M. Sukumar, J.H. Pan, D.C. Palmer, A. Gros, T.N. Yamamoto, S.J. Patel, G.C. Guittard, Z. Yu, V. Carbonaro, K. Okkenhaug, D.S. Schrump, W.M. Linehan, R. Roychoudhuri, N.P. Restifo, Ionic immune suppression within the tumour microenvironment limits T cell effector function, Nature 537 (7621) (2016) 539–543.

[33] J. Qi, F. Jin, Y. You, Y. Du, D. Liu, X. Xu, J. Wang, L. Zhu, M. Chen, G. Shu, L. Wu, J. Ji, Y. Du, Synergistic effect of tumor chemo-immunotherapy induced by leukocyte-hitchhiking thermal-sensitive micelles, Nat. Commun. 12 (1) (2021) 4755.

[34] G. Hasko, J. Linden, B. Cronstein, P. Pacher, Adenosine receptors: therapeutic aspects for inflammatory and immune diseases, Nat. Rev. Drug Discov. 7 (9) (2008) 759–770.

[35] A. Young, S.F. Ngiow, Y. Gao. Smyth, A2AR adenosine signaling suppresses natural killer cell maturation in the tumor microenvironment, Cancer Res. 78 (4) (2018) 1003–1016.

[36] S.K. Vodnala, R. Eil, R.J. Kishton, M. Sukumar,T cell stemness and dysfunction in tumors are triggered by a common mechanism, Science 363 (6434) (2019) eaau0135.

[37] D. Wang, S. Wang, Z. Zhou, D. Bai, Q. Zhang, X. Ai, W. Gao, L. Zhang, White blood cell membrane-coated nanoparticles: recent development and medical applications, Adv. Healthc. Mater. 11 (7) (2022), 2101349.

[38] J. Wang, S. Wang, T. Ye, F. Li, X. Gao, Y. Wang, P. Ye, S. Qing, C. Wang, H. Yue, J. Wu, W. Wei, G. Ma, Choice of nanovaccine delivery mode has profound impacts on the intralymph node spatiotemporal distribution and immunotherapy efficacy, Adv. Sci. 7 (19) (2020), 2001108.

[39] J.R. Ohlfest, B.M. Andersen, A.J. Litterman, J. Xia, C.A. Pennell, L.E. Swier, A. M. Salazar, M.R. Olin, Vaccine injection site matters: qualitative and quantitative defects in CD8 T cells primed as a function of proximity to the tumor in a murine glioma model, J. Immunol. 190 (2) (2013) 613–620.

[40] Z. Guo, L.J. Kubiatowicz, R.H. Fang, L. Zhang, Nanotoxoids: biomimetic nanoparticle vaccines against infections, Adv. Ther. 4 (8) (2021), 2100072.

[41] J.H. Park, Y. Jiang, J. Zhou, H. Gong, A. Mohapatra, J. Heo, W. Gao, R.H. Fang, L. Zhang, Genetically engineered cell membrane–coated nanoparticles for targeted delivery of dexamethasone to inflamed lungs, Sci. Adv. 7 (25) (2021), eabf7820.

[42] H. Fang, L. Lin, J. Chen, J. Wu, H. Tian, X. Chen, Zinc ion coordination significantly improved the transfection efficiency of low molecular weight polyethylenimine, Biomater. Sci. 7 (4) (2019) 1716–1728.

[43] L. Zhao, Y. Li, D. Pei, Q. Huang, H. Zhang, Z. Yang, F. Li, T. Shi, Glycopolymers/PEI complexes as serum-tolerant vectors for enhanced gene delivery to hepatocytes, Carbohydr. Polym. 205 (2019) 167–175.

[44] A.W. Orr, C.E. Pedraza, M.A. Pallero, C.A. Elzie, S. Goicoechea, D.K. Strickland, J.

E. Murphy-Ullrich, Low density lipoprotein receptor–related protein is a calreticulin coreceptor that signals focal adhesion disassembly, J. Cell Biol. 161 (6) (2003) 1179–1189.

[45] X. Hong, X. Zhong, G. Du, Y. Hou, Y. Zhang, Z. Zhang, T. Gong, L. Zhang, X. Sun, The pore size of mesoporous silica nanoparticles regulates their antigen delivery efficiency, Sci. Adv. 6 (25) (2020) eaaz4462.

[46] S. Jung, J. Kim, S. Pramanick, H. Park, H. Lee, J. Lee, W.J. Kim, A Pt(iv)-mediated polymer architecture for facile and stimuli-responsive intracellular gene silencing with chemotherapy, Biomater. Sci. 6 (12) (2018) 3345–3355.

[47] A. Garcia-Diaz, D.S. Shin, B.H. Moreno, J. Saco, H. Escuin-Ordinas, G.A. Rodriguez, J.M. Zaretsky, L. Sun, W. Hugo, X. Wang, G. Parisi, C.P. Saus, D.Y. Torrejon, T. G. Graeber, B. Comin-Anduix, S. Hu-Lieskovan, R. Damoiseaux, R.S. Lo, A. Ribas, Interferon receptor signaling pathways regulating PD-L1 and PD-L2 expression, Cell Rep. 29 (11) (2019) 3766.

[48] Y. Hu, L. Lin, Z. Guo, J. Chen, A. Maruyama, H. Tian, X. Chen, In situ vaccination and gene-mediated PD-L1 blockade for enhanced tumor immunotherapy, Chin, Chem. Lett. 32 (5) (2021) 1770–1774.

[49] A. Ribas, Adaptive immune resistance: how cancer protects from immune attack, Cancer Discov. 5 (9) (2015) 915–919.

[50] Q. Lei, D. Wang, K. Sun, L. Wang, Y. Zhang, Resistance mechanisms of anti-PD1/PDL1 therapy in solid tumors, Front. Cell Dev. Biol. 8 (2020) 672.

[51] M. Binnewies, E.W. Roberts, K. Kersten, Understanding the tumor immune microenvironment (TIME) for effective therapy, Nat. Med. 24 (5) (2018) 541–550.

[52] X. Wang, L.P. Hu, W.T. Qin, Q. Yang, D.Y. Chen, Q. Li, K.X. Zhou, P.Q. Huang, C. J. Xu, J. Li, L.L. Yao, Y.H. Wang, G.A. Tian, J.Y. Yang, M.W. Yang, D.J. Liu, Y. W. Sun, S.H. Jiang, X.L. Zhang, Z.G. Zhang, Identification of a subset of immunosuppressive P2RX1-negative neutrophils in pancreatic cancer liver metastasis, Nat. Commun. 12 (1) (2021) 174.

УДК 331.552; 65.014

СОЗДАНИЕ ИНХАУС-КОМАНД DATA-СПЕЦИАЛИСТОВ В ПЕРИОД ГАЛОПИРУЮЩЕЙ ЦИФРОВИЗАЦИИ
CREATION OF INHOUSE TEAMS OF DATA SPECIALISTS IN THE PERIOD OF GALLOPING DIGITALIZATION

Кузин Виктор Федорович[1,2], Лачинина Татьяна Александровна[1,2], Чистяков Максим Сергеевич[3]
Kuzin Viktor Fedorovich[1,2], Lachinina Tatiana Alexandrovna[1,2], Chistyakov Maxim Sergeevich[3]

[1]Российская инженерная академия
[1]Russian Engineering Academy
(e-mail: vfkuzin@mail.ru; t_lachinina@mail.ru)
[2]Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования Центросоюза Российской Федерации «Российский университет кооперации», Владимирский филиал
[2]Autonomous non-profit educational organization of higher education of the Centrosoyuz of the Russian Federation «Russian University of Cooperation», Vladimir branch
[3]Федеральное казенное образовательное учреждение высшего образования «Владимирский юридический институт ФСИН России»
[3]Federal State Educational Institution of Higher Education «Vladimir Law Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia»
(e-mail: m.s.chistyakov@ruc.su)

Аннотация. Рассматривается процесс взаимодействия в креативной среде на основе инновационного подхода мыслительно-творческой деятельности членов команды, например, DATA-центров. Приводится командный подход в качестве вариации инхаус-модели деятельности организации, расширяющей возможности командной специфической деятельности, а также представления об альтернативных инструментальных подходах в миссии и философии организации в условиях галопирующей цифровизации.

Abstract. The process of interaction in the creative environment is considered on the basis of an innovative approach to the mental and creative activity of team members, for example, DATA centers. The team approach is presented as a variation of the inhouse model of the organization's activity, which expands the possibilities of team-specific activities, as well as ideas about alternative instrumental approaches in the mission and philosophy of the organization in the conditions of galloping digitalization.

Ключевые слова: инхаус-команда, проектный подход, цифровизация, DATA-центр, командная работа.

Keywords: inhouse-team, project approach, digitalization, DATA center, teamwork.

Команда «нового типа» приобретает ориентацию на узкоспециализированные «мягкие» компетенции в цифровой среде. Формат команды и специализации в условиях реалий трансформации экономики в постиндустриальную эпоху («команда 2.0», «информационная команда», «цифровая команда», «креативная команда»), отличающейся применением новых подходов в работе, навыков и компетенций, изучался начиная с 70-х гг. XX века.

В условиях «Индустрии 4.0» происходит формирование механизма взаимодействия в едином виртуальном средовом фоне [1] (например, в глобальном масштабе либо в DATA-пространстве), обладающем определенной спецификой, возможностями и рисками. В практической плоскости сосредоточение цифровой специфики накопленной информации реа-

лизуется посредством инструмента DATA-центров, позволяющего агрегировать узкоспециализированные команды специалистов (инхаус-команды). В узком смысле подобного рода объединения представляют собой аттрактор коллективного взаимодействия (социального, профессионального и т.п.).

Ф. Уэбстер, представитель информационного подхода, в качестве признака работника «нового типа», участвующего в командной работе, приводит возможность восприятия информации в процессе профессиональной деятельности приобретающей, специфические узконаправленные черты [2]. Ученые, ориентированные на когнитивный подход (G.S. Erickson, W. Kucharska, V. Pérez-Díaz, J.C. Rodríguez и др.) исходят из накопленных знаний высокого уровня у современных работников, и квалифицируют их как «работники знаний [3; 4; 5].

Инхаус-команды как формат реализации компетенций специалистов «нового типа», которые можно дифференцировать как отличительные на современном цифровом рынке труда, расширяют возможности командной узконаправленной работы и представления о различных инструментальных подходах в миссии и философии организации. В более расширенной трактовке под инхаус-командой понимают объединенную группу узкоспециализированных сотрудников в целях выполнения определенной задачи (задач) либо в целеполагании определенной миссии [6].

Интерес работодателей к данному подходу реализации инновационно-креативных проявлений командных объединений обусловлен стремлением повысить эффективность и конкурентоспособность организации при росте конкурентной борьбы в условиях и расширения объема информационных потоков галопирующей цифровизации.

Однако отметим проявления наследия советской кадровой политики и исполнительской дисциплины. Так, наиболее востребованные качества на рынке труда является дисциплинированность работников (98%), коммуникативные компетенции (86%), способность к командной работе (85%) и освоению новых технологий (83%) [7]. Тем не менее в условиях галопирующей цифровизации наблюдается тенденция расширения компетенций специалистов в сторону инновационной направленности, особенно в сферах информационного обеспечения и цифрового развития, трактуемые у работодателей в качестве «творческого подхода» в профессиональной деятельности, способствующего раскрытию новых аспектов в креативном решении поставленных задач, например, в создании нового продукта [8]; инновационной деятельности на инструментальном и когнитивном уровнях [9, 98]; творческое мышление, отраженное в объективно созданном продукте человеческой деятельности [10, 207].

По сути, истоки инхаус-команд (проектных команд) берут свое начало с практики управления в советском народном хозяйстве – в бригадном подходе. Современные реалии дополнили возможности данного инструментария, модифицировав его в вариации проектного подхода. Тем самым появляется возможность «распараллеливать» элементы производственного процесса посредством декомпозиционной градации определенного сегмента проекта (процесса) на подэлементы (подзадачи), что способствует детализированному воплощению форсайта с описательной фрагментацией всего комплекса выполненных задач. Приведенный подход позволяет инкапсулировать (скрывать) сложность локальных направлений (решений) на платформе проектных модулей. Подобный формат реализации проекта инхаус-командой получил название «метод проектного интерфейса» [11], позволяющий посредством повторного использования верифицированных проектных алгоритмов (моделей) значительно снизить затраты временных ресурсов и увеличить надежность проводимых операций, например, в DATA-центрах.

Специфика цифровой эволюции информационного общества обусловливает определенные уникальные требования к компетенциям специалистов DATA-центров. Уровень навыков при отборе для работы в данных высокотехнологичных структурах накопления и распределения информации определяется в целях: верификации соответствия компетенций

членов команды DATA-специалистов, в частности, для определения плана групповых и индивидуальных тренингов и повышения квалификации; формирования кадрового резерва руководящего состава; составления карты стрессоустойчивости специалистов и т.п.

При использовании командного подхода формирования групп DATA-специалистов, по мнению Яхонтовой Е.С. необходимо учитывать следующие частности [12, 233-234]:

– учет уровня стрессоустойчивости при обстоятельствах непреодолимой силы и в условиях неопределенности сотрудников;

– риск перезагруженности из-за неравномерной загруженности специалистов;

– наличие предыдущего опыта командной работы [13];

– активность и честолюбие как индивидуальная, так и коллективная особенность участников команды;

– развитые коммуникации у сотрудников внутри организации.

В организации параллельно может функционировать несколько команд (узкоспециалированных коллективов), выполняющих определенные задачи в общей миссии реализуемой стратегии, соответствующей философии хозяйствующего субъекта. При этом целесообразно использовать информационные платформы в качестве инструмента коммуникационного взаимодействия между ними, в том числе по различным тематическим направлениям, что создает основу не только для решения оперативных совместных задач, но и для информационного обмена, трансфера знаний и опыта. При этом в процессе сотрудничества в структуру коммуникаций могут входить формальные и неформальные группы организации. Как правило, в силу ограниченности временного ресурса на становление общих ценностей и профессиональных традиций, межкомандные коммуникации формируются на основе эмпирических подходов в процессе решения комплекса тактических задач [14, 29-32].

Таким образом, формируется цифровая формация командной работы в глобальном информационно-средовом фоне, обладающей комплексом особых маркеров в виде универсальных знаний и специфических компетенций, позволяющих специалисту DATA-центра обладать качествами цифровой интегрированности, информационной коллегиальности, профессиональной транспарантности.

Часто взаимодействие в инхаус-команде реализуется вне классических представлений о времени и пространстве, поскольку коммуникации осуществляются посредством цифровой среды. Достаточно переменным является численность группы взаимодействия. Весьма условным является не только количественный, но и его качественный состав. Все более распространенным встречается общение «в сети» при отсутствии визуального знакомства с коллегой – даже при длительном профессиональном сотрудничестве.

Генерируется особая инновационная организационная культура. Дефиниция «инновационная культура» в понятийно-терминологический аппарат была введена Т. Амабайл [15, 131]. По мнению автора, это особая категория организационной культуры, способствующая поддержанию креативной атмосферы в коллективе и творческой инициативы сотрудников.

В заключение отметим, что процесс цифровой эволюции вносит трансформационные изменения в стиль работы многих организаций, формируя своеобразие командного подхода в деятельность хозяйствующего субъекта, в том числе в плоскость межличностного доверия, формальных и неформальных отношений на уровне «коллега-коллега», «подчиненный-руководитель». В значительной степени эффектность инхаус-команд зависит от доверительных отношений внутри данного узкого круга специалистов, деятельность которых сосредоточена на круг обязанностей специфического ограниченного характера.

Список литературы

1. Верещагина Е.А., Золкин А.Л. Создание безопасных контрактов в технологии блокчейн: монография. – М.: Русайнс, 2022. – 132 с.

2. Уэбстер Ф. Теории информационного общества. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 400 с.

3. Kucharska W., Erickson G.S. Organizational IT Competency, Knowledge Workers and

Knowledge Sharing // Proceedings of the 20th European Conference on Knowledge Management. – 2019. – Vol. 1. – P. 665–671.

4. Pérez-Díaz V., Rodríguez J.C. The future of work: new workers, new citizens: Research Paper 111(b). – ASP, 2017. – URL: https://www.researchgate.net/ publication/322655851_The_future_of_work_new_workers_new_citizens (дата обращения: 27.08.2023).

5. Henry B.C. Knowledge Workers // Journal of Knowledge Management Practice. – 2012. – Vol. 13, No. 3. – URL: http://www.tlainc.com/articl314.htm (дата обращения: 27.09.2023).

6. Какие бывают виды инхаус-агенств. URL: https://blog.ikraikra.ru/vidy-inhaus-agentstv/#:~:text (дата обращения: 27.08.2023).

7. Бобиенко О.М. Ключевые компетенции профессионала как конкурентное преимущество на рынке труда // Современная конкуренция. – 2008. – № 4. – С. 96-104.

8. Кубрушко П.Ф., Назарова Л.И. Формирование инновационного мышления студентов университета // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В.П. Горячкина. – 2012. – № 4. – С. 25–28.

9. Усольцев А.П., Шамало Т.Н. Понятие инновационного мышления // Педагогическое образование в России. – 2014. – № 1. – С. 94–98.

10. Салихов Б.В., Антипова Д.А. Инновационное мышление и основы механизма управления творческим потенциалом современной корпорации // Транспортное дело России. – 2014. – № 1. – С. 205–209.

11. Кудрявцев Н.Г., Темербекова А.А. Особенности метода проектных интерфейсов как механизма развития проектного подхода в образовательном процессе и детском техническом творчестве // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. –2018. – Том 8. – № 6. – С. 167-182. DOI: 10.15293/2226-3365.1806.11.

12. Яхонтова Е.С. Эффективность управленческого лидерства. – М.: ТЕИС, 2002. – 501 с.

13. Ling V.V., Yumashev A.V., Estimation of worker encouragement system at industrial enterprise. Espacios 2018, 39 (28), 22.

14. Руководство к Своду знаний по управлению проектами. Четвертое издание (Руководство PMBOK). – 5-е изд. - М. : Олимп-Бизнес, 2018. – 790 с.

15. Амабайл Т. Как убить творческую инициативу // Креативное мышление в бизнесе / пер. с анг. М.: «Юнайтед Пресс», 2011.

УДК 677.074

РАЗРАБОТКА УНИКАЛЬНОЙ ВЕТРЯНОЙ УСТАНОВКИ В РОССИИ
STUDY ON THE DEVELOPMENT OF A UNIQUE WIND PLANT IN RUSSIA

Шеина Светлана Георгиевна [1,2], Пасько Елизавета Андреевна [1]
Sheina Svetlana G. [1,2], Pasko Elizaveta A. [1]

[1]Донской государственный технический университет – ДГТУ
Россия, Ростов-на-Дону
[1]Don State Technical University – DSTU, Russia, Rostov-on-Don
(e-mail: reception@donstu.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: Приведено теоретическое исследование уникального динамического ветрового забора, рассмотрено устройство конструкций ветрового парка и этапы его установки, посчитана стоимость и этапы работ по разработке и строительству рассматриваемого модуля.

Abstract: A theoretical study of a unique dynamic wind fence is presented, the structure of the wind park structures and the stages of its installation are considered, the cost and stages of work on the development and construction of the module in question are calculated.

Ключевые слова: динамический ветровой забор, электрическая энергия, ветровой парк.

Keywords: active wind fence, electrical energy, wind park.

Множество стран начали развивать ветровые фермы, так как с начала XXI века произошёл подъём технологий ветроэнергетики, став значительнее эффективными и конкурентоспособными. Генерирование объёмов электроэнергии и высокий КПД являются важными характеристиками современных ветрогенераторов. В России в 1931 году Анатолий Уфимцев разработал и построил первую в мире ветроэлектростанцию, где использовалось ветровое колесо с поворотными лопастями и переменным углом атаки. На сегодняшний день Россия снова готова представить уникальную разработку, способную повлиять на всё дальнейшее развитие индустрии – ветряную установку Dynamic Wind Fence (DWF – динамический ветровой забор) [1]. Динамический ветровой забор разработала компания из Подольска, уникальность которого заключается в необычной конструкции – ветрогенератор исключает возможность вращения крыльев вокруг своей оси, как у стандартных установок. Крылья закрепляются на каретках и за счёт их движения под воздействием ветра по горизонтальным направляющим вырабатывается электричество. В отличие от классических схем в конструкции установка генераторов DWF не требует значительного пространства, их крылья двигаются в шесть раз медленнее, они не способны создавать инфразвук, безопасны для птиц и людей, поэтому конструкцию можно включить в городскую инфраструктуру и расположить ближе к потребителю [2-5]. Собирается ветропарк изначально на сборочной площадке небольшой площади от 10 до 15 га мощностью 10-20 МВт, через 3 месяца стройки при организованной работе модуль является готовым к запуску (рисунок 1). Мощность установки зависит как от местной скорости ветра, так и от возможности строить высокие фермы. Каждые уровни ветрового парка являются отдельными генераторами, поэтому ветропарк, построенный по технологии DWF, можно ввести в строй поэтажно, получая тем самым кредит на строительство следующих уровней после запуска первой линии. Данная конструкция включает отдельные автономные элементы – ярусы и каретки, поэтому ей не требуется ремонт и остановка при обслуживании.

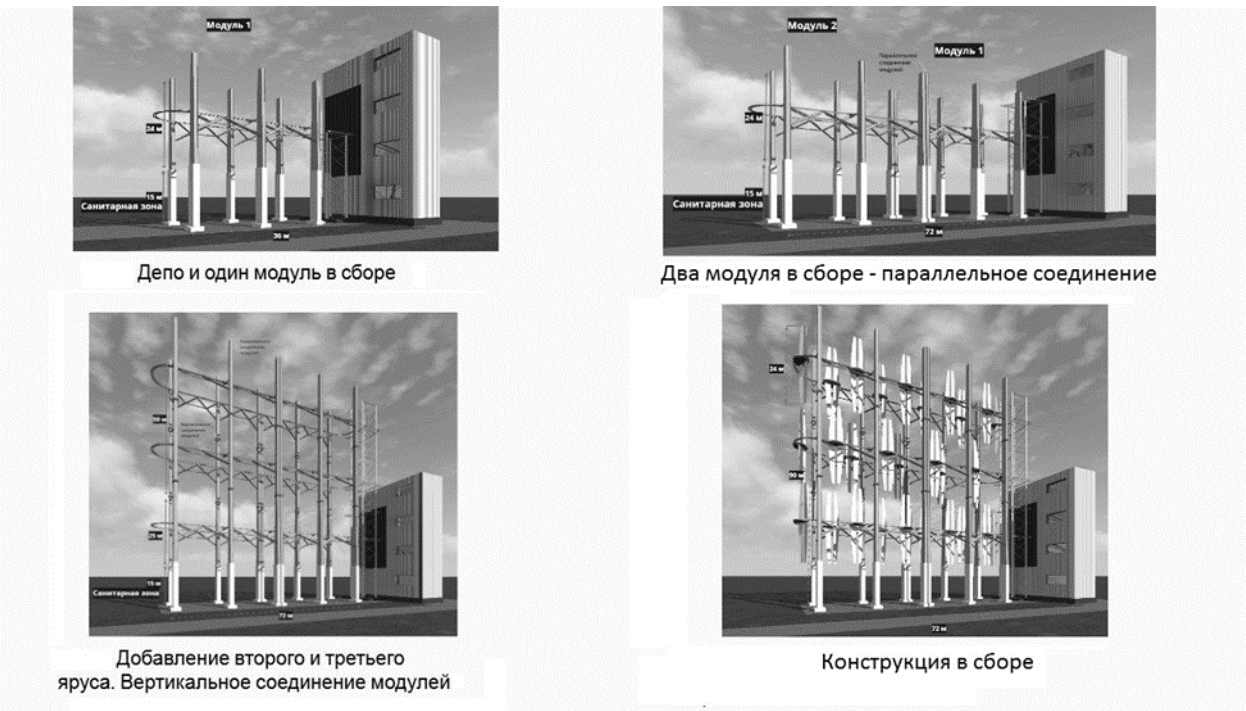


Рисунок 1 – Динамический ветровой забор Dynamic wind fence (DWF).

DWF – это модульная конструкция из установки прямоугольной фермы до 215 метров в высоту, разделённая на ярусы. Сбор большего количества энергии с ветрового окна подразумевает самостоятельное регулирование каждого яруса. По высоте к первому ярусу можно добавить еще два. Каждый ярус представляет собой отдельный генератор с автономным управлением, а единую аэродинамическую решетку представляет ряд из множества кареток с крыльями. Используя энергию ветра, крыло двигает каретку по горизонтали, активные катушки на рельсовом пути стоят неподвижно, генератором управляет электроника, она задаёт требуемое положение крыла и скорость движения, следит за расстоянием до соседних крыльев. Предусмотрено хранение дополнительных кареток с крыльями, вывод которых может потребоваться при усилении ветра, что всегда обеспечивает установке максимальный КПД, в то время как стандартные ветровые генераторы теряют до 26% КПД при изменении скорости ветра [6]. Для удешевления логистики, все комплектующие стандартизируются и помещаются в грузовик или контейнер. Но главное отличие стандартных ветрогенераторов от DWF заключается в больших капитальных затратах при строительстве. Только сегодня на 1 КВт установочной мощности ветрового парка приходится около 65 000 рублей, а использование DWF-технологий снизит капитальные затраты строительства в 10 и более раз по сравнению с ветропарками классической компоновки.

Компания, разработавшая рассматриваемый динамический ветровой забор, приобрела все патенты (патент на способ преобразования энергии ветра, на систему преобразования энергии ветра и на модуль такого преобразования), технологии и права на программное обеспечение, также она будет заниматься мониторингом работы ветровых парков и техническим сопровождением. Выступив генеральным подрядчиком при строительстве, компания заработает выплату, а постоянные выплаты будут составлять от 5 до 10% от стоимости проданного электричества.

Создание рабочего прототипа DWF (характеристики которого: длина 12 метров, ширина 3 метра, высота крыла 1 метр), требует до девяти месяцев работы. Работа разбивается поэтапно. Первый этап – отработка программного обеспечения и электроники, демонстрация заезда и выезда кареток, смена скоростей движения и регулирование угла атаки крыльев в зависимости от направления ветра. Данные работы оцениваются в 6-9 млн. рублей.

Второй этап – создание рабочего модуля, который в последствие станет основой для

проектирования больших установок [7]. Данный этап завершается получением первого контракта на строительство DWF-ветропарка.

С целью дальнейшего коммерческого использования осенью прошлого года свой интерес к разработке Dynamic Wind Fence проявила компания «Газпром Нефть Шельф». Свою береговую инфраструктуру она сообщила предоставить для апробации технологии и проведения испытаний.

В заключение статьи следует отметить, что разработка ветряной установки Dynamic Wind Fence (DWF) представляет собой уникальное достижение в России, которое имеет потенциал повлиять на дальнейшее развитие индустрии ветроэнергетики. DWF представляет собой инновационное решение, которое объединяет в себе преимущества традиционных ветряных установок и дополняет их динамическими возможностями.

Выводы

Проведено теоретическое исследование уникального российского проекта Dynamic wind fence (DWF – динамический ветровой забор), подробно рассмотрено устройство конструкций и этапы их установки, в статье рассматривались основные отличия стандартных установок ветровых парков от модулей DWF, а также была посчитана стоимость и этапы работ по разработке и строительству рассматриваемой конструкции.

Список литературы

1. Dmitriveskii V., Prakht V., Kazakbaev V. IE5 energy-efficiency class synchronous reluctance motor with fractional slot winding // IEEE Transactions on Industry Applications. 2019. – V. 55. – № 5. – P. 4676–4684. DOI: 10.1109/TIA.2019.2924405.

2. Р.Ю. Сергеевна «Проектирование ветрогенераторов для городской среды г. Томска», НИТПУ – г. Томск; 2018г., 106 с.

3. Д.А. Рогозина, Т.С. Хворова, Д.М. Жиленко [и др.] «Проблемы и перспективы развития ветроэнергетических установок в России» / Текст : непосредственный // Молодой ученый. – 2016. – № 22.3 (126.3). - с. 40-43.

4. Design of a flux-switching electrical generator for wind turbine systems / J. Ojeda, M. Simões, G. Li, M. Gabsi // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2012. – V. 48. – № 6. – P. 1808–1816. DOI: 10.1109/TIA.2012.2221674.

5. Альтернативная энергетика как объект инвестирования в экологические проекты. Потенциал развития в России и конкурентные преимущества на мировом рынке / Н. Н. Рудченко // Учен. зап. Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. 2011. No 18. С. 214–218.

6. Е.Н. Задорожный, О.Е. Комкова Анализ эффективности использования альтернативных источников энергии на территории Российской Федерации. Политехнический молодежный журнал.- МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва,2018 г. - 11 с.

7. Li H., Chen Z. Overview of different wind generator systems and their comparisons // IET Renewable Power Generation. – 2007. – V. 2 – № 5. – P. 123–138. DOI: 10.1049/iet-rpg:20070044.

УДК 541.12: 665.743.3

КИНЕТИКА ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ ТОПЛИВ ДЛЯ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
KINETICS OF THERMAL DEGRADATION OF FUELS FOR GAS TURBINE ENGINES

Яновский Леонид Самойлович[1,2,3], Казаков Анатолий Иванович[1], Молоканов Александр Александрович[1], Плишкин Николай Алексеевич[1], Варламова Наталья Ивановна[1]
Yanovsky Leonid Samoilovich [1,2,3], Kazakov Anatoly Ivanovich [1], Molokanov Alexander Alexandrovich[1], Plishkin Nikolay Alekseevich[1], Varlamova Natalia Ivanovna[1]

[1] ФИЦ ПХФ и МХ Российской академии наук, МО, г. Черноголовка
[1] FRC of PCP and MC of the Russian Academy of Sciences, Moscow region, Chernogolovka (e-mail: amolokanov@icp.ac.ru)
[2]«Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», Москва
[2]«Moscow Aviation Institute (National Research University)», Moscow
[3]Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва
[3]National Research University «MPEI», Moscow

Аннотация: В статье рассмотрены особенности кинетики термодеструкции образцов топлива термостабильного для авиационных ГТД марки Т-6: Т-6 опытное, Т-6 по технологии каталитического крекинга. Определены кинетические параметры процесса термодеструкции исследованных образцов топлива в интервале температур 420-460°С.

Abstract: The article discusses the features of the kinetics of thermal destruction of samples of thermally stable fuel for aviation GTD of the T-6 brand: T-6 (experimental), T-6 (using the technology of catalytic cracking). The kinetic parameters of the thermal degradation process of the studied fuel samples in the temperature range of 420-460°C are determined.

Ключевые слова: топливо для авиационных ГТД, Т-6, кинетика, термостабильность, газовыделение

Keywords: fuel for aviation gas turbine engines, T-6, kinetics, thermal stability, gas release

Процессы термодеструкции углеводородных топлив в газовой фазе широко распространены в технике и имеют важную роль в химической технологии, производстве и применение углеводородных материалов, тесно связаны с решением вопросов повышения эффективности работы энергетических установок и экологических проблем [1-7]. Проведенные ранее работы в основном рассматривают индивидуальные углеводороды или их модельные смеси. В настоящее время отсутствуют сведения о кинетике термического разложения образцов топлива для авиационных ГТД.

Ранее были получены данные о термодеструкции различных углеводородов [4, 8]. Авторами работы [9] был исследован пиролиз н-гексана при 723-823 К и давлении 100 торр до глубины 3%. Данные получены в стеклянных реакторах закрытого типа. В качестве продуктов реакции идентифицированы водород, метан, этан, этен, пропен, бутен-1, пентен-1 и немного пропана, выход продуктов имеет линейную зависимость от времени реакции. Показано, что изменение S/V не влияет на процесс и реакция является гомогенной.

В работе [10] было обнаружено, что кинетические параметры термодеструкции циклогексана и его алкильных производных при температуре от 650 до 850°С и атмосферном давлении являются функцией от длины алкильной боковой цепи.

В работе [11] предложен механизм пиролиза н-гептана, включающий 35 элементарных стадий. Показаны вклады продуктов реакции пиролиза в суммарное давление в системе, при этом отмечено, что давление компонентов может как возрастать по ходу реакции, так и иметь максимум. Реакции продолжения цепи бетта-радикалов с пропеном приводят к сильному снижению общей скорости реакции. Это «самоингибирование» часто имеет место при пиролизе углеводородов и связано с образованием аллильных радикалов, которые менее реакционноспособны, чем бетта-радикалы, участвующие в реакциях продолжения цепи.

В работе [12] в проточном реакторе при пиролизе декана для интервала температур 460-560ºС установлена Аррениусовская зависимость $k = 1.17\ 10^5 \exp(-261.5/RT)$ мин$^{-1}$ (где R=8.314 Дж/моль·град).

Основным подходом к исследованию кинетики термодеструкции углеводородных соединений стало использование волюмометрических методов [13].

Экспериментальная часть

В работе определялась термическая стабильность образцов топлива Т-6 для авиационных ГТД путем исследования процесса газовыделения при их термодеструкции с использованием высокоточной манометрической установки, позволяющей измерять прирост давления в интервале от 0 до 50 атм при температурах от комнатной до 460°С [13]. Реакцию деструкции проводили в стеклянных реакционных сосудах Бурдона, снабженных серповидной мембраной. Давление в сосуде с навеской измеряли компенсационным методом. Для этого сосуд с навеской помещали в разъемную стальную капсулу с регулируемым давлением.

Объектами исследования являлись образцы жидкого топлива для авиационных ГТД: Т-6 по опытной технологии и Т-6 по технологии каталитического крекинга. Свойства топлив приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические свойства исследуемых образцов топлива Т-6

Соединение	Кинематическая вязкость, мм^2/с (сСт) при 20°С	Плотность при 20°С, кг/м^3	Удельная теплота сгорания низшая, кДж/кг
Т-6 опытное	2,3	842	42910
Т-6 по технологии каталитического крекинга	2.8	844	42970

Кинетика газофазной термодеструкции Т-6 по опытной технологии изучена в температурном интервале 420÷460°С, Т-6 по технологии каталитического крекинга – в интервале 420÷460°С. В качестве примера на рисунке 1 представлены кинетические кривые увеличения давления по ходу термодеструкции Т-6 по технологии каталитического крекинга, пересчитанные на глубину процесса.

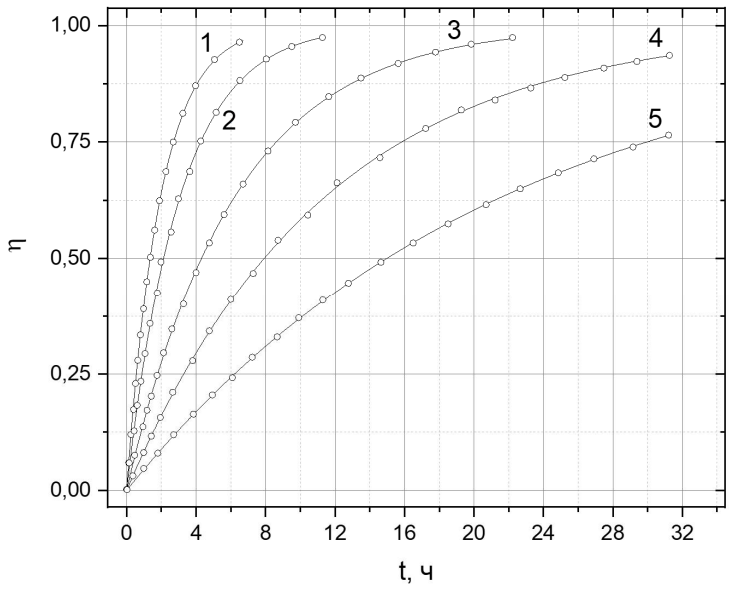


Рисунок 1 – Кинетические кривые процесса термодеструкции Т-6 по технологии каталитического крекинга: 1 – 460, 2 – 450, 3 – 430, 4 – 420°С, 5 – 410°С, точки – эксперимент, кривая линия – расчет по закону реакции первого порядка.

Скорость газовыделения при термодеструкции рассмотренных топлив хорошо описывается законом реакции 1-го порядка $\eta = n/n_\infty = 1 - \exp(-kt)$, где η – глубина термического разложения; n – текущее количество молей газов, определяемое по давлению в сосуде, моль·кг$^{-1}$; n_∞ – полное количество молей выделившихся газов, полученное при экстраполяции на бесконечное время проведения реакции, моль·кг$^{-1}$; k – константа скорости реакции, с$^{-1}$. Прослеживается закономерность, когда у топлива, содержащего больше водорода, в конце процесса выделяется меньше газов.

Обсуждение результатов

Процесс термодеструкции изученных топлив является цепной неразветвленной радикальной реакцией [14]. Этот процесс протекает по трем параллельным макростадиям, включающим ряд параллельных и последовательных реакций. Продуктами первой макростадии являются непредельные ациклические и циклические углеводороды и предельные углеводороды с меньшим числом атомов углерода по сравнению с исходным углеводородом. Вторая макростадия представляет собой цепную реакцию циклизации с участием метильных и аллильных радикалов и олефинов с образованием алкилароматических и ароматических углеводородов. В процессе дегидрогенизации на третьей макростадии образуются полициклические и полиароматические углеводороды и, в пределе, пиролизный кокс. При термодинамическом контроле реакции термодеструкция углеводородов протекает с образованием углерода и водорода [15], скорость этого процесса будет возрастать при увеличении температуры.

Для зависимостей констант скоростей реакции термодеструкции образцов топлива для авиационных ГТД получены следующие выражения: для Т-6 по технологии каталитического крекинга $k = 10^{14.7\pm0.6} \exp[(-260\pm7.7)\,10^3]/RT)$, для Т-6 по опытной технологии $k = 10^{14.3\pm0.4} \exp[(-256.5\pm5.4)\,10^3]/RT)$, где R=8.314 Дж/моль·град.

В первой макрокинетической стадии процесса термодеструкции углеводородных топлив реакция зарождения цепи (0), наиболее вероятно, представляет собой разрыв С–С связи в циклопентановом звене. Величина энергии активации константы скорости зарождения цепи E_0 равна величине энергии связи С–С в циклопентановом кольце. Эти величины найдены из теплот атомизации циклопентана с учетом того, что энергия связи С–Н в циклопентане 408.4 кДж·моль$^{-1}$[16].

На рис. 2 представлена кинетическая схема элементарных реакций первой макрокинетической стадии процесса термодеструкции углеводородных топлив, в которой RH, R_i.и

$\dot{R}_i$ представляют собой исходный углеводород и промежуточные углеводороды и радикалы различного строения [24]. Реакции (1-6) являются реакциями продолжения цепи. Реакции (1) и (2) описывают распад образовавшихся бирадикалов по связям, находящимся в β-положении относительно атома углерода, обладающего свободной валентностью, с образованием олефина и метильного радикала или атома водорода. Следующими стадиями продолжения цепи являются реакции (3) и (4), по которым метильный радикал и атом водорода реагируют с исходными углеводородами с образованием метана или водорода и регенерацией радикалов. Образующиеся радикалы в результате мономолекулярного распада по реакциям (5) и (6) образуют олефины и регенерируют метильные радикалы и атомы водорода. Обрыв цепи может происходить при столкновении любых радикалов, атомов водорода, при перекрестной рекомбинации атомов водорода и радикалов или их гибели на стенке. При гибели радикалов на стенке в выражение для скорости реакции должно входить произведение констант скоростей зарождения и продолжения цепи, и наблюдаемая энергия активации в этом случае больше энергии активации зарождения цепи, что не согласуется с наблюдаемыми энергиями активации реакции термодеструкции исследуемых углеводородных топлив, которые по абсолютной величине меньше энергии активации зарождения цепи.

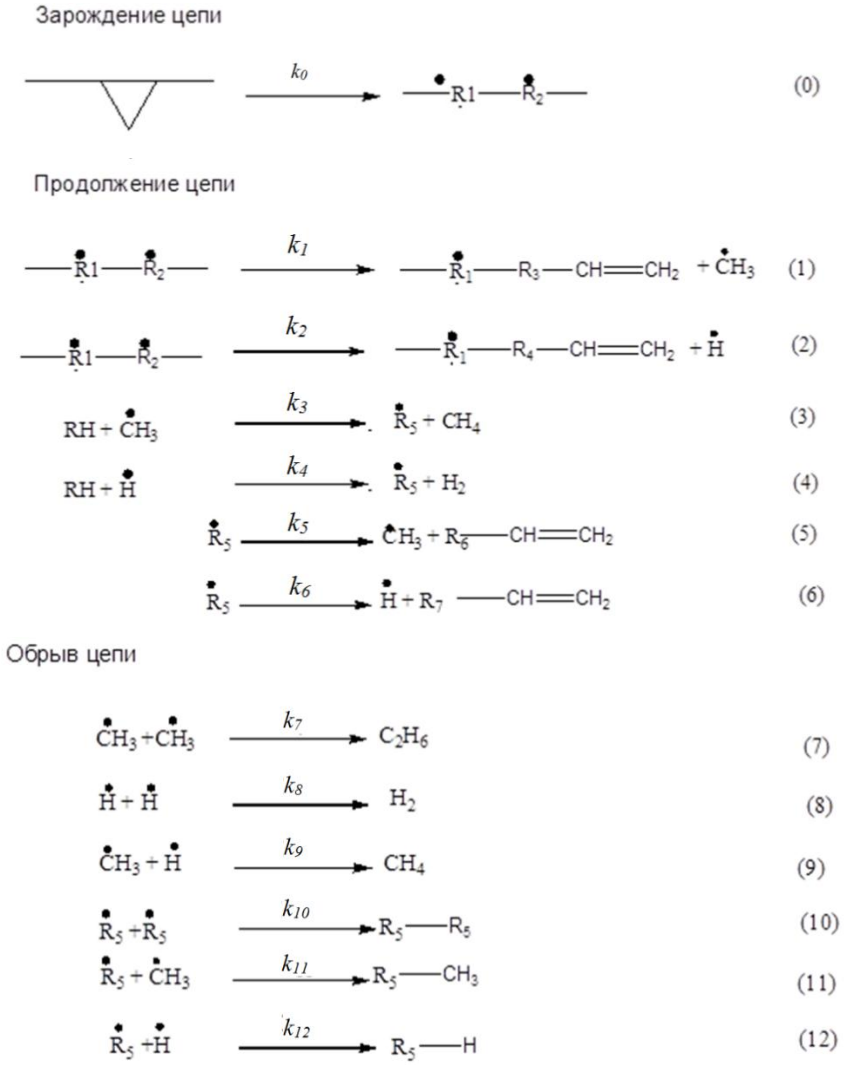


Рисунок 2 – Кинетическая схема элементарных реакций первой макрокинетической стадии термодеструкции углеводородных топлив.

Далее, вследствие большой величины константы скорости реакции (4) продолжения цепи с участием атомов водорода, т.е. высокой реакционной способности атомов водорода, их концентрация в реакционной смеси существенно меньше концентрации радикалов CH_3

и $\dot{R}_i$. Поэтому при близости величин констант скоростей реакций квадратичного обрыва цепи (реакции (7-12)), скорости реакций обрыва с участием атома водорода (реакции (8, 9, 12)) будут невысоки, и ими можно пренебречь. Кроме того, порядок реакции термодеструкции при реализации обрыва при бимолекулярном столкновении радикалов CH_3 по реакции (7) был бы больше первого порядка, а при обрыве по бимолекулярной реакции радикалов $\dot{R}_i$ (реакция (10)) меньше первого, что не согласуется с наблюдаемым в эксперименте первым порядком реакции термодеструкции каркасных углеводородов.

Таким образом, первый порядок реакции в случае протекания цепной неразветвленной реакции деструкции изученных каркасных углеводородов может наблюдаться в случае, если реализуется квадратичный обрыв цепи по реакции рекомбинации (11) метильных радикалов с макрорадикалами $\dot{R}_5$, а лимитирующей стадией в продолжении цепи является мономолекулярный распад макрорадикала $\dot{R}_5$ по реакции (5) с образованием олефинов и регенерацией метильных радикалов. При применении условия стационарности $k_0[RH]=2k_{11}[\dot{R}_i][CH_3]$ и условия длинных цепей $k_3[RH][CH_3]=k_5[\dot{R}_i]$ получено, что $[\dot{R}_i]=(k_0k_3/2k_5k_{11})^{1/2}[RH]$, и скорость термодеструкции выражается в виде $W=k_5[\dot{R}_i]=(k_0k_3k_5/2k_{11})^{1/2}[RH]$. То, что $E_{эксп}$ меньше энергии связи С–С в рассмотренных в работе топливах для авиационных ГТД, соответственно, служит дополнительным доказательством протекания их термодеструкции по механизму цепных неразветвленных реакций. Обрыв цепи по реакции (11) идет без энергии активации, тогда наблюдаемая в эксперименте энергия активации должна быть равна $E_{эксп}=0.5\cdot(E_0+E_3+E_5)$. Исходя из экспериментальных величин $E_{эксп}$ для полусуммы энергий активаций $0.5(E_3+E_5)$, были получены величины: для Т-6 по технологии каталитического крекинга – 260.2-0.5·352.3 = 84 кДж·моль$^{-1}$ и для Т-6 по опытной технологии – 256,5-0.5·352.3 = 80,35 кДж·моль$^{-1}$.

Выводы

В результате проведенных экспериментальных исследований кинетики термодеструкции образцов топлива Т-6 для авиационных ГТД установлено следующее: рассмотренные образцы топлива Т-6 в газовой фазе разлагаются с соизмеримыми скоростями в температурном интервале 410-460°С; процесс термодеструкции является неразветвленной радикальной реакцией, протекающей по кинетическому закону первого порядка.

Финансирование работы

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания АААА-А19-119120690042-9

Список литературы

1. Zhou W. et al. Experimental study on effect of pressure on heat sink of n-decane // Chemical Engineering Journal. Elsevier B.V., 2014. Vol. 243. P. 127–136.

2. Zhao L. et al. Combined Experimental and Computational Study on the Unimolecular Decomposition of JP-8 Jet Fuel Surrogates. I. n-Decane (n-C10H22) // Journal of Physical Chemistry A. 2017. Vol. 121, № 6. P. 1261–1280.

3. Wang Y. et al. Molecular-level modeling investigation of n-decane pyrolysis at high temperature // J Anal Appl Pyrolysis. Elsevier, 2017. Vol. 128, № August. P. 412–422.

4. Zhou H. et al. Energy absorption and reaction mechanism for thermal pyrolysis of n-decane under supercritical pressure // Appl Therm Eng. 2017. Vol. 112. P. 403–412.

5. Derrick P.J., Rickard J. the Reverse Activation Energy in Unimolecular Decomposition. 1977. P. 304–309.

6. Blackmore D.R., Hinshelwood C. Derivation of rate constants for steps in the free-radical chain decomposition of paraffins // Proc R Soc Lond A Math Phys Sci. 1962. Vol. 268, № 1332. P. 36–45.

7. Bruno T.J., Widegren J.A. Thermal decomposition kinetics of kerosene-based rocket propellants. 1. comparison of RP-1 and RP-2 // Energy and Fuels. 2009. Vol. 23, № 11. P. 5517–5522.

8. Ebert K.H., Ederer H.J., Isbarn G. The Thermal Decomposition of n-Hexane. 1983. Vol. 15. P. 475–502.

9. Imbert F.E., Marshall R.M. The mechanism and rate parameters for the pyrolysis of n-hexane in the range 723–823 K // Int J Chem Kinet. 1987. Vol. 19, № 2. P. 81–103.

10. Zychlinski W. et al. Kinetische Untersuchungen zur Pyrolyse von Mono-n-alkyl-cyclohexanen // Journal fоr Praktische Chemie. 1983. Vol. 325, № 1. P. 66–74.

11. Ebert K.H., Ederer H.J., Isbarn G. The Thermal Decomposition of n-Hexane. 1983. Vol. 15. P. 475–502.

12. María L. et al. Determinacion De La Cinetica De Descomposicion Termica De Alcoholes E Hidrocarburos Mediante Un Reactor Pulso. Vol. 10, № 1.

13. A complex of manometric methods for studying thermophysical, thermochemical properties and thermal stability of energy-intensive compounds / G.A. Tarasov, A.A. Molokanov, N.A Plishkin, A.I. Kazakov, N.I. Varlamova, L.S. Yanovskiy, T.S. Larikova Journal of Physics: Conference Series. 2021. V. 1891. N 012056. P. 1-8.

14. Кнорре, Н.М. Курс химической кинетики / Н.М. Кнорре, Д.Г. Эмунуэль. - М. : Высш. шк., 1984. - 463 с.

15. Солодова, Н.Л. Пиролиз углеводородного сырья / Н.Л. Солодова, А.И. Абдулин. - Казань : Казан. гос. технол. ун-т, 2007. - 239 с.

16. Туманов В.Е. Бутлеровские сообщения / В.Е. Туманов, Е.Т. Денисов // – 2013. – Т.35. – № 9. – С. 139–144.

УДК 62-21

ДВУХФАЗНЫЕ КАЛЬЦИЙФОСФАТНЫЕ МАКРОПОРИСТЫЕ КАРКАСЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ УСТРИЧНОЙ РАКОВИНЫ, ДЛЯ ИНЖЕНЕРИИ КОСТНОЙ ТКАНИ
BIPHASIC CALCIUM PHOSPHATE MACROPOROUS SCAFFOLDS DERIVED FROM OYSTER SHELL FOR BONE TISSUE ENGINEERING

Юнь Ян[a,b], Цинцин Яо[a,b], Симин Пу[a,b], Чжэньцин Хо[c,d], Цицин Чжан[b,c,d,*]
Yun Yang[a,b], Qingqing Yao[a,b], Ximing Pu[a,b], Zhenqing Hou[c,d], Qiqing Zhang[b,c,d,*]

[a] Department of Chemistry, College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, People's Republic of China
[b] Department of Material Science and Engineering, College of Materials, Xiamen University, Xiamen 361005, People's Republic of China
[c] Research Center of Biomedical Engineering, Department of Biomaterials, College of Materials, Xiamen University, Key Laboratory of Biomedical Engineering of Fujian Province, Research Center of Biomedical Engineering Technology of Xiamen City, Xiamen 361005, People's Republic of China
[d] Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Sciences, Peking Union Medical College, Key Laboratory of Biomedical Material of Tianjin, Tianjing 300192, People's Republic of China
∗ Corresponding author at: Research Center of Biomedical Engineering, Department of Biomaterials, College of Materials, Xiamen University, Key Laboratory of Biomedical Engineering of Fujian Province, Research Center of Biomedical Engineering Technology of Xiamen City, Xiamen 361005, People's Republic of China.
E-mail address: zhangqiq@xmu.edu.cn (Q. Zhang).
[a] Химический факультет Института химии и химической инженерии Сямыньского университета, г. Сямынь 361005, КНР
[b] Факультет материаловедения и инженерии, Институт материалов Сямыньского университета, г. Сямынь 361005, КНР
[c] Исследовательский центр биомедицинской инженерии, Отделение биоматериалов, Институт материалов Сямыньского университета, Ключевая лаборатория биомедицинской инженерии провинции Фуцзянь, Исследовательский центр биомедицинских инженерных технологий города Сямынь, г. Сямынь 361005, КНР
[d] Институт биомедицинской инженерии Китайской академии медицинских наук, Медицинский институт Пекинского союза, Ключевая лаборатория биомедицинских материалов Тяньцзиня, г. Тяньцзинь 300192, КНР
∗ Для связи писать: Исследовательский центр биомедицинской инженерии, Отделение биоматериалов, Институт материалов Сямыньского университета, Ключевая лаборатория биомедицинской инженерии провинции Фуцзянь, Исследовательский центр биомедицинских инженерных технологий города Сямынь, г. Сямынь 361005, КНР
Адрес электронной почты: zhangqiq@xmu.edu.cn (Q. Zhang).

Abstract: The aim of this work was to fabricate a macroporous scaffold from oyster shell by using an innovative combination of techniques. Crassostrea angulata shell characterized by a natural microporousstructure (2-10 μm) was used as raw material. Firstly, plate-like nanocrystals of AB-type carbonatedhydroxyapatite (HA) were produced by hydrothermal conversion of fine-milled oyster shell powders. Secondly, interconnected macroporous scaffolds were prepared with the polymer replication method. The obtained scaffolds presented a biphasic structure of hydroxyapatite/-tricalcium phosphate (HA/β-TCP) with a porosity of 91.4±1.2%, and showed an excellent permeability due to theopen macropores (200-500 μm) and interconnected micropores (100-

500 nm) in macropore walls.The synthetic scaffolds were found to be non-cytotoxic and displayed better biocompatibility than pure HA scaffolds when seeded with pre-osteoblasts cells (MC3T3-E1). Therefore, the macroporous scaffolds derived from oyster shells would offer promising alternatives for bone tissue engineering applications.

Аннотация: Целью данной работы было изготовление макропористого каркаса из устричной раковины с использованием инновационной комбинации методов. В качестве сырья использовалась раковина *Crassostrea angulata*, характеризующаяся естественной микропористой структурой (2-10 мкм). Во-первых, пластинчатые нанокристаллы карбонатгидроксиапатита (HA) типа AB были получены путем гидротермальной конверсии порошков мелкого помола устричных раковин. Во-вторых, методом полимерной репликации были получены соединенные макропористые каркасы. Полученные каркасы представляли собой двухфазную структуру гидроксиапатит/-трикальцийфосфата (HA/β-TCP) с пористостью 91,4±1,2% и демонстрировали превосходную проницаемость благодаря открытым макропорам (200-500 мкм) и взаимосвязанным микропорам (100-500 нм) в стенках макропор. Было обнаружено, что синтетические каркасы не являются цитотоксичными и демонстрируют лучшую биосовместимость, чем чистые каркасы HA, при посеве клетками до остеобластов (MC3T3-E1). Таким образом, макропористые каркасы, полученные из устричных раковин, могли бы стать многообещающей альтернативой для применения в инженерии костной ткани.

1. Introduction

A three-dimensionally (3D) interconnected macroporous structure is crucial to bone tissue engineering materials. Macroporesof 200 μm or more in size favor bone in-growth through the-interconnections between the macropores, and provide good conditions for biofluids transport and tissue infiltration [1, 2]. Interconnected micropores of around 1 μm could promote theassimilation to bone as well as bone formation. Therefore, bimodaltype porous scaffolds are expected to allow bone in-growth andearly bone assimilation [2]. Bioceramics, such as HA and β-TCP, are most widely used as bone tissue engineering materials due to their excellent biocompatibility and osteoconductive properties [3, 4]. Since Roy successfully converted coral to HA in 1974 [5], hydrothermal transformations of biogenetic calcium carbonate ($CaCO_3$) to calcium phosphate bioceramics have been widely investigated [6-9]. The hydrothermal synthesis (Eq. (1)) allowed ionic exchange without destroying the morphology of the raw materials [5].

$$10CaCO_3 + 6(NH_4)_2HPO_4 + 2H_2O \rightarrow Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2 + 6(NH_4)_2CO_3 + 4H_2CO_3 \qquad (1)$$

Coralline HA have gained great interest among the marine biomaterials due to their similar component and microstructure to natural bone [6]. However, corals are not available worldwide or are even species in danger of extinction. Thus, it is urgent to explore new vast, cheap and easily accessible alternative materials. Oyster shells as a waste product from mariculture are widely distributed in the coastal area. Researchers have been used oyster shell as a construction material [10], a media of biological aerated filter [11] and an adsorbent for phosphate [12]. Recently, the biomedical applications of oyster shells have aroused considerable interest [8, 9]. Oyster shells have been proven to be biocompatible and bioactive bone grafting materials [13, 14]. HA nano-powders were successfully produced from oyster shell powders via hydrothermal treatment [9]. Therefore, oyster shells could be a promising raw material for bone tissue engineering. A number of techniques have been applied to fabricate porous scaffolds, including lyophilization, slip casting and polymer replication [2, 15, 16]. Specifically, the polymer replication method can produce a high open porous structure with controllable pore size, interconnected pores and desired geometry. Previous studies have revealed that characteristics of the particles such as specific surface area, crystallinity and morphology could strongly influence the microstructure of the sintered body [17-19]. To date, the preparation of macroporous calcium phosphate scaffolds from oyster shells has not been reported.

In this study, we have newly developed a macroporous bone tissue scaffold from HA nano-

powders (derived from oyster shell) by using polymer replication method. By comparison, commercial HA nano-powders were used to produce macroporous scaffolds with the same method. The physicochemical properties of the two scaffolds were performed by X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy and scanning electron microscopy (SEM). The scaffolds exhibited better cellular biocompatibility than that obtained from commercial HA powders in vitro. These results showed that the new developed macroporous scaffolds had the advantages as following: (i) high plasticity with controllable pore size; (ii) excellent in vitro biocompatibility with pre-osteoblasts; (iii) worldwide availability and low cost of raw materials; (iv) a new approach to solve the environment pollution caused by oyster shell waste.

2. Materials and methods

2.1. Conversion of seashells to HA

Oyster shells from the species Crassostrea angulata, obtained randomly from a commercial seafood marketinXiamen city, southeastern China, were used in this study (Fig. 1). As shown in Fig. 2a, shells were crushed and treated with 5% sodium hydrochlorite (NaClO) solution. The granularity of shell powders is lower than 200-mesh-sieve (a particle size smaller than 75 μm).Assuming that the whole matter of the oyster shell consists of CaCO3 [8], oyster shell powders (2.0 g) together with excess diammonium hydrogen phosphate [$(NH_4)_2HPO_4$] (Ca/P molar ratio is 5/6) were homogeneously mixed with 50 ml deionized (DI) water in a Teflon bottle. After stirred well, the bottle was sealed in a stainless steel autoclave and heated at 220°C for 6 h. The products were collected and milled in a mortar to produce a fine HA powder.

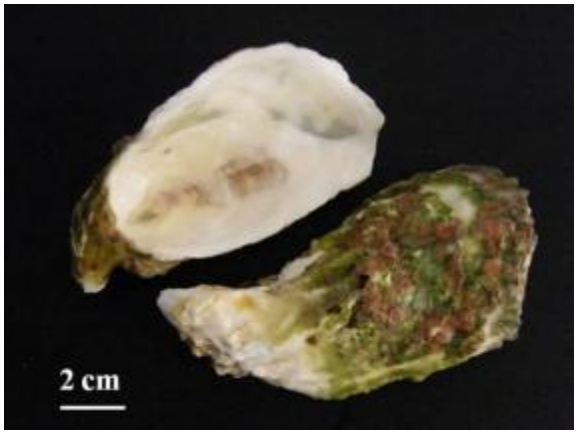


Figure 1 – Optical images of oyster shells (Crassostrea angulata).

2.2. Preparation of porous bioceramic scaffolds

As shown in Fig. 2b, the macroporous scaffold was developed with polymer replication method as reported in previous papers [20, 21]. Briefly, a ceramic slurry was prepared by dispersing asprepared HA (O-HA) powders in DI water using polyvinylalcohol (PVA) as a binder. The composition ratio was 25 g (HA):67.5 ml (H_2O):7.5 g (PVA). Polyurethane (PU) sponges with an average pore size of 200 μm were cut into any desired size and then completely immersed into the HA slurry. The PU sponges were squeezed to remove the excess slurry and dried at 60°C for 24 h. The HA-coated sponges were heated at 1 ◦C/min followed by a 1 h plateau at 600°C to burn out the PU sponges and then heated at 5 °C/min followed by another plateau of 3 h at 1250 °C to density the HA struts. The scaffolds were allowed to cool inside the furnace for 24 h. Scaffold prepared from commercial stoichiometric HA (S-HA, Nanjing Emperor Nano Material Co., Ltd.) powders was used as a control by using the same method.

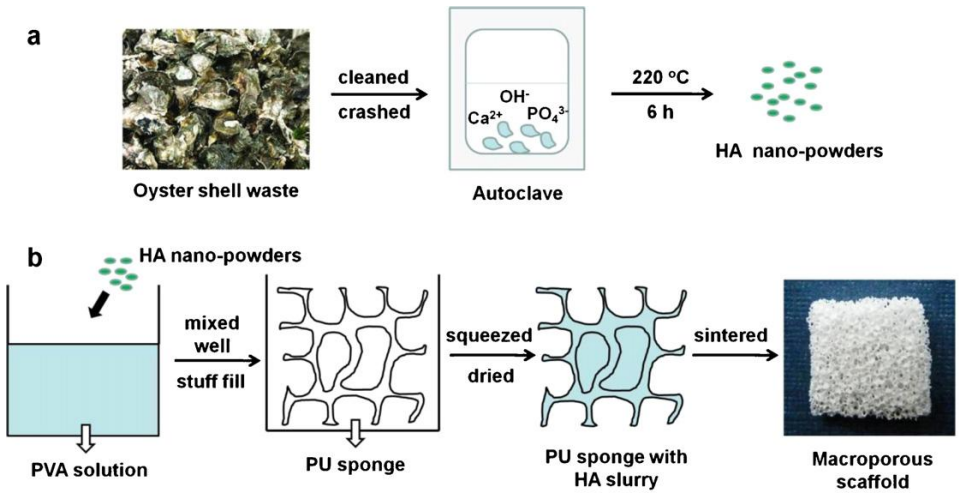


Figure 2 – Schematic of the basic process: (a) hydrothermal conversion of oyster shells to HA nano-powders and (b) polymer replication technique, which is used to fabricate the macroporous scaffolds.

2.3. Physicochemical characterization
2.4. Biocompatibility assay

3. Results and discussion

3.1. Conversion of C. angulata shell powders to HA

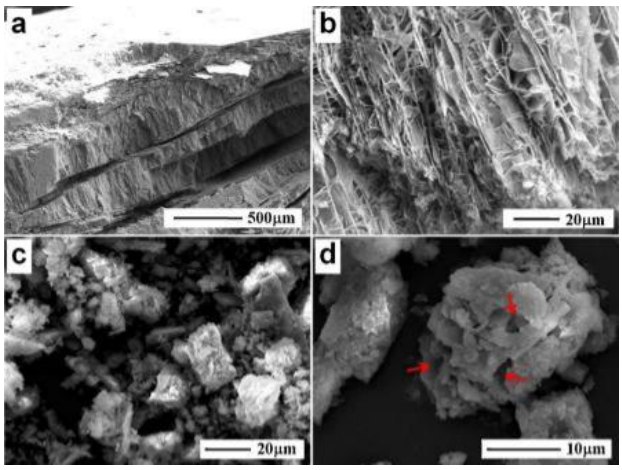


Figure 3 – SEM images of oyster shells: (a) cross section, (b) porous microstructure and (c) milled powders. (d) Magnified image of (c).

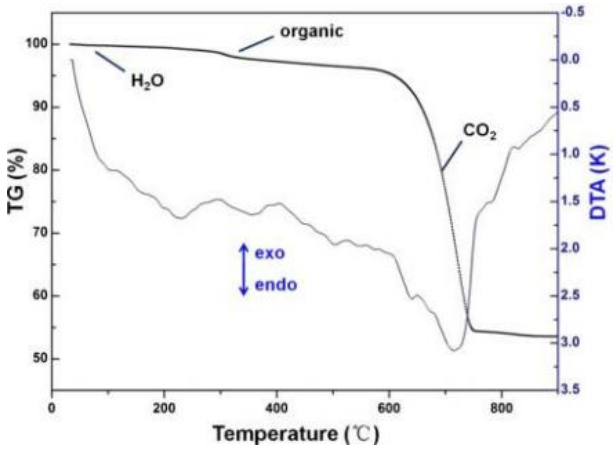


Figure 4 – TGA and DTA curves of oyster shell powders.

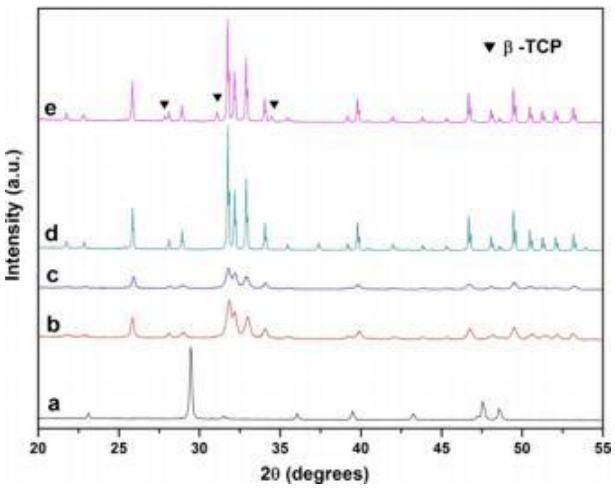


Figure 5 – XRD patterns of (a) oyster shell powders, (b) S-HA powders, (c) O-HA powders, (d) S-HA scaffolds and (e) O-HA scaffolds.

3.2. Characterization of porous scaffolds

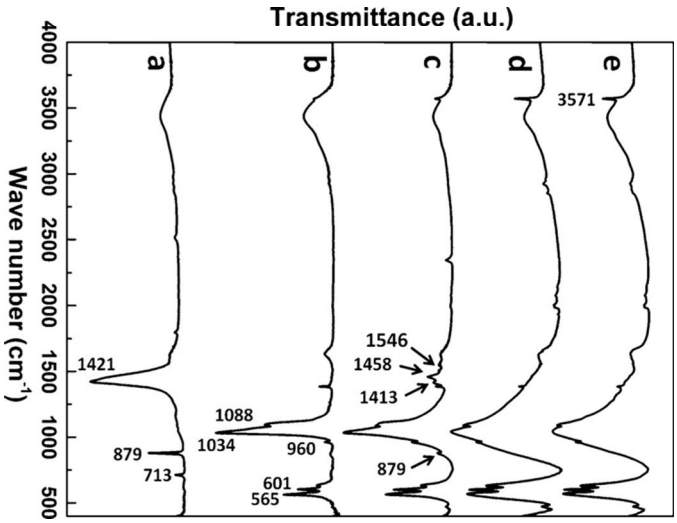


Figure 6 – FTIR spectra of(a) oyster shell powders, (b) S-HA powders, (c) O-HA powders, (d) S-HA scaffolds and (e) O-HA scaffolds.

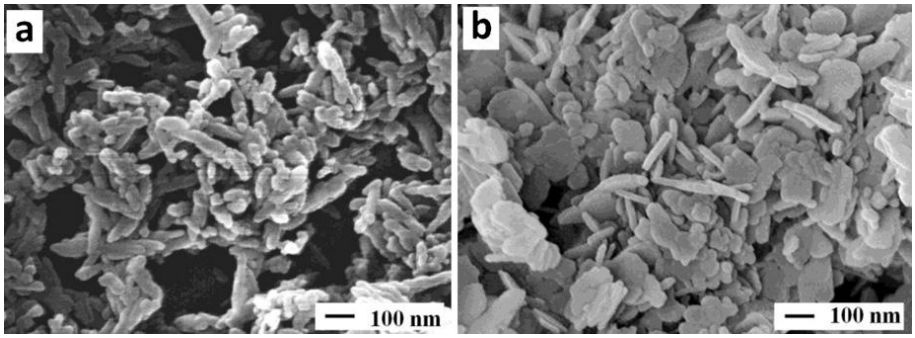


Figure 7 – SEM images of (a) S-HA powders and (b) O-HA powders.

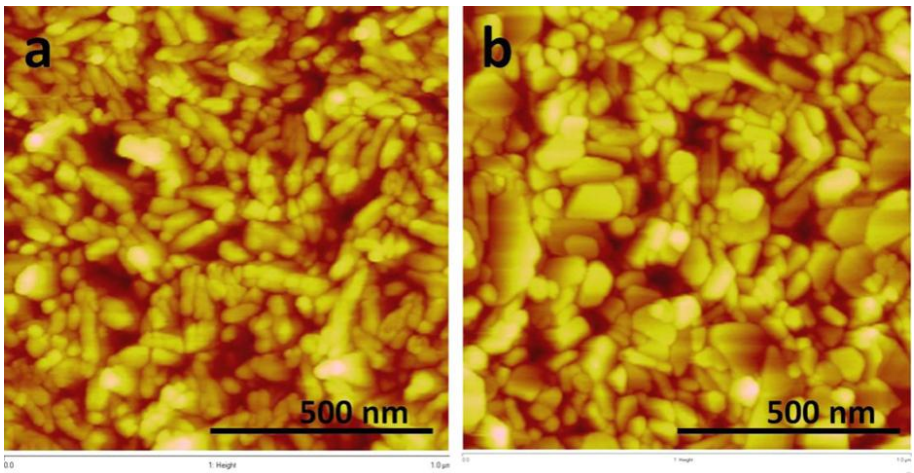


Figure 8 – AFM images of (a) S-HA powders and (b) O-HA powders.

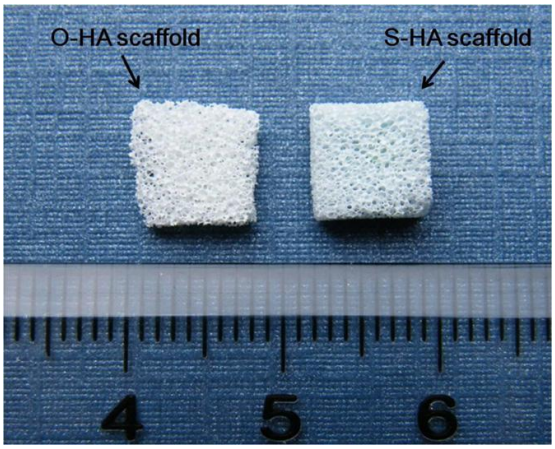


Figure 9 – Macroscopic appearances of O-HA and S-HA scaffold.

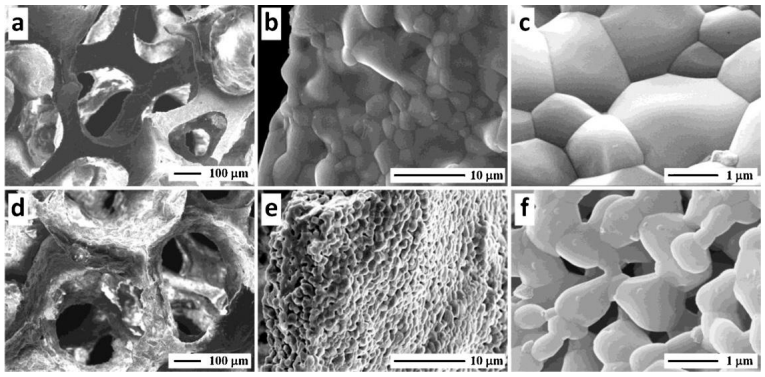


Figure 10 – SEM images of (a–c) S-HA scaffolds and (d–f) O-HA scaffolds obtained by the polymer replication method

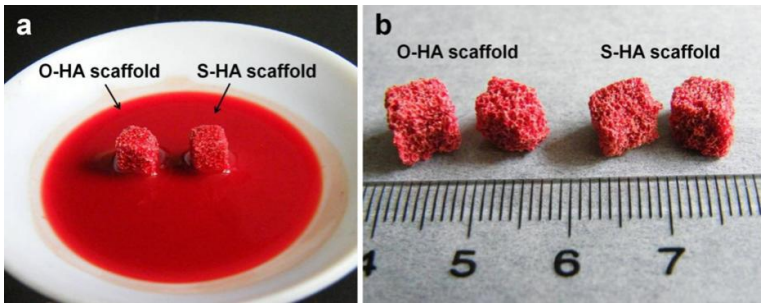


Figure 11 – Images of O-HA and S-HA scaffolds after the capillarity test: (a) scaffolds and (b) cross-section.

3.3. Biocompatibility studies

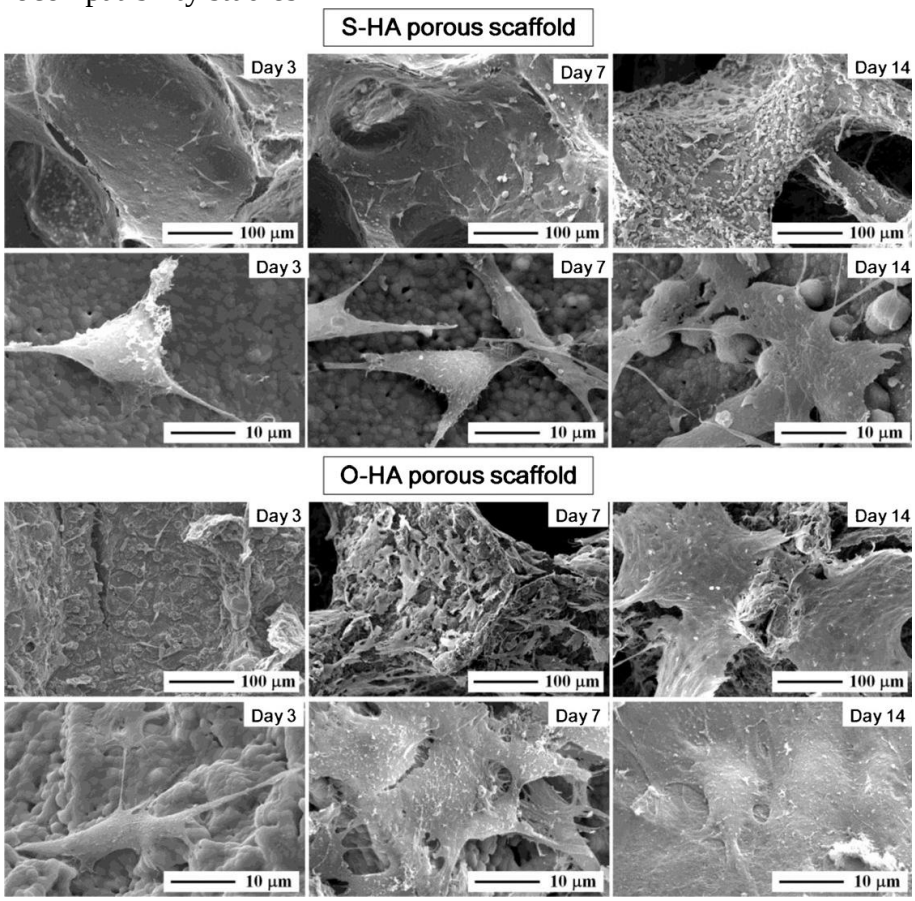


Figure 12 – SEM images of S-HA and O-HA scaffold seeded with MC3T3-E1 for 3, 7 and14 days.

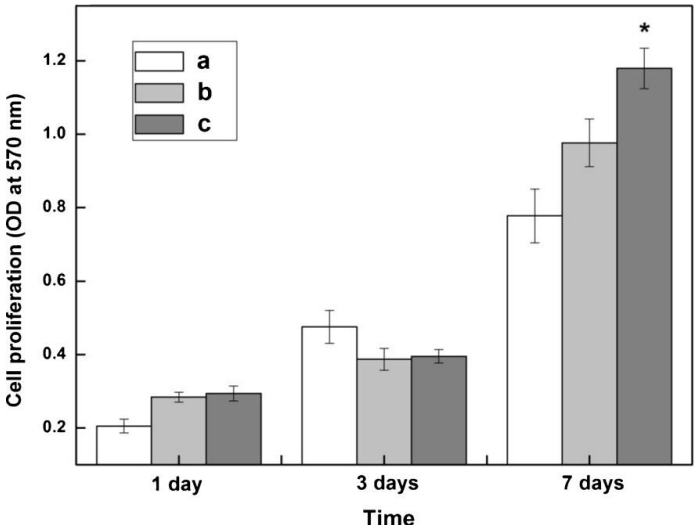


Figure 13 – MTT assay for proliferation of MC3T3-E1 cells on (a) TCPS, (b) S–HA and (c) O-HA scaffolds at various incubation periods. Error bars represent means ± SD (n = 5), *P < 0.05.

4. Conclusions

This work has demonstrated that processed. Cangulata shells could be fabricated into a 3D biphasic calcium phosphate scaffold by a method combining the hydrothermal synthesis and polymer replication methods. Carbonated HA particles were produced, presenting plate-like morphology with nanoscale dimensions. The obtained O-HA scaffolds had a comprising of a biphasic structure of HA/β-TCP, and showed open macropores with pore size in the range of 200-500 μm and interconnected micropores from 100 nm to 500 nm. In addition, O-HA scaffolds displayed a

high porosity up to 91.4±1.2% and an excellent permeability. Cell culture analysis showed that O-HA scaffolds were non-cytotoxic and displayed better biocompatibility than S-HA scaffolds. Therefore, the biphasic calcium phosphate macroporous scaffolds derived from oyster shells are considered beneficial for bone tissue engineering applications.

Acknowledgements

This work was financially supported by the Major Research plan of the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 90923042), Research Fund for the Doctoral Program of Higher Education (No. 20101106110042), National Key Technologies R & D Program of China (Grant No. 2007BAD07B05) and Key Project of Fujian Provincial Department of Ocean and Fisheries of China ([2008] 1-11).

УДК 620.179.18

ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ МОНОЛИТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ УГЛЕКОМПОЗИТОВ ВСТРОЕННЫМИ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИМИ ДАТЧИКАМИ
SOME FEATURES OF TESTING OF MONOLITHIC STRUCTURAL ELEMENTS FROM CARBON COMPOSITES BY EMBEDDED FIBER-OPTIC SENSORS

Федотов Михаил Юрьевич[1,2]
Fedotov Mikhail Yu. [1,2]

[1]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[1]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
[2]Институт автоматики и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук, Россия, Новосибирск
[2]Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Russia, Novosibirsk
(e-mail: fedotovmyu@gmail.com)

Аннотация: Рассмотрены особенности создания встроенных систем контроля углекомпозитных конструкций волоконно-оптическим датчиками на основе волоконных брэгговских решеток. Приведены результаты экспериментальных исследований по контролю монолитных конструктивных элементов из углекомпозита, подтверждающие эффективность предложенного подхода.

Abstract: The features of the creation of embedded testing systems for carbon composite structures by fiber-optic sensors based on fiber Bragg gratings are considered. The results of experimental researches on the testing of monolithic structural elements made of carbon composite are presented, confirming the effectiveness of the proposed approach.

Ключевые слова: углекомпозит, монолитный элемент конструкции, оптический контроль, волоконно-оптический датчик, волоконная брэгговская решетка.

Keywords: carbon composite, monolithic structural element, optical testing, fiber optic sensor, fiber Bragg grating.

Создание перспективных изделий авиационной техники невозможно без применения новых материалов, технологий их переработки и адаптации к реальным условиям эксплуатации. Особое внимание уделяется повышению весовой эффективности изделий, применению материалов с высокими прочностными и ресурсными характеристиками. Достижение указанных параметров обеспечивается в том числе за счет применения полимерных композитных материалов (ПКМ), в частности – углекомпозитов [1]. В свою очередь, внедрение подобных материалов в конструкции требует новых подходов [0] к реализации неразрушающих методов контроля (НК), обеспечивающих необходимый уровень безопасности. Стоит отметить, что традиционные методы НК [0, 0] не могут обеспечивать возможность контроля в режиме реального времени, т.е. в течение всего периода эксплуатации.

Особенности оптического метода контроля ПКМ

Эта проблема может быть решена за счет применения современных методов оптического НК, основанных на интеграции волоконных световодов (ВС), содержащих чувствительные элементы, например, волоконные брэгговские решетки (ВБР), в структуру материала конструкции из ПКМ на стадии изготовления [0]. Такой подход обеспечивает возможность непрерывного НК конструкций волоконно-оптическими датчиками (ВОД) – мониторинг фактического напряженно-деформированного состояния в условиях эксплуатации.

Физически такой датчик по своей сути представляет волоконно-оптический тензодатчик, который в сравнении с электрическим имеет ряд преимуществ, позволяющих с легкостью реализовать систему НК, встроенную в контролируемую конструкцию. При этом измеряемым параметром контроля является изменение резонансной длины волны ВБР, вызванное воздействием механических и термических нагрузок. Резонансная длина волны ВБР, как свободной, так и интегрированной в ПКМ, определяется известным соотношением [0] (1)

$$\lambda_{BG} = 2\Lambda n_{eff} \tag{1}$$

где λ_{BG} – резонансная (брэгговская) длина волны, нм; n_{eff} – эффективный показатель преломления ВС на данной длине волны, отн. ед.; и Λ – период ВБР, нм.

Преобразуя (1) с учетом линейного приближения при разложении функции $\lambda_{BG}(\varepsilon, T)$ в ряд Тейлора получим (2)

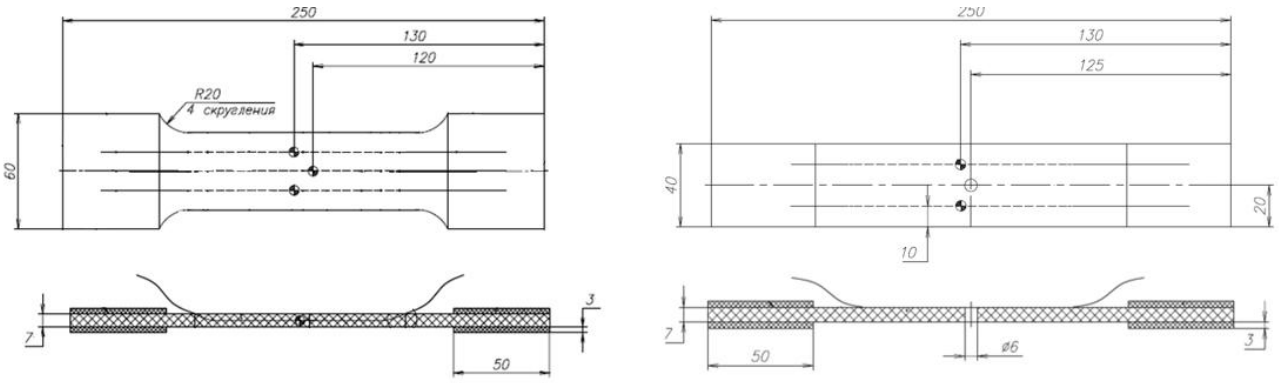
$$\frac{\Delta\lambda_{BG}}{\lambda_{BG}} \approx \frac{1}{\lambda_{BG}}\left(\frac{\partial\lambda_{BG}}{\partial\varepsilon}\right)\Delta\varepsilon + \frac{1}{\lambda_{BG}}\left(\frac{\partial\lambda_{BG}}{\partial T}\right)\Delta T = K_\varepsilon\Delta\varepsilon + K_T\Delta T \tag{2}$$

где $\Delta\varepsilon$ – продольная деформация участка ВС с ВБР; ΔT – изменение температуры, °С; K_ε – коэффициент чувствительности ВБР к деформации, (мкм/м)$^{-1}$; K_T – коэффициент чувствительности ВБР к температуре, °С $^{-1}$.

Из (2) видно, что предлагаемый метод позволяет осуществлять контроль двух параметров (деформации и температуры) в локальной зоне расположения ВОД в конструкции. Таким образом, создавая топологию ВОД в конкретном изделии можно обеспечить непрерывный контроль в течении всего срока эксплуатации изделия.

Моделирование нагружения элементов конструкций из углекомпозита

Современные расчетные комплексы позволяют, исходя из линейки имеющихся материалов, подобрать оптимальное количество слоев и схему армирования для обеспечения необходимого комплекса прочностных свойств. Такой расчет носит оценочный характер, но, вместе с тем, позволяет рассчитать прочность конкретного элемента конструкции (ЭК) с использованием материала с заданными свойствами, которые и будут являться исходными данными для расчета, что, в конечном итоге, позволяет скорректировать объем физически выпускаемых образцов и ЭК в меньшую сторону. Для проведения предварительной оценки предела прочности при нагружении на статическое растяжение были выбраны монолитные ЭК (рисунок 1) из углекомпозита на основе однонаправленной ленты и эпоксидного клеевого связующего и проведено конечно-элементное моделирование (КЭМ).



б) а)

Рисунок 1 – Эскизы ЭК со встроенными ВОД: а) тип 1 – лопатка прямоугольного сечения без концентратора напряжений; б) тип 2 – полоса прямоугольного сечения с концентратором напряжений

В качестве исходных данных для КЭМ использовались характеристики монослоя углекомпозита (толщина монослоя, предел прочности и модуль упругости при растяжении в

направлении приложения нагрузки и в направлении перпендикулярном нагрузке, предел прочности и модуль упругости при сжатии в направлении приложения нагрузки и в направлении перпендикулярном нагрузке, предел прочности и модуль упругости при сдвиге в плоскости листа), а также схема армирования, характерная для ЭК данного типа. В качестве схемы армирования применялась равновесная схема, основанная на квази-изотропной укладке.

Так, по результатам КЭМ было показано, что предел прочности при растяжении для ЭК типа 1 составил 455 МПа, тогда как для ЭК типа 2 – 420 МПа. Очевидно, что такой результат объясняется наличием в ЭК типа 2 отверстия, расположенного в центральной части рабочей зоны, уменьшающего величину сечения на соответствующее значение диаметра.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Для проведения экспериментальных исследований из углекомпозита были выложены заготовки препрега, после чего методом автоклавного формования были изготовлены плиты толщиной 7 мм. В процессе сборки пакета препрега между центральными слоями в направлении 0 были встроены ВОД на основе ВБР. Из полученных плит были изготовлены ЭК для проведения механических испытаний на статическое растяжение, при этом ВБР были интегрированы таким образом, чтобы они располагались в центральной части рабочей зоны каждого ЭК, вывод из ПКМ осуществлялся через поверхность ЭК. Таким образом было изготовлено по 5 ЭК типа 1 и 2. Далее была проведена подготовка к механическим испытаниям – были наклеены накладки из стеклотекстолита, установка в захваты испытательной машины, выводы ВОД подключались к устройству опроса, после чего осуществлялось монотонное нагружение на растяжение до разрушения с одновременной фиксацией данных от ВОД. На рисунке 2 приведен пример корреляционных зависимостей изменения напряжения в ЭК типа 1 от величины прилагаемой деформации, полученные с помощью интегрированных ВОД с резонансными длинами волн 1530 нм, 1535 нм, 1540 нм.

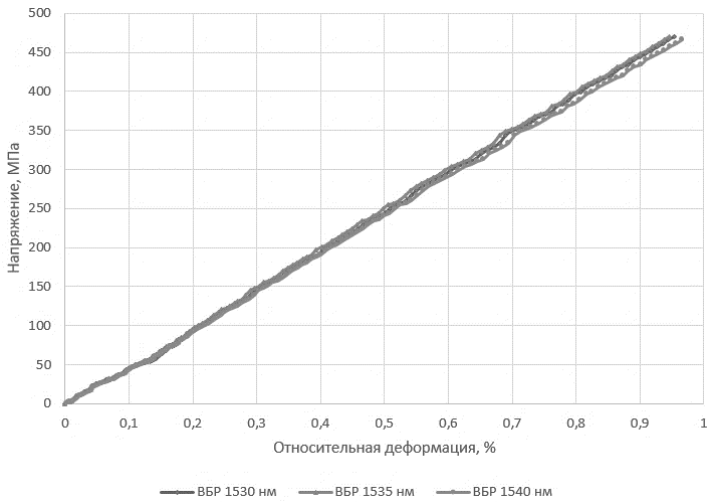


Рисунок 2 – Результаты оптического контроля ЭК типа 1

Анализируя полученные результаты контроля, стоит отметить, что все ВБР сохранили работоспособность вплоть до разрушения материала, при этом экспериментальные зависимости, полученные от ВОД, интегрированных в ЭК типа 1, близки к линейным для всех трех ВБР. Предел прочности на растяжение для данного ЭК составил ~ 470 МПа при предельных значениях деформации 0,95 %. При значениях прикладываемой нагрузки более 0,75 от разрушающей наблюдается отклонение корреляционных зависимостей для всех трех ВБР, интегрированных в один и тот же ЭК в соответствии с разработанной топологией (рисунок 1), что, по-видимому, свидетельствует о возникновении трещин в полимерной матрице и микрорасслоений между слоями ПКМ в локальной зоне ВОД и, как следствие,

неравномерности действующих нагрузок в объеме ЭК. На рисунке 3 приведен пример аналогичных корреляционных зависимостей, полученных по результатам оптического контроля ЭК типа 2.

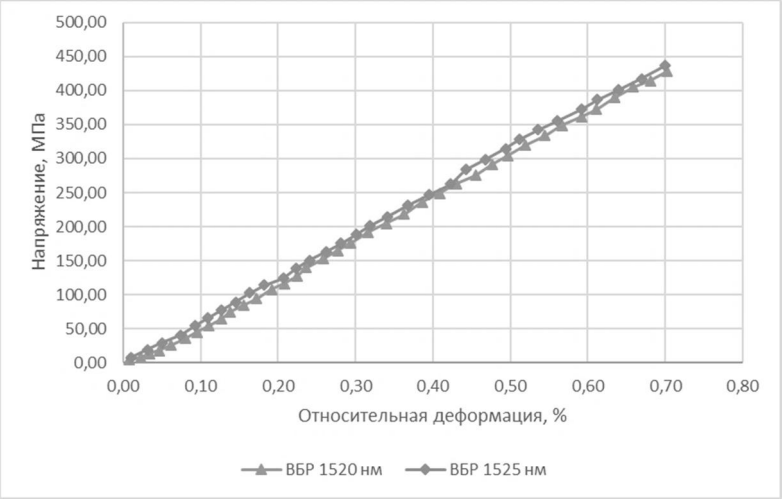


Рисунок 3 – Результаты оптического контроля ЭК типа 2

Здесь также стоит констатировать, что ВОД осуществляли контроль ЭК до момента его разрушения, полученные корреляционные зависимости также имеют линейный характер, что свидетельствует об эффективности применения линейной модели контроля. Предел прочности при растяжении ЭК в рассматриваемом случае составил ~ 435 МПа при значениях относительной деформации, близких к 0,7 %. Такие значения описываемых характеристик обусловлены явным снижением механических свойств в связи с наличием концентратора напряжений – отверстием диаметром 6 мм по центру рабочей зоны. Результаты проведения испытаний на статическое растяжение ЭК с одновременной фиксацией данных от интегрированных ВОД приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследований

ЭК типа 1						
№ ЭК	Предельная относительная деформация, %			Предел прочности при растяжении, МПа		Откл. от МКЭ, %
	ВБР 1530 нм	ВБР 1535 нм	ВБР 1540 нм	Эксп.	МКЭ	
1	0,94	0,95	0,96	470	455	3,30
2	0,85	0,91	0,90	482		5,93
3	0,92	0,87	0,88	461		1,32
4	0,89	0,92	0,93	458		0,66
5	0,92	0,93	0,89	473		3,96
ЭК типа 2						
№ ЭК	Предельная относительная деформация, %			Предел прочности при растяжении, МПа		Откл. от МКЭ, %
	ВБР 1520 нм	ВБР 1525 нм		Эксп.	МКЭ	
1	0,70	0,69		435	420	3,57
2	0,72	0,75		418		0,48
3	0,67	0,64		438		4,29
4	0,73	0,68		429		2,14
5	0,71	0,74		431		2,62

Из таблицы 1 видно, что для выборки из 5 ЭК типа 1 среднее значение предельных относительных деформаций по данным ВБР составило 0,91% при стандартном отклонении

0,03% и коэффициенте вариации 3,36%; для выборки из 5 ЭК типа 2 среднее значение предельных относительных деформаций по данным ВБР составило 0,70% при стандартном отклонении 0,03% и коэффициенте вариации 4,84%. При этом полученные экспериментальные значения предела прочности при растяжении хорошо согласуются с результатами КЭМ, отклонение от расчетного значения также не превышает 3%. Полученные результаты оптического контроля ЭК из ПКМ с помощью интегрированных ВОД подтверждают эффективность применения данного метода для мониторинга напряженно-деформированного состояния как в процессе стендовых испытаний, так и в перспективе в реальных условиях эксплуатации.

Выводы

По результатам экспериментальных исследований установлено, что ВОД на основе ВБР позволяют с высокой достоверностью контролировать величину прилагаемой нагрузки вплоть до разрушения ЭК. Дополнительно стоит отметить, что фактически во всем диапазоне нагружения ЭК наблюдается линейная зависимость величины относительного изменения резонансной длины волны ВБР от прилагаемой нагрузки, что подтверждает совместную работу ВС с ВБР в структуре материала и свидетельствует об эффективности применения линейной модели оптического контроля. Полученные экспериментальные данные контроля имеют сравнительно небольшой разброс, что также подтверждает качество и монолитность материала при совместной работе ВОД, при этом экспериментальные значения предела прочности при растяжении имеют отклонение от расчетных значений на величину не более 3%, что говорит, как о качестве изготовленного материала, так и о корректности проведения испытаний для данного типа ЭК.

Список литературы

1. Валуева М.И., Зеленина И.В., Мишуров К.С., Гуляев И.Н. Обзор публикаций по разработкам лопаток из полимерных композиционных материалов для вентилятора авиационного двигателя // Вестник машиностроения. 2019. № 2. С. 34-41.

2. Гусев Б.В., Будадин О.Н., Федотов М.Ю., Козельская С.О., Шелемба И.С. Опыт мониторинга технического состояния и усиления поврежденных строительных конструкций полимерными композиционными материалами // Вопросы оборонной техники. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2020. № (3-4). С. 85-94.

3. Ларин А.А., Федотов М.Ю., Будадин О.Н., Анискович В.А., Козельская С.О., Резниченко В.И. Применение метода компьютерной рентгеновской томографии для оценки повреждаемости трехслойных конструкций низкоскоростным ударным воздействием // Вопросы оборонной техники. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2020. № (3-4). С. 43-52.

4. Ларин А.А., Федотов М.Ю., Будадин О.Н., Козельская С.О., Резниченко В.И. Применение компьютерной рентгеновской томографии для контроля структуры композитных трехстрингерных панелей крыла // Вопросы оборонной техники. Композиционные неметаллические материалы в машиностроении. 2021. № 2. С. 33-42.

5. Matveenko V.P., Kosheleva N.A., Serovaev G.S. Experimental and Theoretical Results for Strain Measurement Using Fiber Bragg Grating Sensors Embedded into the Material // Mechanics of Solids. 2021. Vol. 56. № 6. P. 885-894. DOI 10.3103/S0025654421060121.

6. Kersey A.D., Davis M.A., Patrick H.J., Leblanc M. Fiber Grating Sensors // IEEE J. Lightwave Tech. 1997. V. 15(8). P. 1442-1463.

УДК 539.434:677.494

ВЫДЕЛЕНИЕ ВЯЗКОУПРУГО-ПЛАСТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТ ДЕФОРМАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
ISOLATION OF VISCOELASTIC-PLASTIC COMPONENTS OF DEFORMATION OF POLYMER TEXTILE MATERIALS

Вагнер В.И., Егорова М.А., Егоров И.М.
Wagner V.I., Egorova M.A., Egorov I.M.

Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург
St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Russia, St. Petersburg
(E-mail: wagnerv@mail.ru, maregoro@mail.ru, ivegoro@mail.ru)

Аннотация: Деформацию, возникающую в полимерных материалах можно условно разделить на три компоненты: упругую, высокоэластическую и пластическую. Разделение величины полной деформации на компоненты считается непростой задачей, в связи с одновременным их возникновением и дальнейшим развитием. Только лишь посредством физически обоснованного аналитического описания изучаемой реологии полимерных материалов в сочетании с измерением различных деформационных процессов можно получать информацию о сложной картине распределения частиц материала по временам релаксации и по временам запаздывания.

Abstract: The deformation occurring in polymer materials can be conditionally divided into three components: elastic, highly elastic and plastic. Dividing the magnitude of total deformation into components is considered a difficult task, due to their simultaneous occurrence and further development. It is only through a physically sound analytical description of the studied rheology of polymer materials in combination with the measurement of various deformation processes that information can be obtained about the complex pattern of the distribution of material particles by relaxation times and lag times.

Ключевые слова: полимерные материалы, реология, релаксация, ползучесть, вязкоупругость, деформация.

Keywords: polymer materials, rheology, relaxation, creep, viscoelasticity, deformation.

Упругая, высокоэластическая и пластическая компоненты их деформации определенным образом зависят от уровня приложенного механического воздействия [1].

Отсюда следует, что по одной из кривых ползучести или релаксации невозможно получить какую-либо доступную информацию о временах запаздывания или релаксации [2].

Только лишь посредством физически обоснованного аналитического описания изучаемой реологии полимерных материалов в сочетании с измерением различных деформационных процессов можно получать информацию о сложной картине распределения частиц материала по временам релаксации и по временам запаздывания [3].

Процесс деформирования полимерных материалов с постоянной скоростью $\dot{\varepsilon}$ в начальной стадии диаграммы растяжения (рис. 1) аналитически описывается феноменологическим интегральным уравнением нелинейно-наследственного типа, которое может быть записано в виде [4]:

$$\sigma_t = E_o\varepsilon_t - (E_o - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_{t-s} \cdot \phi'_{\varepsilon s} ds. \quad (1)$$

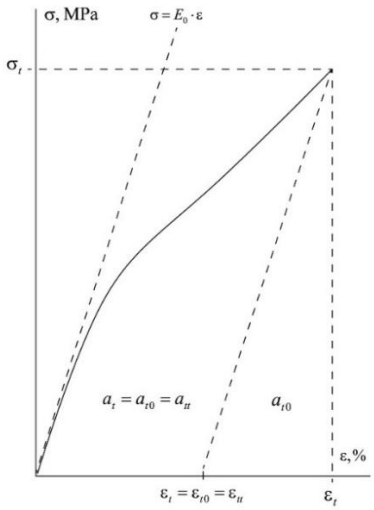


Рисунок 1 – Схема разложения полной деформации ε_t и механической работы a_t полимерного материала на упругую (ε_{to}, a_{to}) и поглощаемую (ε_{tt}, a_{tt}) компоненты

Рассмотрим детально диаграмму растяжения (рис. 1). Здесь $\varepsilon_t = \dot{\varepsilon} \cdot t$ и σ_t – координаты некоторой точки; $\varepsilon_{t-s} = \dot{\varepsilon} \cdot (t\text{-}s)$ – деформация, стоящая под знаком интеграла в формуле (1).

В связи с тем, что все параметры и функции, входящие в (1), имеют вполне определённый физический смысл, уравнение (1) можно считать математической моделью механических свойств полимерного материала с конкретной спектральной интерпретацией [5].

Как в общем случае, когда $\dot{\varepsilon} \neq \text{const}$, так и в частном случае, когда $\dot{\varepsilon} = \text{const}$, упругая ($\varepsilon_{to}$) и поглощаемая ($\varepsilon_{tt}$) компоненты деформации могут быть определены по формулам [6]:

$$\varepsilon_{to} = E_o^{-1}\sigma_t, \tag{2}$$

$$\varepsilon_{tt} = \varepsilon_t - \varepsilon_{to}, \tag{3}$$

либо расчётным прогнозом исходя из (18) с учётом (19) и (20) [7]

$$\varepsilon_{tt} = (1 - E_\infty E_o^{-1}) \int_o^t \varepsilon_{t-s}\phi'_{\varepsilon s} ds, \tag{4}$$

$$\varepsilon_{to} = \varepsilon_t - \varepsilon_{tt}. \tag{5}$$

К примеру, выделение упругой и поглощаемой компонент деформации для полиэфирной текстильной нити при $T = 40^o C$, $\dot{\varepsilon} = 0{,}083c^{-1}$ проиллюстрировано на рис. 2.

Расчетные значения компонент деформации полиэфирной текстильной нити при $T = 40^o C$, $\dot{\varepsilon} = 0{,}083c^{-1}$ приведены в табл. 1.

Относительные доли упругой и поглощаемой компонент деформации соответственно равны [8]:

$$\varepsilon_{to}\varepsilon_t^{-1} = E_o^{-1}\sigma_t\varepsilon_t^{-1}, \tag{6}$$

$$\varepsilon_{to}\varepsilon_t^{-1} = 1 - (1 - E_\infty E_o^{-1})\varepsilon_t^{-1} \int_o^t \varepsilon_{t-s}\phi'_{\varepsilon s} ds. \tag{7}$$

При расчётах по (2-7) используются соответствующие вязкоупругие параметры-характеристики E_o, E_∞, $f_{\tau_\varepsilon \varepsilon}$, A_ε [9].

Таблица 1 – Значения компонент деформации полиэфирной текстильной нити линейной плотности 83 текс, $T = 40^o C$

ε_t	ε_{to}	$\varepsilon_{tt} = \varepsilon_t - \varepsilon_{to}$
2,00	0,92	1,08
4,00	1,40	2,60

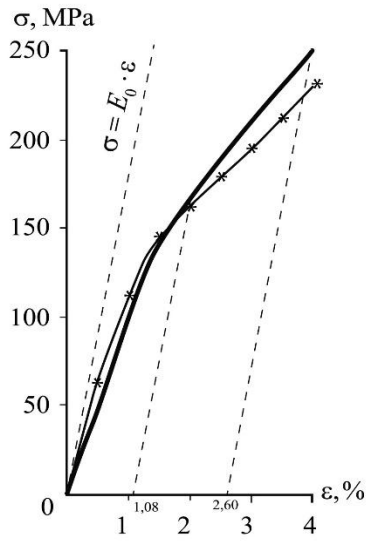


Рисунок 2 – Диаграмма растяжения полиэфирной текстильной нити при $T = 40^oC$, $\dot{\varepsilon} = 0,083c^{-1}$ (сплошная линия – эксперимент, ---*--- – расчёт).

Таким образом, разделение полной деформации ε_t на упругую ε_{to} и поглощаемую ε_{tt} компоненты можно проводить либо используя экспериментальную диаграмму растяжения (2, 3), либо расчётным прогнозом (4, 5) [10].

Методы разделения деформации полимерных материалов на составные компоненты: упругую деформацию, высокоэластическую деформацию и пластическую деформацию позволяют в большей степени понять природу процессов деформирования [11].

Учет пластической компоненты деформации позволяет повысить точность, а, следовательно, и надёжность прогнозирования как простых, так и сложных нелинейно-наследственных вязкоупругих процессов.

Список литературы

1. Переборова Н.В. Цифровое прогнозирование деформационных режимов эксплуатации полимерных волокнистых материалов//Химические волокна, 2022, № 2, с. 18-21.

2. Н.В. Переборова Разработка критериев цифровой качественной оценки релаксационно-восстановительных свойств полимерных текстильных материалов технического назначения//Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2022, № 2, с. 93-98.

3. Переборова Н.В. Управление качеством материалов текстильной и легкой промышленности//Дизайн. Материалы. Технология, 2022, № 1, с. 154-160.

4. Переборова Н.В., Чалова Е.И., Овсянников Д.А. Цифровое прогнозирование эксплуатационных процессов полиамидных тканей для куполов парашютов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 5-10.

5. Чалова Е.И., Переборова Н.В. Математическое моделирование эксплуатационных процессов полимерных парашютных строп// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 19-26.

6. Переборова Н.В. Инновационные методы контроля качества и функциональности полимерных материалов текстильной и легкой промышленности// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 27-32.

7. Переборова Н.В., Козлов А.А. Математическое моделирование и прогнозирование

эксплуатационных процессов арамидных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 114-119.

8. Переборова Н.В., Киселев С.В. Спектральное моделирование деформационно-релаксационных процессов полимерных текстильных материалов// Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 1, с. 39-44.

9. Переборова Н.В., Литвинов А.М., Титова Л.В. Решение задачи повышения качества и конкурентоспособности продукции текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 5-9.

10. Переборова Н.В. Решение задачи управления качеством материалов текстильной и легкой промышленности //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии. - 2022. - № 2, с. 16-22.

11. Переборова Н.В. Критерии качественной оценки релаксационных свойств полимерных текстильных материалов// Химические волокна, 2021, № 2, с. 74-78.

УДК 658.264

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЖИДКИХ И ПСЕВДОЖИДКИХ НАНОДОБАВОК В ТЕПЛОНОСИТЕЛЯХ: АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И РИСКОВ
THE USE OF LIQUID AND PSEUDO-LIQUID NANOADDITIVES IN HEAT CARRIERS: ANALYSIS OF POTENTIAL OPPORTUNITIES AND RISKS

Левин Юрий Анатольевич [1,2]
Levin Yuri Anatolyevich [1,2]

[1]Московский государственный институт международных отношений Министерства иностранных дел Российской Федерации, Россия, Москва
[1]Moscow State Institute of International Relations of the Ministry under Foreign Affairs of the Russian Federation, Russia, Moscow
(e-mail: levin25@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: Показано, что применение в качестве добавок жидких и псевдо-жидких наноматериалов способно сокращать расход тепловой энергии и топлива за счет существенного повышения теплоотдачи, но становится фактором риска при высоком содержании наночастиц в теплоносителе.

Abstract: It is shown that the use of liquid and pseudo-liquid nanomaterials as additives can reduce the consumption of thermal energy and fuel due to a significant increase in heat transfer, but becomes a risk factor with a high content of nanoparticles in the coolant.

Ключевые слова: наножидкости, теплоотдача, гидравлический режим
Keywords: nanofluids, heat transfer, hydraulic regime

К возможным вариантам применения наноматериалов для повышения энергоэффективности, как в настоящее время так и в будущем, относится сфера теплообеспечения жилищного фонда, зданий промышленного и общественного назначения [1]. В связи с тем, что теоретически вариантов энергосбережения существует достаточно много, на практике вопросы теплопереноса при реализации мероприятий энергосбережения и повышения эффективности жилых, промышленных и общественных зданий должны всегда рассматриваться в контексте методов регулирования тепловой нагрузки и сопутствующих рисков.

Сущность многообразных методов регулирования раскрывает уравнение теплового баланса [2], из которого следует, что регулирование тепловой нагрузки возможно несколькими методами: изменением температуры теплоносителя при постоянном его расходе – качественный метод; изменением расхода теплоносителя при постоянной его температуре – количественный метод; периодическим отключением отопления, т.е. пропусками подачи теплоносителя – прерывистый метод.

Качественное регулирование ограничено тем, что изменение температур в небольшом диапазоне требует большого изменения давления. Периодическое отключение приводит к неравномерному прогреву.

На сегодняшний день более эффективным из перечисленных методов, не связанных с изменением поверхности нагрева теплообменника, влекущим за собой удорожание теплообменного аппарата, является местное или индивидуальное количественное регулирование.

В теплообменных аппаратах регулирование тепловой нагрузки приводит к измене-

нию расхода и температуры теплоносителя [3]. Вместе с тем метод, основанный на изменении поверхности нагрева теплообменника, не прибегая к ее увеличению, теоретически мог бы быть наиболее эффективным для повышения теплопередачи. Однако сложности осуществления такого метода при традиционных теплоносителях всегда существенно сдерживали его применение.

Ключевыми качествами теплообменных аппаратов являются их тепло-гидравлические, массовые и эксплуатационные характеристики, включая герметичность, в связи с чем одной из важнейших задач перехода от традиционных к перспективным технологиям их изготовления является снижение шероховатости наружных и внутренних поверхностей и выбор минимальных толщин стенок теплообменных каналов.

Известно, что область высокоэффективного теплообмена ограничена по тепловому потоку и при достижении критического теплового потока между теплоотдающей поверхностью и жидкостью возникает паровая пленка, вследствие чего интенсивность теплоотдачи резко снижается [4]. Это может приводить к быстрому разогреву теплоотдающей поверхности и ее дальнейшему разрушению, что сопровождается выходом из строя теплотехнического оборудования. В связи с этим оценка возможностей использования жидких и псевдо-жидких наноматериалов в качестве добавок к теплоносителю и сопутствующих рисков является одной из актуальных задач.

К методам интенсификации теплообмена относится покрытие поверхности теплообмена слоем наночастиц Коэффициент теплопроводности наножидкости существенно возрастает по сравнению с теплоносителями в виде воды и пара [5, 6]. Поскольку гидравлический режим определяет взаимосвязь между расходом теплоносителя и давлением в различных точках системы отопления в конкретный момент времени, то и теплоотдача при разных гидравлических режимах может отличаться.

Расчеты гидравлического режима дают возможность определить перераспределение расходов и давлений в тепловой сети, и далее, основываясь на их значениях, установить пределы изменения нагрузки и характеристики нанодобавок.

Расчет гидравлического режима базируется на классических уравнениях гидродинамики. В тепловых сетях имеет место, как правило, квадратичная зависимость падения давления ΔP (Па) от расхода [1]:

$$\Delta P = S V^2 \tag{1}$$

где S – характеристика сопротивления, представляющая собой падение давления при единице расхода теплоносителя, Па $(м^3/ч)^2$; v – расход теплоносителя $м^3/ч$.

Гидравлический расчет производится по методу средних удельных потерь давления, согласно которому

$$\Delta P = \Delta P_л + \Delta P_м == \Delta P_л \left(1 + \frac{\Delta P_м}{\Delta P_л}\right) = R_л(1+\alpha) = R_л(l + l_э) \tag{2}$$

где $\Delta P_л$ – гидравлические сопротивления по длине трубопровода, Па; $\Delta P_м$– местные гидравлические сопротивления, Па; α – коэффициент, учитывающий долю потерь давления в местных сопротивлениях от сопротивлений по длине; l – длина прямолинейного трубопровода, м; lэ – эквивалентная длина местных сопротивлений, м; lэ является справочной величиной, зависящей от диаметра трубопровода и вида местного сопротивления; $Rл$ – удельное падение давления по длине, Па/м.

$$R_л = \frac{\lambda}{d} \cdot \frac{\rho w^2}{2} = 6{,}27 \cdot 10^{-\alpha} \frac{\lambda}{d} \frac{G^2}{\rho} \tag{3}$$

где λ – коэффициент гидравлического трения, зависящий от числа Рейнольдса и шероховатости трубопровода; d – внутренний диаметр трубопровода; p – плотность теплоносителя кг/м^3; w – скорость движения теплоносителя м/с.

Значение характеристики сопротивления находится из совместного решения уравнений (1-3):

$$S=\frac{\Delta P}{V^2}=\frac{R_л\,(l+l_э)}{V^2}=A_s\,\frac{(l+l_э)}{d^{5,25}}\rho \qquad (4)$$

где As – постоянный коэффициент, являющийся справочной величиной, возрастающий с ростом шероховатости стенок трубопроводов:

$$A_s=0{,}0894\frac{k_э^{0,25}}{z^2}$$

где $k_э$ – эквивалентная шероховатость стенки трубы, мм; z – задаваемая характеристика подпиточного насоса, необходимого для поддержания требуемого уровня пьезометрических линий.

Как следует из уравнений (3) и (4), характеристика гидравлического сопротивления зависит от геометрических размеров сети, шероховатости стенок трубопроводов и плотности теплоносителя. При известных расходах и соответствующих им потерях давления характеристика гидравлического сопротивления находится из уравнения (1). Нанесение на поверхность покрытия из наночастиц приводит к повышению критической тепловой нагрузки и коэффициента теплоотдачи, снижению гидравлического сопротивления и отложений на поверхности [5, 7].

Выводы.

Повышение коэффициента теплоотдачи за счет нанодобавок дает возможность уменьшить площадь поверхности нагрева теплообменных аппаратов систем теплоснабжения, что приведет к уменьшению массы, размеров и установки в целом за счет снижения материалоемкости, применения меньших по мощности насосов. В результате значительно уменьшается энергопотребление и повышается надежность систем теплоснабжения. Взаимосвязь изменения тепловых и гидравлических характеристик при использовании наноструктур и нанотехнологий вызывает необходимость совместного изучения теплоотдачи, гидравлического режима и прочности покрытия из наночастиц, пока что изученных недостаточно.

Список литературы

1. Асаул А.Н., Левин Ю.А., Асаул М.А., Ступакова О.Г. К вопросу оптимизации работы систем теплоснабжения за счет использования теплоносителя модифицированного наноразмерными первичными материалами //Вестник Алтайской академии экономики и права. - 2022.-№ 11-1. – С. 17-22 DOI: 10.17513/vaael.2523

2. Левин Ю.А., Никитин А.А., Конотопов М.В., Иванов Л.А. Потенциал нанотехнологий: вопросы теплоснабжения и отопления зданий // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2020. - Том: 12.- № 2. -С. 89-93 DOI: 10.15828/2075-8545-2020-12-2-89-93

3. Антонов В.Н., Агапитов Е.Б., Байкова Д.А. Перспективы применения жидкостей с наночастицами в теплоэнергетике // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2016.- Том 1.- С. 207-210

4. Суртаев А.С., Сердюков В.С., Павленко А.Н. Нанотехнологии в теплофизике: теплообмен // Российские нанотехнологии. -2017. -Т. 11.- № 11-12. С. 18.

5. Кричевский Г.Е. Нанотехнологии в энергетике будущего // https://www.nanonewsnet.ru/articles/2015/nanotekhnologii-v-sovremennoi-energetike-v-energetike-budushchego

6. Girfanova V.V., Gevorgyan A.G., Velkin V.I. The analysis of possibility in nanofluid application as the heat carrier for increase in efficiency of heat supply systems // International Journal of Professional Science. 2018. № 3. Pp. 35-38.

7. Морозова М.А. Теплопроводность и вязкость наножидкостей: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. ф-м. наук: (01.04.14) / Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе сибирского отд. РАН. Новосибирск – 2019.

УДК 620.179.17

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫХ КРИТЕРИЕВ РАЗРУШЕНИЯ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СИЛОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНЕРА ВОЗДУШНЫХ СУДОВ
FEATURES OF ACOUSTIC-EMISSION CRITERIA OF DESTRUCTION FOR DIAGNOSTICS OF POWER ELEMENTS OF AN AIRCRAFT AIRFRAME

Попов Алексей Владимирович [1,3], Волошина Валентина Юрьевна [1], Самуйлов Александр Олегович [2]
Popov Alexey Vladimirovich [1], Voloshina Valentina Yuryevna [1], Samuylov Alexander Olegovich [2]

[1]Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)
[1]Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Voronezh)
(e-mail: avpnil@rambler.ru)
[2]Филиал Военного учебно-научного центра Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Сызрань)
[2]Branch Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy (Syzran)
(e-mail: branco09@mail.ru)
[3]Российская инженерная академия
[3]Russianl Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрены акустико-эмиссионные критерии разрушения для диагностики силовых элементов планера воздушных судов, характеризующие стадии разрушения объекта контроля. Предложен разработанный критерий разрушения на основе статистических инвариантных зависимостей, позволяющий с высокой вероятностью диагностировать наличие и степень опасности развивающихся дефектов в силовых элементах планера воздушных судов.

Abstract: Acoustic emission criteria of destruction for diagnostics of power elements of the airframe of aircraft, characterizing the stages of destruction of the object of control, are considered. The developed criterion of destruction based on statistical invariant dependencies is proposed, which makes it possible to diagnose with high probability the presence and degree of danger of developing defects in the power elements of the airframe of aircraft.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, критерий разрушения, инвариантные зависимости.

Keywords: acoustic emission, destruction criterion, invariant dependencies.

Результаты акустико-эмиссионного (АЭ) контроля представляют в виде перечня зарегистрированных источников АЭ, отнесенных к тому или иному классу в зависимости от значения параметров АЭ. Такую оценку производят для каждого источника АЭ сигналов. Оценку технического состояния контролируемого объекта проводят по наличию в нем источников АЭ того или иного класса.

Применение конкретных систем классификации источников АЭ и критериев оценки технического состояния объектов зависит от механических и акустико-эмиссионных свойств материалов контролируемых объектов. Выбор системы классификации и критериев оценки состояния объекта проводят, используя перечисленные ниже системы классификации и критерии оценки состояния контролируемого объекта. Допускается применение

других систем классификации и критериев оценки (и соответствующих значений параметров сигналов АЭ, определяющих классы источников и критерии оценки) при наличии обоснования их применения [1].

Выбор системы классификации и критериев оценки производят перед выполнением АЭ контроля и фиксируют в технологии контроля, разработанной на основе данного документа или приведенной в соответствие с ним. После этого исполнитель производит соответствующую настройку аппаратуры и разработку требуемого программного продукта.

Проведение эксперимента и оценка результатов АЭ метода должны основываться на анализе связи информативных параметров эмиссии с кинетикой накопления повреждений в материале конструкции.

Исследователями, работающими в области АЭ, рассматриваются различные подходы для установления критериев, характеризующих стадии разрушения объекта контроля. Путем механических испытаний образцов устанавливаются численные значения критериев, используемых затем для расчетных оценок. Но единого подхода к оценке АЭ данных пока нет, что затрудняет сопоставление результатов определения прочностных характеристик конструкций, вызывает появление различной АЭ аппаратуры.

Ввиду того что наиболее ценным является установление момента образования макродефекта (магистральной трещины) проводится анализ акустико-эмиссионных критериев разрушения с точки зрения возможности их использования: при диагностировании силовых элементов конструкций воздушного судна (ВС) в реальном масштабе времени и для определения степени деформирования и опасности дефектов конструкции.

Далее рассмотрены критерии разрушения, применяемые в современных комплексах АЭ диагностики [2].

Амплитудный критерий. Для возможности применения амплитудного критерия основным информативным параметром импульсов АЭ является амплитуда регистрируемого сигнала. Классификация источников АЭ при использовании амплитудного критерия создается непосредственно в результате предварительных испытаний образцов, моделей и натурных объектов. В ходе проведения экспериментов устанавливают амплитудное распределение сигналов АЭ.

В зависимости от вида амплитудного распределения и соответствия амплитуд состоянию объекта контроля (ОК) выбирают систему классификации по амплитудному признаку.

В предварительных экспериментах определяют граничное значение допустимой амплитуды:

$$A_t = B_1 U_{\text{п}} + B_2 A_c, \tag{1}$$

где U_n – значение порога амплитудной дискриминации; A_c – величина превышения порога АЭ сигналом заданного значения, B_1 и B_2 – коэффициенты, определяемые в ходе проведения эксперимента. Классификацию источников проводят в соответствии с [2].

Значения коэффициентов зависят от материала, контролируемого объекта и могут быть определены только в ходе предварительных экспериментов.

Существуют системы на основе амплитудного критерия, производящие мониторинг технического состояния непосредственно в процессе их эксплуатации. При этом любые импульсы АЭ, с амплитудой, превышающей установленное значение, считаются свидетельством образования макродефекта (фирма PAC).

Амплитуда импульсов при проведении контроля корректируется с учетом затухания АЭ сигналов при их распространении в материале ОК. Оценку проводят по значениям амплитуд импульсов АЭ, соответствующих амплитудам вблизи источника АЭ (не более 50 мм). Классификацию источников при этом осуществляют в соответствии с разработанными требованиями для каждого типа ОК.

Наиболее часто амплитудный критерий используется при диагностировании ОК, выполненных из различных классов сталей.

Применение амплитудного критерия для диагностирования сложных ОК, выполненных из разнородных материалов, изделий из композиционных материалов не представляется возможным. Это обусловлено выделением значительного количества импульсов с высоким значением амплитуды, природа которых не связана с АЭ процессами, происходящими в материале ОК. Данные импульсы возникают при трении различных элементов сложной конструкции. Кроме того, для каждого материала необходимо задавать уровень амплитуды, являющийся критерием наличия дефекта.

Интегральный критерий. Для каждой зоны вычисляют активность источников АЭ сигналов с использованием выражения:

$$F = \frac{1}{K}\sum_{k=1}^{K}\frac{N_{k+1}}{N_k}, \qquad (2)$$

где $\frac{N_{k+1}}{N_k} = \begin{cases} 1 \text{ при } N_k = 0 \text{ и } N_{k+1} > 0 \\ 0 \text{ при } N_k > 0 \text{ и } N_{k+1} = 0 \end{cases}$; k=1, 2, 3…К; N_k – число событий в K -м интервале оценки параметров; N_{k+1} – число событий в $K+1$-м интервале оценки параметров; K – номер интервала оценки параметров.

Интервал наблюдения разделяется на K интервалов оценки параметров. Производят оценку: F≪l; F= 1; F > 1.

Вычисляют относительную силу J_k источника АЭ на каждом интервале регистрации:

$$J_k = \frac{AK}{W\sum_{k=1}^{k}A_k}, \qquad (3)$$

где AK – средняя амплитуда источника за интервал K; A_k – средняя амплитуда всех источников АЭ по всему объекту, за исключением анализируемого за интервал K; W – коэффициент, определяемый в предварительных экспериментах.

Далее производят оценку источника АЭ, используя матрицу [2]:

	J_k <1	J_k >1	J_k ≫1
F≪1	I	II	III
F=1	II	II	III
F> 1	III	III	IV

Несмотря на практически линейную связь между J – интегралом и рассмотренными параметрами АЭ, существуют трудности, ограничивающие применение данного критерия при построении моделей излучения. В первую очередь, они определяются сложностью теоретических расчетов для различных условий нагружения и свойств материала.

Критерий локально – динамический (Иванова – Быкова). Локально-динамический критерий классификации источников АЭ был впервые предложен в 1981 г. и нашел широкое применение в АЭ диагностике. Зависимости суммарного счета АЭ при нагружении ОК с дефектом являются степенными закономерностями. Наиболее наглядно изменение закономерности изменения суммарного счета АЭ проявляется в случае представления данных в логарифмических координатах.

В работах [3, 4] наличие дефекта и состояние ОК описывается зависимостью суммарного счета АЭ от коэффициента интенсивности напряжений. Исследования [1] свидетельствует о том, что с ростом скорости разрушение чистого железа, стали и других материалов значительно увеличивается мощность излучения. Мало изучена связь между параметрами быстрых трещин и АЭ.

Известно, что распространение трещин сопровождается уменьшением зоны пластического деформирования в их вершине и, следовательно, рост излучения в этот период не

объясним с позиции увеличения пластичности.

Анализ экспериментальных данных, полученных при проведении испытаний ОК, изготовленных из разнообразных материалов (металлы, пластик, дерево) показал, что характер зависимости ряда параметров рассматриваемого критерия (интенсивность импульсов АЭ, суммарный счет импульсов) сходен для различных материалов. Однако данный критерий ограничено применим при диагностировании сложных, сборных конструкций. При их нагружении импульсы АЭ накладываются друг на друга и момент резкого увеличения интенсивности невозможно зарегистрировать.

В [5] показано, что активность АЭ имеет наибольшее значение в момент скачка трещины. Установленные зависимости позволяют прогнозировать развитие аварийной ситуации по данным АЭ, только в простейших случаях, когда поведение объекта может быть описано уравнениями механики. Данный факт позволяет использовать данный критерий только в качестве дополнительного при диагностике конструкций силовых элементов планера.

Критерий концентрационно-динамический. Данный критерий является комплексным и включает в себя степень концентрации индикаций источников АЭ и динамику изменения картины этих индикаций.

Для каждого источника АЭ определяется концентрация C [5]:

$$C = \frac{N_i}{R^2}, \tag{4}$$

где R – средний радиус источника АЭ; N_i – число импульсов АЭ в зоне источника.

Для каждого источника АЭ определяют суммарный энергетический параметр:

$$E = \sum_{k=1}^{K} (U_{mk})^2 N_k, \tag{5}$$

где U_m – амплитуда k-го импульса АЭ; N_k – число импульсов АЭ в заданной области.

Согласно проведенным операциям, оценивают положение точки на плоскости. Плоскость делится на 4 зоны, каждой зоне присваивается ранг. Положение разграничивающих линий определяется в ходе проведения предварительных экспериментов.

Формируют величину P, характеризующую динамику энерговыделения источника на интервале регистрации:

$$P = \frac{\sum_{k=1}^{K} k \left(\frac{U_{k+1}}{U_k}\right)^2}{\sum_{k=1}^{K} k}, \tag{6}$$

где k=1,2,3…K.

После чего устанавливается тип и классификация источника АЭ.

Данный критерий позволяет локализовать область материала ОК. Это позволяет выявлять и классифицировать источники АЭ с учетом материала конструкции в каждой зоне.

Несмотря на возможность применения данного критерия при диагностировании разнородных материалов основным при определении степени опасности дефекта конструкции является энергетический параметр. Этот факт свидетельствует о необходимости проведения значительного количества предварительных испытаний до разрушения образцов, моделей и реальных ОК схожей конструкции для получения достоверных результатов о наличии и степени опасности дефектов в материале ОК при проведении диагностирования.

В настоящее время не существует критерия разрушения, позволяющего с высокой вероятностью диагностировать наличие и степень опасности развивающихся дефектов в силовых элементах планера ВС. Это связано с разнородностью материала ОК, наличием остаточных напряжений. Метод АЭ дает возможность исследовать кинетику процессов на самых ранних стадиях микродеформации, дислокационного зарождения и накопления микронесплошностей. Это позволяет диагностировать и прогнозировать сам момент зарождения трещины. В этих условиях для повышения достоверности АЭ метода и определения степени опасности дефектов целесообразно разрабатывать и использовать критерии разрушения на основе статистических инвариантных зависимостей, характеризующих потоки

импульсов АЭ.

Список литературы

1. Попов А.В. Методы анализа акустико-эмиссионных процессов / Попов А.В., Мороз А.В. // Известия ЮФУ. Технические науки. 2003. №3. С. 78-81.

2. Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов. ПБ 03-593-03. М.: Гостехнадзор России. 2003. 102 с.

3. Буйло С.И. Физико-механические и статистические аспекты повышения достоверности результатов акустико-эмиссионного контроля и диагностики. Ростов-на-Дону: Из-во ЮФУ, 2008, 192 с.

4. Буйло С.И. Диагностика ранних стадий разрушения материалов по амплитудным и временным инвариантам потока актов акустической эмиссии. - Контроль. Диагностика, 2009, № 5, с. 33-38.

5. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 1: В.И. Иванов, И.Э. Власов. Метод акустической эмиссии. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, А.В. Барков, Н.А. Баркова и др. Вибродиагностика. - 2-е изд., испр. М.: Машиностроение, 2006. 829 с.

УДК 621.18, 656.073.25, 665.662

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЫПУЧЕСТИ СМЁРЗШИХСЯ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ В Ж/Д ПОЛУВАГОНАХ
INNOVATIVE TECHNOLOGY RESTORATION OF FLOWABILITY OF FROZEN BULK CARGO TRANSPORTED IN RAILWAY GONDOLA CARS

Богомолов Олег Владимирович [1,2], Малышев Александр Александрович [1]
Bogomolov Oleg [1,2], Malyshev Alexander [1]

[1]ООО Инженерная компания ИНТЕРБЛОК, Россия, Москва
[1]Engineering company INTERBLOCK, Russia, Moscow
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian engineering academy, Russia, Moscow
(info@interblock.ru)

Аннотация: Инженерная компания ИНТЕРБЛОК разработала инновационную технологию разгрузки смерзшихся насыпных грузов, перевозимых в железнодорожных полувагонах, в зимнее время года на открытом воздухе. Полезный эффект изобретения - сокращение времени и энергозатрат на разгрузку смёрзшихся сыпучих грузов из полувагонов, исключение вредного механического воздействия на конструктивные элементы полувагона, уменьшение уровня вредного акустического воздействия на экосистему, снижение рисков простоя полувагонов.

Abstract: The engineering company INTERBLOCK has developed an innovative technology for unloading frozen bulk cargo transported in railway gondola cars in the winter outdoors. The useful effect of the invention is to reduce the time and energy consumption for unloading frozen bulk cargo from gondola cars, eliminate harmful mechanical effects on the structural elements of the gondola car, reduce the level of harmful acoustic effects on the ecosystem, reduce the risks of downtime of gondola cars.

Ключевые слова: разгрузка смерзшегося груза, полувагон, парогенераторная установка низкого давления, контейнер, нагревательная конструкция, теплоизолирующий материал, паропровод.

Keywords: unloading of frozen cargo, gondola car, low-pressure steam generator set, container, heating structure, thermal insulation material, steam pipe.

Разгрузка смёрзшихся массивов в зимнее время года – руды, концентратов, флюсов, каменного угля, песка, щебня и других сыпучих материалов, перевозимых в железнодорожных полувагонах, требует больших энергетических, временных и материальных затрат. Для разгрузки вагонов в зимнее время необходимо разрушить смёрзшийся насыпной груз.

Существующие способы разрушения смёрзшихся массивов в железнодорожных вагонах – вибрационное разрушение, рыхление и другие механические способы имеют общие недостатки – большая энергоёмкость и низкая производительность из-за высокой доли ручного труда. Для восстановления сыпучести груза, полувагоны обычно помещают в отапливаемые железнодорожные тепляки. При этом для размораживания могут использоваться конвективный, инфракрасный или комбинированный нагрев в течение нескольких дней.

Группа компаний ИНТЕРБЛОК разработала автономный мобильный комплекс, предназначенный для восстановления сыпучести смёрзшихся грузов, перевозимых в ж/д полувагонах, и обеспечения их разгрузки на открытом воздухе на необорудованных в инженерном отношении площадках при температурах наружного воздуха до -30°С [1]. Изобретение относится к устройствам теплового обогрева смерзшихся сыпучих материалов.

Восстановление сыпучести основано на применении инновационной технологии тепловой обработки насыпных грузов высокоэнергетическим паром с низким влагосодержанием с использованием специальной греющей конструкции. Рабочая температура пара 140-160°С при давлении не более 0,05 МПа. Расчётное время разгрузки одного полувагона грузоподъемностью 70т в зимнее время года не превышает 2-3 часов. Затраты на энергоресурсы составляют около 50 руб. на тонну груза.

Технические средства автономного мобильного комплекса встроены в специально оборудованный утеплённый контейнер. В состав технических средств входят:

– дизельный парогенератор ИНТЕРБЛОК тепловой мощностью 290 кВт;
– специальная греющая трубная конструкция с теплозащитным материалом;
– система дистанционного контроля и управления;
– комплект высокотемпературных паровых рукавов;
– топливный бак объёмом 0,8 м^3 с топливным насосом;
– ёмкость запаса питательной воды объёмом 6,5 м^3 с насосом;
– дизель-генератор мощностью 15 кВт для автономного энергоснабжения комплекса;
– системы вентиляции, дежурного отопления и освещения;
– стропы для такелажных работ при перемещении контейнера.

Блок размораживания – специальная греющая трубная конструкция предназначена для обеспечения тепловой обработки смёрзшегося насыпного груза. Устанавливается на полувагон сверху и крепится на его бортах. Для уменьшения тепловых потерь греющая конструкция накрывается теплозащитным материалом.

Процесс размораживания сыпучих материалов в ж/д вагонах начинается с укладки блока размораживания установки на смёрзшийся массив (рис. 1).

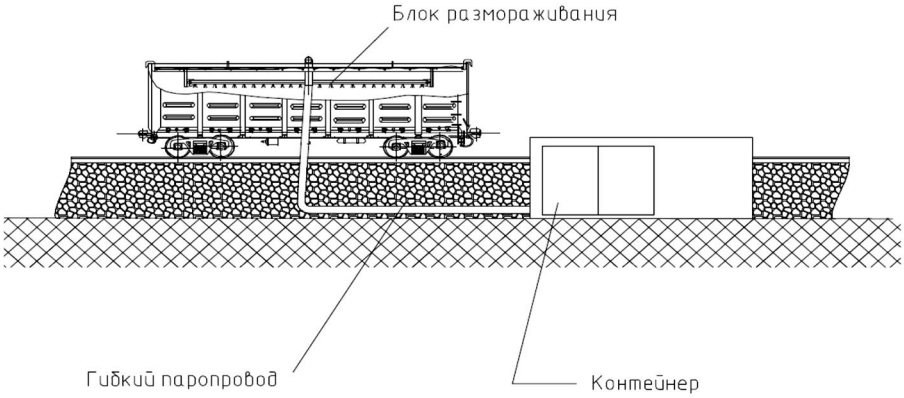


Рисунок 1 – Схема размораживания смёрзшихся материалов в полувагонах с применением парогенератора ИНТЕРБЛОК

Блок размораживания подключается к парогенератору и накрывается тентовым покрытием. Включается парогенератор, парогазовая смесь температурой до 140-160°С прогревает смёрзшийся груз и придает ему сыпучесть. Время разморозки зависит от вида перевозимого груза (щебень, уголь, железная руда и др.), влажности и степени его мерзлоты.

Особые физические свойства технологического пара, вырабатываемого парогенератором ИНТЕРБЛОК, а именно: высокая энергетическая насыщенность при низком массовом влагосодержании, позволяют обеспечить более высокую, по сравнению с аналогами, скорость размораживания материала без избыточного его переувлажнения, а предлагаемый способ подачи пара сверху, непосредственно в смёрзшийся массив, позволяет избежать непроизводительных потерь тепла на нагрев металлических конструкций и ходовой части полувагона, а также исключить вредное воздействия на узлы и механизмы вагонных тележек, сцепок, тормозной системы, а также вредное акустическое воздействие на экосистему.

Отсутствие сосудов и трубопроводов под давлением в конструкции автономного мобильного комплекса обусловливают безопасность его применения, а автономность и мобильность обеспечивают разгрузку сыпучих грузов из полувагонов на открытом воздухе в зимнее время года на необорудованных в инженерном отношении площадках.

Список литературы

1. Заявка на патент № 2023117408 от 30.06 2023г./ Устройство для восстановления сыпучести смёрзшихся грузов в железнодорожных полувагонах и способ восстановления сыпучести смёрзшихся грузов в железнодорожных полувагонах с его помощью / О.В. Богомолов, А.А. Малышев; заявитель ООО ИК ИНТЕРБЛОК.

2. Пат. 181138 Российская Федерация, МПК F22B1/24. Парогенератор / О.В. Богомолов и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - №2017126052/06; заявл.20.07.2017, опубл. 2018.07.05, Бюл. № 19.

3. Пат. 2598667 Российская Федерация, МПК B28B 11/24, Способ получения теплоносителя для тепловлажностной обработки бетонных и железобетонных изделий / О.В. Богомолов и др.; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - №2015136195/03; заявл. 2015.06.10, опубл. 2016.07.20, Бюл. № 27.

4. Пат. 2591217, Российская Федерация, МПК C04B 40/02, Способ тепловлажностной обработки бетонных изделий / О.В. Богомолов, А.А. Малышев; заявитель и патентообладатель ООО «ИнтерБлок-Техно». - № 2015122072/03; заявл. 2015.08.27.10, опубл. 2016.09.27, Бюл. № 20.

УДК 66.012

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ НИХ
DEVELOPMENT OF INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS ENSURING CREATION OF POLYFUNCTIONAL TEXTILE MATERIALS AND PRODUCTS FROM THEM

Румянцев Евгений Владимирович [1], Метелева Ольга Викторовна [1], Пророкова Наталия Петровна [2], Румянцева Варвара Евгеньевна [1], Одинцова Ольга Ивановна [3]
Rumyantsev Evgeniy Vladimirovich [1], Meteleva Olga Victorovna [1], Prorokova Natalia Petrovna [2], Rumyantseva Varvara Evgenievna [1], Odintsova Olga Ivanovna [3]

[1]ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет», Россия, Иваново
[1]FGBOU HE "Ivanovo State Polytechnic University", Russia, Ivanovo
(e-mail: rector@ivgpu.ru, olmet07@yandex.ru, varrym@gmail.com)
[2]Институт химии растворов имени Г.А. Крестова Российской академии наук, Россия, Иваново
[2]G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, Russia, Ivanovo
(e-mail: npp238@gmail.com)
[3]ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет», Россия, Иваново
[3]FGBOU HE "Ivanovo State Chemical and Technological University", Russia, Ivanovo
(e-mail: odolga@yandex.ru)

Аннотация: Российскими учеными ведущих школ текстильной химии (Ивановской, Московской, Санкт-Петербургской) был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, положенных в основу новых инновационных экологичных технологий придания текстильным материалам полифункциональных свойств. В результате была создана эффективная цепочка инновационных технологий от производства текстиля до готовых швейных и лечебных изделий.

Abstract: Russian scientists of leading schools of textile chemistry (Ivanovo, Moscow, St. Petersburg) carried out a set of theoretical and experimental studies, which are the basis for new innovative environmentally friendly technologies for imparting polyfunctional properties to textile materials. As a result, an effective chain of innovative technologies was created from textile production to finished sewing and medical products.

Ключевые слова: многофункциональные текстильные материалы, свойства водоотталкивающие, огнезащитные, лечебные, биоцидные, репеллентно-акарицидные, защитные швейные изделия.

Keywords: multifunctional textile materials, water repellent, fire retardant, therapeutic, biocidal, repellent-acaricidal, protective sewing products.

Современное развитие мирового производства текстиля опирается на достижения фундаментальных наук и прорывных междисциплинарных технологий (нано-, био-, инфо-, когнетивных). Они обеспечивают создание многофункциональных текстильных материалов нового поколения (бытовых – одежда, домашний текстиль, и технических – композиты, вспомогательные медицинские изделия, военное обмундирование и т.д.). Получение текстильных изделий с улучшенными свойствами – это исключительно важное направление

для научных исследований, создания инновационных технологий и их практического использования.

Целью работы являлось формирование комплекса перспективных технологий от производства текстиля до готовых швейных и лечебных изделий и ряда технических решений (изобретений) по приданию текстильным материалам и изделиям из них специфических функциональных свойств.

В последнее время в группе специального текстиля активно развивается текстиль, известный под названиями «интеллектуальный» и «инженерный», расширяющий сферы его использования благодаря наличию улучшенных и в ряде случаев уникальных свойств. В соответствии с этой тенденцией российскими учеными ведущих школ текстильной химии (Ивановской, Московской, Санкт-Петербургской) был выполнен комплекс теоретических и экспериментальных исследований, положенных в основу новых инновационных экологичных технологий придания текстильным материалам из натуральных и химических волокон полифункциональных свойств (водоотталкивающие, огнезащитные, лечебные, биоцидные, репеллентно-акарицидные и др.) [1]. При этом существенно повышается качество текстильных материалов и ярче проявляются специальные свойства изделий на их основе. В результате созданы новые виды защитной и маскировочной одежды, боевые одежные комплексы, костюмы для медперсонала и лечебные материалы пролонгированного действия, обеспечивается простота ухода за текстильными изделиями, расширяются оригинальные способы их художественно-колористического оформления. Впервые в мире реализована идея направленной модификации волокнистых материалов отечественными наноразмерными системами, полимерами, олигомерами и адгезивами. Разработанные технологии основаны на инновационных методах поверхностной и объемной трансформации натуральных и синтетических текстильных материалов с использованием новейших российских гидрофобизаторов, полиэлектролитов, интерференционных пигментов.

Инженерный текстиль разработан и производится для специальных целей, требующих высокого уровня потребительских свойств. Он может комбинироваться с элементами разнородных материалов, в т.ч. различных форм углерода для изготовления легких гибридных материалов с исключительными функциональными качествами. В работе предложен принципиально новый способ получения полипропиленовых нитей с покрытием на основе политетрафторэтилена, заменяющих чрезвычайно дорогостоящие нити из фторопласта. Так, введение в полипропиленовую нить в качестве наполнителя 1-2% ультрадисперсного ПТФЭ способствует значительному возрастанию относительной разрывной нагрузки нити (таблица 1) и модуля её упругости.

Таблица 1 – Разрывная нагрузка и удлинение ПП нити с ПТФЭ покрытием после ориентационного вытягивания. Концентрация ПТФЭ в суспензии 12%

Температуры ориентационного вытягивания, °С	Удельная разрывная нагрузка, МПа	Относительное разрывное удлинение, %
Обычная ПП нить		
T_1 = 118, T_2 = 120, T_3 = 125	395 ± 15	34.3 ± 2.8
ПП нить с ПТФЭ покрытием		
T1 = 120, T2 = 125, T3 = 135	439 ± 30	46.0 ± 2.2
T1 = 120, T2 = 135, T3 = 145	484 ± 16	45.8 ±3.9
T1 = 120, T2 = 140, T3 = 155	630 ± 61	45.4 ± 4.4
Polifen®		
T = 350 - 400	100 - 180	20 - 40
Ftorlon®		
T1 = 25, T2 = 136 - 142	300 - 600	8 - 25

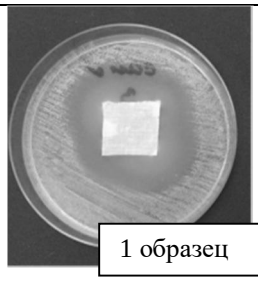
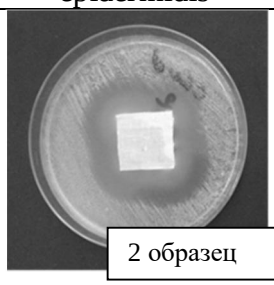
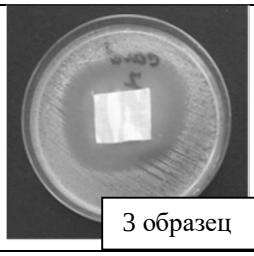
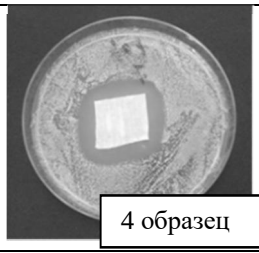
ПП нить с ПТФЭ покрытием приобретает экстремально высокую химическую стой-

кость, о чем свидетельствует тот факт, что ПТФЭ покрытие остается неповрежденным после длительного воздействия агрессивных сред (кипячении в течение двух часов в растворе гидроксида натрия концентрации 200 г/л, выдерживании в течение 24 часов в концентрированной HNO_3). Сформированное покрытие является устойчивым к интенсивному истирающему воздействию. Таким образом, новая технология покрытия ПП нитей ПТФЭ [2] является перспективной для получения волокнистых материалов, обладающих низким коэффициентом трения и экстремально высокой устойчивостью к действию химических реагентов, и не уступают волокнам из политетрафторэтилена, а стоимость новых материалов в десятки раз ниже.

Снижение горючести текстильных материалов – важная задача по защите здоровья и жизни человека и материальных объектов. В последние годы значительный вклад в развитие теоретических основ и создание эффективных технологий огнезащитной обработки материалов, изделий и конструкций внесен представителями Ивановской научной школы. Предложены антипирены нового поколения с высоким эффектом огнестойкости, созданы композиционные текстильные материалы с мультифункциональными защитными свойствами, разработаны технические решения, обеспечивающие экологичность технологий и материалов, повышение пожарной безопасности текстильных изделий. На основании изучения особенностей тепломассообменных процессов [3] достигнуто повышение термо- и огнезащитных показателей боевой одежды пожарных, исследовано влияние огнезащитной обработки на термическую деструкцию текстильных материалов различного волокнистого состава. Предложены средства и способы защиты деревянных конструкций уникальных объектов от гниения и возгорания. Разработаны экспресс-методы оценки огнезащитных свойств текстильных и других полимерных материалов.

Задача разработки и совершенствования технологий придания текстильным материалам антибактериальных свойств остается актуальной. Совершенно новым подходом в производстве антимикробных текстильных изделий явилось использование гидрозолей (нанокомпозитов) серебра. Установлено, что наночастицы серебра проявляют более эффективное антимикробное действие, чем пенициллин и другие антибиотики этого ряда [4]. Доказано, что максимальную антибактериальную активность по отношению к Staphylococcus aureus проявляет коллоидный раствор серебра, полученный с использованием дитионита натрия в качестве восстановителя с добавлением этилового спирта, который получил название Silver-5 (таблица 2).

Таблица 2 – Антибактериальная активность препарата Silver-5 по отношению к культурам Candida albicansи Staphylococcus epidermidis

Время пропитки, с, при концентрации препарата Silver-5 20 г/л	Наименование культуры		Зона задержки роста, мм
	Candida albicans	Staphylococcus epidermidis	
15	 1 образец	 2 образец	1 образец – 13 2 образец – 10
300	 3 образец	 4 образец	3 образец – 12 4 образец – 8

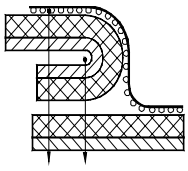
Результаты исследования позволили выбрать оптимальный состав разрабатываемого препарата (оптимальная концентрация Silver-5 составляет 20-50 г/л в рабочем растворе), который обеспечил высокую антибактериальную активность по отношению к грамположительным и грамотрицательным бактериям. Кроме того, установлено, что антибактериальный эффект выдерживает от 5 до 10 стирок. С использованием биосинтезированных частиц серебра разработаны и промышленно выпускаются текстильные ранозаживляющие средства нового поколения.

Представители многих профессий по роду своей деятельности много времени проводят вне города. Это добавляет еще один серьезный риск к уже имеющимся опасным производственным факторам – риск заражения вирусом клещевого энцефалита и другими заболеваниями, переносчиками которых являются кровососущие насекомые. Акарицидно-репеллентная отделка ткани предназначена для защиты человека от кровососущих насекомых-вредителей: комаров, мух, москитов, мошек, блох, клопов, клещей. Для ее реализации использовано перспективное направление в технологии репеллентной отделки – метод микрокапсулирования на основе наноэмульсий, содержащих в своем составе полиэлектролитные микрокапсулы с заключенным в них альфа-циперметрином (АЦП) [5]. Научно-производственным предприятием ООО «Объединение «Специальный текстиль» разработана, изучена и с 2014 г. промышленно производится защитная одежда ТМ «Барьер-Инсекто», защищающая от таких вредных биологических факторов, как таежные и лесные клещи, гнус и пр. В результате натурных полевых испытаний установлена высокая степень защиты костюмов от клещей, составляющая 98,2%, и гнуса – 95,7%, что превышает требования нормативно-технической документации.

В современных экономических условиях развитие технологии швейного производства изделий из специальных материалов должно быть ориентировано на повышение качества продукции за счет обеспечения заданного уровня защитных свойств. Для достижения этой цели впервые были созданы образцы безосновных самоклеящихся пленочных материалов (БСПМ), предназначенные для обеспечения герметичности ниточных соединений защитных швейных изделий, не имеющие специальной несущей основы из другого материала и полученные из композиций акрилового полимера, обладающие постоянной условной липкостью требуемой величины, способствующей достижению адгезионной прочности к расслаиванию проклеенных материалом швов (порядка 10-20 н/см), и эластичностью (150-200%), необходимой для проклеивания швов изделий с минимальным радиусом кривизны, таких как пройма, горловина [6]. Проклеивание швов защитных изделий из различных материалов БСПМ позволяет увеличить их герметичность (таблица 3).

Представленные разработки позволяют заменить часть ушедшей с отечественного рынка импортной текстильной продукции специального назначения. Внедрение разработанных химических составов позволило заменить импортные препараты линий Санитайзед, Nuva, Coloray, БАСФ и др. Текстильные ранозаживляющие средства нового поколения отвечают требованиям экологической безопасности, получили высокую лечебную и социальную оценку в полевых и госпитальных условиях, широко применяются в военно-полевой медицине.

Таблица 3 – Результаты исследований швов, герметизированных с применением БСПМ способом поверхностной герметизации

Конструкция шва	Вид и параметры БСПМ	Водоупорность шва, кПа		Увеличение, %
		негерметизированного	герметизированного	
	Двухслойная пленка: клеевой слой – БАК 16-82; неклеевой слой – (Р+2Э) (3:1); толщина – 0,3 мм; ширина – 17 мм	1,85	>10,0	>540

Эффективность представленных технологических решений подтверждается совокупным экономическим эффектом от внедрения разработок, составившим 300,8 млн. руб. Социальный эффект от использования перевязочного средства АСП обусловлен первой помощью в экстремальных ситуациях, сокращением сроков лечения. Массовый выпуск антиковидного костюма снизил заболеваемость Covid-19, улучшив эпидемиологическую ситуацию.

Список литературы

1. Функциональные текстильные материалы и изделия: монография / под общей редакцией Е.В. Румянцева. – Иваново: ИВГПУ, 2023. – 372 с.

2. Пат. 2522337 РФ. Синтетические нити с высокой хемостойкостью и низким коэффициентом трения / Пророкова Н.П., Вавилова С.Ю., Кумеева Т.Ю., Морыганов А.П., Бузник В.М. Заявл. 14.12.2012. Опубл. 10.07.2014. Бюл. №19. Приоритет 14.12.2012.

3. Киселев А.М. Применение наноразмерных систем для модификации и повышения качества текстильных материалов / А.М. Киселев, Н.В. Дащенко, А.В. Демидов. СПб.: СПГУТД, 2013. 80 с.

4. Петрова Л.С. Использование наночастиц серебра для придания текстильным материалам бактерицидных свойств / Л.С. Петрова, А.А. Липина, А.О. Зайцева, О.И. Одинцова // Изв. вузов. Сер. Технология текст. пром-сти. 2018. № 6. С. 81-85.

5. Королев С.В. Разработка технологии акарицидно-репеллентной отделки текстильных материалов и ее успешное внедрение в производство инновационного предприятия «Объединение «СПЕЦИАЛЬНЫЙ ТЕКСТИЛЬ» / С.В. Королев, О.И. Одинцова, А.А. Липина, Е.Н. Чернова, Д.С. Королев // Изв. вузов. Технология текст.пром-сти. 2019. Т. 384, № 6. С. 55-61.

6. Метелева О.В. Разработка композиционного материала для проклеивания швов защитной одежды / О.В. Метелева, Л.И. Бондаренко // Изв. вузов. Технология легк. пром-сти. 2021. Т. 52. № 2. С. 5-8.

УДК 311:62

К 80-ЛЕТИЮ КУРЧАТОВСКОГО ИНСТИТУТА И 40-ЛЕТИЮ ОТДЕЛЕНИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК: ИНТЕГРАЦИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОБОРОННО-ПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

TO THE 80TH JUBILEE OF KURCHATOV INSTITUTE AND 40TH JUBILEE OF DEPARTMENT OF NANOTECHNOLOGIES AND INFORMATION TECHNOLOGIES OF RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES: INTEGRATION OF SCIENCE AND EDUCATION FOR ENFORCING OF INNER DEFENSE-INDUSTRIAL COMPLEX

Сигов Александр Сергеевич [1,2], Раткин Леонид Сергеевич [3]
Sigov Alexander S. [1,2], Rathkeen Leonid S. [3]

[1]Отделение нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, Россия, Москва
[1]Department of Nanotechnologies and Information Technologies of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow
[2]МИРЭА – Российский технологический университет, Россия, Москва
[2]MIREA – Russian Technological University, Russia, Moscow
[3]Совет ветеранов Российской академии наук, Россия, Москва
[3]The Council of Veterans of Russian Academy of Sciences, Russia, Moscow
(e-mail: Rathkeen@bk.ru)

Аннотация: В 2023 году отмечается 80 лет НИЦ «Курчатовский институт» и 40 лет Отделению нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук (РАН). Рассматриваются перспективы интеграции науки и промышленности, особое внимание уделяется укреплению отечественного оборонного потенциала.

Abstract: In 2023 is celebrated 80th jubilee of National Research Center «Kurchatov Institute» and 40th jubilee of Department of Nanotechnologies and Information Technologies of Russian Academy of Sciences (RAS). The perspectives of integration of science and industry are discussed, most attention is paid for the enforcing of inner defensive potential.

Ключевые слова: Курчатовский институт, нанотехнологии, информационные технологии, Российская академия наук, промышленность, оборонный потенциал.

Keywords: Kurchatov institute, nanotechnologies, information technologies, Russian Academy of Science, industry defensive potential.

Третьего марта 2023 года исполнилось сорок лет со дня основания Отделения нанотехнологий и информационных технологий (ОНИТ) старейшей отечественной Академии – Российской академии наук (РАН), отмечающей 300 лет 08.02.2024. Основанное как Отделение информатики, вычислительной техники и автоматизации (ОИВТА) Академии наук (АН) СССР 03.03.1983, после создания РАН в 1991 году ОИВТА вошло в состав РАН, и в 2002 году было переименовано в Отделение информационных технологий и вычислительных систем (ОИТВС) РАН. На Общем собрании членов РАН 19.12.2007 ОИТВС РАН было переименовано в ОНИТ РАН. Более 20 лет академиком-секретарем ОИВТА АН СССР и ОНИТ РАН был всемирно-известный ученый-физик, доктор физико-математических наук (1964), профессор, вице-президент АН СССР (1978-1991) и РАН (1991-1996) академик АН СССР (1974) и РАН (1991), Герой Социалистического Труда (1985) и Герой Труда Российской Федерации (2020), Лауреат Ленинской премии (1984), Государственной премии СССР

(1977) и Государственной премии Российской Федерации (2002), полный кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством», директор (1989-1992), президент (1992-2015), с 2015 года – почетный президент Национального исследовательского центра (НИЦ) «Курчатовский институт», секретарь Общественной палаты РФ (2005-2014), председатель (2010-2012) Совета «International Thermonuclear Experimental Reactor» (ITER) Евгений Павлович Велихов [1].

Летопись ОНИТ РАН – не только новейшая история нашей страны, укрепления ее интеллектуальной мощи, роста оборонного потенциала, но и приумножения ее ресурсов и богатств, где главный и неистощимый ресурс – кадровый! Академик Е.П. Велихов с 1961 года работает в Институте атомной энергии (ИАЭ) имени И.В. Курчатова (ныне – НИЦ «Курчатовский институт»), созданном всемирно-известным советским физиком, Трижды Героем Социалистического Труда (1949, 1951, 1954), академиком АН СССР (1943) и АН Узбекской ССР (1959), доктором физико-математических наук (1933), профессором (1935), основателем и первым директором ИАЭ, главным научным руководителем атомного проекта в СССР, одним из основоположников применения атомной энергии в мирных целях, Лауреатом Ленинской премии и четырех Сталинских премий Игорем Васильевичем Курчатовым (12.01.1903-07.02.1960). Хотя Лаборатория № 2 была основана 28.09.1942 в соответствии с Постановлением Государственного комитета обороны (ГКО) № 2352сс «Об организации работ по урану», подписанным заместителем председателя ГКО Вячеславом Михайловичем Молотовым (09.03.1890-08.11.1986), лишь 11.02.1943 ГКО выпустил распоряжение № 2872сс «О мерах по успешному развитию работы по урану, и только 12.04.1943 вице-президент АН СССР академик Александр Александрович Байков (06.08.1870-06.04.1946) подписал распоряжение № 121 о создании Лаборатории № 2 АН СССР, основная задача которой состояла в создании ядерного оружия. Распоряжением Президиума АН СССР от 04.04.1949 № 386 Лабораторию № 2 АН СССР переименовали в Лабораторию измерительных приборов (ЛИП) АН СССР (п/я 3393): именно ЛИП АН СССР Указом Президиума Верховного Совета СССР № 234/9 от 04.01.1954 была награждена орденом Ленина. Спустя два года, распоряжением Совета Министров СССР № 6664 от 10.11.1956 ЛИП АН СССР преобразовали в ИАЭ АН СССР под руководством И.В. Курчатова [2].

После кончины Игоря Васильевича вторым руководителем ИАЭ АН СССР был назначен всемирно-известный советский физик, академик АН СССР (1953) и РАН (1991), доктор физико-математических наук (1941), профессор, трижды Герой Социалистического Труда (1954, 1960, 1973), президент АН СССР (1975—1986), лауреат Ленинской премии (1959), Государственной премии СССР (1984) и четырех Сталинских премий (1942, 1949, 1951, 1953), почетный член АН Армянской ССР (1984), АН Азербайджанской ССР и иностранный член Болгарской АН (1976) Анатолий Петрович Александров (13.02.1903-03.02.1994). Академик А.П. Александров возглавлял ИАЭ АН СССР почти 30 лет – с 1960 года по 1989 год, после него Институтом с 1989 года по 1992 год руководил академик Е.П. Велихов (ныне – почетный президент НИЦ «Курчатовский институт»). С 2005 года по 2015 год руководителем Института был всемирно-известный советский и российский физик, специализирующийся в сфере рентгеноструктурного анализа, член-корреспондент РАН (2000), директор Института кристаллографии РАН (1998-2013), президент Всероссийского общества изобретателей и рационализаторов (ВОИР), декан физического факультета СПбГУ, ученый секретарь Совета при Президенте РФ по науке, технологиям и образованию (2001-2012), член Президиума Совета при Президенте РФ по науке и образованию (с 2012 года), ведущий научно-популярных телепрограмм «Истории из будущего» (2007-2018) и «Картина мира» (с 2019 года), полный кавалер ордена «За заслуги перед Отечеством», иностранный член Национальной академии наук (НАН) Беларуси Михаил Валентинович Ковальчук (ныне – президент НИЦ «Курчатовский институт») [3].

Курчатовский институт – традиционный флагман инноваций: именно в нем были созданы первый московский циклотрон (1944) и первый в Европе атомный реактор (1946), первая советская атомная бомба (1949) и первая в мире термоядерная бомба (1953), первая в мире промышленная АЭС (1954) и первый в СССР атомный реактор для АПЛ (1958) и

атомных ледоколов (атомный ледокол «Ленин» в 1959 году). В легендарном Институте спроектировали и создали крупнейшую установку для исследований регулируемых термоядерных реакций (1958), летающую атомную лабораторию на базе Ту-95, ядерные ракетные двигатели (прототипы) минимальной размерности, электрореактивный импульсно-плазменный двигатель (1964), испытанный на спутнике «Зонд-2». Были сконструированы и протестированы в космосе ионный с объемной ионизацией и стационарный плазменный двигатели на спутнике «Метеор», разработаны исследовательские реакторы и сконструированы первые токамаки: например, в токамак Т-10 проводятся испытания оборудования для установки в рамках проекта строительства международного экспериментального термоядерного реактора (ITER) [4]. И это – далеко не полный перечень академических фундаментальных и прикладных разработок и научных направлений, созданных Великими Учеными – руководителями научных школ И.В. Курчатовым и А.П. Александровым!

ОНИТ РАН – средоточие российских академических инноваций в сфере ИТ и нанотехнологий! За сорок лет успешной деятельности членами ОИВТА – ОИТВС – ОНИТ проделан гигантский объем работы, получены прорывные результаты в различных отраслях. Академиками-секретарями Отделения в разные годы были академик Е.П. Велихов (1983-1991, 2007-2017), академик АН СССР (1984) и РАН (1991) Станислав Васильевич Емельянов (18.05.1929-15.11.2018), академик Александр Леонидович Стемпковский (2017-2019). В апреле 2019 года и.о. академика-секретаря ОНИТ РАН был назначен всемирно-известный советский и российский ученый в сфере физики полупроводниковых приборов, академик РАН (2008), иностранный член НАН Беларуси (2021), доктор технических наук, профессор, генеральный директор АО «НИИМЭ» Геннадий Яковлевич Красников. Академик Г.Я. Красников был избран 15.11.2019 академиком-секретарем ОНИТ РАН, а 20.09.2022 – президентом РАН! Академиком-секретарем ОНИТ РАН с 22.09.2022 является всемирно-известный советский и российский ученый в сфере лазерно-информационных технологий, научного приборостроения, нелинейной оптики и медицинской физики, доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН (2008), вице-президент РАН, председатель совета РФФИ и научный руководитель Института проблем лазерных и информационных технологий РАН Владислав Яковлевич Панченко.

Бескорыстное служение государству и востребованные в обществе инновации – характерные черты профиля современной Академической науки в России, отмечающей менее, чем через год, трехсотлетний юбилей! Быть постоянным лидером, обгонять не только конкурентов – опережать Время, стремительно сокращая разрыв в тех отраслях, которые новы для восприятия, но чрезвычайно необходимы для российской экономики и промышленности – вот поприще, достойное для приложения сил новыми поколениями ученых!! Усиление интеграции старейшей отечественной Академии (РАН) с НИЦ «Курчатовский институт» обусловлено не только «стимулирующими» усиление инновационной активности санкциями, но и настоятельной необходимостью скорейшего развития новых направлений сотрудничества, в первую очередь ориентированных на получение передовых результатов в сфере обороноспособности и импортозамещения! Характерный пример: именно в период руководства еще ОИВТА АН СССР вице-президентом АН СССР академиком Е.П. Велиховым сотрудниками ИАЭ имени И.В. Курчатова 01.08.1990 была создана компьютерная сеть «Релком», инициировав создание советского (а впоследствии – российского) интернета! Объединение сетей компаниями «Релком» и «Демос» в единую сеть, успешно функционирующую на территории СССР, позволило провести первые тестовые сеансы связи по телефонному каналу советской сети с международной, а через месяц, 19.09.1990 зарегистрировать для советских пользователей домен «SU» [5].

В Послании Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина Федеральному Собранию 21.02.2023 был отмечен ряд ключевых положений, формирующих задачи на ближайший и среднесрочный период. В частности, как отметил глава государства, «в основу наших дальнейших шагов по укреплению армии и флота, по текущему

и перспективному развитию Вооруженных Сил должен быть, безусловно, положен реальный боевой опыт, полученный в ходе специальной военной операции. Он чрезвычайно для нас важен, можно сказать больше, абсолютно бесценен. Сейчас, для примера, уровень оснащения ядерных сил сдерживания России новейшими системами – более 91 процента, 91,3 процента. А теперь, повторю, с учетом опыта, который мы получили, мы должны выйти на такой же высокий качественный уровень по всем компонентам Вооруженных Сил». Для решения этих задач планируется «активно внедрять самые передовые технологии, которые обеспечат повышение именно качественного потенциала армии и флота. Такие разработки, образцы вооружений и техники у нас есть по каждому направлению. Многие из них по своим характеристикам существенно превосходят зарубежные аналоги. Задача сейчас перед нами – развернуть их массовое, серийное производство. И такая работа идет, ведется, ее темпы увеличиваются постоянно, причем на собственной, хочу это подчеркнуть, на нашей собственной, российской научной и промышленной базе, за счет активного подключения к выполнению государственного оборонного заказа малого и среднего высокотехнологичного бизнеса. Сегодня на наших заводах, в конструкторских бюро, в научных коллективах трудятся и опытные специалисты, и все больше молодых людей, талантливых, квалифицированных, нацеленных на прорыв, верных традициям русских оружейников – сделать все для победы».

Особое внимание Владимир Владимирович уделил снижению налоговой нагрузки для российских инноваторов: «С этого года действует и новый режим работы промышленных кластеров, в которых снижена фискальная и административная нагрузка на компании-резиденты, а спрос на их инновационную продукцию, которая только выходит на рынок, поддерживается за счет долгосрочных заказов и субсидий от государства», поскольку «эти меры должны обеспечить к 2030 году реализацию востребованных проектов в объеме свыше десяти триллионов рублей, причем уже в текущем году ожидаемый размер инвестиций может составить порядка двух триллионов». Но этого недостаточно: «начиная с этого года российские компании могут уменьшить выплаты по налогу на прибыль, если закупают передовые отечественные IT-решения и продукцию с использованием искусственного интеллекта. Причем эти расходы учитываются с повышенным коэффициентом, в полтора раза больше фактических затрат». Президент Российской Федерации В.В. Путин предложил «распространить такую налоговую льготу на покупку российского высокотехнологичного оборудования в целом. Прошу Правительство внести предложения по перечню такого оборудования по отраслям, в которых оно используется, и порядку предоставления льгот».

Но по-прежнему один из актуальнейших вопросов развития российской экономики – «это новые источники финансирования инвестиций», поскольку «в мире важным источником инвестиционных ресурсов являются долгосрочные сбережения граждан, и у нас также нужно стимулировать их приток в сферу инвестиций», Следовательно, необходимо «ускорить внесение в Государственную Думу законопроектов для запуска соответствующей государственной программы уже с апреля текущего года», а также «создать дополнительные условия для граждан вкладывать деньги и зарабатывать дома, внутри страны. При этом необходимо гарантировать сохранность вложений граждан в добровольные пенсионные накопления. Здесь должен быть такой же механизм, как в системе страхования банковских вкладов. Напомню, такие вклады граждан в объеме до одного миллиона 400 тысяч рублей застрахованы государством и их возврат гарантирован. Для добровольных пенсионных накоплений предлагаю установить вдвое большую сумму – до двух миллионов 800 тысяч рублей». Но при этом важно «защитить вложения граждан и в другие долгосрочные инвестиционные инструменты, в том числе от возможного банкротства финансовых посредников. Отдельные решения необходимы для привлечения капитала в быстрорастущие и высокотехнологичные бизнесы. Для них будет предусмотрена поддержка размещения акций на внутреннем фондовом рынке, включая налоговые льготы, как для компаний, так и для покупателей таких акций» [6].

Глава государства напомнил о длительной настройке налоговой системы, масштабных государственных капиталовложениях, и обратился к представителям российского бизнеса: «Запускайте новые проекты, зарабатывайте, вкладывайте в Россию, инвестируйте в предприятия и рабочие места, помогайте школам и университетам, науке и здравоохранению, культуре и спорту. Именно так и капиталы свои приумножите, и заслужите признание, благодарность людей на поколение вперед, а государство и общество вас, безусловно, поддержат». Владимир Владимирович обратил внимание на необходимость предоставления большей свободы исследователям и ученым: «В основе новых технологий практически всегда лежат фундаментальные исследования, когда-то сделанные фундаментальные исследования, и в этой сфере, так же как и в культуре, – я хочу это подчеркнуть, – мы должны предоставить ученым, исследователям большую свободу для творчества. Нельзя всех загонять в прокрустово ложе результатов завтрашнего дня. Фундаментальная наука живет по своим законам». Но для российской системы образования важно «за ближайшие пять лет подготовить порядка миллиона специалистов рабочих профессий для электронной промышленности, индустрии робототехники, машиностроения, металлургии, фармацевтики, сельского хозяйства и ОПК, строительства, транспорта, атомной и других отраслей, ключевых для обеспечения безопасности, суверенитета и конкурентоспособности России». Не менее важные изменения ожидают высшую школу «с учетом новых требований к специалистам в экономике, социальных отраслях, во всех сферах нашей жизни. Необходим синтез всего лучшего, что было в советской системе образования, и опыта последних десятилетий». Предлагается «вернуться к традиционной для нашей страны базовой подготовке специалистов с высшим образованием. Срок обучения может составить от четырех до шести лет. При этом даже в рамках одной специальности и одного вуза могут быть предложены программы, разные по сроку подготовки, в зависимости от конкретной профессии, отрасли и запроса рынка труда», а «если профессия требует дополнительной подготовки, узкой специализации, то в этом случае молодой человек сможет продолжить образование в магистратуре или ординатуре». Предполагается, что «в отдельный уровень профессионального образования будет выделена аспирантура, задача которой – готовить кадры для научной и преподавательской деятельности». Необходима длительная нормативно-правовая подготовка по устранению правовых пробелов и противоречий: «Правительству совместно с парламентариями потребуется внести многочисленные поправки в законодательство об образовании, о рынке труда и так далее».

В Послании Федеральному Собранию 21.02.2023 Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин напомнил также о том, что «истекают гарантийные сроки годности к боевому применению отдельных видов ядерных боеприпасов Соединенных Штатов. И в этой связи некоторые деятели в Вашингтоне, нам это доподлинно известно, задумываются уже о возможности натуральных испытаний своего ядерного оружия, в том числе с учетом того, что в США идет разработка новых типов ядерных боеприпасов», поэтому «Министерство обороны России и «Росатом» должны обеспечить готовность к испытанию российского ядерного оружия. Первыми мы, разумеется, этого делать не будем, но если США проведут испытания, то и мы их проведем»...

В завершение анализа текста Послания Президента Российской Федерации Владимира Владимировича Путина Федеральному Собранию 21.02.2023 необходимо отметить, что сформулированный перечень задач реален для исполнения и успешно реализуем при консолидации всех сил российского сообщества. Предъюбилейный для старейшей отечественной Академии, – РАН, – год, не случайно начался с череды знаменательных дат: ста двадцатилетия со дня рождения двух Великих Ученых – академиков Игоря Васильевича Курчатова и Анатолия Петровича Александрова, и сорокалетия основания ОНИТ РАН. Великие Умы реализуют Великие проекты, вершат Историю страны, приумножают славу Отечества! Подходы к системному решению масштабных задач научных школ ОНИТ РАН и Курчатовского института во многом схожи, ибо направлены на скорейшее достижение намеченных результатов, продиктованы заботой о развитии традиций преемственности

научных школ и воспитании нового поколения ученых, и в полной мере соответствуют духу Академических инноваций! В современных непростых экономических условиях особо востребованы Ученые, готовые брать на себя ответственность за достижение поставленных Целей, руководить большими научными Коллективами, решающими масштабные научные Задачи, мобилизовывать на их выполнение [7], воодушевлять Людей своим примером и добиваться необходимых Результатов! И такие Ученые есть…

Список литературы

1. Mutalimov V., Volkovitckaia G., Buymov A., Syzdykov S., Stepanova D. Entrepreneurship education: Start-up as a tool for actualizing student's professional competencies. Journal of Entrepreneurship Education. Volume 23, Issue I. 2020. P. 511.

2. Stepanova D.I., Garnov A.P., Brykin A.V., Jancikova E. Irrational behavior of youth when taking financial decisions. International Journal of Economics and Business Administration. Volume 7. 2019. P.378-387.

3. Yegina N.A., Zemskova E.S., Gorin V.A., Stepanova D.I. Applying consumer behavior theory integrated with supply chain strategy in the context of the digital transformation of the economy. International Journal of Supply Chain Management. Volume 8, Issue 3, 2019, P. 341-347.

4. Andreev O., Grebenkina S., Lipatov A., Aleksandrova A., Stepanova D. Modern information technology development trends in the global economy and the economies of developing countries. Espacios. 2019. V. 40. № 42. P. 8-16.

5 Dudin M.N., Shakhov O.F., Vysotskaya N.V., Stepanova D.I. Public and private partnership: Innovation-driven growth of agriculture at the regional level. Journal of Environmental Management and Tourism, 10 (7), 2019, P.1435-1444.

6. Danish M.S.S., Bhattacharya A., Stepanova D., Mikhaylov A., Grilli M.L., Khosravy M., Senjyu T. A systematic review of metal oxide applications for energy and environmental sustainability. Metals. Volume 10, Issue 12, December 2020, № 1604, Pages 1-20. https://www.mdpi.com/2075-4701/10/12/1604; doi:10.3390/met10121604.

7. Раткин Л.С. Патент на изобретение № 2322693.

УДК 657.9:339.372

СТРАНОВОЙ РИСК ДЛЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЁТОВ: БЕЛАРУСЬ И РОССИЯ
COUNTRY RISK FOR INVESTMENT ENGINEERING CALCULATIONS: BELARUS AND RUSSIA

Трифонов Николай Юрьевич [1,2,3]
Trifonov Nikolai Yu. [1,2,4]

[1]*Совет объединений оценщиков Евразии, Беларусь, Минск*
[1]*Council of Valuers' Associations of Eurasia, Belarus, Minsk*
[2]*Международная инженерная академия*
[2]*International Academy of Engineering*
[3]*Российская инженерная академия*
[3]*The Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow*
[4]*Royal Institution of Chartered Surveyors, Great Britain, London*
(e-mail: soo_sng@tut.by)

Аннотация: Среди показателей финансово-экономического состояния некоторой страны своё место занимает премия за страновой риск, часто кратко называемая страновым риском. Величина премии за страновой риск важна для характеристики государственного долга, инвестиционной привлекательности страны для инвестора, оценки стоимости инвестиционных инженерных проектов и активов в этой стране, в первую очередь предприятий. Описан опыт расчёта премии за страновой риск для Беларуси, России и некоторых других стран.

Abstract: Among the indicators of the financial and economic condition of a country, the country risk premium (CRP) takes its place. The CRP value is important for characterizing public debt, the investment attractiveness of the country for investors, and valuation investment engineering projects and assets in the country, primarily enterprises. The experience of CRP calculating for Belarus, Russia and some other countries is described.

Ключевые слова: премия за страновой риск, инвестиционная привлекательность, Беларусь, Россия, оценка стоимости, инженерный проект, ставка капитализации.

Keywords: country risk premium, CRP, investment attractiveness, Belarus, Russia, valuation, engineering project, capitalization rate.

Введение

Прямая связь между риском и доходностью на интуитивном уровне была известна человечеству давно. Например, в китайском языке понятие «риск» записывается двумя иероглифами, первый из которых означает опасность, а второй – удачу. В России примерно с XVIII в. бытует поговорка «Кто не рискует, тот не пьет шампанского!». В середине прошлого века эти мысли были формализованы в экономических расчетах, в которых была выделена так называемая «безрисковая» ставка. В дальнейшем при рассмотрении расчётов в иностранной валюте появилось понятие премии за страновой риск.

Премия за страновой риск R_c (по-английски country risk premium, CRP) – это премия за риск инвестирования иностранных средств в инвестиционный инженерный проект (или объект оценки) в некоторой стране, связанный с потерей (полной или частичной) этим проектом (или объектом оценки) стоимости вследствие действия общеэкономических, финансовых и социально-политических факторов, присутствующих в стране независимо от проекта (или объекта оценки).

Величина этой премии, часто кратко называемой страновым риском, существенна для оценки инвестиционной привлекательности страны (напр. [1]), входит в формулы

оценки эффективности инвестиционных проектов [2] и оценки стоимости активов при расчетах доходным подходом [3-4], что особенно важно при определении потребительных видов стоимости [5], всё более популярных для характеристики капиталоёмких объектов и проектов.

Премия за страновой риск появляется в формулах, когда расчет проводится в иностранной для местонахождения исследуемого объекта валюте (см. [6-8]). Традиционно такую премию рассматривают по отношению к доллару США, но её можно рассчитывать по отношению к любой валюте, в которой осуществляются инвестиции. В случае оценки в другой валюте премия в общем случае должна иметь другую величину (см. [8]). Таким образом, величина премии за страновой риск существенно зависит от денежной единицы (валюты), используемой в таком расчете (напр., [3, 7]).

Для обеспечения рынков инвестиций, приватизации, оценки необходимым справочно-аналитическим материалом автором с апреля 2004 г. ежемесячно рассчитывалась для референтного использования премия за страновой риск для Республики Беларусь по отношению к наиболее применяемой иностранной валюте – доллару США. Позднее стали рассчитываться премии за страновой риск и для других государств.

При расчётах странового риска по отношении к доллару США используются сведения о доходности государственных ценных бумаг интересующей страны, номинированных в долларах США. Также в вычислениях используются сведения Федеральной резервной системы США о текущей доходности долговременных казначейских обязательств правительства США (по-английски treasury constant maturities), дающие значение безрисковой ставки R_0 для расчёта [9]. Срок жизни обязательств правительства США выбирается сравнимым со сроком остаточной жизни обязательств исследуемой страны. Расчет величины странового риска производится с использованием выражения [8]:

$$R_c = (1 + R_{pr}) / (1 + R_0) - 1. \quad (1)$$

Расчёт премии за страновой риск для Беларуси

С появлением белорусских государственных долгосрочных облигаций, номинированных в долларах США и торгуемых на международных площадках, таких как xs2120091991 (со сроком погашения в 2026 г.), xs1760804184 (со сроком погашения в 2030 г.) и xs2120882183 (со сроком погашения в 2031 г.), расчёт премии производился с использованием сведений об их доходности R_{pr} на мировых фондовых торговых площадках (первоначально – европейских, таких как Франкфуртская биржа, после введения санкций – азиатских). Также использовались данные о доходности казначейских обязательств США со сроком погашения через 15 лет, позже – 10-летних и 7-летних.

В начале периода наблюдения (с апреля и до конца 2004 г.) величина странового риска оценивалась в 6,5%, потом в течение года колебалась вокруг этой цифры, затем стала постепенно повышаться со все возрастающим темпом (рисунок 1).

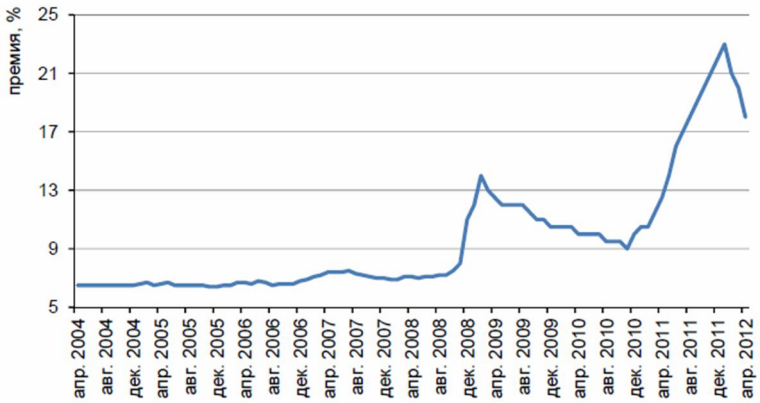


Рисунок 1 – Динамика премии за страновой риск Республики Беларусь с апреля 2004 г. по март 2012 г.

Локальный пик в 14% (в феврале 2009 г.) отразил мировой экономический кризис, следующий пик (в январе 2012 г.), равный 23%, явился последствием финансового кризиса 2011 г. Далее в величине премии последовало снижение в течение ряда лет. В феврале 2021 г. значение премии за страновой риск в Республике Беларусь достигло абсолютного минимума в 4,8%. В декабре 2021 г. премия поднялась до уровня 8,0% годовых.

В 2022 г. российская военная операция в Украине привела к резким изменениям в доходности белорусских ГДО, что отразилось на величине определяемого по ним странового риска (рисунок 2). В феврале 2022 г. величина премии за страновой риск Республики Беларусь подскочила до 94,5% (!). В апреле 2022 г. западноевропейские биржи отказались от допуска белорусских еврооблигаций на свои площадки. Но в остальной части мира (прежде всего на азиатских фондовых рынках) государственные облигации Беларуси по-прежнему котируются, что даёт возможность рассчитывать текущие данные по величине премии за страновой риск.

После пика за февраль 2022 г. премия за страновой риск Беларуси постепенно падала. На начало 2023 г. понизилась до 23,6%, в мае достигла локального минимума в 20,2%, после чего понемногу стала подниматься до сентябрьского локального максимума в 23,7%. На 31 октября 2023 г. для Беларуси R_c = 22,7%.

Расчёт премии за страновой риск для России

Правительство Российской Федерации выпустило более десятка долгосрочных государственных облигаций, номинированных в долларах США, со сроками погашения от августа 2023 г. до июня 2047 г. Несмотря на внешние санкции, эти «евробонды» котируются на некоторых биржевых площадках.

Для расчёта величины премии за страновой риск была выбрана наиболее долгоживущая ценная бумага с тем, чтобы срок её жизни был сравним со сроком экономической жизни объектов недвижимости, обычно являющимися существенной составляющей инвестиций. Поэтому в основу расчёта российской премии R_c положены сведения о доходности облигации правительства Российской Федерации со сроком погашения 23 июня 2047 г. и купонной выплатой в 5,25%.

До начала военной операции в Украине российская премия за страновой риск была очень низкой. Например, в декабре 2020 г. страновой риск России был равным 1,4%.

Рисунок 2 – Динамика премии за страновой риск Республики Беларусь (в %) с октября 2021 г. по сентябрь 2023 г.

Рассчитанные значения величины странового риска для России с прошлогоднего лета приведены на рисунке 3. Отмечался взлёт в феврале прошлого года и последующее снижение величины странового риска. В декабре 2022 г. наблюдался всплеск до 15,8%. В этом 2023 году премия за страновой риск России устойчиво колебалась в районе 11%, а

летом стала приподниматься. На 31 октября 2023 г. для Российской Федерации Rc = 13,1%.

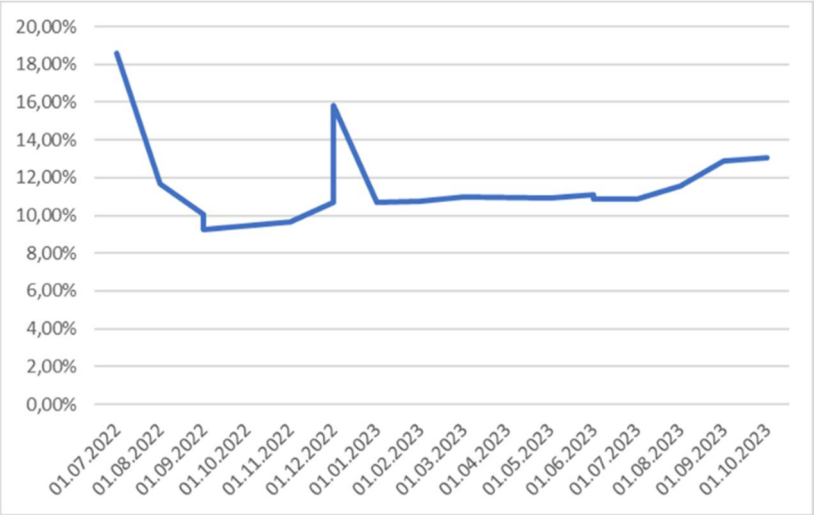


Рисунок 3 – Динамика премии за страновой риск Российской Федерации с июля 2022 г. по октябрь 2023 г.

Можно отметить относительную синхронность динамики премий за страновой риск России и Беларуси, особенно в течение 2022 г. (постепенное снижение) и лета 2023 г. (небольшой подъём).

Премия за страновой риск для некоторых других стран

Знание уровня странового риска той или иной страны помогает инвестору оценить перспективность инвестиций. Сравнительная таблица страновых рисков (по доллару США), рассчитанных на 31 октября 2023 г. [9] для различных стран дана в таблице 1.

Таблица 1 – Размер премии за страновой риск по доллару США для некоторых стран.

Страна	Беларусь	Индия	Индонезия	ОАЭ	Польша	Россия	Сербия
R_c (%)	22,7↓	4,81↑	3,45↑	3,31↑	3,34↑	13,1↑	4,72↓

Стрелкой обозначено направление изменения премии за страновой риск за последний месяц.

Выводы

Проведено исследование динамики премии за страновой риск, являющейся одним из показателей инвестиционной привлекательности страны, для Республики Беларусь и Российской Федерации, отмечена корреляция в их поведении, указывающем на адаптацию экономик к внешнему санкционному давлению. Для сравнения приведены расчётные данные для некоторых других стран. Предлагается провести подобные исследования для заинтересованных стран, представленных в Международной инженерной академии.

Список литературы

1. Savoiu G., Taicu M. Foreign direct investment models, based on country risk for some post-socialist Central and Eastern European economies // Procedia Economics and Finance. 2014. № 10. P. 249–260.

2. Коссов В.В. [и др.] Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция). М.: Издательство «Экономика», 2000. 421 с.

3. Трифонов Н.Ю. Доходный подход к оценке стоимости: последние достижения // Экономические стратегии. 2021. № 3 (177). С. 100–109. URL: https://doi.org/10.33917/es-3.177.2021.100-109

4. Трифонов Н.Ю. Комплексная оценка недвижимости: учебное пособие. Мн.: Вышэйшая школа, 2022. 238 с.

5. Трифонов Н.Ю. Оценка стоимости предприятий и инженерных проектов в современных условиях // Сборник статей международной конференции «Перспективные задачи

инженерной науки». Международная инженерная академия. М.: ООО Издательский дом «Мастер», 2022. С. 393-400.

6. Шарп У.Ф., Александер Г.Дж., Бэйли Дж.В. Инвестиции / пер. с англ. М.: Инфра-М, 2001. 1028 с.

7. Дамодаран А. Инвестиционная оценка. Инструменты и техника оценки любых активов / пер. с англ. М.: Альпина Бизнес Букс, 2004. 1342 с.

8. Трифонов Н.Ю. Развитие метода накопления рисков для расчета ставки капитализации // Экономическая наука современной России. 2021. № 1. С. 7–14. URL: https://doi.org/10.33293/1609-1442-2021-1(92)-7-14

9. Federal Reserve Board. URL: http://federalreserve.gov

10. Трифонов Н.Ю. Эксперт об инвестиционной привлекательности и страновом риске. URL: https://realting.com/ru/news/expert-on-investment-attractiveness-and-country-risk

УДК 628.3

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ И ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЗАТОПЛЕННОГО БИОРЕАКТОРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
OPERATIONAL RESEARCH AND CALCULATION METHODS FOR MOVING BED BIOFILM REACTOR FOR WASTEWATER TREATMENT UNDER INTERMITTENT USE CONDITIONS

Гогина Елена Сергеевна, Гульшин Игорь Алексеевич, Спасибо Елена Васильевна
Gogina Elena S, Gulshin Igor A., Spasibo Elena V.

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской Академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН)
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences
(Gogina-es@yandex.ru, gulshinia@mgsu.ru, spasibo.elena@mail.ru)

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены результаты исследований работы затопленного биофильтра в условиях периодического использования. Приведена схема лабораторной установки, а также режим эксплуатации. По результатам исследования разработана методика расчета, учитывающая одновременного использование процессов окисления органических веществ, нитрификации и денитрификации. Положительные результаты исследования позволяют применять затопленные биофильтры для строительства очистных сооружений малой и средней производительности с получением нормативного качества сточных вод.

Annotation. This article discusses the results of studies of the operation of a flooded biofilter under conditions of periodic use. A diagram of the laboratory setup, as well as the operating mode, is presented. Based on the results of the study, a calculation method was developed that takes into account the simultaneous use of the processes of oxidation of organic substances, nitrification and denitrification. Positive results of the study make it possible to use flooded biofilters for the construction of small and medium-capacity treatment facilities to obtain standard wastewater quality.

Ключевые слова: биореактор, эксперимент, нитрификация, денитрификация, качество очищенной сточной воды.

Key words: bioreactor, experiment, nitrification, denitrification, quality of treated wastewater.

Вопросы экологии в настоящее время волнуют все большее количество населения нашей планеты. Особые опасения связаны с загрязнениями воздуха, почвы и воды. Вода – основа любой жизни. От качества воды зависит здоровье человека и всего живого мира на Земле. Именно поэтому во всем мире большое внимание уделяется качеству питьевой воды. Источником питьевой воды, как правило, является поверхностный водоем, который используется населением для культурно-бытовых целей, а также для сброса сточных вод. В связи с этим значительное влияние на качество воды водоема оказывает качество очищенной сточной воды. В большинстве стран сегодня приняты природоохранные документы на уровне законов и подзаконных актов, которые регулируют качество очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоем. При этом наблюдается тенденция, связанная с естественными процессами при сбросе воды – учет разбавления сточной воды водой водоема. Это означает, что в большинстве стран сегодня, в том числе и в Российской Федерации, нормативы качества очищенных сточных вод связаны с количеством воды, сбрасываемой в водоем. Чем больше сбрасывается воды, тем выше должно быть качество, то есть тем чище сточная вода,

которую сбрасывают. Обратная ситуация складывается по отношению к сточной воде, которая сбрасывается в небольшом количестве. С учетом большого разбавления водой водоема ее качество может быть невысоко. Такое решение правильное в отношении единичных очистных сооружений. Невысокое качество воды позволяет экономить финансовые средства, которые затрачиваются на очистку, снижается тариф для населения, упрощается эксплуатация. Однако, совсем по-другому складывается ситуация, когда на берегу одной реки через небольшое расстояние расположено несколько очистных сооружений, сбрасывающих сточную воду. В этом случае разбавление и, как следствие, процессы самоочищения водоема снижаются и негативное влияние на состояние водоема увеличивается [1-4].

Решению проблемы, позволяющей получать очищенную сточную воду высокого качества, было посвящено исследование, которое проведено в научно-исследовательской лаборатории «Технология очистки природных и сточных вод» НИИСФ РААСН.

Для проведения исследования собрана установка, имитирующая работу малого очистного сооружения на основе затопленного биофильтра.

Установка включала в себя два отсека биореактора и вторичный отстойник. Первый отсек работал в аноксидном режиме и был оснащен плоскостным загрузочным материалом с удельной поверхностью около 250 м^2/м^3. Продолжительность очистки в данном отсеке составляла 2,5 часа. Второй отсек работал в аэробном режиме и был оснащен плавающим загрузочным материалом в виде пенополистирольных гранул с общей удельной поверхностью около 300 м^2/м^3 [5, 6]. Данный загрузочный материал призван поддерживать возможность существования биопленки при временных отключениях очистных сооружений. Продолжительность очистки во втором отсеке составляла 4,5 часа. Вторичный отстойник обеспечивал возврат нитратной воды в первый отсек установки для обеспечения процессов удаления азота. За время проведения эксперимента значительного количества избыточной и отмершей биопленки зафиксировано не было. Продолжительность отстаивания в отстойнике составляла 1 час при степени рециркуляции 150%. Схема установки представлена на рисунке 1.

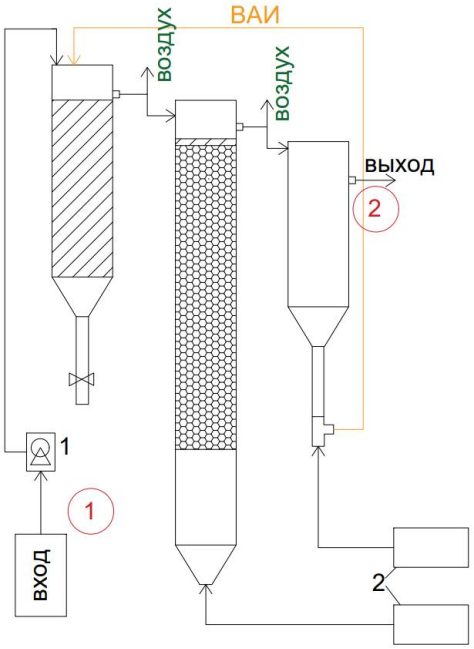


Рисунок 1 – Схема лабораторной установки затопленного биофильтра. Точки отбора проб отмечены красным цветом. 1 – насос-дозатор для подачи сточной воды; 2 – компрессоры аэрации.

Первый этап работы установки предполагал обеспечение наращивания необходимого количества биопленки в аноксидной и аэробной зонах реактора. Для сокращения сроков, необходимых для наращивания биопленки, биореактор был инокулирован активным

илом с действующих канализационных очистных сооружений. Доза ила при этом составляла не более 0,5 г/л для предотвращения нарушения эксплуатационного режима установки.

Установка эксплуатировалась в круглосуточном режиме. После наращивания биопленки было реализовано четыре этапа наблюдения за работой системы с периодическим отключением от подачи сточной воды. Качество подаваемой сточной воды соответствовало стандартной хозяйственно-бытовой воде. Период остановки работы модели в среднем составлял 72 часа, период работы установки после перезапуска не более 96 часов, что соответствует программе испытаний.

Периодичность включения и отключения в данном случае имитировала периодическое проживание людей. Такой периодический процесс подачи сточных вод на сооружения часто наблюдается при отведении сточной воды от коттеджных поселков, дачных участков, санаториев, домов отдыха и пр.

По результатам проведения эксперимента получены положительные результаты по качеству очищенной воды, которое соответствовало нормативному. Таким образом сделан вывод о том, что затопленный биофильтр может успешно применяться для проектирования и строительства очистных сооружений малой и средней производительности.

Особый интерес представлял расчет такого сооружения. Широко известны расчеты стандартных аэротенков и биофильтров. В настоящем исследовании методика расчета была подобрана на основании полученных экспериментальных данных.

Расчет данного реактора довольно тесно связан с критериями оценки эффективности работы малых сооружений и основан на учете удельной поверхности биопленки и удельных скоростях реакций окисления органических загрязнений, нитрификации и денитрификации. Все три процесса протекают в отдельных отсеках реактора, отличающихся собственными конструктивными размерами и, что принципиально, разным относительным объемом загрузочного материала [7, 8].

Основные технологические решения данных реакторов, предполагают использование схем с предденитрифкацией и постденитрификацией. Предденитрификация технологически возможна при соотношении органических загрязнений поступающих сточных вод к азоту (C/N) более 4 и требуемой эффективности удаления азота меньше или равной 75%. При меньшем значении отношения C/N, либо при требуемой эффективности удаления азота более 75% необходимо предусматривать постденитрификацию с дополнительным внешним источником углеродной подпитки.

Исходными данными для расчета служат [7-9]:

– Суточный расход сточных вод, поступающих на очистку Q_0, м^3/сутки;

– Концентрации загрязнений в исходной сточной воде (общий азот, БПК$_5$, азот нитратов, азот нитритов);

– Общая щелочность исходной сточной воды.

Первая стадия.

Определяемые параметры:

– Проектное заполнение отсека загрузочным материалом $k_{LV\text{-}NO3}$ – задается, рекомендуемые значения в диапазоне 40-80%;

– Нагрузка по азоту нитратов в сутки, г/сут;

– Необходимая площадь поверхность загрузочного материала м^2;

– Необходимый объем загрузочного материла, м^3;

– Расчетный объем отсека, м^3;

– Расчетная ширина отсека реактора, м;

– Расчетная длина отсека реактора, м;

– Объем жидкости в реакторе, м^3;

– Время пребывания сточной воды в отсеке денитрификатора, мин;

– Скорость денитрификации, г/м^2/сут.

Вторая стадия.

Определяемые параметры:

– Проектное заполнение отсека загрузочным материалов $k_{LV\text{-}BOD}$ – задается, рекомендуемые значения в диапазоне 40-80%;

– Нагрузка по органике в сутки, г/сут;

– Необходимая площадь поверхность загрузочного материала, м^2;

– Необходимый объем загрузочного материла, м^3;

– Расчетный объем отсека, м^3;

– Расчетная ширина отсека реактора, м;

– Расчетная длина отсека реактора.

Для эффективной нитрификации на данной стадии необходимо обеспечить низкую нагрузку по органическим загрязнениями к поверхности биопленки, $SALR_{BOD}$<0,5 г/м^2/сут.

После определения основных параметров задается конфигурация биореактора:

– Количество рабочих секций биореактора – не менее двух

– Рабочая глубина всего сооружения – рекомендуемое значение в диапазоне 2–3,5 м;

– Ширина каждой секции, м;

– Длина секции предденитрификатора, м;

– Длина секции гетеротрофного удаления органики, м;

– Длина секции нитрификации, м.

Температура, давление, плотность воздуха и содержание кислорода в воздухе принимаются по стандартным значениям.

Выводы. Проведенные исследования показали удовлетворительную работу очистных сооружений. Качество очищенной сточной воды для всех лабораторных моделей соответствует технологическим показателям наилучших доступных технологий для соответствующей производительности.

На основании проведенных исследований для сооружений с прикрепленной и взвешенной микрофлорой разработаны методики расчета очистных сооружений малой производительности с учетом их периодического использования.

Список литературы

1. Дзюбо В.В. Причины неудовлетворительной работы малых канализационных очистных сооружений (КОС) / В.В. Дзюбо, Л.И. Алферова // Водоочистка. - 2015. - № 3. - С. 34-40.

2. Пукемо М.М. Адаптивные технологии очистки сточных вод для озера Байкал, опыт и инициативы // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2017, №6, С. 36-41.

3. Boller M. Small wastewater treatment plants – a challenge to wastewater engineers // Water Science and Technology, №35(6), С. 1-12.

4. Spellman F.R. Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations / F.R. Spellman. - 3rd Edition. - CRC Press, 2014. - 904 p.

5. Carpenter C.M.G. Removal of micropollutants in biofilters: Hydrodynamic effects on biofilm assembly and functioning / Corey M. G. Carpenter, Damian E. Helbling // Water Research. – 2017. - № 120, p.211-221.

6. Вострова Р.Н. Применение иммобилизационной загрузки для интенсификации биологической очистки сточных вод / Р.Н. Вострова, А.В. Роденко // Вода Magazine. - 2018. - № 2 (126). - С.32-36.

7. Huang C. Comparison of biomass from integrated fixed-film activated sludge (IFAS), moving bed biofilm reactor (MBBR) and membrane bioreactor (MBR) treating recalcitrant organics: Importance of attached biomass / C. Huang, Y. Shi, J. Xue, Y. Zhang, M. Gamal, Y. Liu // Journal of Hazardous Materials. – 2017. - № 326. – p.120-129.

8. Kamstra A. Mixing and scale affect moving bed biofilm reactor (MBBR) performance / A. Kamstra, E. Blom, B.F. Terjesen // Aquacultural Engineering. - 2017. - №78, Part A. – p.9-17.

9. Choi H. J., Comparison between a moving bed bioreactor and a fixed bed bioreactor for biological phosphate removal and denitrification / H. J. Choi, A. H. Lee, M. Lee // Water Science & Technology. - 2012. – № 65.10. – p.1834-1838.

УДК 620.179.17

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В СИСТЕМЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ
APPLICATION OF THE ACOUSTIC EMISSION METHOD IN THE MAINTENANCE SYSTEM STATE AVIATION AIRCRAFT

Попов Алексей Владимирович [1,2], Волошина Валентина Юрьевна [1], Евдокимов Евгений Михайлович [1]
Popov A., Voloshina V., Evdokimov E.

[1]ВУНЦ ВВС «ВВА» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина, Россия, Воронеж
VUNTS Air Force "VVA" named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin, Russia, Voronezh
(e-mail: Mama7679089@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russianl Academy of Engineering

Аннотация: Рассмотрено новое направление технической диагностики элементов конструкций воздушных судов государственной авиации с применением метода акустической эмиссии на основе имеющихся научных результатов исследований.

Abstract: A new direction of technical diagnostics of structural elements of state aviation aircraft using the acoustic emission method is considered based on existing scientific research results.

Ключевые слова: воздушное судно, элементы конструкций, система технического обслуживания, техническая диагностика, метод акустической эмиссии.

Keywords: aircraft, structural elements, maintenance system, technical diagnostics, acoustic emission method.

На этапах развития эксплуатации воздушных судов (ВС) гражданской авиации стоят новые задачи совершенствования системы технического обслуживания (СТО). Такое направление необходимо для сохранения и поддержания надежного функционирования ВС на протяжении всей эксплуатации.

К наиболее перспективным задачам совершенствования СТО относят:

– обеспечение функциональной надёжности ВС;

– снижение возможных отказов, приводящих к преждевременному выводу из эксплуатации ВС;

– сокращение временных, трудовых и экономических затрат;

– оптимизация процессов технической диагностики (ТД);

– формирование новых программ ТД и их реализация.

В условиях экономической обстановки движущими силами в СТО ВС являются не только совершенствование существующих методов и средств ТД, но и создание, внедрение новых технологий. К таким технологиям можно отнести современные методы и средства неразрушающего контроля (НК) для оценки технического состояния (ТС) элементов конструкций ВС.

На сегодняшний день существует ряд проблем в области ТД ВС, связанных с недоработками в оценке ТС различных конструкций планера, силовых установок и гидрогазовых систем (топливные, масляные, пневмогидравлические и др.). На этапах всего жизненного цикла элементы конструкций ВС подвержены различным нагрузкам (статические, по-

вторно-статические, динамические и др.). Протекающие во времени механические, физические и химические процессы в элементах конструкций ВС служат причинами возникновения различных отказов, приводящих к нарушению функционирования ВС и возникновению аварийных ситуаций. По этой причине при рассмотрении ряда распространенных штатных методов НК [1], применяемых при ТД элементов конструкций ВС, выявлены следующие недостатки:

– имеют узкий набор функций для эффективной ТД в СТО;

– не учитывают новые принципы оценки ТС элементов конструкций ВС;

– не выявляют скрытые и развивающиеся дефекты в элементах конструкций ВС;

– низкий уровень оценки негерметичности гидрогазовых систем;

– оценка ТС большинства элементов конструкций ВС осуществляется преимущественно в ремонтных организациях.

Выявленные недостатки показывают, что штатные методы НК не отвечают современным требованиям ТД, соответственно существует необходимость внедрения новых методов НК на основе опыта, полученного на основе научных результатов исследований в области ТД планера, силовых установок и гидрогазовых систем.

Эффективным методом НК для оценки ТС различных элементов конструкций ВС выступает метод акустической эмиссии (АЭ), основанный на регистрации и анализе параметров волн АЭ при локальной перестройке структуры различных материалов (металлы, пластмасс, и т.д.) [2]. В сравнении со штатными методами НК, метод АЭ имеет следующие преимущества:

– применение ко многим материалам конструкций ВС;

– возможность выявления различных процессов и структурных изменений в материале исследуемого элемента конструкции (трещины, пластические деформации, течи, кавитацию);

– оценка ТС всего объема материала;

– определение степени и скорости развития деструктивных процессов в материале;

– достаточная степень чувствительности преобразователей, что позволяет выявлять микродефекты;

– выявление на ранних этапах развивающихся и скрытых дефектов из-за резкого увеличения амплитуд и энергии акустических сигналов, что позволяет заранее предотвращать внезапные отказы;

– осуществление ТД без отстранения ВС от эксплуатации или с отстранением его на минимальные отрезки времени по сравнению со штатными методами НК, требующими полного или частичного отстранения ВС от эксплуатации.

Эффективность и достоверность метода (АЭ) для оценки ТС различных элементов конструкций ВС подтверждаются следующими научными результатами исследований:

– оценка акустико-эмиссионных процессов при деформировании конструкций, где изменение вида и характеристик распределений параметров АЭ оценивается при помощи инвариантов - безразмерных математических соотношений, характеризующих законы распределения случайных процессов [3];

– способ и устройство оценки заделки остекления фонаря кабины ВС для выявления опасных дефектов, прогнозирования динамики развития дефектов на ранних стадиях и определение их местоположения [4, 5];

– способ и устройство акустико-эмиссионной диагностики силовых элементов конструкций для оценки, прогнозирования прочности и ресурса изделий [6];

– способ оценки газотурбинных двигателей воздушных судов для диагностики предпомпажного состояния с целью оперативного выявления предпомпажных режимов работы газотурбинных двигателей [7];

– многоканальная акустико-эмиссионная система контроля силовых элементов конструкций для оценки степени опасности дефектов по информативным параметрам аку-

стико-эмиссионных процессов, действующих нагрузок и деформаций в элементах конструкций [8];

– выявление кавитации в низконапорных трубопроводах гидросистем ВС методом АЭ [9].

Выводы

Разработка новых методик по оценке ТС элементов конструкций ВС на основе метода АЭ с реализацией приведенных научных результатов исследований позволит:

– предотвращать катастрофические разрушения элементов конструкций ВС путем классификации выявленных отказов по степени опасности и своевременного отстранения ВС от эксплуатации;

– повысить уровень оперативности и достоверности оценки ТС элементов конструкций ВС;

– значительно уменьшить временные, трудовые и экономические затраты, связанные с оценкой ТС элементов конструкций ВС;

– обеспечить требуемый уровень надежности и функционирования ВС, эксплуатационной технологичности и контроле пригодности элементов конструкций ВС.

Список литературы

1. ГОСТ Р 56542-2019. Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов. - Москва: ОАО «НИАТ», 2019. - 10 с.

2. ГОСТ Р 52727-2007. Техническая диагностика. Акустико-эмиссионная диагностика. Общие требования. - Москва: Стандартинформ, 2007. - 12 с.

3. Патент № 2367942 Российская Федерация, МПК G01N 29/14 (2006.01). Способ оценки процессов разрушения конструкций при акустико-эмиссионном контроле: № 2008113273/28: заявл. 04.04.2008: опубл. 09.20.2009 / Попов А.В., Кондранин Е.А. - 5 с.

4. Патент № 2722400 Российская Федерация, МПК B64F 5/00 (2006.01). Способ диагностирования заделки остекления фонаря кабины воздушного судна: № 2019143550: заявл. 20.12.2019: опубл. 29.05.2020 / Попов А.В., Волошина В.Ю., Крылов А.А., Комлев А.Б. - 6 с.

5. Патент № 2759027 Российская Федерация, МПК B64F 5/00 (2006.01). Устройство для диагностирования заделки остекления фонаря кабины воздушного судна: № 2021100375: заявл. 12.01.2021: опубл. 08.11.2021 / Попов А.В., Волошина В.Ю., Комлев А.Б. - 5 с.

6. Патент № 2789694 Российская Федерация, МПК П01Т 29/14 (2006.01). Способ и устройство оценки и прогнозирования ресурса при акустико-эмиссионной диагностике конструкций: № 2022112186: заявл. 04.05.2022: опубл. 07.02.2023 / Попов А.В., Самуйлов А.О. - 6 с.

7. Патент № 2773588 Российская Федерация, МПК F04D 27/02 (2006.01). Способ спектральной оценки возникновения предпомпажного состояния газотурбинных двигателей воздушных судов: № 2021120670: заявл. 13.07.2021: опубл. 06.06.2022 / Попов А.В., Волошина В.Ю., Романов А.А., Евдокимов Е.М. - 7 с.

8. Патент № 2659575 Российская Федерация, МПК G01N 29/14 (2006.01). Многоканальная акустико-эмиссионная система контроля силовых элементов конструкций: № 2017117546: заявл. 19.05.2017: опубл. 03.07.2018 / Попов А.В., Волошина В.Ю., Сиренко И.Л., Тесля Д.Н., Карпенко О.Н., Филимонов К.С. - 6 с.

9. Попов А.В. Акустико-эмиссионные исследования по выявлению кавитации в низконапорных трубопроводах гидросистем летательных аппаратов / А.В. Попов, Е.М. Евдокимов // Инженер и промышленник сегодня: информационно-аналитический журнал. - Москва: ГНЦ РФ ФГУП «ЦНИИХМ», 2023. - № 2 (62). - С. 10-16.

УДК 69.005

РАЗРАБОТКА РЕШЕНИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОММЕРЧЕСКОЙ НЕДВИЖИМОСТИ В РАМКАХ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТА РЕКОНЦЕПЦИИ С УЧЕТОМ АКТУАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ РЫНКА

DEVELOPMENT OF SOLUTIONS TO INCREASE THE ECONOMIC EFFICIENCY OF A COMMERCIAL REAL ESTATE OBJECT WITHIN THE FRAMEWORK OF A RECONCEPTUALIZATION PROJECT, TAKING INTO ACCOUNT CURRENT MARKET TRENDS

Швейдель Александр Григорьевич [1,2], Кирпиченков Андрей Андреевич [3]
Shveydel Alexander G. [1,2], Kirpichenkov Andrey A. [3]

[1]Общество с Ограниченной Ответственностью «Континент», Россия, Санкт-Петербург
[1]Limited Liability Company "Kontinent", Russia, St. Petersburg
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: shveydelalex@mail.ru)
[3] Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ), Россия, Москва
[3] Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU), Russia, Moscow
(e-mail: andrey.kirpichenkov@mail.ru)

Аннотация: Каждый объект торговой недвижимости, длительно сохраняющий свою базовую концепцию, может подвергнуться влиянию внешних и внутренних факторов, понижающих его экономическую эффективность, приводящей к падению покупательской способности. Одним из методов повышения экономической эффективности торгово-развлекательной недвижимости является проведение реконцепции.

Abstract: Each retail real estate object, which keeps its basic concept for a long time, can be affected by external and internal factors that reduce its economic efficiency, leading to a decline in purchasing power. One of the methods to improve the economic efficiency of retail and entertainment real estate is reconceptualization.

Ключевые слова: объекты торговой недвижимости, реконцепция торговой недвижимости, проектные решения по увеличению эффективности торговой недвижимости.

Keywords: retail real estate objects, reconstruction of retail real estate, design solutions to increase the efficiency of retail real estate.

Изменяющиеся условия и тренды рынка, общие макро- и микроэкономические тенденции заставляют владельцев торговой недвижимости и девелоперов находить возможности для сохранения рентабельности и востребованности торговых центров. Для восстановления экономической эффективности и повышения покупательского трафика торгово-развлекательной недвижимости ее владельцами могут применяться различные методы: полная модернизация торгового объекта, реновация и редевелопмент, но одним из самых экономически эффективных методов является проведение реконцепции.

Проект реконцепции – это комплекс мероприятий, направленных на изменение или корректирование общей идеи и позиционирования недвижимости на рынке методом изменения ее характеристик с учетом актуальных тенденций рынка. Не смотря на его высокую эффективность, особенно в сложившихся условиях рынка, данный метод обладает своими

особенностями и характерными чертами, которые должны быть учтены собственниками торговой недвижимости [1, 2].

Реконцепция коммерческого объекта включает четыре основных направления: tenant-mix, то есть торгово-пространственная концепция; позиционирование на определенную целевую аудиторию; визуальная составляющая; технологическая модернизация. С учетом особенностей объекта подбирается корпоративное оформление, интерьерный стиль, отделка фасадов, навигационные и рекламные баннеры. Изменениям предшествует масштабное исследование аудитории, конкурентный анализ, маркетинговый анализ и иные исследования [1, 3]. Общемировые тренды, рост онлайн-торговли, развитие стрит-фуда, индустрии развлечений и образования влияют на экономическую модель классического торгово-развлекательного центра, которые начинает конкурировать с общественными пространствами. Но, ввиду существования различных типов реконцепции, поиск наиболее рационального, правильного и подходящего типа для конкретного объекта может быть сложной задачей для девелопера. Его выбор будет зависеть от множества условий, которые должны быть обозначены и проанализированы потенциальным инициатором проекта. На основе проведенных исследования рынка, основных тенденций и других факторов необходимо грамотно сформулировать цель и выбрать применяемый метод реконцепции для рассматриваемого проекта.

Таким образом, решение о выборе стратегии проведения реконцепции и ее глубины можно принять после разностороннего предварительного изучения объекта. Также, при разработке проекта реконцепции со стороны девелоперов должен быть проведен глубокий анализ возможных ограничивающих факторов, которые могут серьезно отразиться на эффективности предлагаемых решений и снизить потенциал объекта или сделать проект реконцепции нецелесообразным. Для этого необходимо составить перечень основных факторов, которые должны быть учтены при планировании комплекса работ [1, 3, 4].

Для формирования системы методов оценки экономической эффективности торгово-развлекательных центров в условиях современной экономики необходимо сформулировать основные критерии, которые являются основополагающими для большинства современных торгово-развлекательных центров оценки. Рассмотрим данные критерии:

1. Наличие единой концепции торгового центра. Концепция торгового центра должна возникать на этапе проектирования и включаться в бизнес-план как основа идейного облика проекта, также предполагается ее детальная проработка в долгосрочной перспективе, что определит основную стратегию развития предприятия [2, 5].

2. Индивидуальное архитектурно-технологическое решение торгового центра. Так, в торговом центре должны быть решены следующие задачи: технические и технологические особенности построения торгового центра должны подходить специфике потенциальных арендаторов; должно быть обеспечено удобство подъезда к торговому центру и пользование парковкой; созданы условия для регулирования потоков посетителей внутри торгового центра;

3. Наличие интеллектуальной системы управления торговым центром. Данный критерий подразумевает проведение регулярного мониторинга и анализа рыночного окружения и состояния торгового центра, с целью его оперативного изменения под влиянием внутренних и внешних факторов.

4. Комплексная полезность или способность торгового центра удовлетворять широкий спектр потребностей посетителя в одном месте и в удобное время. В то же время становится понятна высокая важность места расположения объекта.

5. Наличие гибких планировочных решений. В соответствии с действующими требованиями и нормативами, а также для повышения эффективности объекта, выраженного в возможности изменения планировок торгового пространства для удовлетворения требований различных арендаторов, например, при их ротации или смене.

Существует множество показателей эффективности, рассмотрим лишь основные аспекты для оценки эффективности управления торговым центром:

Посещаемость торгового центра. На данный момент анализ покупательского трафика оценивается экспертами не только количественно, но и качественно. Таким образом, посещаемость дополняется новым аспектом: уровнем продаж в целом по объекту и по категориям арендаторов [4-6].

Товарооборот арендаторов. Далеко не все арендаторы отчитываются перед управляющей компанией или владельцем торгового центра о своих показателях, некоторые отчитываются, но не за весь объем продаж. В то же время, вместе с посещаемостью показатель продаж у арендаторов позволяет управляющей компании определить качество трафика и эффективность работы всего объекта.

Среднее количество времени, проводимого посетителем в зоне арендатора. Данный аспект показывает управляющей компании уровень заинтересованности посетителей в конкретных арендаторах и привлекательности ассортимента, что может быть одним из основных показателей при принятии решения о смене арендатора.

Ширина представленного ассортимента играет важную роль в оценке привлекательности объекта, так как определяет уровень заинтересованности посетителей в предоставляемых товарах и услугах. Оценка данного показателя проводится на основе определения целевой аудитории, потребностей и спроса.

Товарооборот на единицу площади является одним из результирующих аспектов, показывающих общую экономическую эффективность объекта с учетом его действующей концепции, предоставляемых услуг и товаров.

Товарооборот арендаторов показывает количество реализованной продукции и объем полученной выручки конкретным арендатором, что служит одним из основных аспектов определения эффективности данного арендатора в составе торгового центра.

Средний чек на одного посетителя – это сумма выручки за определенный период, разделенная на количество счетов. Данный аспект указывает на целевую аудиторию, позиционирование заведения и удовлетворенность посетителей представленным ассортиментом.

Индекс OCR (Occupancy Cost Ratio) – это метод определения соотношения арендной платы к товарообороту. Для определения индекса OCR управляющей компанией или собственником торгового центра составляется карта, которая помогает оперативно отслеживать результаты арендаторов и вовремя принимать меры по предотвращению нежелательных ситуаций [4, 7].

Технические требования арендаторов к помещениям, в первую очередь, «якорных», в зависимости от особенностей объекта. Например, для комплексов необходима большая высота потолков; магазинов бытовой техники – нагрузка на пол; предприятий общественного питания – мощности по электричеству, возможность вывоза мусора и доставки продуктов в течение дня и т.д.

Не смотря на повышение экономической эффективности объектов торговой недвижимости в рамках реализации проектов реконцепции для их соответствия изменившимся и актуальным тенденциям рынка и общим трендам, необходимо обратить внимание, что не для каждого торгового центра будут доступны все возможные рычаги воздействия ввиду наличия ограничений, создаваемых как внутренней, так и внешней средой, влияющей на принятие решений и формировании стратегии со стороны владельцев торговой недвижимости, создающей препятствия для реализации идей, направленных на увеличение экономической эффективности объекта и адаптации его к актуальным тенденциям рынка [7, 8]. Поэтому, вне зависимости от необходимости скорейшего принятия мер для восстановления экономической эффективности, со стороны владельцев данных объектов должен быть проведен глубокий анализ факторов, которые могут негативно повлиять на проведение реконцепции.

В связи с этим, для формирования грамотной стратегии развития торгово-развлекательной недвижимости и определения направления реконцепции необходимо провести

оценку потенциала объекта на основе ограничивающих условий. Оценка потенциала покажет не только возможные пути по увеличению его экономической эффективности с учетом всех внешних и внутренних аспектов, но определит целесообразность вложений и реализации той или иной стратегии [8, 9]. Таким образом, проект реконцепции представляет собой уникальный и индивидуальный набор работ, которые определяются исключительно в зависимости от ложившихся условий среды, рынка, конкурентного окружения и ряда других факторов, описанных выше. В результате, итоговая стратегия определяется только после оценки и анализа всех условий и ограничений в рамках конкретного объекта, поэтому для более подробного анализа конкретно взятого объекта недвижимости необходимо предусмотреть систему или перечень определенных факторов, после оценки которых будет возможно разработать наиболее рациональную стратегию действий, с целью получить максимально возможный эффект по увеличению эффективности работы и функционирования объекта торговой недвижимости [7-9].

Также при определении целесообразности стратегии необходимо проведение технико-экономического обоснования, которое позволит оценить экономическую целесообразность осуществления предполагаемого проекта реконцепции существующего объекта, которое должно удовлетворять следующим критериям наиболее эффективного использования:

Физическая возможность определяет соответствие концепции развития ресурсному потенциалу объекта. В рамках рассмотрения критерия физической возможности предполагается определенное использование, соответствующее ресурсному потенциалу объекта, которое будет соответствовать примененным конструктивным схемам, особенностям архитектурно-планировочных решений, а также инженерных систем и коммуникаций, которые не могут быть изменены [9, 10].

Законодательная допустимость определяет возможные правовые ограничения, то есть реализуемый проект не должен попадать под действие данных ограничений, существующих либо потенциальных [10].

В рамках оценки финансовой целесообразности проводится анализ предлагаемой к реализации концепции на предмет обеспечения дохода, равного или большего суммы операционных расходов, финансовых обязательств и капитальных затрат.

В результате проведенного анализа должен быть сделан итоговый вывод с оценкой максимальной эффективности проекта. Результатом финального этапа должно быть подготовлено обоснование и выбор проекта, который из всех законодательно разрешенных, физически осуществимых и экономически целесообразных вариантов.

Таким образом, в соответствии с озвученным выше, можно заключить, что разработка проекта реконцепции невозможна без проведения оценки целесообразности и технико-экономического обоснования. Данный метод многоступенчатой оценки предлагаемых концепций проекта необходим для обоснованного принятия решения о реализации той или иной стратегии. Итоговый выбор должен быть сделан исходя из максимальной эффективности, а именно, принятие и реализация того финансово целесообразного, физически осуществимого и юридически допустимого проекта, который обеспечит максимальный чистый доход [11, 12].

Для определения целесообразности реализации той или иной стратегии предлагается разработать алгоритм оценки и обоснования выбора вариантов проектных решений на основе параметров необходимых для корректировки и с учетом ограничивающих факторов. Данный алгоритм представляет собой набор итераций, следование по которым поможет последовательно оценить и целесообразность реализации той или иной стратегии реконцепции, состоящей из различных работ для корректировки параметров. Рассмотрим каждую итерацию подробнее:

Оценку и обоснование выбора вариантов проектных решений уместно начать с описания основных корректируемых параметров и их потенциала, что позволит предвари-

тельно оценить степень влияния каждого параметра на общую экономическую эффективность конкретного проекта [9, 13].

Следующим шагом является оценка физической допустимости. Данный шаг подразумевает глубокую оценку технических условий объекта, конструктивных и архитектурно-планировочных особенностей объекта, которые могут сделать невозможным проведения комплекса работ для корректировки определённого параметра.

После оценки физической допустимости и в случае, если корректировка предлагаемого параметра может быть осуществлена должна быть проведена оценка экономической целесообразности проекта, которая, в первом приближении, сможет показать рациональность вложений, их приблизительный объем, а также оценить, как прямую, так и косвенную экономическую эффективность.

После проведения трехступенчатой оценки рассматриваемого для корректировки параметра представляется сделать комплексный вывод о его физической допустимости и экономический целесообразности на основе определенного потенциала и сформулировать точный перечень работ, необходимых для оптимальной и рациональной корректировки данного параметра, приведенных в системе матричного выбора проектных решений.

Результатом выбора корректируемых параметров и формирования перечня работ для каждого из них, является итоговое формирование стратегии реализации проекта реконцепции, что подразумевает под собой уникальный для каждого объекта комплекс мероприятий, который позволит адаптировать рассматриваемый объект к актуальным тенденциям рынка, удовлетворить спрос и потребности покупателей, что потенциально увеличит доходность и повысит экономическую эффективность рассматриваемого торгово-развлекательного центра.

Таким образом, результатом проведенного исследования является последовательный алгоритм оценки и обоснования выбора вариантов проектных решений на основе параметров необходимых для корректировки с учетом ограничивающих факторов, потенциала объекта и имеющихся возможностей для развития. Данный тип анализа проектных решений корректировки параметров торгово-развлекательного центра позволит провести ряд оценок для определения перечня работ в рамках реализации проекта реконцепции объекта для формирования общей стратегии [11-13].

Итоговый выбор стратегии реконцепции определяется путем оценки с помощью разработанного алгоритма оценки и обоснования выбора вариантов проектных решений, который позволяет последовательно оценить все аспекты конкретно выбранного параметра для формирования точной стратегии по реализации проекта реконцепции, а также после проведения финансового планирования проекта для оценки экономической эффективности различных вариантов проектов реконцепции. Тем не менее, применение алгоритма позволяет оценить потенциал совершенствования параметра, физическую допустимость его реализации и экономическую целесообразность. Также в оценке не только переменные, описывающие характер реконцепции, но и переменные, определяющие сценарный рыночный фон. Этот подход позволяет выявить вариант стратегии реконцепции, обеспечивающий не только максимальные параметры эффективности инвестиций, но и взвешенный уровень рисков, связанных с реализацией выбранного варианта реконцепции. Поэтому проект реконцепции не всегда означает радикальную смену формата торгового центра, так как для сохранения привлекательности и поддержания уровня доходности достаточно незначительной ротации арендаторов, косметического ремонта и изменения интерьерных решений.

В заключении необходимо отметить, что реализация проекта реконцепции требует высокого внимания к деталям и многоступенчатой оценки исходных условий, включая: маркетинговый анализ; анализ покупательской способности; анализ основных тенденций рынка; конкурентный анализ; рассмотрение и оценка существующих технических ограничений, которые могут отразиться на максимально возможном потенциале корректируемого параметра; проведение оценки физической допустимости и экономической целесообразности. На основе полученных данных формируется конкретный набор работ для реализации

проекта реконцепции.

Список литературы

1. Орехов Д.Б. Докторская диссертация: Развитие методологии бизнес-моделирования предпринимательской деятельности в управлении торговой недвижимостью. – Санкт-Петербург, 2015 г.

2. Жулькова Ю.Н. Кандидатская диссертация: «Управление многофункциональный недвижимостью на основе реконцепции ее использования». Москва, 2014 г.

3. Тётушкин В.А. Маркетинговый анализ влияния финансового кризиса на инвестиционную составляющую недвижимости // Финансовая аналитика: проблемы и решения, 2019 г.

4. Джавадов Т.М. Редевелопмент как метод повышения эффективности использования объектов коммерческой недвижимости: зарубежный опыт // Московский экономический журнал, 2019 г.

5. Кохнюк А.П. Реконцепция торгового центра, как инструмент повышения эффективности его работ // Сборник научных работ 71-ой научно-технической конференции учащихся, студентов и магистрантов. Минск, 2020 г.

6. Орехов Д.Б. Управление жизненным циклом торговых объектов: экономическое обоснование решения о реконцепции и реконструкции торгового центра // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Экономика и менеджмент, 2015 г.

7. Купцов А.А., Пупенцова С.В. Анализ экономической целесообразности реконцепции торговых комплексов // Научный форум «Неделя науки СПБПУ», 2015 г.

8. Фабричных М.Ю. Реконцепция и редевелопмент, как способ повышения экономической эффективности торгового центра // Конференция International Innovation Research, 2017 г.

9. Савин М.Е. Формирование стратегии повышения конкурентоспособности торгового центра // Прикладные экономические исследования, 2016 г.

10. Кузин Г.А. Постпандемия-2020: как изменился рынок недвижимости [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://realty.rbc.ru/news/5f224c839a79471e55d7afda

11. Новые тенденции на рынке недвижимости 2020 [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.pwc.ru/ru/publications/etre/etre-2020.pdf

12. Торговая недвижимость Москвы, III квартал [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.cbre.ru/ru-ru/research-and-reports/III--20200

13. Влияние макроэкономических тенденций на инвестиционный рынок коммерческой недвижимости, III квартал [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.cbre.ru/ru-ru/research-and-reports/III---2020000

УДК 577.1

БИОМИМЕТРИЧЕСКИЕ НАНОНОСИТЕЛИ НАПРАВЛЯЮТ ВНЕКЛЕТОЧНЫЙ ГОМЕОСТАЗ АТФ ДЛЯ РЕМОДЕЛИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МЕТАБОЛИЗМА ДЛЯ АКТИВАЦИИ СИСТЕМЫ ВРОЖДЕННОГО И АДАПТИВНОГО ИММУНИТЕТА
BIOMIMETIC NANOCARRIES GUIDE EXTRACELLULAR ATP HOMESTASIS TO REMODEL ENERGY METABOLISM FOR ACTIVATING INNATE AND ADAPTIVE IMMUNITY SYSTEM

Лун У,[1,4,#] Вэй Се,[4,#] Ян Ли,[1,8,#] Цянькунь Ни,[2,3] Петр Тимашев,[5] Мэн Люй,[1] Лиган Ся,[1] Юань Чжан,[6] Линжун Лю,[7] Юфэн Юань,[4,*] Син-Цзе Лян,[2,3,*] и Цицин Чжан[1,7,*]
Long Wu,[1,4,#] Wei Xie,[4,#] Yang Li,[1,8,#] Qiankun Ni,[2,3] Peter Timashev,[5] Meng Lyu,[1] Ligang Xia,[1] Yuan Zhang,[6] Lingrong Liu,[7] Yufeng Yuan,[4,*] Xing-Jie Liang,[2,3,*] and Qiqing Zhang[1,7,*]

[1] Institute of Biomedical Engineering & Department of Gastrointestinal Surgery, Shenzhen People's Hospital (The Second Clinical Medical College, Jinan University; The First Affiliated Hospital, Southern University of Science and Technology), Shenzhen 518020, Guangdong, P. R. China.
[2] Laboratory of Controllable Nanopharmaceuticals, Chinese Academy of Sciences (CAS) Center for Excellence in Nanoscience and CAS Key Laboratory for Biomedical Effects of Nanomaterials and Nanosafety, National Center for Nanoscience and Technology, Beijing 100190, P. R. China.
[3] University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, P. R. China.
[4] Department of Hepatobiliary & Pancreatic Surgery, Zhongnan Hospital of Wuhan University, Wuhan, 430071, Hubei, P. R. China.
[5] Laboratory of Clinical Smart Nanotechnologies, Institute for Regenerative Medicine, Sechenov University, Moscow 119991, Russia.
[6] Fujian GTR Biotech Co. Ltd., Fuzhou, Fujian 350108, P. R. China.
[7] Institute of Biomedical Engineering, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Tianjin 300192, P. R. China
[8] Department of General Surgery, Shenzhen People's Hospital, Shenzhen 518020, Guangdong, China
[#] These three authors contributed equally to this work.
∗ Authors to whom correspondence should be addressed.
Emails: zhangqiq@126.com; liangxj@nanoctr.cn; yuanyf1971@whu.edu.cn
Институт биомедицинской инженерии и Отделение желудочно-кишечной хирургии, Народная больница г. Шэньчжэнь (Второй клинический медицинский институт, Университет Цзинань; Первый филиал больницы, Южный научно-технический университет), г. Шэньчжэнь 518020, пров. Гуандун, КНР
Лаборатория контролируемых нанофармацевтических препаратов, Центр передовых опытов в области нанонауки Китайской академии наук (КАН) и Ключевая лаборатория КАН по биомедицинским эффектам наноматериалов и нанобезопасности, Национальный центр нанонауки и технологий, г. Пекин 100190, КНР.
Университет Китайской академии наук, г. Пекин 100049, КНР.
Отделение гепатобилиарной и поджелудочной хирургии, больница Чжуннань Уханьского университета, Ухань, 430071, Хубэй, КНР
Лаборатория клинических смарт-нанотехнологий Института регенеративной медицины Научно-технологического парка биомедицины, Сеченовский Университет, Москва 119991, Россия
Компания «Fujian GTR Biotech Co. Ltd.», г. Фучжоу, пров. Фуцзянь 350108, КНР

Институт биомедицинской инженерии Китайской академии медицинских наук и Медицинского института Пекинского союза, г. Тяньцзинь 300192, КНР
Отделение общей хирургии, Шэньчжэньская народная больница, г. Шэньчжэнь 518020, пров. Гуандун, КНР
[#] Эти три автора внесли равный вклад в эту работу.
[*]Авторы, которым следует адресовать корреспонденцию.
(Email: zhangqiq@126.com; liangxj@nanoctr.cn; yuanyf1971@whu.edu.cn)

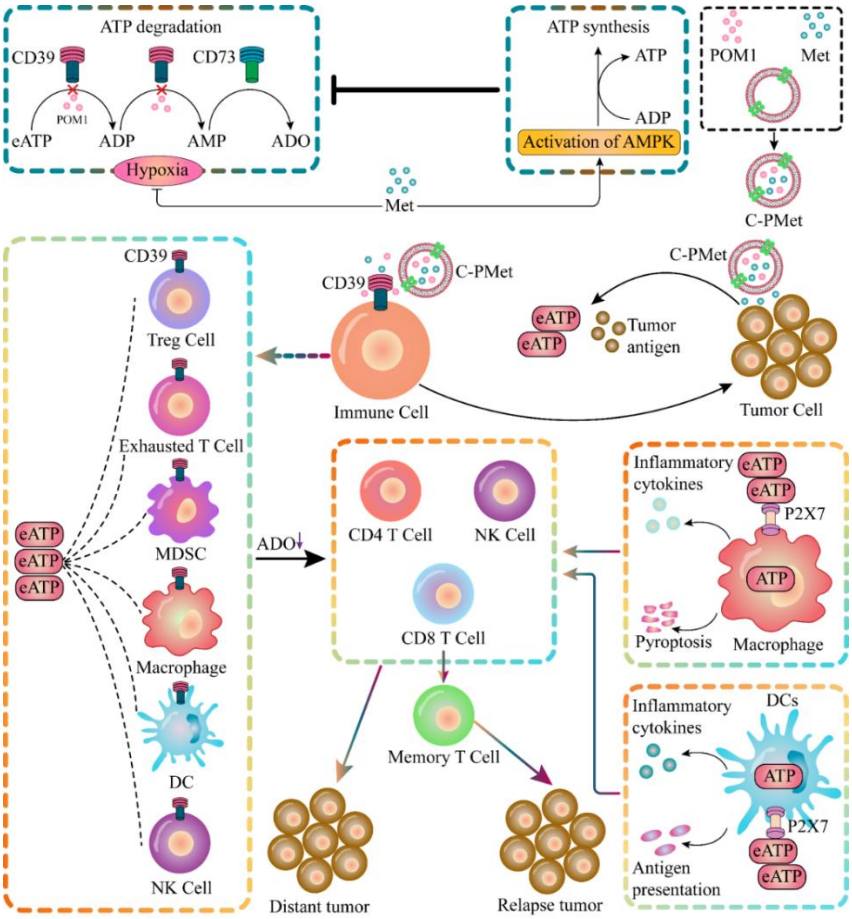
Abstract: Metabolic interventions via targeting intratumoral dysregulated metabolism pathways have shown promise in reinvigorating antitumor immunity. However, approved small molecule immunomodulators often suffer from ineffective response rates and severe off-target toxicity. ATP occupies a crucial role in energy metabolism of components that form the tumor microenvironment (TME) and influences cancer immunosurveillance. Here a nanocarriers-assisted immunometabolic therapy strategy that targets the ATP-adenosine axis for metabolic reprogramming of TME is reported. An ecto-enzyme (CD39) antagonist POM1 and AMP-activated protein kinase (AMPK) agonist metformin are both encapsulated into cancer cell-derived exosomes and used as nanocarriers for tumor targeting delivery. This method increases the level of pro-inflammatory extracellular ATP (eATP) while preventing the accumulation of immunosuppressive adenosine and alleviating hypoxia. Elevated eATP triggers the activation of P2X7-NLRP3-inflammasome to drive macrophage pyroptosis, potentiates the maturation and antigen capacity of dendritic cells (DCs) maturation to enhance the cytotoxic function of T cells and natural killer (NK) cells. As a result, synergistic antitumor immune responses are initiated to suppress tumor progress, inhibit tumor distant metastases, provide long term immune memory which offers protection against tumor recurrence and overcome anti-PD1 resistance. Overall, this study provides an innovative strategy to advance eATP-driven antitumor immunity in cancer therapy.

Аннотация: Метаболические вмешательства, направленные на внутриопухолевые пути нарушения регуляции метаболизма, показали многообещающие результаты в укреплении противоопухолевого иммунитета. Однако, одобренные низкомолекулярные иммуномодуляторы часто страдают от неэффективного ответа и серьезной нецелевой токсичности. АТФ играет решающую роль в энергетическом обмене компонентов, формирующих микроокружение опухоли (ТМО), и влияет на иммунологический контроль за раком. В статье представлена стратегия иммунометаболической терапии с использованием наноносителей, которая нацелена на ось АТФ-аденозин для метаболического перепрограммирования ТМЭ. Антагонист эктофермента (CD39) POM1 и агонист АМФ-активируемой протеинкиназы (АМФК) метформин инкапсулированы в экзосомы, полученные из раковых клеток, и используются в качестве наноносителей для доставки, нацеленной на опухоль. Этот метод повышает уровень провоспалительной внеклеточной АТФ (вАТФ), предотвращая при этом накопление иммуносупрессивного аденозина и облегчая гипоксию. Повышенный уровень внеклеточной АТФ запускает активацию P2X7-NLRP3-воспаления, вызывая пироптоз макрофагов, усиливает созревание и антигенную способность созревания дендритных клеток (ДК), усиливая цитотоксическую функцию Т-клеток и естественных клеток-киллеров (ЕКК). В результате инициируются синергические противоопухолевые иммунные реакции для подавления прогресса опухоли, ингибирования отдаленных метастазов опухоли, обеспечения долговременной иммунной памяти, которая обеспечивает защиту от рецидива опухоли и преодоления устойчивости к анти-PD1. В целом, это исследование предлагает инновационную стратегию продвижения противоопухолевого иммунитета, управляемого внеклеточной АТФ, в терапии рака.

Keywords: Tumor-derived nanocarriers, Exosome, Immunnometabolic therapy, ATP-adenosine pathway, CD39 inhibition, AMPK activation

Ключевые слова: Наноносители опухолевого происхождения, экзосома, иммунометаболическая терапия, АТФ-аденозиновый путь, ингибирование CD39, активация АМФК.

1. Introduction



Scheme 1 – Schematic illustration of anti-tumor immune responses induced by C-PMet-based immunometabolic therapy.

2. Results and Discussion

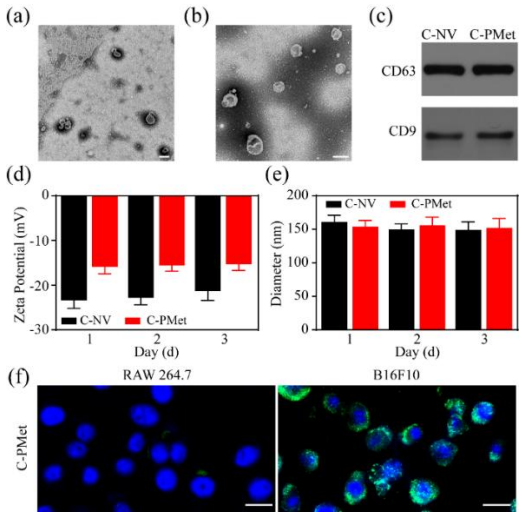


Figure 1 – Characterization of C-PMet. Transmission electron microscopy images of (a) C-NV and (b) C-PMet nanovesicles. Scale bar =100 nm. (c) The expression of CD63 and CD9 from C-NV and C-PMet nanovesicles analyzed by western blot analysis. (d) Zeta potential values of C-NV and C-PMet nanovesicles. (e) The hydrodynamic diameter of C-NV and C-PMet nanovesicles measured by dynamic light scattering (DLS). (f) Representative CLSM images of B16F10 and RAW 264.7 cell after incubation with C-PMet. Cell nucleus and C-PMet were labeled with DAPI (blue) and FITC (green), respectively. Scale bar =20 µm.

2.2 In vitro immune activation

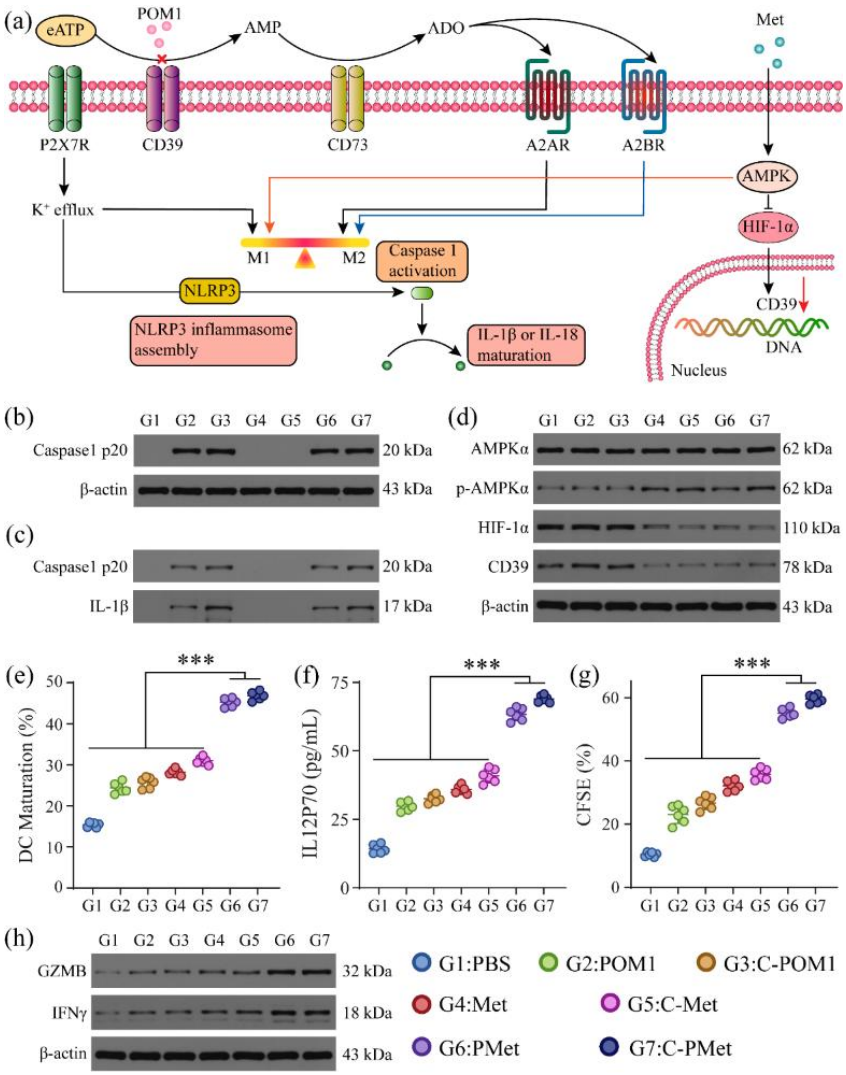


Figure 2 – In vitro C-PMet-mediated immune activation. (a) Schematic illustration of immune regulation induced by POM1 and Metformin. (b, c) LPS-primed bone marrow-derived macrophages (BMDMs) were incubated with PBS, POM1(free POM1), C-POM1(C-NV loaded with POM1), Met (free metformin), C-Met (C-NV loaded with metformin), PMet (free POM1 and metformin) and C-PMet (C-NV loaded with POM1 and metformin). Western blot analysis of caspase1 p20 from cell lysates (b), and caspase1 p20 and IL-1β from culture supernatants (c). (d) Western blot analysis of AMPKα, p-AMPKα, HIF1α and CD39 from BMDMs. (e) In vitro BMDCs maturation rate (gated on $CD11c^{+}CD80^{+}CD86^{+}$). (f) Production of IL-12p70 secreted by treated BMDCs. (g) The proliferation of CFSE-labeled $CD8^{+}$ T lymphocytes. (h) Western blot analysis of GZMB and IFN-γ from T cells. Data are presented as mean ± s.d. (n = 6). *** $p < 0.001$. One-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test.

2.3 In vivo immunometabolic therapy

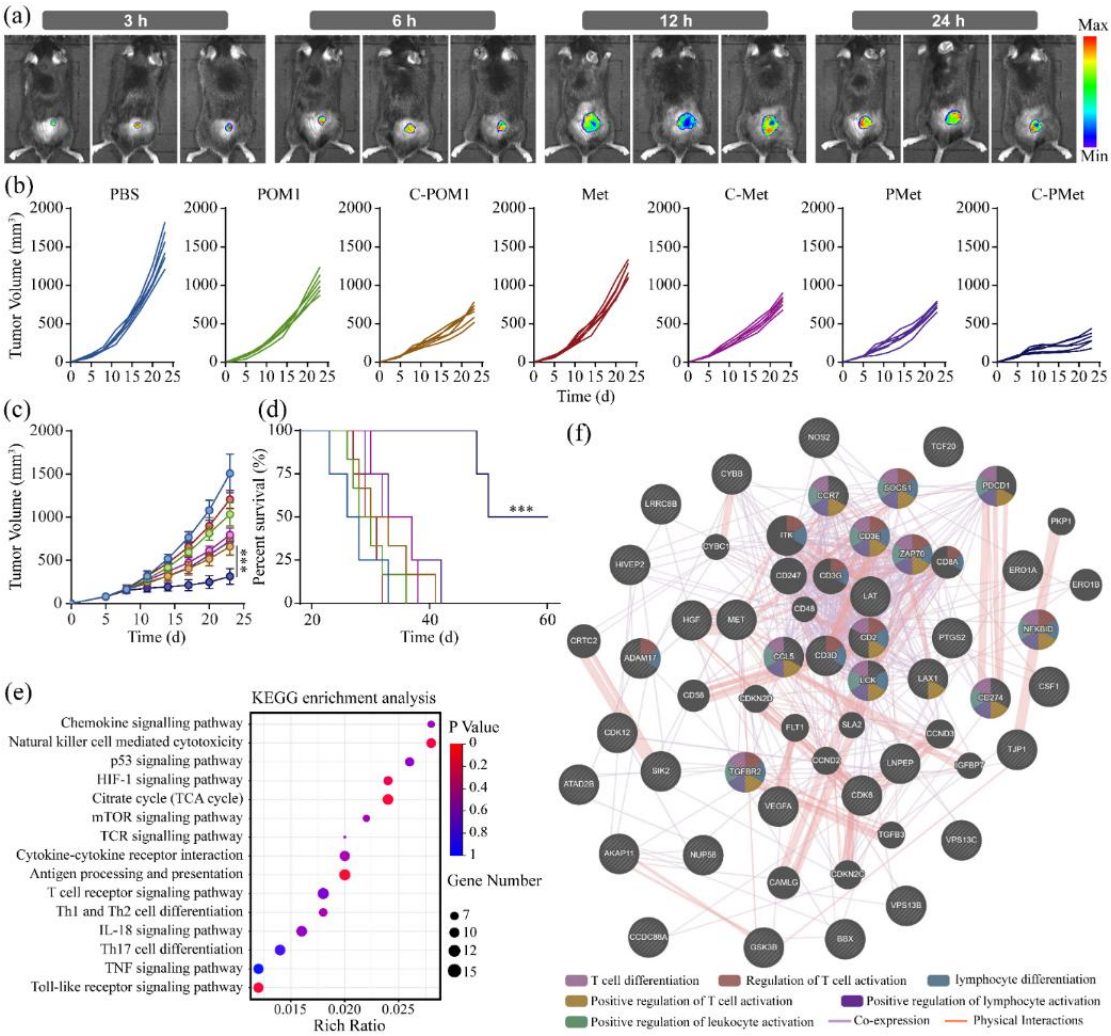


Figure 3 – In vivo anti-tumor activity of C-PMet-mediated immunometabolic therapy. (a) Fluorescence imaging of mice with B16F10 tumors at different time points following the intravenous injection of C-PMet@Cy5.5. Growth curves of (b) Individual and (c) average B16F10 tumors. (d) Survival curves of mice in different groups. Data are presented as mean ± s.d. (n = 6). *** p< 0.001. One-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test. (e) KEGG analysis of immune response-associated pathways elicted by C-PMet. (f) Gene-MANIA for forecasting interactions among differential expressed genes.

2.4 The mechanism of C-PMet mediated antitumor responses

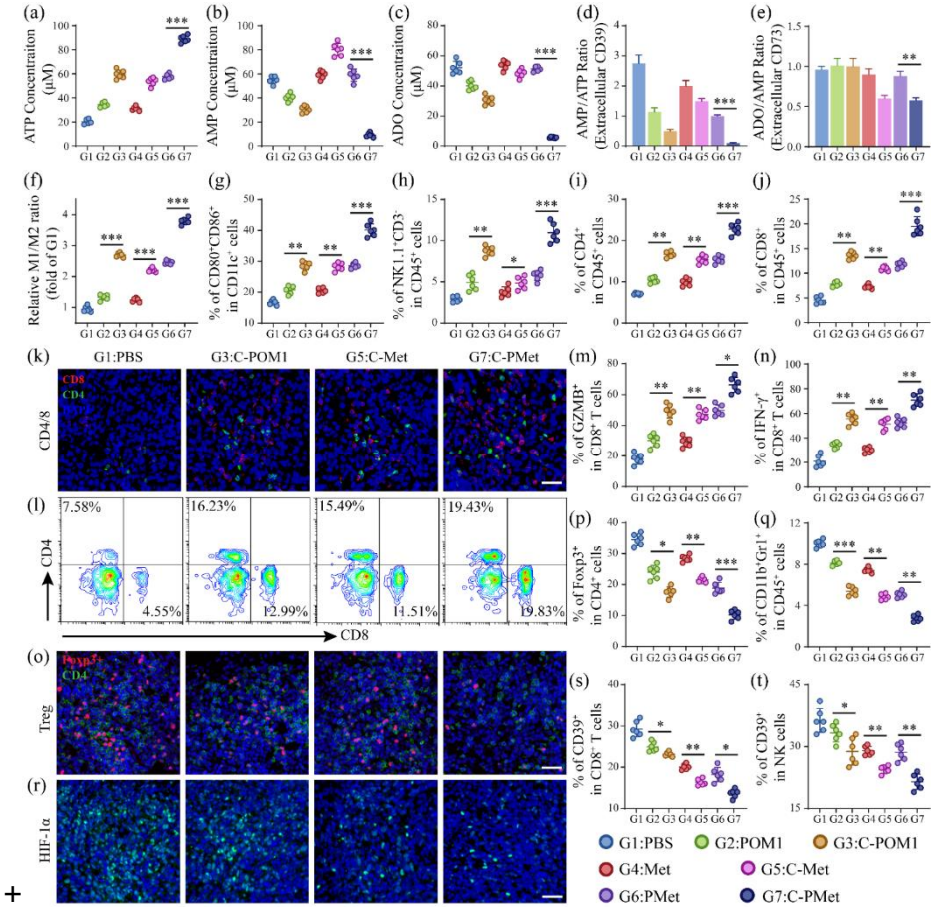


Figure 4 – C-PMet strategy harnesses innate immune system to initiate and activate adaptive T-cell immunity. (a-c) ATP (a), AMP (b) and ADO (c) concentrations in tumors after different treatments. Enzymatic activities of (d) CD39 and (e) CD73 measured by HPLC analysis. (f) Ratio of M1-like ($CD45^+CD11b^+F4/80^+CD80^+$) / M2-like ($CD45^+CD11b^+F4/80^+CD206^+$) macrophages in the tumor tissues of B16F10-tumor-bearing mice after indicated treatments. (g) The frequency of mature DCs in tumor-draining lymph nodes of C57BL/6 mice (gated on $CD45^+CD11c^+CD80^+CD86^+$). (h) Quantitative analysis of NK cells ($CD45^+NK1.1^+CD3^-$) in tumor tissues. (i) Proportions of tumor-infiltrating $CD4^+$ T cells in different groups (gated on $CD45^+$). (j) Percentages of $CD8^+$ T cells in different groups (gated on $CD45^+$). (k) Immunofluorescence images of residual tumors demonstrating $CD4^+$ T (green) and $CD8^+$ (red) T cells infiltration. Scale bars = 50 μm. (l) Flow cytometry plots of $CD4^+$ and $CD8^+$ T cells in tumors (gated on $CD45^+$). (m, n) Proportions of GZMB (m) and IFN-γ-positive (n) $CD8^+$ T cells within tumors. (o) Immunofluorescence images of residual tumors showing $CD4^+$ (green) $Foxp3^+$ (red) Treg cells infiltration. Scale bars = 50 μm. (p) Proportions of tumor-infiltrating Tregs after various treatments (gated on $CD4^+$). (q) Quantification of MDSC ($CD45^+CD11b^+Gr\text{-}1^+$) in tumor tissues. (r) Immunofluorescence images of residual tumors showing HIF-1α. Scale bars = 50 μm. (s, t) Quantification of $CD8^+CD39^+$ T (s) and $CD39^+$ NK (t) cells in B16F10 tumors. Data are presented as mean ± s.d. (n = 6). * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. One-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test.

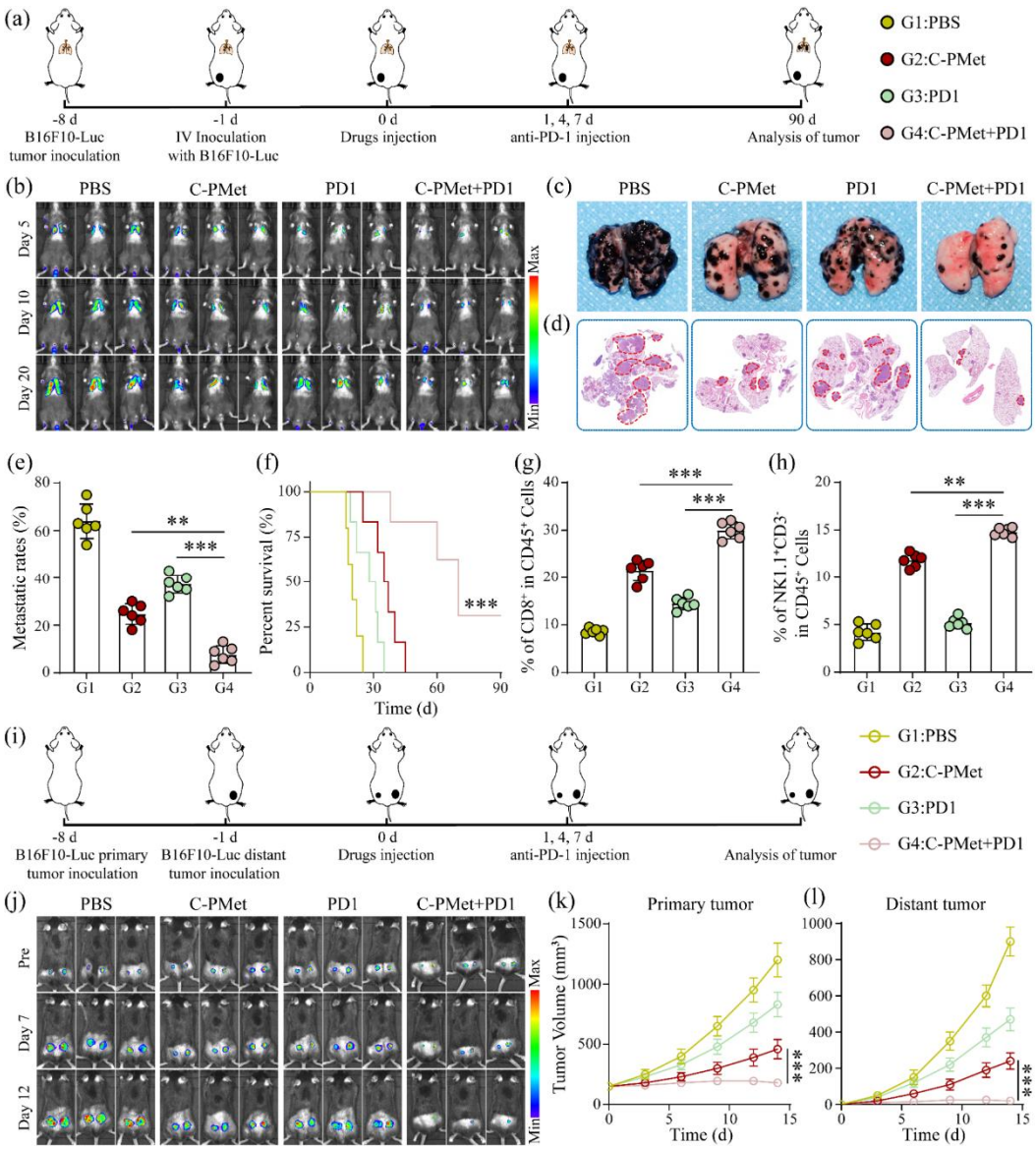


Figure 5 – The anti-tumor metastasis activity of C-PMet combined with anti-PD1 treatment. (a) Schematic illustration of therapy schedule to inhibit tumor lung metastasis. (b) Bioluminescence imaging of treated mice at indicated time points. (c) Representative lung photographs. (d) H&E staining of lung tissue slices. Scale bars = 50 µm. (e) Metastatic rates of pulmonary nodules after various treatments. (f) Survival curves in different groups. (g and h) Quantitative analysis of $CD8^+$ T and NK cells in lung tissues (gated on $CD45^+$ cells). (i) Schematic illustration of treatment schedule to inhibit tumor distant metastasis. (j) Bioluminescence imaging of mice at indicated time points. (k) Primary and (l) distant tumor growth curves after indicated treatments. Data are presented as mean ± s.d. (n = 6). ** p< 0.01, *** p< 0.001. One-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test.

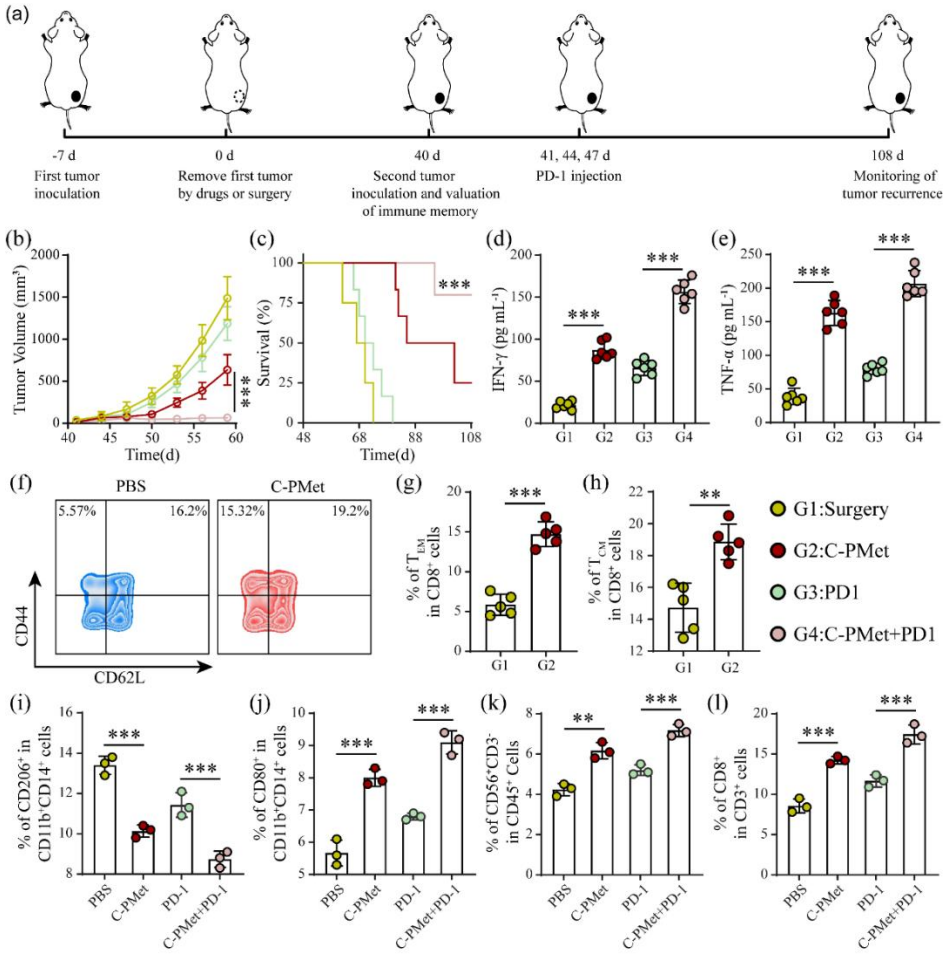


Figure 6 – Durable immunological effect against rechallenged tumors elicited by C-PMet and improved TME induced by the combination of C-PMet with anti-PD1 antibody in organotypic tumor slices from colon cancer tissues. (a) Schematic illustration of the combination of C-PMet and anti-PD1treatment to prohibit tumor recurrence. (b) Average tumor volume curves of recurrence tumors. (c) Survival curves of mice after rechallenged with B16F10 tumors. (d, e) Cytokine levels of IFN-γ and TNF-α in sera from mice on day 47. (f) Representative flow cytometry plots and (g, h) quantification of effector memory T cells (T_{EM}) ($CD3^+CD8^+CD44^+CD62L^-$) and central memory T cells (T_{CM}) ($CD3^+CD8^+CD44^+CD62L^+$) in the spleen on day 40 before re-inoculating mice with secondary tumors. Data are presented as mean ± s.d. (n = 6). ** p< 0.01, *** p< 0.001. (i-l) Percentages of M2-like macrophages (i), M1-like macrophages (j), NK cells (k) and $CD8^+$T cells (l) in the organotypic slices after treatment with PBS, C-PMet, anti-human PD-1 antibody, or C-PMet and anti-human PD-1 antibody in the presence of PBMCs for 36h, respectively. Data are presented as mean ± s.d. (n = 3). ** p< 0.01, *** p< 0.001. Comparison between two groups was performed using unpaired two tailed Student's t-test. For comparison of multiple groups, One-way ANOVA followed by Tukey post-hoc test.

3. Conclusion

We developed a cancer exosome nanovesicles-assisted therapeutic strategy to specifically deliver two biocompatible components for local immunometabolic therapy: a CD39 inhibitor POM1 and AMPK agonist metformin. Both components exhibited functions to elicit strong tumor-specific immune responses for synergistically inhibiting tumor growth, achieve significant abscopal effects to inhibit tumor distant metastases, induce long term immune memory to protect mice against recurrence and sensitize tumors to anti-PD1 therapy. The mechanism can be concluded as follows: Targeting the ATP-adenosine pathway via pharmacological blockade of CD39 and acti-

vation of AMPK not only promotes the accumulation of pro-inflammatory eATP but also decreases the levels of immunosuppressive adenosine, thereby triggering an ATP-dependent anti-tumor immunity by inducing pyroptosis in macrophages and improving DCs' maturation, which allows for the activation of tumor-specific $CD8^+$ T and NK cells. This strategy shows potential for clinical alternatives in patients with a limited response rate or for maintaining the longevity of immune response in those who have benefited from clinical benefit treatments with conventional immunotherapy alone.

To discover novel immunotherapeutic strategies focused on local treatment, the connection between tumor-specific immune responses and biomaterials requires deeper understanding. This can be achieved through carefully controlling immune responses by modifying biomaterials or modulating the tumor immunosuppressive microenvironment.

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements

W.L., X.W. and L.Y. contributed equally to this work. This work was financially supported by the Guangdong basic and Applied Basic Research Fund Regional Joint Fund Project (key project) (No.2020B1515120091), Shenzhen Basic Research Special (Natural Science Fund) basic research surface project (No. JCYJ20210324113006017), Shenzhen Key Medical Discipline Construction Fund (No.SZXK015), Government of the Russian Federation (Megagrant, 2020-220-08-5262 and 075-15-2021-596), National Natural Science Foundation of China (NO.32170717 and NO.81901771), the Science, Technology & Innovation Commission of Shenzhen Municipality (No JCYJ20190807144209381) and Cancer research and translational platform project of Zhongnan Hospital of Wuhan University (ZLYNXM202004).

Appendix A. Supplementary data

Methods and Figure S1-S19.

УДК 678.762.2

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНЫХ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАУЧУКОВ
THE USE OF SECONDARY MATERIAL RESOURCES OF THE TEXTILE INDUSTRY IN THE PRODUCTION OF SYNTHETIC RUBBERS

Пугачева Инна Николаевна [1], Никулин Сергей Саввович [1], Молоканова Лариса Витальевна [1], Разумеев Константин Эдуардович [2,3]
Pugacheva Inna N., Nikulin Sergey S., Molokanova Larisa V., Razumeev Konstantin E.

[1] Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж
Voronezh state university of engineering technologies, Russia, Voronezh
(e-mail: eco-inna@yandex.ru)
[2] Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
[2] The Kosygin State University of Russia, Russia, Moscow
[3] Российская инженерная академия, Россия, Москва
[3] Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia

Аннотация: Рассмотрены некоторые аспекты переработки текстильных отходов легкой промышленности в волокнистые и порошкообразные добавки для эластомерных композиций. Показано, что их применение в производстве синтетических каучуков позволяет повысить экологичность всего процесса.

Abstract: Some aspects of processing textile waste from light industry into fibrous and powdered additives for elastomeric compositions are considered. It is shown that their use in the production of synthetic rubbers makes it possible to increase the environmental friendliness of the entire process.

Ключевые слова: текстильные отходы, волокнистые и порошкообразные добавки, эластомерные композиции.

Keywords: textile waste, fibrous and powdery additives, elastomeric compositions.

В настоящее время одной из национальных целей развития России до 2030 года, обозначенных указом Президента, является «Комфортная и безопасная среда для жизни». В рамках этой цели сформулированы следующие задачи: улучшение качества городской среды в полтора раза; создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами, обеспечивающей сортировку отходов в объеме 100% и снижение объема отходов, направляемых на полигоны, в два раза; снижение выбросов опасных загрязняющих веществ, оказывающих наибольшее негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека, в два раза и т.д. Это свидетельствует о том, что наряду с важным вопросом повышения импортозамещения, вопросы экологии, затрагивающие снижение негативного воздействия на окружающую среду, являются значимыми и актуальными.

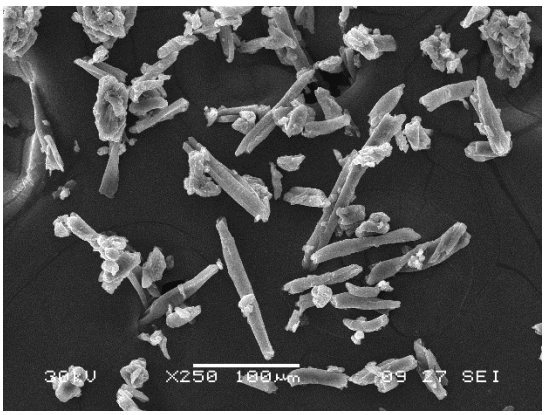
В то же время отходы производства и потребления представляют собой вторичные материальные ресурсы, которые могут быть вовлечены в повторный производственный цикл. Такой подход позволит решить задачу, обозначенную в национальной цели, снижение объема отходов, направляемых на полигоны. Также разработка безотходных и малоотходных отечественных технологий обеспечит повышение темпов импортозамещения на фоне снижения конечной стоимости производимой продукции.

Одной из отраслей промышленности, в которой образуется большое количество отходов, является - текстильная. Текстильные отходы легкой промышленности представляют

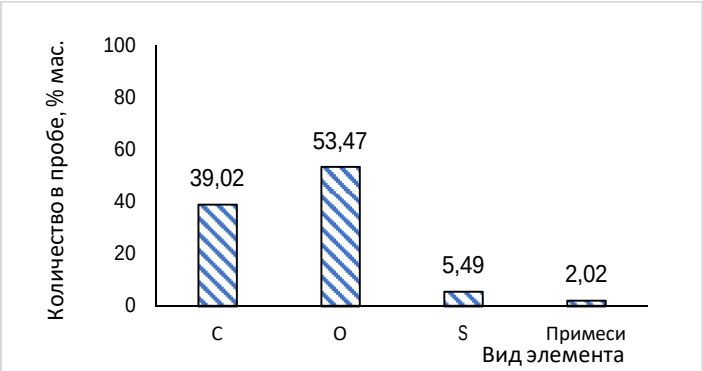
собой отходы V класса опасности (безопасный мусор; практически не наносит вреда окружающей среде). Однако из 200 тыс. тонн отходов текстиля подлежащих утилизации, официально в России утилизируется не более 20 тыс. тонн. В то же время в производстве резинотехнических изделий широко используются наполнители и добавки различной природы [1]. К их недостаткам можно отнести дороговизну и импортное производство. Одним из перспективных путей утилизации текстильных отходов является их переработка в добавки для синтетических каучуков, с последующим получением на их основе эластомерных композиций с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

В литературе [2, 3] приведены данные о переработке целлюлозосодержащих текстильных отходов в волокнистые добавки для эластомерных композиций. Получение такого рода добавок основывалось на переработке целлюлозосодержащих текстильных отходов механическим путем (разволокнение и измельчение). Так были получены волокнистые добавки различной длины 2-10 мм, которые затем вводили в синтетические каучуки на стадии их получения. Было установлено, что их введение целесообразно осуществлять совместно с коагулирующим агентом [4]. Такой способ ввода позволил снизить количество мелкодисперсной крошки каучука в сточных водах в 1,5-2 раза, за счет ее захвата волокнистой добавкой, и полного вхождения в объем выделяемой крошки каучука. Так же было выявлено, что введение волокнистой добавки именно на стадии коагуляции, способствует ее равномерному распределению в объеме получаемой полимерной матрицы, по сравнению с традиционным способом введения добавки на стадии резиносмешения в процессе изготовления резиновой смеси. Однако такой способ позволяет ввести в получаемую эластомерную композицию до 5% мас. волокнистой добавки. Это обусловлено, тем что при повышении дозировки вводимой добавки, во-первых, наблюдается процесс комкования, что приводит к снижению равномерности ее распределения в объеме получаемой крошки каучука, во-вторых с технологической точки зрения затрудняется ее транспортировка по трубам и перемешивание в процессе коагуляции. Необходимо отметить, что такая технология переработки текстильных отходов позволяет вовлечь их в повторный производственный цикл, но не обеспечивает переработку большого объема. Решением такого вопроса может быть переработка целлюлозосодержащих текстильных отходов в порошкообразную добавку для эластомерных композиций.

Для исследований был выбран латекс бутадиен-стирольного каучука СКМС-30 АРК. В качестве коагулирующего агента были выбраны водные растворы хлорида натрия (24% мас.) и хлорида магния (10% мас.). В качестве подкисляющего агента был выбран раствор серной кислоты (2% мас.). Для получения порошкообразной добавки, целлюлозосодержащие текстильные отходы измельчали и обрабатывали концентрированным раствором серной кислоты (30% мас.) при нагревании. После разрушения волокон, порошкообразную массу фильтровали, высушивали и измельчали. Размер основной фракции порошкообразной добавки составлял 0,5 мм. Вид (рис.1, а) и элементный состав порошкообразной добавки (рис. 1, б) получены методом локального рентгеноспектрального микроанализа с помощью растрового электронного микроскопа JSM-6380 LV с системой рентгеновского микроанализа INCA Energy-250.



а



б

Рисунок 1 – Вид (а) и элементный состав (б) порошкообразной добавки

Далее полученную порошкообразную добавку вводили в латекс бутадиен-стирольного каучука в количестве 30-70 кг/т каучука совместно с коагулирующими агентами. Экспериментальные данные представлены в таблице 1. Выявлено, что введение порошкообразной добавки в составе коагулирующего агента позволяет снизить расход коагулянта в 1,5-2 раза. Поскольку в составе добавки содержатся остатки серной кислоты, то ее применение на стадии коагуляции позволяет снизить расход подкисляющего агента до 50-60%, а в случае введения добавки в дозировке 70 кг/т каучука, полностью исключить его применение.

Таблица 1 – Влияние порошкообразной добавки на выход образующейся крошки каучука

Расход NaCl, кг/т каучука	Содержание добавки, кг/т каучука			Расход $MgCl_2$, кг/т каучука	Содержание добавки, кг/т каучука	
	без добавки	50	70		50	70
10	35,2	52,7	50,1	3	52,8	48,2
25	45,2	61,4	59,6	6	70,2	69,9
50	56,8	79,6	77,1	9	85,7	80,5
75	80,0	89,3	90,2	10	90,9	96,2
100	90,1	95,6	94,5	15	95,8	97,2
125	92,8	97,8	97,9	20	98,9	98,4
150	93,1	99,1	98,8	25	99,2	99,1

Такое положительное влияние порошкообразной добавки на процесс выделения каучука из латекса способствует уменьшению объема и степени загрязненности сточных вод остатками коагулянта и подкисляющего агента, а также остатками компонентов эмульсионной системы.

Выводы

Текстильные отходы легкой промышленности представляют собой вторичные материальные ресурсы, которые можно использовать в виде волокнистых и порошкообразных добавок в производстве эластомерных композиций. Применение таких добавок в производстве наполненных синтетических каучуков позволяет уменьшить загрязнение окружающей среды сточными водами производства и повысить экологичность процесса. А реализация такого подхода к переработке текстильных отходов будет способствовать решению задач цели «Комфортная и безопасная среда для жизни».

Список литературы

1. Перепелкин К.Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты. СПб.: Научные основы и технологии, 2009. 380 с.

2. Misin V.M., Nikulin S.S., Pugacheva I.N. Cellulose-based textile waste treatment into powder-like fillers for emulsion rubbers // Engineering textiles research methodologies, concepts, and modern applications, 2015. P. 59-77.

3. Misin V.M., Nikulin S.S., Pugacheva I.N. A study on possibilities for cellulose-based textile waste treatment into powder-like fillers for emulsion rubber // Process advancement in chemistry and chemical engineering research., 2016. P. 37-53.

4. Пугачева И., Никулин С. Композиционные материалы: получение, свойства и применение. LAP LAMBERT Academic Publishing. 2017. 219 с.

УДК 691.58

ОТЕЧЕСТВЕННЫЕ ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ
DOMESTIC SEALING MATERIALS FOR SPECIAL PURPOSES

Вахрушева Яна Андреевна [1], Смирнов Денис Николаевич [1], Венедиктова Мария Анатольевна [1], Евдокимов Антон Андреевич [1,2]
Vakhrusheva Yana A., Smirnov Denis N., Venediktova Maria A., Evdokimov Anton A.

[1]Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» – ВИАМ, Россия, Москва
[1]National Research Center «Kurchatov Institute» – VIAM, Russia, Moscow
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow
(e-mail: evdokanton@mail.ru)

Аннотация: Приведена история создания герметиков в СССР и России. Показаны основные разработчики и производители современных герметиков, а также тенденции развития герметиков.

Abstract: The history of the creation of polysulfide sealants in USSR and Russia is given. The main developers and manufacturers of modern sealants are shown, as well as development trends of Thiokol-based sealant.

Ключевые слова: полисульфидный олигомер, герметик, топливостойкость, силоксановый герметик.

Keywords: polysufide oligomer, sealant, fuel resistance, siloxane sealant, fluorine siloxane sealant.

Введение

Основная потребность в герметиках и сам термин «герметик» возникли в 50-е годы, в том числе и в связи с введением в конструкцию воздушного лайнера топливных баков. Изданная в 1963 году энциклопедия авиационных материалов уже имеет статью «герметики», где они представлены как полимерные композиции: замазки, пасты, вязкотекучие жидкости, наносимые на клепанные, болтовые и другие соединения металлических конструкций, приборов и агрегатов для обеспечения их непроницаемости.

Применительно к авиации основными областями применения герметиков являются герметизация кабин, остекления, приборных и топливных отсеков. Герметики используются также для защиты радиоэлектронных схем и блоков, монтажа штепсельных разъемов, герметизации кабелей и других приборов от попадания влаги и механических воздействий.

Настоящая статья посвящена описанию разработок отечественных полисульфидных, кремнийорганических и фторсилоксановых герметиков специального назначения, применяемых в изделиях авиационной техники.

Основная часть

Среди герметизирующих материалов первое место в мире занимают герметики на основе полисульфидных каучуков впервые полученные ещё в 1926 году Joseph C. Patrick и Nathan Mnookin, а в 1929 году была основана компания Thiokol, чье имя стало нарицательным для полисульфидных каучуков.

В настоящее время существует 2 типа полисульфидных каучуков: твердые высокомолекулярные и жидкие низкомолекулярные. Жидкие тиоколы получают восстановительным расщеплением высокомолекулярных полисульфидов, и в настоящее время полисульфидные олигомеры по объему потребления более чем в 10 раз превосходят твердые тиоколы [1]. В СССР о синтезе полисульфидных олигомеров впервые было сообщено в 1943 г.,

первые разработки герметизирующих материалов были начаты в 1952 году в ВИАМ под руководством Н.Б. Барановской, и только в 1955 году организовано промышленное производство на Казанском заводе СК имени С.М. Кирова (КЗСК им. С.М. Кирова).

Полисульфидные герметики создают непроницаемость в соединениях, подверженных статическим или динамическим деформациям растяжения и сжатия в условиях большого перепада температур, при воздействии растворителей и агрессивных сред. Они отверждаются при комнатной температуре, и достигают полной вулканизации через 2-7 дней в результате реакции окисления концевых SH-групп различными неорганическими и органическими окислителями. В полисульфидных герметиках, как правило, не используется растворитель, что обеспечивает их низкую усадку после вулканизации и экологичность нанесения. Они устойчивы к действию многих агрессивных сред (масел, нефтяных топлив, кислот, щелочей), озона, солнечного света, радиации, обладают высокой газонепроницаемостью лучше, чем многие другие герметики, а также хорошо переносят воздействие отрицательных температур (до -60ºС), но деструктируют при повышенных (более 150ºС) температурах [2].

Хорошо зарекомендовали себя и нашли широкое применение в промышленности первые полисульфидные герметики У-30МЭС (1957 год разработки), УТ-31, ВТУР, МПС-1 и др., представляющие собой самовулканизующиеся пасты, переходящие из пастообразного состояния в резиноподобное без нагревания, не давая при этом усадки (У-30М, УТ-31), и пленочные герметики (РА-6, ВТУР, МПС-1 и др.), применявшиеся в виде лаковых или клеевых растворов олигомеров. В 1960 г. был разработан ставший наиболее массовым герметик У-30МЭС-5 черного цвета. Эксплуатационные характеристики его настолько высоки, что он успешно используется и в настоящее время, в том числе в сочетании с герметиком УТ-32 серого цвета для послойной (трехбарьерной) герметизации топливных отсеков самолетов.

Дальнейшие разработки полисульфидных герметиков были направлены на создание новых материалов с упрощенной технологией герметизации, а также с менее вредными условиями труда при их применении.

В 1980 году была разработана модификация герметика У-30МЭС – герметик У-30МЭС-5М, которая в отличие от своего предшественника обладает самостоятельной адгезией к различным металлическим и неметаллическим материалам, сохраняемая при воздействии эксплуатационных факторов, в том числе топлив.

Двухкомпонентный герметик ВТК-1-29 разработанный в 1984 году, имеющий вязкотекучую консистенцию можно наносить кистью без разбавления или при небольшом содержании растворителя (до 8% масс.) предназначен для герметизации различных элементов кабин и топливных отсеков, работающих в среде воздуха и топлива типа ТС-1.

Для тех случаев, когда требуется быстрая вулканизация и более высокие механические и адгезионные свойства, разработан герметик ВЭР-1 пастообразной консистенции, достигающий вулканизации за 48 часов без нагрева. При этом жизнеспособность герметика ВЭР-1 составляет от 1 до 2 часов, что позволяет использовать его в качестве ремонтного герметика в полевых условиях.

При герметизации остекления кабин и фонарей самолетов, а также при герметизации различных элементов конструкции вертолетов разработаны и широко применяются герметики типа ВИТЭФ. Например, герметики марок УТ-34 и УТ-32НТ применяются для радиоэлектронной аппаратуры так как обладают наилучшими диэлектрическими свойствами среди полисульфидных герметиков (таблица 1).

Таблица 1 – Диэлектрические свойства полисульфидных герметиков

Марка	Тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 10^3, Гц, не более	Удельное объемное сопротивление, Ом·см, не менее	Диэлектрическая проницаемость при частоте 10^3, Гц, не более	Электрическая прочность, кВ/мм, не менее ГОСТ 6433.3-71
УТ-32НТ	0,05-0,1	10^8 – 10^9	8 - 10	1,0
УТ-34	0,700	10^8	-	7,5
ВИТЭФ-2НТ	0,05-0,1	10^8 – 10^9	8 - 10	1,0
У-30МЭС-5	-	$1·10^9$	-	-

Для удобства эксплуатации с 2016 года полисульфидные герметики марок У-30МЭС-5НТ и ВИТЭФ-1НТ, производятся упакованными в одноразовые полимерные картриджи для ручного или пневматического выжимного пистолета. Такая форма выпуска позволяет на равных конкурировать с импортными аналогами в части технологичности нанесения. Кроме того, герметик марки У-30МЭС-5НТ выпускается в трех модификациях с жизнеспособностью от 2 до 12 часов. Для автоматического смешения герметиков, упакованных в картриджи, разработана специальная перемешивающая машина, применение которой позволяет добиться высокого качества приготовленного герметика. Основные физико-механические характеристики, назначение и условия работы отечественных полисульфидных герметиков представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства, назначение и условия работы отечественных полисульфидных герметиков специального назначения

Марка герметика	Кол-во компонентов при поставке	Плотность, $ρ·10^{-3}$ кг/м^3	Жизнеспособность, ч	Физико-механические свойства			
				Условная прочность, не менее, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Адгезия к сплаву Д16АТ, не менее кН\м	Адгезия к ПКМ, не менее кН\м
ВИТЭФ-1НТ	3	1,50±0,1	1 - 10	1,8	160	1,96	-
ВИТЭФ-1А	3	1,50±0,1	3 - 8	1,8	350	2,6	-
ВИТЭФ-1Бм	2	1,50±0,1	1 – 10	2,0	160	2,1	2,1
ВИТЭФ-2НТ	3	1,47±0,1	Не более 10	1,6	150	1,96	-
У-30МЭС-5НТ	3	1,43±0,1	2 - 12	1,5	200	1,47	-
У-30МЭС-5М	3	1,43±0,1	2 - 5	1,8	200	1,96	-
УТ-32НТ	3	1,47±0,1	2 - 8	1,5	200	1,47	-
УТ-34	3	1,47±0,1	3 - 20	0,6	170	1,66	-
ВТК-1-29	2	1,40±0,1	1,5 - 4	1,5	205	3,0	-
ВЭР-1	3	1,47±0,1	1 - 5	2,5	150	1,96	-

Полисульфидные герметики применяются и в строительстве. Следует отметить составы марок Сазиласт-10 (-23,-51 и др.), СТИЗ-30, ARMIX S и ARMIX R применяемые для герметизации стеклопакетов. Разработанные в Нижегородском государственном архитектурно-строительном университете герметизирующие составы марок УТ-32, УТ-43, УТ-37 эксплуатируются от -50 до 50°С. Для обеспечения долговечной герметизации сочленений, работающих в морской воде, и сочленений металл-стекло применяется герметик 51-УТ-37, состоящий из герметизирующей пасты У-37, вулканизующего агента (пасты № 17) и ускорителя вулканизации (дифенилгуанидина). Герметик Изогерм ТН, изготавливаемый на ос-

нове «АР-полимера» – гибридного тиолсодержащего полимера производства ООО «Поли-Микс Казань» применяют для гидроизоляции бетонных и металлических сооружений, фундаментов, туннелей, мостов и т.п.

Кроме отечественных разработчиков необходимо отметить крупнейшего производителя полисульфидных герметиков в мире - фирму PPG Aerospace. Герметики, выпускаемые этой компанией, нашли широкое применение в авиастроении по всему миру.

Широкое применение нашел еще один класс герметиков – это герметики на основе кремнийорганических эластомеров, что обусловлено их более широким температурным диапазоном: от минус 120 до плюс 400°С. Для кремнийорганических эластомеров помимо высоких тепло- и морозостойкости, характерны также устойчивость к действию озона, света, других факторов старения, гидрофобность, диэлектрические свойства и т.д., а также отсутствие растворителей и простота технологии их переработки [3].

Разработка отечественных кремнийорганических герметиков началась с 1957 г.: в ВИАМ Н.Б. Барановской, а во «ВНИИСК» З.М. Крюковой и А.В. Карлиным начаты работы по синтезу кремнийорганических эластомеров. Первым кремнийорганическим эластомером был синтезирован диметилполисилоксан и в начале 1960-х г. был осуществлен его промышленный выпуск на КЗСК им. С.М. Кирова. На основе метода вулканизации диметилполисилоксана путем каталитической поликонденсации полиорганосилоксандиолов с полифункциональными силанами был разработан ряд термостойких герметиков типа ВИКСИНТ (У-1-18, У-2-28, К-18). В 1970-х г. были разработаны и налажен выпуск группы герметиков-компаундов для защиты приборной техники радиоэлектронной аппаратуры (ВИКСИНТ ПК-68, К-68, КТ-73, ПКФ-68).

В конце 1970-х – начале 1980-х г.г. успешно решается вопрос разработки и освоения новых нетоксичных катализаторов холодной вулканизации силоксанов, усовершенствование и разработка герметиков с высокой термостойкостью. Дальнейшей задачей было повышение масло- бензостойкости герметиков. Для этого в НИИСК им. С.В. Лебедева с использованием в качестве исходного продукта 3,3,3-трифторпропенметил-дихлорсилана были синтезированы бензо- маслостойкие силоксановые эластомеры. Разработаны способы синтеза сополимеров, содержащих 50 мол. % диметилсилоксановых звеньев (СКТНФТ-50 - низкомолекулярного) и 3,3,3-трифторпропилметилсилоксановых гомополимеров – высокомолекулярного СКТФТ-100 и низкомолекулярного НФС-100.

В последние годы разработано 2 новых фторсилоксановых эластомера. Первый представляет собой низкомолекулярный сополимер марки СКТН-J-33, состоящий из диметилсилоксановых и метилгексафторпропеновых звеньев с содержанием последних не менее 33 мол. %. Благодаря большему содержанию фтора в эластомере, достигается снижение набухания в растворителях. Синтез осуществляется способом гидролитической поликонденсации диметилдихлорсилана и хлорсилана.

Одним из первых отечественным представителем фторсилоксановых герметиков являлся материал ВГФ-1 на основе фторсилоксанового сополимера марки СКТНФТ-50, быстро отверждающийся при комнатной температуре после смешения с катализатором. Образующийся после отверждения резиноподобный термо- морозостойкий материал стоек к воздействию топлива, что обусловлено наличием в цепи полимера боковых полярных фторпропильных групп, а наличие концевых гидроксильных групп позволяют применить метод холодной вулканизации, широко используемый для создания кремнийорганических герметиков. Одним из примеров использования фторсилоксановых герметиков является герметизации топливных отсеков сверхзвуковых самолетов.

Другим представителем фторсилоксановых герметиков является герметик ВГМ-4, предназначенный для поверхностной герметизации топливных отсеков и электросоединений. Он обладает меньшей токсичностью и повышенной теплостойкостью по сравнению с ВГФ-1 благодаря тому, что он разработан на основе нового каучука отечественного производства СКТНФТ-100-Лест, наполненным оксидом цинка.

Первые кремнийорганические герметики типа ВИКСИНТ были разработаны с применением вулканизующего агента – тетраэтоксисилана. В дальнейшем спектр вулканизующих агентов был существенно расширен за счет олигомерных алкоксипроиз-водных кремния (олигоалкоксисилоксана и олигометилметоксисилоксана, полифункцио-нальных кремнийорганических продуктов с гидридными группами и др.), что дало возможность сократить токсичность герметиков и повысить культуру производства.

Выводы

Разрабатываемые с 1926 году герметизирующие материалы являются неотъемлемой частью авиационной техники. Они используются для герметизации топливных отсеков, остекления кабин и фонарей, а также иных конструкций. Широкое применение герметиков специального назначения в современных изделиях обусловлено высоким уровнем свойств в том числе: топливостойкостью, широким диапазоном температур эксплуатации, влаго- и паронепроницаемостью.

Список литературы

1. Елисеев О.А., Наумов И.С., Смирнов Д.Н., Брык Я.А. Резины, герметики и огнетеплозащитные материалы // Авиационные материалы и технологии. 2017. №S. С. 437-451.

2. Вахрушева Я.А., Смирнов Д.Н., Макущенко И.С. Исследование свойств полисульфидных герметиков к действию агрессивных сред // Клеи. Герметики. Технологии. 2022. №3 С.8-12.

3. Герасимов Д.М., Илюхина М.А., Глазов П.А. Низкомолекулярные кремнийорганические каучуки в составе герметизирующих композиций (обзор) //Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн. 2020. №8. Ст.04. С.35-45.

УДК 629.5.083.4

К ЮБИЛЕЮ СТАНОВЛЕНИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО РЕМОНТА (ППР)
TO THE ANNIVERSARY OF THE FORMATION OF THE SYSTEM SCHEDULED PREVENTIVE MAINTENANCE (SPM)

Мосур Владлен Григорьевич [1,2]
Mosur Vladlen G. [1,2]

[1]Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта»
[1]Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Immanuel Kant Baltic Federal University"
(e-mail: mosurvladlen@mail.ru)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering

Аннотация: В статье рассмотрен путь становления и развития системы планово предупредительного ремонта. Определены общие пути дальнейшего развития.

Abstract: Some This article reviews the ways of formation and development of the planned and preventive maintenance system and determines paths of the further development of these systems.

Ключевые слова: ремонт, основные средства, общепромышленное оборудование, станочный парк.

Keywords: repair, fixed assets, metal-cutting equipment, general industrial equipment, fixed assets.

Организация бесперебойной работы оборудования, готовность его к безотказной эксплуатации – наиболее актуальная проблема любого машиностроительного предприятия. От правильности действий ремонтной службы, предпринимаемой для поддержания оборудования в исправном состоянии, зависит и его долговечность, и частота неплановых ремонтов. Выбирая определённую стратегию технического обслуживания и ремонта на предприятии, при организации ремонтного производства, с целью правильной организации и исключения ошибок в планировании, нельзя не вспомнить об истоках создания системы обслуживания оборудования в нашем государстве.

С конца XIX – начала XX столетия, в эпоху интенсивного развития научно-технического прогресса, становление техобслуживания и ремонта оборудования в своём развитии прошло долгий и сложный путь. Предприятия того времени были небольшие, имели неполный цикл производства, и, занимающиеся, как правило, поузловой сборкой. В это время техобслуживание и ремонт оборудования производился «по потребности», только после полной остановки станка. На предприятиях не было специальных ремонтных мастерских. Изготовление заявок на ремонтируемые детали выполнялось на основном производстве, так как в предприятия были организованы с акцентом на единичное и мелкосерийное производство. Это, в дальнейшем, при увеличении серийности стало существенно усложнять и выполнение программы производства, и изготовление ремонтируемых изделий.

В 2023 году отмечается столетие с момента появления первых публикаций по организации ремонта, где зафиксировано проведение ремонтных работ на плановой основе. Систематизация проводимых работ в общих чертах определила будущую стратегию ремонтов, которая, в большинстве своём, применяется в нашей стране и поныне. Отправной точкой

стало решение об индустриализации молодого государства. Первой официальной информацией по становлению ППР является работа, подготовленная инженером А.Г. Поповым, и опубликованная в 1923. Она стала основой для первой инструкция по планированию текущего ремонта, в которой декларировалось следующее:

– любое ремонтное воздействие должно поддерживать оборудование в эксплуатационном состоянии;

– ремонтное производство – это самостоятельное производство;

– планирование ремонтных работ осуществляется на условиях предупредительно-принудительного характера.

Затем в 1926 году создаётся Государственный институт по проектированию металлических заводов Гипромез. При разработке проектов заводов тяжёлой промышленности учитываются подразделения по организации ремонта. Появились методики расчёта численности ремонтников соответствие со списочным составом оборудования. На данном этапе уже прослеживаются элементы современной методологии расчёта на основе количества ремонтных единиц станков.

Начало тридцатых годов – время первых пятилеток и интенсивного развития промышленности СССР. Наблюдается и фиксируется связь срывов выполнения производственных планов с полным отсутствием проведения работ по планово-предупредительному ремонту. Более того, анализируя возрастной состав оборудования того времени, отмечается большой процент оборудования, отработавшего свой ресурс. Капитальный ремонт оборудования проводился не по плану, а только после того, как станок полностью остановился вследствие множества поломок. С 1933 года в заводских условиях производится проверка системы ППР, в основе которой лежала обязательная периодичность работ. На всех промышленных предприятиях разрабатываются нормы времени на проведение работ по техобслуживанию и ремонту. Стали создаваться мощные ремонтные службы, что обусловлено увеличением масштабов производства и появлением более сложного и точного оборудования. При проектировании новых предприятий предусматриваются ремонтно-механические цеха и участки, в которых, по некоторым оценкам [1], количество станков, участвующих в ремонте, составляло 3-12%.

В этот же период производятся попытки упорядочить текущий ремонт «приведением его к системе планирования при посредстве запасных частей» [2]. Появились первые методы определения срока службы наиболее изнашивающихся деталей с завязкой на планирование их изготовления.

В период 1933-1938 г.г. параллельно развивается стратегия «периодических осмотров» с целью определения текущего технического состояния оборудования. Эта стратегия и является основой современной системы ППР. На этом этапе развития система имела существенные недостатки, связанные с отсутствием норм времени на ремонт, отсутствием средств диагностики и невозможностью планирования бюджетирования на длительный период. В предвоенный период зарождается система ППР, в основе которой лежат следующие принципы:

– появляется понятие «межремонтный цикл» и «межремонтный период»; плановые ремонты проводятся через определённое время наработки;

– появляется понятие «ремонтосложность»; планирование бюджета производится на объёме ремонтных работ, который определяется категорией ремонтосложности станка;

– между плановыми ремонтами производятся осмотры с целью определения номенклатуры заменяемых деталей; в процессе проведения осмотров устраняются мелкие неисправности, производится регулировка и чистка оборудования.

С 1938 года и до начала ВОВ практически все предприятия СССР перешли к системе ППР. Бюджеты формируются с учётом затрат на ремонтные работы. Определённый объём ремонтных фондов составляют амортизационные отчисления. Происходит обновление станочных парков, в том числе и в ремонтных подразделениях. По ремонтной тематике в большом количестве публикуются научные статьи, книги, библиографические указатели.

К началу ВОВ практически все предприятия перешли на систему планово-предупредительного ремонта. Военный период с 1941-1945 г.г. определил некоторую специфичность в системе ППР, требовалась её корректировка из-за:

– существенного сокращения сроков производства выпускаемой продукции;
– дефицита поставляемых материальных ресурсов;
– в укрупнении предприятий и масштабов их деятельности;
– в усложнении ассортимента выпускаемой продукции.

Интенсивная нагрузка на станочный парк, низкая квалификация специалистов, снижение возможностей по своевременному проведению ремонтных мероприятий, появление поузловых ремонтов – это реалии обслуживания оборудования того периода. Вследствие ужесточения требования по времени простоя активно внедряется агрегатный способ ремонта.

Система показала свою жизнеспособность, но требовала доработки и модернизации. Именно в этот период наиболее проявили себя такие факторы, как: жизненный цикл, трудозатраты на ремонт, ремонтосложность оборудования, влияние на качество и производительность. Развитию ремонтного производства уделялось большое внимание. Об этом говорит большое количество инструкций по проведению ППР к концу ВОВ. В конце 1945 года в Москве проходит конференция, посвящённая вопросам, связанным с ремонтом оборудования. На ней подтвердилась необходимость дальнейшего развития и внедрения на предприятия системы ППР. Были определены ключевые направления развития, такие как типизация системы и установление единых циклов по видам оборудования. Начиная с 1955 года, все предприятия СССР работают в рамках Единой системы планово-предупредительного ремонта, и она является для всех предприятий обязательной основой для планирования ремонтных работ. Появляются обоснованные нормы по переходу к повременно-премиальной системе оплаты труда ремонтников. Основными показателями оплаты труда являются: выполнение всех запланированных на отчётный период работ, существенное снижение простоев, качество выполняемых работ.

Развитие системы ППР, начиная с 50-х годов в нашей стране и зарубежом, шло различными путями. В СССР в Экспериментальном НИИ металлорежущих станков была разработана и обобщена система ППР, в которой содержались основные положения и нормативы по ремонту оборудования. Это комплекс организационно-технических мероприятий по уходу, надзору, техобслуживанию и ремонту оборудования в плановом порядке. Большое внимание уделяется планированию и проведению профилактических работ до наступления отказа оборудования. Между тем, в процессе отработки этого варианта системы ППР были выявлены замечания, существенно снизившие её функционирование. К числу их можно отнести: завышение норм времени на ремонт, негативные последствия перехода к повременно-премиальной системе оплаты труда, отсутствие аналитических данных по техническому состоянию оборудования.

Эта система ППР в СССР и РФ использовалась десятилетиями. В настоящее время из учебных программ высших и средних учебных заведений исчезла дисциплина «Ремонт оборудования». Выпускники технических направлений не владеют основами организации работ по ППР.

С момента распада СССР на предприятиях страны произошли коренные изменения. Прекратили своё существование большинство министерств и отраслевых управлений главного механика и главного энергетика, расформированы отраслевые ремонтные объединения и тресты для централизованного капитального ремонта оборудования. Распалась система централизованного снабжения предприятий оснасткой и запчастями. Появилось огромное количество фирм, реализующих запчасти низкого качества. В нынешнем тысячелетии предпринимаются попытки на уровне государства изменить ситуацию в области ППР. Так, например, к современным предприятиям РФ предъявляется требование о необходимой разработке положения по планово-предупредительному ремонту. На этом пока участие государства, к сожалению, ограничено.

Несколько иначе происходило развитие системы ППР в Западной Европе и США. Самые известные из них это системы профилактического (Preventive Maintenance) обслуживания – в США и Европе (PM-системы). Благодаря конкурентности в системах ППР западного образца делался акцент на обслуживание и ремонт станков по их фактическому состоянию. Развитие компьютерной техники дала возможность обрабатывать большие объёмы информации по эксплуатируемому оборудованию на предприятиях. Появились первые CMMS – системы управления техническим обслуживанием (от англ. Computerized Maintenance Management Systems (CMMS), с помощью которых удалось существенно снизить затраты на обслуживание и увеличить производительность станочного парка. Появившиеся и внедрённые в 90-х годах прошлого столетия EAM-системы способствовали существенному снижению затрат на техобслуживание и ремонт оборудования. Такие системы позволяют управлять ресурсом станка, начиная с его проектирования и до списания с возможностью постоянного мониторинга эффективности работы.

Более интересно развитие системы обслуживания и ремонта происходило в Японии. Изучив работу предприятий Форда, японские специалисты автомобильной фирмы Toyota разработали передовую технологию TPS (Toyota Production System), которая является существенной составляющей американской системы TPM (Total Productive Maintenance). Эта система предполагает обслуживание по его фактическому состоянию. Её отличие в том, что работы проводятся только по техническому состоянию, за исключением работ по ТО с постоянным мониторингом технического состояния.

Это система всеобщего обслуживания оборудования, разработанная в 70-х годах направлена на повышение эффективности оборудования и его ресурса. До середины 80-х годов это была секретная разработка, включающая в себя набор методов, направленных на постоянную готовность оборудования к работе с целью обеспечения непрерывности производства. С целью достижения предельной эффективности данная система предусматривает:

– необходимость добиваться максимально высоких показателей эффективности оборудования;

– разработку таких мероприятий по обслуживанию оборудования, которые обеспечат работоспособность оборудования на протяжении его ресурса;

– планирование обслуживания оборудования на уровне всех задействованных в производстве подразделениях;

– разработку методов по раннему выявлению дефектов.

Система TPM интенсивно применяется во всех ведущих мировых корпорациях разных сфер деятельности. В РФ предпринимаются попытки внедрения системы TPM на предприятиях в различных отраслях. Результаты внедрения на данном этапе оставляют желать лучшего, что объясняется, скорее, ментальностью и необходимостью обязательного изменения психологии работников и методов работы.

По факту, наиболее прогрессивной можно считать стратегию ремонта по фактическому состоянию с обязательным выполнением работ по техобслуживанию. Хорошим дополнением к этому можно считать активное внедрение плановой диагностики с целью мониторинга текущего технического состояния оборудования. Конечно же, конструктив и специфика оборудования будут решать объём и частоту работ по техобслуживанию и плановой диагностике. В настоящее время на предприятиях ситуация в области ремонтного хозяйства неоднозначна. Мы вернулись к ситуации столетней давности. На малых и средних предприятиях система ППР практически отсутствует. Имеет место реактивная стратегия, или ремонт по отказу.

Выводы

Действительность указывает на факторы, которые в ближайшее время будут способствовать интенсивному развитию и усовершенствованию системы ППР. Усиление санкционного давления на РФ, максимальное снижение поставок комплектующих к современному оборудованию зарубежного производства, дефицит ресурсов выведет систему ППР на но-

вый уровень. Рациональная организация технического обслуживания с применением информационных технологий будет играть более значимую роль на производстве. Максимального эффекта на предприятиях РФ в области техобслуживания и ремонта можно добиться путём интеграции систем TPM, EAM, 5S.

Список литературы

1. Кац Б.А. Из истории создания системы планово-предупредительного ремонта //Главный механик. 2013. №11, С.19-26

2. Спиридонов В.В. Система планово-предупредительных ремонтов. — М., Л.: Стандартизация и рационализация, 1934. 86 с.

УДК 677.076.1

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ НЕТКАНЫХ ПОЛОТЕН ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ
DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF NON-WOVEN FABRICS FOR TECHNICAL PURPOSES

Аниськова В.А., Рязанов Д.Д.
Aniskova V.A., Ryazanov D.D.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Россия, Москва
The Kosygin State University of Russia, Moscow
(e-mail:aniskova-va@rguk.ru)

Аннотация: Разработана технология нетканого иглопробивного материала технического назначения, изучены физико-механические и функциональные свойства нетканых материалов. Определены оптимальные параметры выработки нетканых полотен.

Abstract: The technology of needle-punched nonwovens for technical purposes has been developed, the physico-mechanical and functional properties of nonwovens have been studied. The optimal parameters of the production of nonwoven fabrics have been determined.

Ключевые слова: нетканое полотно технического назначения, иглопробивные материалы.

Keywords: nonwoven fabric for technical purposes, needle-punched nonwovens.

В условиях растущих энергозатрат и угрозы исчерпания традиционных энергоресурсов, эффективное использование и сохранение тепла являются актуальными проблемами. Разработка новых теплоизоляционных материалов, способных минимизировать потери тепла и снизить энергопотребление, имеет важное значение для повышения энергоэффективности различных отраслей, включая строительство и промышленность. Хорошая термоизоляция способствует улучшению энергоэффективности зданий. Она позволяет сократить затраты на энергию, необходимую для поддержания комфортных условий внутри помещений, что ведет к снижению эксплуатационных расходов.

Нетканые теплоизоляционные материалы обладают широким спектром свойств и разнообразием способов производства, что позволяет применять их в различных сферах нашей жизни. Данная работа предлагает разработку инновационных нетканых теплоизоляционных материалов сложных структур с улучшенными свойствами.

Теплоизоляция должна быть направлена на снижение всех трех основных механизмов теплопередачи. Кондукция – это передача тепла через твердые материалы, излучение - передача тепла в виде электромагнитных волн, а конвекция – передача тепла через движение воздуха или жидкости. Материалы и конструкции должны быть спроектированы таким образом, чтобы минимизировать эти виды теплопередачи.

Кроме того, воздух является плохим проводником тепла, поэтому создание воздушного слоя в конструкции способствует улучшению теплоизоляции. Это может быть достигнуто путем использования материалов с высокой пористостью или создания воздушных карманов между слоями материалов. Воздушный слой действует как дополнительное препятствие для теплопередачи. Таким образом, структура объёмного волокнистого нетканого материала с управляемым количеством и размером пор позволяет обеспечить эффективную теплоизоляцию конструкций.

Россия активно внедряет нормативные требования и стандарты, регулирующие энергоэффективность зданий и требования к теплоизоляционным материалам. Например,

государственная программа "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности" [1] стимулируют использование эффективных теплоизоляционных материалов.

В данной работе для повышения качества нетканых материалов волокнистый холст поверхностной плотности 250 г/м^2, полученный из смеси вторичных полиэфирных (ПЭТ) волокон 0,7текс и полипропиленовых (ПП) волокон 0,68 текс, скрепляли иглопрокалыванием при 100 прок/см^2 и глубине прокалывания 7мм. Образцы материалов получали в лаборатории кафедры ПХОТИ РГУ им. А.Н. Косыгина.

Выбор в качестве волокнистого сырья вторичных ПЭТ волокон объясняется необходимостью ресурсосбережения и рециклинга полимеров. Использование ПП волокон в волокнистой смеси связано с пониженной плотность полипропилена, что должно положительно повлиять на теплоизоляционные свойства разрабатываемых материалов.

Свойства полученных полотен изучали по стандартным методикам, результаты исследований приведены в табл.1.

Таблица 1 – Свойства нетканых иглопробивных материалов, мм

Соотношение ПЭТ и ПП волокон в смеси (ПЭТ/ПП)	Толщина материала, мм	Разрывная нагрузка, Н	Разрывное удлинение, %
100/-	2,87	163	135
95/5	2,97	197	122
90/10	3,10	204	126
85/15	3,00	223	109
80/20	3,13	254	92
75/25	3,10	283	87
70/30	3,21	295	89

Как показывают данные табл.1, с ростом содержания ПП волокон в смеси толщина материала увеличивается, что связано с меньшей плотностью полимера волокна, а, значит, ведёт к росту количества волокон в материале при равной поверхностной плотности. Это приводит к росту толщины и разрывной нагрузки материалов.

При попадании влаги теплоизоляционные свойства текстильных материалов снижаются, поэтому целесообразно было изучить капиллярные свойства полученных полотен и пропускную способность получаемых капилляров. На рис.1 приведены кинетические кривые впитывания жидкости образцами нетканых материалов (мм) от времени впитывания влаги (мин).

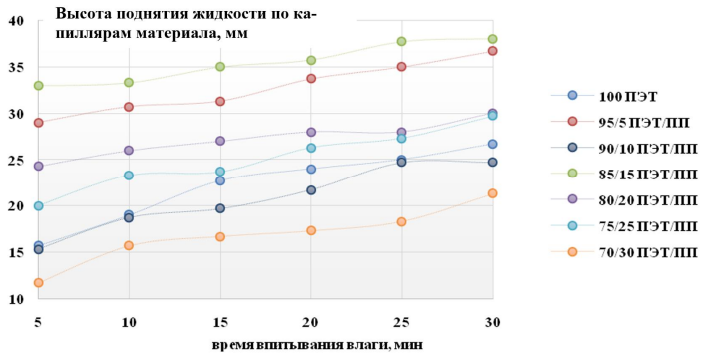


Рисунок 1 – Кинетические кривые зависимости высоты поднятия жидкости по капиллярам нетканого иглопробивного полотна в зависимости от содержания ПП волокон

Анализируя полученные графические зависимости (рис. 1) можно сделать вывод, что с ростом содержания ПП волокон увеличивается количество капилляров меньшего диаметра, что объясняется меньшей плотностью ПП, а, следовательно, ростом числа волокон холста при сохранении поверхностной плотности и их более интенсивным перепутывании

при иглопрокалывании. Представляло интерес также определить скорость прохождения заданного объёма жидкости через фиксированную площадь разработанного материала в единицу времени, и сравнить влияние технологических параметров на пропускную способность и водухопроницаемость разработанного материала. Результаты проведённого исследования представлены на рис. 2 и 3.

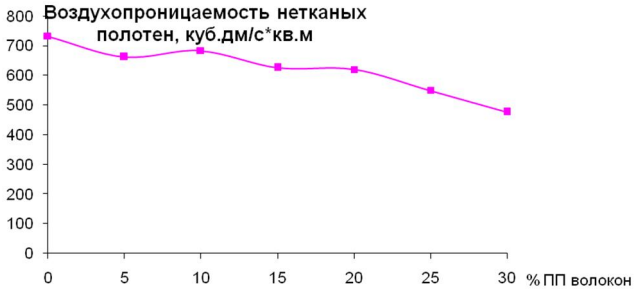


Рисунок 2 – Зависимость воздухопроницаемости нетканого иглопробивного материала от содержания ПП волокон

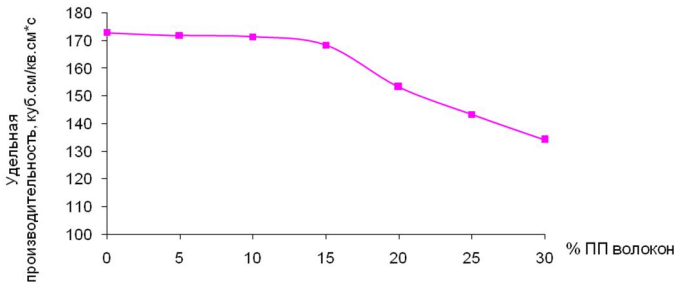


Рисунок 3 – Зависимость удельной производительности нетканого иглопробивного материала от содержания ПП волокон

Как видно из рис.2 и 3 кривые носят схожий нисходящий характер с ростом содержания ПП волокон. Это объясняется образованием большего числа капилляров меньшего диаметра с ростом доли ПП волокон в смеси.

При изготовлении нетканых материалов данной поверхностной плотности в строительстве есть рекомендации как по толщине материалов, так и по значениям физико-механических характеристик, поэтому для дальнейших исследований по методу математического планирования и анализа эксперимента по плану Коно-2 выбраны следующие факторы: содержание ПП волокон от 20 до 40% и поверхностная плотность материалов от 200 до 300г/м^2. По полученным уравнениям регрессии построены соответствующие поверхности отклика, представленные на рис.4-6.

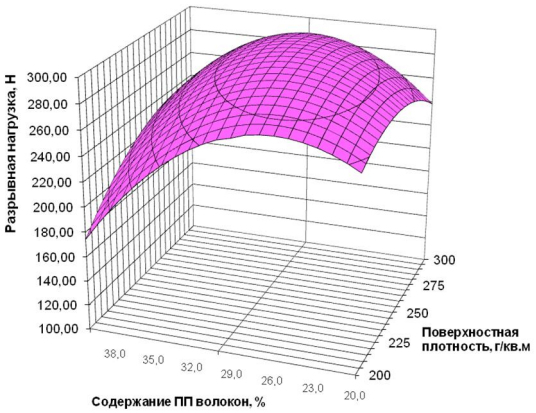


Рисунок 4 – Зависимость разрывной нагрузки нетканого иглопробивного материала от технологических параметров

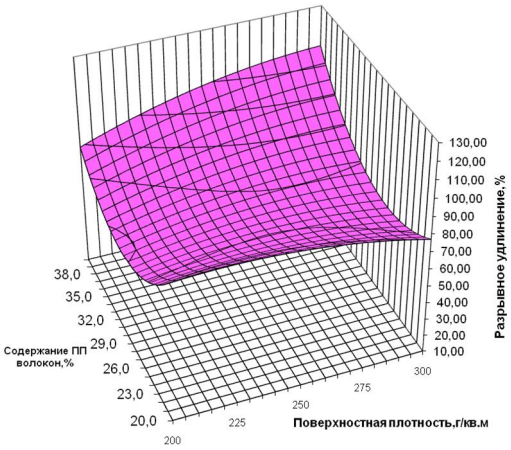


Рисунок 5 – Зависимость разрывного удлинения нетканого иглопробивного материала от технологических параметров

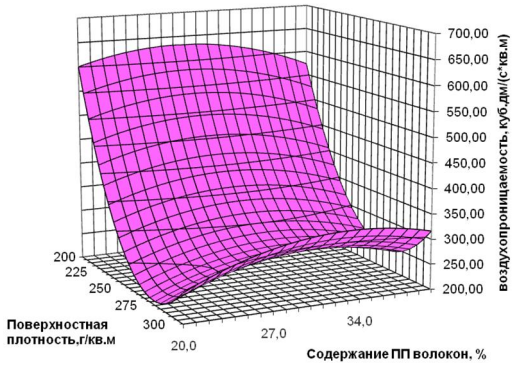


Рисунок 6 – Зависимость воздухопрницаемости нетканого иглопробивного материала от технологических параметров

Таким образом, исследовано влияние технологических параметров получения на физико-механические и функциональные свойства нетканых материалов технического назначения.

Проведенные исследования показали целесообразность применения разработанных образцов нетканого материала в качестве теплоизоляционных материалов в строительстве, поскольку они отвечают предъявляемым к ним требованиям.

Список литературы

1. Постановление правительства РФ от 09.09.2023 №1473 "Об утверждении комплексной государственной программы российской федерации "Энергосбережение и повышение энергетической эффективности", 2023. https://www.zakonrf.info/postanovlenie-pravitelstvo-rf-1473-09092023/

2. Бжахов М.И., Султанова А.М., Гедгафов А.А. Применение плит негорючей базальтовой теплоизоляции rockwool для теплоизоляции наружных стен и повышения пластичности фасадов зданий // Инженерный вестник Дона. 2019. № 5 (56). С. 64.

3. Якименко А.А., Плетнёв Н.Е., Колечкин А.А. Улучшение теплоизоляции: разработка новых материалов и технологий для улучшения теплоизоляции зданий // В сборнике: Студенческие научные исследования. Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции. Пенза, 2023. С. 56-59.

4. Стручаев Н.И., Постол Ю.А., Степин Ю.А., Журавель Д.П., Гулевский В.Б. Пути повышения эффективности теплоизоляции трубопроводов // Проблемы региональной энергетики. 2020. № 2 (46). С. 43-52.

5. Горяйнов К.Э., Коровникова В.В. Технология производства полимерных и теплоизоляционных изделий: Учебник. - М.: Высшая школа, 1985.

6. Сухарев М.Ф. Производство теплоизоляционных материалов и изделий. - М.: Высшая школа, 2012.

7. Факторович Л.М. Тепловая изоляция автомобиля. - Л.: Недра, 2002

8. Шойхет Б.М., Ставрицкая Л.В., Липовских В.М., Кашинский В.И. Тепловая изоляция промышленных трубопроводов // Энергоснабжение, №3, 2000.

9. Воронков С.Т., Исэров Д.З. Тепловая изоляция энергетических установок. - М., 2016.

10. Разумеев К.Э., Калямина Е.Ю., Аниськова В.А., Федорова Н.Е. и др. Получение нетканых материалов технического назначения // Химические волокна. -2023. № 2 (46). С. 67-71.

11. Разумеев К.Э., Федорова Н.Е., Аниськова В.А., Королева Н.А., Кисилев И.М., Егоров С.В. Исследование свойств текстильных материалов из химических волокон с применением цифровых технологий. // Химические волокна. -2023. № 2 (46). С. 60-65.

УДК 69.001.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ (НА ПРИМЕРЕ Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ)

USE OF ENERGY-EFFICIENT BUILDING MATERIALS IN CAPITAL REPAIRS OF APARTMENT BUILDINGS (BASED ON THE EXAMPLE OF ROSTOV-ON-DON)

Шеина Светлана Георгиевна [1,2], Чернявский Илья Александрович[1]
Sheina Svetlana G. [1,2], Chernyavsky Ilya A. [1]

[1]Донской государственный технический университет, Россия, Ростов-на-Дону
[1]Don State Technical University, Russia, Rostov-on-Don
(e-mail: rgsu-gsh@mail.ru)
[2]Международная инженерная академия
[2]International Academy of Engineering

Аннотация: В данной статье проводится оценка потребности повышения энергоэффективности многоквартирных жилых домов Ростова-на-Дону, возведенных в период индустриального домостроения. В рамках работы был проанализирован существующий жилой фонд, выделены серии многоквартирных домов, определены динамика строительства по годам и конструктивные схемы каждой из серии. Также был осуществлен расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций всех серий домов и выполнен подбор высокоэффективных теплоизоляционных материалов по критериям оценки зеленых материалов.

Abstract: This article assesses the need to improve the energy efficiency of multi-apartment residential buildings in Rostov-on-Don, built during the period of industrial housing construction. As part of the work, the existing housing stock was analyzed, a series of apartment buildings were identified, the dynamics of construction by year and the design schemes of each of the series were determined. A calculation of the heat transfer resistance of the enclosing structures of all series of houses was also carried out and a selection of highly effective thermal insulation materials was carried out according to the criteria for assessing green materials.

Ключевые слова: строительные материалы, строительство, энергоэффективность.
Keywords: building materials, construction, energy efficiency.

На данный момент в России присутствует проблема нерационального использования энергетических ресурсов. Наблюдается это и в энергосбережении и энергоэффективности жилых зданий. В большинстве случаев подобная проблема особенно ярко выражена в домах индустриального домостроения в период с 1956 по 1999г. В последующий период эта проблема стала менее явной в связи с массовым внедрением многослойных ограждающих конструкций с высокоэффективными теплоизоляционными материалами. Однако, несмотря не стремительное увеличение строительства нового жилищного фонда, в России попрежнему большую часть составляют многоквартирные дома индустриального периода, не соответствующие современным требованиям к энергоэффективности зданий. Также с увеличением роста цен на отопление в среднем на 4% в год, проблема энергосбережения подобных объектах становится более острой, ведь именно из-за потерь тепла жители переплачивают десятки тысяч рублей в год по квитанциям за отопление. Таким образом, большинство жилого фонда в России нуждается в капитальном ремонте с упором на сокращение расхода энергии и повышение энергоэффективности. При выполнении исследования был

выполнен анализ жилищного фонда во всех районах города Ростова-на-Дону. Массовая застройка многоквартирными домами индустриального периода присутствует в Ворошиловском, Советском, Пролетарском, Железнодорожном районах. По полученной информации был составлены график с числом домов по годам постройки (рисунок 1).

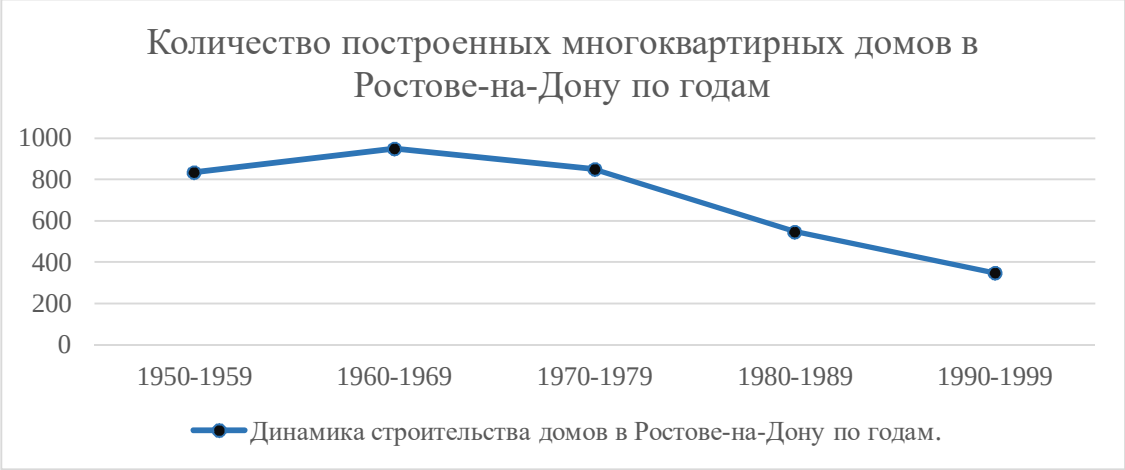


Рисунок 1 – График динамики строительства многоквартирных домов в Ростове-на-Дону

Помимо этого, по полученной информации в результате анализа жилого фонда был построен график площадей построенных домов в Ростове-на-Дону по годам (рисунок. 2).

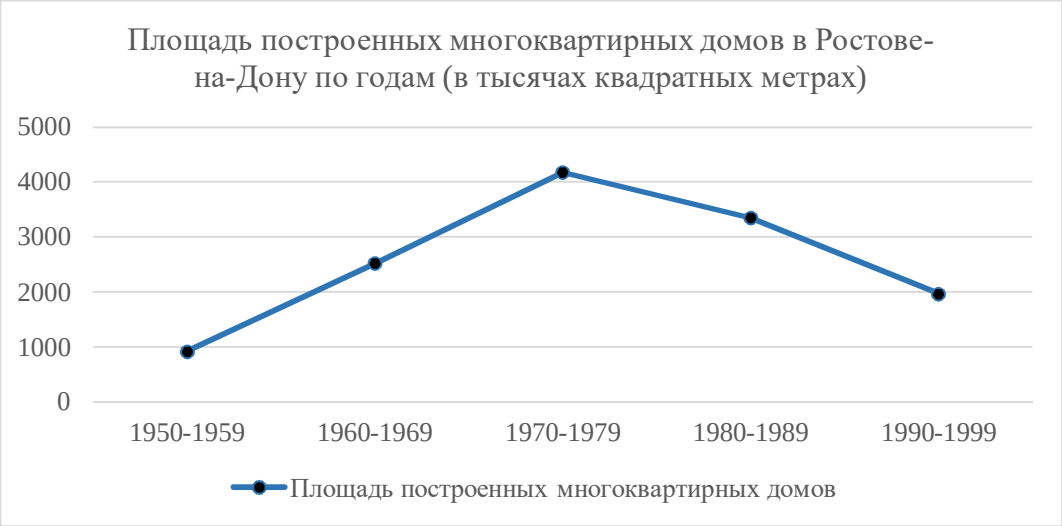


Рисунок 2 – График площадей построенных многоквартирных домов в Ростове-на-Дону

На следующем этапе была сформирована таблица с указанием серии домов, типу конструкции стен, их толщине и материалу. Также для каждой серии домов по требованиям российского свода правил СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» произведен расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Расчет приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций многоквартирных домов индустриального периода, возведенных в Ростове-на-Дону.

Серия дома	**Тип конструкции стены**	**Материал ограждающей конструкции**	**Толщина ограждающей конструкции, мм**	**Расчетное сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций, $м^2 \cdot °C/Вт$**
1-447	кирпичная	Белый силикатный кирпич	510	0.73
1-447с-47	кирпичная	Белый силикатный кирпич	510	0.73
1-464А-17	сборная (панельная)	Керамзитобетон	300	0.71
1-528	кирпичная	Белый силикатный кирпич	510	0.73
111-83	сборная (панельная)	Керамзитобетон	300	0.71
111-90	сборная (панельная)	1 слой – керамзитобетон; 2 слой – железобетон	300	0.90
114-86	кирпичная	Белый силикатный кирпич	510	0.73
II-49	сборная (панельная)	Керамзитобетон	340	1.10
1-419	легкобетонные блоки	Шлакобетон	500	1.51
1-515/9ш	сборная (панельная)	Керамзитобетон	400	1.27
111-96	сборная (панельная)	Керамзитобетон	350	1.13
111-121	сборная (панельная)	Керамзитобетон	350	1.13
П-44	сборная (панельная)	1 слой – железобетон; 2 слой – пенопласт; 3 слой – железобетон	300	1.94

По результатам расчета становится очевидно, что абсолютное большинство многоквартирных домов периода индустриального домостроения не соответствуют современным требованиям теплозащиты, так как согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» базовое значение поэлементных требований сопротивления теплопередаче стен должно составлять не менее 2.63 м2•°С/Вт для жилых помещений. При таком значении и выше ограждающая конструкция будет удовлетворять нормам по тепловой защите вне зависимости от иных требований. Таким образом, подобный жилой фонд нуждается во внедрении энергоэффективных строительных материалов, которые бы позволили многократно сократить расходы тепловой энергии и затраты жильцов.

Рассматривая применение современных энергоэффективных материалов при утеплении зданий индустриального периода необходимо отметить, что отдельные жильцы многоквартирных домов применяют практику поквартирного утепления с использованием высокоэффективных легких утеплителей с последующей штукатуркой, однако это негативно влияет на облик фасада.

Также границы подобного утепления отдельной квартиры проходят по плитам перекрытия. В этих местах точка росы резко смещается с утеплителя внутрь стены, что приводит к конденсации влаги и риску появления плесени, причем грибок может проявиться как в утепленной квартире (в месте стыка стены с потолком и полом), так и в соседних квартирах. Разница температур фасадной стены на соседних участках также не идет на пользу дому. В результате речь может идти не только о проблеме повышенной влажности, но и постепенном разрушении капитальной стены. Еще одна проблема – постоянное намокание верхнего торца теплоизоляции. Несмотря на изоляцию, постоянное воздействие влаги и скапливание снега постепенно разрушает клеевое крепление теплоизоляции и открывает доступ воде. Сплошной контур теплоизоляции создать трудно, поэтому и полная герметичность участка утепления практически невозможна.

Изучая возможность и рентабельность применения энергоэффективных материалов при утеплении многоквартирных домов необходимо рассмотреть достоинства, недостатки и возможность их внедрения. В рамках исследования для оценки энергоэффективных материалов были выбраны пенополистирол, пеностекло, минеральная вата.

Оценка происходила по следующим критериям оценки зеленых материалов: теплопроводность; логистика производства с точки зрения отдаленности пункта приема от предприятия изготовителя; воздействие на окружающую среду; долговечность; цена за объем материала; использование вторичного сырья, возможность переработки. Результаты оценки материалов по критериям отражены в таблице 2.

Таблица 2 – Оценка энергоэффективных материалов для повышения энергоэффективности домов индустриального периода в Ростове-на-Дону.

Критерии оценивания	**Оцениваемый материал**		
	пенополистирол	пеностекло	минеральная вата
Теплопроводность	0,028-0,044 Вт/(м·°С)	0,030-0,080 Вт/(м·°С)	0,032-0,048 Вт/(м·°С)
Логистика производства	254 км	287 км	503 км
Воздействие на окружающую среду	токсичные пары	-	пыль
Долговечность	40-60 лет	100 и больше лет	30-50 лет
Цена м^3 материала	5200-8300 рублей	13400-32000 рублей	3700-6000 рублей
Использование вторичного сырья	–	+	+
Возможность переработки	+	+	+

Оценивая достоинства и недостатки каждого из материалов необходимо подробно изучить их характеристики. Рассматриваемые материалы имеют схожие характеристики теплопроводности, поэтому выбор наилучшего варианта для применения в качестве высокоэффективного теплоизолятора при капитальном ремонте домов будет осуществляться по остальным шести критериям оценивания. Использование строительных материалов, которые производятся в пределах 800-километровой зоны от места его применения может уменьшить загрязнение воздуха транспортными средствами и ускорить местную экономику. Логистика производства у всех рассматриваемых материалов находится на допустимом уровне и не превышает 800 километров.

Воздействие на окружающую среду присутствует у пенополистирола и у минераловатных плит. Выделение токсичного вещества – стирола происходит при плавлении пенополистирола; сам материал является горючим. Также незначительные дозы стирола могут

выделяться даже при температуре +35°С. В условиях южного климата г.Ростова-на-Дону, под воздействием открытых солнечных лучей на плиты вентилируемого фасада эта температура в ряде случаев может быть достигнута в воздушной прослойке, что повлечёт выделение стирола, хоть и в небольших количествах. Минеральная вата не подвержена горению, тлению, однако данный материал выделяет в умеренно количестве мелкодисперсная пыль, что нивелируется изоляцией утеплителя за облицовочным слоем. Пеностекло является абсолютно инертным материалом, без вспенивающих добавок. В отличие от полимерных составов, этот утеплитель не горит, не выделяет токсичных газов и соединений, отравляющих окружающую среду. Со временем пеностекло не разрушается и не продуцирует продуктов распада.

Наибольшей долговечностью среди рассматриваемых высокоэффективных утеплителей обладает пеностекло. Оно не теряет позитивных свойств, не дает усадки со временем, не подвержено деструкции вредителями, влажностью и скачками температурного режима. На эксплуатацию материала может повлияет сильное физическое воздействие ввиду хрупкости материала. Пенополистирол также имеет высокие показатели долговечности. Его структура не позволяет впитывать влагу, однако большая толщина плит пенополистирола при скачках температуры может вызывать деформации и усадку. На срок эксплуатации и теплоизоляционные свойства минеральной ваты в значительной степени влияет воздействие воды, однако этого можно избежать при обработке водоотталкивающими составами либо же грамотной изоляцией.

В ценовой категории лидирующее место имеет минеральная вата. Наибольшей дороговизной обладает пеностекло вследствие тяжести технологических задач при его производстве с использованием дорогого высокотехнологичного оборудования.

Производство пенополистирола не предполагает использование вторичного сырья. При изготовлении плит из пеностекла в качестве вторичного сырья может использоваться оконное, бутылочное стекло, тем самым это поможет снизить объем твердых бытовых отходов. Процесс производства минеральной ваты может включать также использование доменных шлаков в качестве сырья.

Все оцениваемые материалы имеют возможность вторичной переработки. Рассматривая переработку пенополистирола, отметим тот факт, что на данный момент наиболее освоенным способом является его измельчение для последующего использования в производстве полистиролбетона либо первичного полистирола. Также полистирол может использоваться в технологических целях для отопления. Высокотемпературное сжигание данного материала в современных пиролизных котлах с выделением в дымовые газы молекул воды и диоксида углерода. При этом полимерные цепи и ароматические соединения разрушаются. Пеностекло при переработке его в пеностекольный щебень может быть применено при производстве новых пеностекольных плит. Для минеральной ваты активно используют оборудование для вторичной переработки.

Выводы: По итогу проведенной оценки, очевидно, что многоквартирных жилых домов индустриального периода в г.Ростове-на-Дону, что абсолютное большинство многоквартирных жилых домов индустриального периода в г.Ростове-на-Дону не соответствует современным требованиям энергоэффективности с точки зрения теплозащитных характеристик. для повышения энергоэффективности многоквартирных домов индустриального периода г.Ростова-на-Дону наиболее подходящим высокоэффективным утеплителем с учетом цены, положительных и отрицательных характеристик и рентабельности применения является минеральная вата. При небольшой цене кубический метр она не уступает пенополистиролу по характеристикам теплопроводности, долговечности, а также имеет низкое воздействие на окружающую среду по сравнению с ним. Помимо этого, при производстве минеральной ваты возможно использование вторичного сырья. Использование плит из пеностекла несмотря не наиболее совершенные характеристики будет наиболее рентабельно при утеплении домов этажностью не более пяти и количеством подъездов не более двух.

Список литературы

1. Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Федяева П.В., Миненко Е.Н. Лучший европейский опыт внедрения энергосберегающих технологий в жилищном фонде Российской Федерации // Жилищное строительство. 2020. №6. С.29-34.

2. Боброва В.В., Манжилевская С.Е. Опыт энергоэффективного строительства жилых домов // Экспертиза и управление недвижимостью: комплексное развитие территорий, энергосбережение, информационное моделирование: Материалы XV Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, Ростов-на-Дону. 2023. С. 47-51.

3. Чубарова К.В., Тальников Д.М. Перспективы использования BIM при капитальном ремонте и реконструкции зданий // BIM-моделирование в задачах строительства и архитектуры: Материалы IV Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург. 2021. С. 419-425.

4. S. Sheina, E. Vinogradova, I. Chernyavsky. Reconstruction of Urban Development with the Use of Modern Building Materials // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2023. № 575. – P.2936-2944.

5. Шеина С.Г., Белаш В.В, Дементеев Д.С., Калиткин А.П. Применение энергоэффективных и зеленых технологий при строительстве многоэтажного жилого дома // Инженерный вестник Дона. 2021. №5. С. 88-96.

6. Петров К.С., Вонгай А.О., Саковская К.А. Повышение тепловой защиты зданий различных назначений в условиях городской застройки // Интернет-журнал Науковедение. 2015. № 3(28). – С. 120-130.

УДК 539.4::622.691.4

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ПОДЗЕМНЫЕ МАГИСТРАЛЬНЫЕ ГАЗОПРОВОДЫ МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ
ANALYSIS OF INFLUENCE OF GEOCRIOLOGICAL PROCESSES ON UNDERGROUND MAIN GAS PIPELINES BY NUMERICAL SIMULATION METHODS

Трифонов Олег Владимирович [1,2], Кантюков Рафаэль Рафкатович [1,2]
Trifoniv Oleg V. [1,2], Kantyukov Rafael R. [1,2]

[1] ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Россия, Санкт-Петербург
[1]LLC «GAZPROM VNIIGAZ», Russia, Saint Petersburg
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: O_Trifonov@vniigaz.gazprom.ru)

Аннотация: В статье разработана методика прогнозирования теплового режима взаимодействия подземного МГ с окружающим грунтом, эволюции его пространственного положения и напряженно-деформированного состояния. Методика основана на синтезе вычислительных методов термодинамики, механики сплошной среды, механики конструкций, вычислительной математики.

Abstract: In this work, a methodology for predicting of thermal interaction of underground gas pipeline with of the surrounding soil, the evolution of its spatial position and the stress-strain state is developed. The methodology is based on the synthesis of computational methods of thermodynamics, continuum and structural mechanics.

Ключевые слова: магистральный газопровод, опасные инженерно-геокриологические процессы, напряженно-деформированное состояние, прочность, критерий опасности, численное моделирование.

Keywords: main gas pipeline, hazardous geocryological engineering processes, stress-strain state, strength, hazard criterion, numerical simulation.

Значительное число проектируемых и строящихся в настоящее время магистральных газопроводов (МГ) находятся в районах со сложными природно-климатическими и геокриологическими условиями. Строительство и эксплуатация МГ вызывают изменения в естественном температурном режиме грунтов криолитозоны. При отрицательной температуре перекачиваемого газа возможно возникновение сезонного/прогрессирующего промерзания талых грунтов, окружающих трубопровод. Такие процессы в сочетании с притоком влаги к зоне промерзания могут приводить к пучению грунтов. При положительной температуре перекачиваемого газа происходит оттаивание мерзлого грунта вокруг трубопровода. Оттаявший грунт дает значительные осадки, величина которых зависит от начальной льдистости, типа и физических характеристик грунта. И просадки, и пучения грунтов, непосредственно окружающих трубопровод, приводят к изменению его напряженно-деформированного состояния.

При выборе трассы МГ как правило невозможно избежать участков с опасными природными проявлениями [1]. В связи с этим одним из основных аспектов обеспечения эксплуатационной безопасности объектов магистральных газопроводов является расчетное прогнозирование развития опасных геокриологических процессов вдоль трассы газопровода и их влияния на линейные сооружения МГ.

Прогнозирование влияния геокриологических процессов на объекты МГ может осу-

ществляться на основе расчетных моделей теплового и механического взаимодействия трубопровода с грунтовой средой, использующих данные о климатических, геокриологических условиях и процессах, конструктивных и технологических параметрах МГ, мониторинга его пространственного положения [1, 2] (рис. 1).

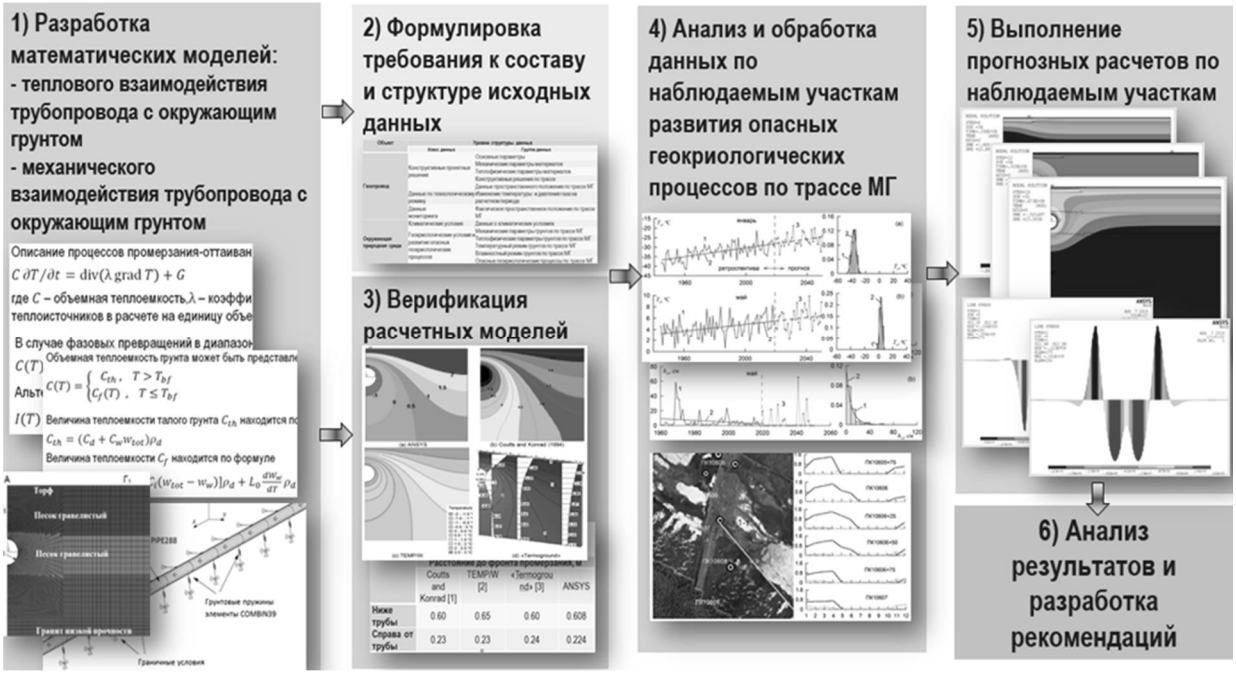


Рисунок 1 – Алгоритм решения задачи прогнозирования влияния геокриологических процессов на НДС участков магистрального газопровода

Для решения задачи теплового взаимодействия трубопровода с грунтом в условиях фазовых переходов и изменения влажностного режима грунтов в данной работе использована энтальпийная формулировка нестационарной задачи теплопроводности [3], реализованная в двумерной постановке методом конечных элементов. Граничные условия учитывают непрерывное изменение природно-климатических условий на поверхности грунта, а также изменение температурных режимов транспортировки газа [1].

Развитие просадок/пучений грунта моделировалось на основе полученных результатов эволюции температурных полей, зон промерзания/протаивания грунта под трубой с использованием характеристик просадочности и пучинистости грунтов.

Изменение во времени напряженно-деформированного состояния трубопровода моделировалось на основе пространственной балочной модели с учетом больших перемещений, деформаций и пластического поведения материала трубопровода [1, 4]. Взаимодействие трубопровода с окружающим грунтом описано с помощью элементов нелинейных связей («грунтовых пружин»), помещенных в узлах балочной модели трубопровода.

В процессе выполнения работы сформулированы требования к составу и структуре исходных данных, необходимых для выполнения расчетных исследований, разработан алгоритм расчета, осуществлена реализация расчетных моделей в программном комплексе, проведена верификация расчетных моделей на основе известных решений модельных задач. Выполнены расчеты по характерным участкам МГ «Сила Сибири», включающие прогноз эволюции просадок и анализ параметров НДС на рассматриваемом интервале времени.

В ходе численного решения задачи теплового взаимодействия трубопровода с окружающим грунтом получена история изменения температурного поля грунта вокруг трубопровода на интервале прогнозирования 30 лет с учетом сезонных изменений климатических условий, температурных трендов и изменения температуры перекачиваемого газа. В качестве иллюстрации на рис. 2 приведены распределения температуры во вмещающем трубопровод грунте для моментов времени 1-й год, 6-й месяц (а) и 30-й год 12-й месяц (б) при

расположении трубопровода на глубине 4 м.

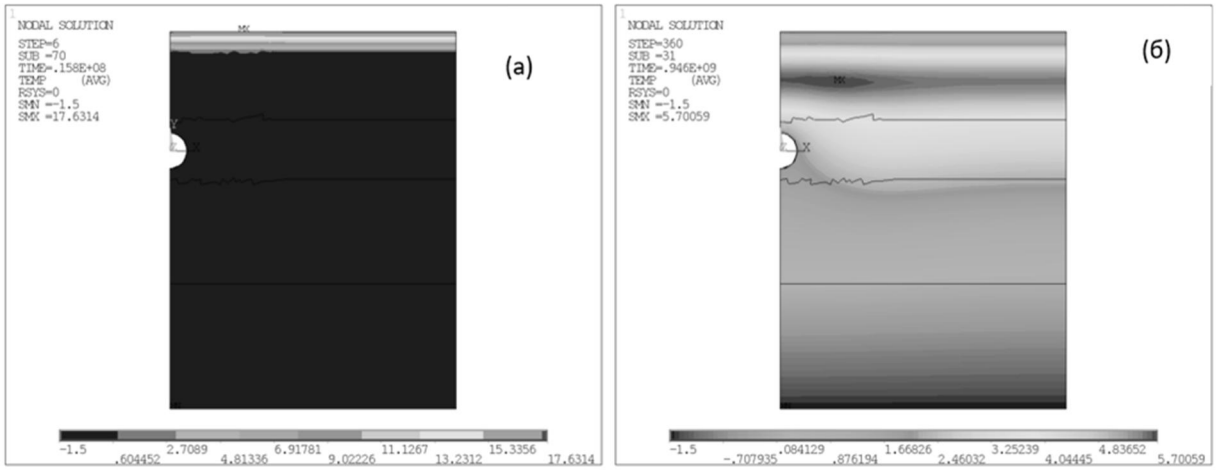


Рисунок 2 – Распределение температуры. 1-й год, 6-й месяц (а) и 30-й год 12-й месяц (б)

В результате обработки полученного массива данных построены зависимости от времени толщины слоя протаивания грунта под нижней образующей трубопровода h_{th}, м, и абсолютной величины просадки грунта под трубопроводом $|\Delta y_{th}|$, м. Просадка определялась по методике СП 25.13330.2012 [5] с применением данных по коэффициентам оттаивания и сжимаемости слоев грунта.

На рис. 3 показана эволюция глубины оттаивания грунта под трубой на расчетном периоде. Кривая 1 – для глубины заложения трубопровода 4 м, кривая 2 – для глубины 8 м.

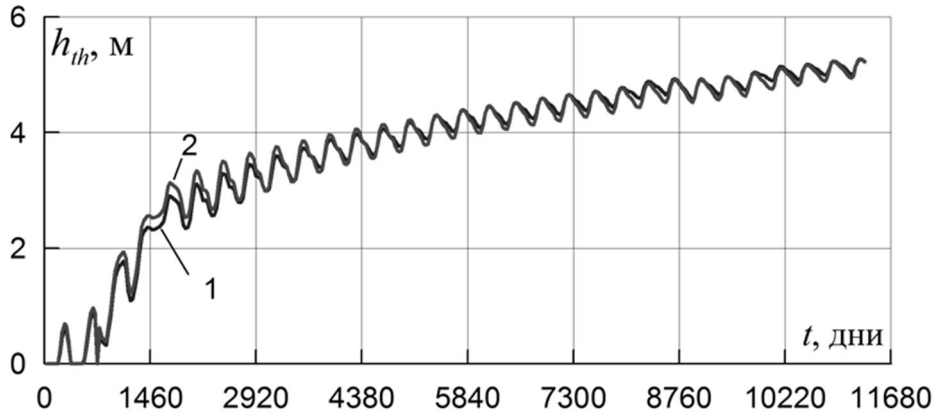


Рисунок 3 – Эволюция глубины оттаивания грунта под трубой. Кривая 1 – для глубины 4 м, кривая 2 – для глубины 8 м

По рис. 3 следует отметить сезонные колебания глубины протаивания грунта под трубой. Амплитуда колебаний в начальный период достигает 1 м при последующем снижении до 25-30 см. В связи с этим возможно ожидать развитие процессов сезонного пучения грунта, амплитуды которых могут быть оценены расчетным путем при наличии данных о пучинистости грунтов и условиях миграции влаги в промерзающем слое.

На рис. 4 показана эволюция абсолютной величины просадки грунта под трубопроводом $|\Delta y_{th}|$, м. Кривая 1 – для глубины 4 м, кривая 2 – для глубины 8 м.

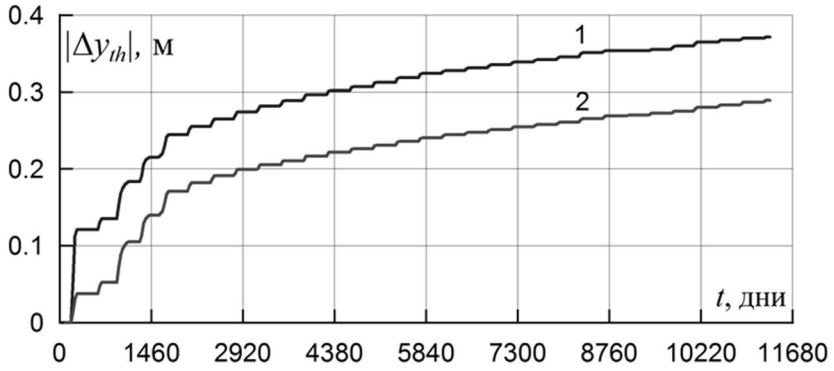


Рисунок 4 – Эволюция абсолютной величины просадки грунта под трубопроводом $|\Delta y_{th}|$,м. Кривая 1 – для глубины 4 м, кривая 2 – для глубины 8 м

На рис. 5 показана эволюция на рассматриваемом временном интервале максимальных продольных напряжений (кривая 1), минимальных продольных напряжений (кривая 2) и максимальных эквивалентных напряжений (кривая 3). Пунктирными линиями обозначены предельные значения продольных напряжений по критериям прочности свода правил СП 36.13330.2012 [6].

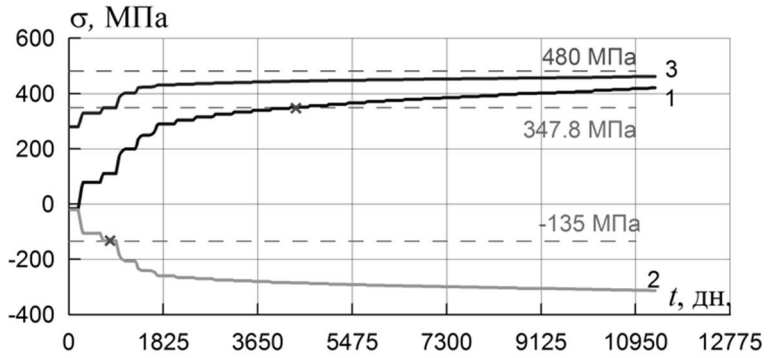


Рисунок 5 – Эволюция максимальных растягивающих (кривая 1), сжимающих (кривая 2) продольных напряжений и максимальных эквивалентных напряжений (кривая 3)

В процессе взаимодействия трубопровода с грунтовой средой происходит нарушение критериев прочности по сжимающим и растягивающим напряжениям, установленных в СП 36.13330.2012 [6]. При этом уровень продольных деформаций не является критическим с точки зрения деформационных критериев, введенных в ГОСТ Р 55989-2014 [7] для анализа интенсивных грунтовых воздействий на подземные трубопроводы.

Следует отметить, что для интенсивных грунтовых воздействий (просадки, пучения, воздействия АТР, оползни и т.д.) перед достижением критического предельного состояния трубопровод испытывает существенные неупругие деформации. Соответственно, критерии допустимых напряжений, традиционно используемые при проектировании трубопроводов, должны быть заменены критериями предельных состояний, основанными на характеристиках деформаций. С учетом этого нарушение критерия по продольным напряжениям не следует считать определяющим при оценке НДС трубопровода на участке развития просадок.

Выводы

Разработана комплексная методика анализа и прогнозирования напряженно-деформированного состояния участков МГ «Сила Сибири» на участках развития опасных геокриологических процессов, включающая модели теплового и механического взаимодействия трубопровода с грунтовой средой при изменении температурных режимов эксплуатации и климатических условий.

Результаты расчета участков МГ с характерными свойствами показывают, что в процессе эксплуатации МГ при заданных температурах перекачки газа на расчетном интервале может происходить растепление грунта и развитие просадок. Полученные результаты позволяют ранжировать участки по прогнозируемой опасности и разработать мероприятия, снижающие воздействие опасных геокриологических процессов на объекты МГ.

Список литературы

1. Трифонов О.В., Силкин В.М., Черний В.П., Морин И.Ю., Володин П.А., Ефимов В.М., Большев К.Н. Прогнозирование напряженно-деформированного состояния магистрального газопровода "Сила Сибири" на участках развития опасных инженерно-геокриологических процессов на основе математических моделей // Вести газовой науки. 2020 № 2 (44) – С. 34-50

2. Трифонов О.В., Морин И.Ю., Володин П.А., Рассохина А.В. Принципы классификации участков по прогнозируемой опасности для магистральных газопроводов, расположенных в зонах развития опасных инженерно-геокриологических процессов // Наука и техника в газовой промышленности. 2021 №2 – С.82 – 98.

3. Основы геокриологии. Ч.5. Инженерная геокриология/ Под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 1999 – 526 с.

4. Trifonov O.V., Cherniy V.P. Fault impact on buried steel pipelines: modeling and analysis. In: Advances in Engineering Research. Vol. 7. Ed. Victoria M. Petrova. Nova Publishers: New York, 2013. 277 p.

5. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04–88. М.: Минрегион России. 150 с.

6. СП 36.13330.2012 «СНиП 2.05.06-85*. Магистральные трубопроводы».

7. ГОСТ Р 55989-2014. Магистральные газопроводы. Нормы проектирования на давление свыше 10 МПа. Основные требования.

УДК 691.11

ОБЗОР СВОЙСТВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ РАЗЛИЧНЫХ ОТХОДОВ
OVERVIEW OF THE PROPERTIES OF BUILDING MATERIALS MADE WITH THE USE OF VARIOUS WASTES

Прокопьев Анатолий Алексеевич [1,2], Салимгараева Регина Викторовна [1,2]
Prokopiev Anatoly A. [1,2], Salimgaraeva Regina V.[1,2]

[1] Казанский национальный исследовательский технологический университет, Россия, Казань
[1] Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian engineering academy, Russia, Moscow
(e-mail: prokopev.anatolij@mail.ru, reginka.danilova@mail.ru)

Аннотация: В данной статье рассматривается применение сельскохозяйственных и пластиковых отходов в строительстве, исследуются характеристики полученного компонента зависят от пяти ключевых параметров: прочности на сжатие, растяжение, изгиб, плотности и теплопроводности.

Abstract: This article discusses the use of agricultural and plastic waste in construction, examines the characteristics of the resulting component depend on five key parameters: compressive strength, tensile strength, bending, density and thermal conductivity.

Ключевые слова: бетон, цемент, кирпич, строительные отходы.

Keywords: concrete, cement, brick, construction waste.

Производство традиционных строительных материалов, таких как бетонные блоки, цементно-стружечные плиты и кирпич, внесло значительный вклад в высокий уровень воздействия строительной отрасли на окружающую среду. Более того, во всем мире наблюдается стремление перейти от линейной модели "бери-используй-утилизируй" к модели экономики замкнутого цикла, которая включает в себя переработку и повторное использование материалов [1].

Исследования показывают, что прочность на сжатие, растяжение и изгиб может быть незначительно увеличена за счет увеличения содержания отходов; однако это происходит только в узком диапазоне, после чего увеличение содержания отходов снижает механическую прочность. Такое снижение прочности можно объяснить более слабым сцеплением, возникающим в результате повышенного содержания отходов. Это также говорит о том, что компоненты могут не извлекать прямой выгоды из механических свойств отходов. Несмотря на снижение механической прочности, было замечено, что компоненты из отработанных материалов можно использовать для изготовления неструктурных элементов, тем самым снижая количество и стоимость используемых новых материалов [2, 3].

Применение этих отходов в строительстве открывает путь к снижению воздействия строительства на окружающую среду, позволяет избежать использования свалок для утилизации отходов и снизить затраты на строительство. Определяющими факторами в этом случае являются прочностные свойства материалов.

1. Прочность на сжатие

Прочность материала на сжатие определяется как способность материала выдерживать нагрузки, стремящиеся сдвинуть его вместе [4]. Прочность материала считается ключевым параметром для целей строительства. Например, кирпичи в основании стены будут подвергаться сжатию, и их способность выдерживать вес стены определяется их прочно-

стью на сжатие. Важно понимать прочность на сжатие полученной смеси из включений агроотходов, поскольку это будет указывать на ее пригодность в качестве строительного материала. Несколько ученых исследовали влияние использования различных видов агроотходов в строительстве на прочность при сжатии.

Khedari и др. [5] подготовили 18 образцов цементстабилизированной почвы с различными соотношениями смеси почвы, цемента, песка и кокосовых волокон. Они заметили, что добавление волокон снижает прочность на сжатие. Прочность на сжатие снизилась до 82% при соотношении компонентов смеси 4,5:1,5:2:0,8 соответственно.

Bentchikou и др. [6] использовали целлюлозные волокна в качестве замены цемента для легкого цементного композита. Содержание целлюлозных волокон в композите варьировалось от 0% до 16% по массе цемента. Они сообщают, что прочность на сжатие снижается при увеличении содержания волокон из-за пустот, которые ослабляют материал.

2. Прочность на растяжение

Предел прочности материала на растяжение определяется как способность материала выдерживать растяжение или вытягивание при растяжении [4]. Это свойство является мерой сопротивления растяжению и поэтому имеет большое значение для материалов, используемых в строительстве, особенно для тех, которые требуются в качестве конструктивных элементов. Предел прочности при растяжении предсказывает, насколько хорошо будет вести себя строительный элемент при воздействии на него внешних сил, таких как ветер и гравитация.

Taallah и др. [7] дополнительно исследовали влияние волокон финиковой пальмы на почвенные блоки, стабилизированные цементом, чтобы наблюдать изменения в прочности на растяжение. Сообщалось, что увеличение содержания волокон приводило к снижению прочности при растяжении. Наибольшее зарегистрированное снижение прочности при растяжении наблюдалось в образце с содержанием волокон 0,2%. Снижение прочности при растяжении составило 14%, 18,5% и 23,5% для образцов, содержащих 8%, 6,5%, 5% цемента и 0,2% волокон. Снижение предела прочности при растяжении было связано со слабой прочностью и распределением волокон, что могло привести к образованию скоплений, увеличивающих пористость образца и, таким образом, снижающих прочность.

3. Прочность на изгиб

Прежде чем новый материал можно будет использовать в строительстве, необходимо определить прочность на изгиб, чтобы убедиться в его пригодности в качестве строительного материала. Прочность материала на изгиб определяется как способность материала выдерживать определенное усилие без разрыва, ломки или необратимой деформации [4]. Прочность на изгиб будет такой же, как и прочность на растяжение, если материал однородный; однако прочность на изгиб является важным параметром, который необходимо учитывать при интеграции отходов в строительные материалы. Несмотря на то, что в большинстве исследований сообщается о прочности при сжатии и растяжении, в нескольких исследованиях сообщалось о прочности при изгибе.

Sujatha и др. [8] заметили, что использование волокна увеличивает прочность на изгиб. Наибольшее увеличение прочности при изгибе наблюдалось у образца джутового волокна - примерно на 36%. Результаты показывают, что прочность на изгиб увеличивается на 135-156% через 28 дней по сравнению с контрольным образцом. В ходе исследования также было замечено, что длина волокон положительно влияет на прочность при изгибе. Данные показывают, что влияние длины волокон на прочность при изгибе более заметно в образцах с меньшим содержанием волокон.

4. Плотность материалов

Плотность материала определяется как количество массы на единицу объема. Это степень компактности данного материала. Материалы, частицы которых более плотно упакованы, будут иметь более высокую плотность по сравнению с материалами с разреженной упаковкой частиц. Материалы с низкой плотностью особенно подходят для определенных типов строительства, таких как легкий плавучий бетон для строительства жилищ на воде

[9].

Kammoun и др. [10] протестировали образцы, которые были изготовлены из волокна, обработанного горячей водой, с содержанием и длиной в диапазоне от 0 кг/м^3 до 15 кг/м^3 и от 2 см до 5 см. Результаты показывают, что, несмотря на то, что содержание волокон снижает плотность, длина волокна не оказывает никакого влияния.

5. Теплопроводность

Теплопроводность - еще одно важное свойство материала, которое следует учитывать при разработке экологически чистых строительных материалов. Это указывает на способность материала проводить тепло [11]. Это свойство особенно важно, поскольку материалы с низкой теплопроводностью улучшают тепловой комфорт внутри зданий.

Kazmi и др. [12] сообщили, что включение золы жмыха сахарного тростника и золы рисовой шелухи снижает теплопроводность кирпичей. Теплопроводность контрольного образца составила 0,52 Вт/мК. В образцах, содержащих 5%, 10% и 15% зольности жмыха сахарного тростника, наблюдалось снижение теплопроводности на 14%, 19% и 31%, соответственно, и на 6%, 9%, 29%, соответственно, для образцов золы рисовой шелухи. Исследование также показало линейную зависимость между теплопроводностью и весом кирпича на единицу площади.

Кроме того, Ozturk и др. [13] заметили, что теплопроводность образцов варьировалась от 0,410 Вт/мК до 0,764 Вт/мК. Наименьшее значение теплопроводности было у образца с наибольшим содержанием чайных отходов, и наоборот. Эта тенденция соответствовала тому, о чем сообщалось в других исследованиях. Исследование также продемонстрировало взаимосвязь между теплопроводностью, пористостью и насыпной плотностью глиняных кирпичей. По мере увеличения кажущейся пористости теплопроводность уменьшается, тогда как при увеличении насыпной плотности теплопроводность также увеличивается. Следовательно, введение отходов чайной промышленности снижает теплопроводность.

Выводы

Для оценки пригодности полученного материала были использованы пять ключевых параметров: прочность на сжатие, растяжение, изгиб, плотность и теплопроводность. В целом, было замечено, что существует узкий диапазон для повышения прочности при сжатии, растяжении и изгибе за счет увеличения количества отходов, поскольку за пределами этого диапазона прочность начинает снижаться с увеличением содержания отходов. Такое поведение говорит о том, что добавление отходов влияет на связующую способность компонента, независимо от того, на цементной или почвенной основе. Это указывает на то, что полученный строительный материал непосредственно не выигрывает от механических свойств используемых отходов. Несмотря на снижение механических свойств, было замечено, что компоненты из отработанных материалов можно использовать для изготовления неструктурных элементов, тем самым снижая количество и стоимость используемых новых материалов.

Список литературы

1. Bilal Messahel, Nwakaego Onyenokporo, Emefa Takyie, Arash Beizaee & Muyiwa. Upcycling agricultural and plastic waste for sustainable construction: a review // Environmental Technology Reviews. 2023. Volume 12, no.1, pp. 37-59.

2. Прокопьев А.А., Саерова К.В., Сафин Р.Р. Древесина как наполнитель для композиционных материалов, способы ее предварительной обработки // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2022. № 62. С. 321-324.

3. Прокопьев А.А. Биоразлагаемые пластмассы на основе ацетата целлюлозы // Инженерные кадры - будущее инновационной экономики России. 2022. № 1. С. 214-217.

4. Meriam JL, Kraige LG, Bolton JN. Engineering mechanics: dynamics // Hoboken: John Wiley & Sons; 2020. pp. 720-723.

5. Khedari J, Watsanasathaporn P, Hirunlabh J. Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity // Cem Concr Compos. 2005.Volume 27, pp. 111–116.

6. Bentchikou M, Guidoum A, Scrivener K, et al. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix // Constr Build Mater. 2012. No. 34, pp. 451–456.

7. Taallah B, Guettala A, Guettala S, et al. Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers // Constr Build Mater. 2014. No.59. pp. 161–168.

8. Sujatha E.R., Selsia Devi S. Reinforced soil blocks: viable option for low cost building units // Constr Build Mater. 2018. No.189. pp.1124–1133.

9. Shah SN, Mo KH, Yap SP, et al. Lightweight foamed concrete as a promising avenue for incorporating waste materials: a review // Resour Conserv Recycl.2021. No. 164. pp. 103-105.

10. Kammoun Z, Trabelsi A. Development of lightweight concrete using prickly pear fibres // Constr Build Mater. 2019. No.210. pp. 269–277.

11. Bentchikou M, Guidoum A, Scrivener K, et al. Effect of recycled cellulose fibres on the properties of lightweight cement composite matrix // Constr Build Mater.2012. No.34. pp. 451–456.

12. Kazmi SMS, Munir MJ, Patnaikuni I, et al. Thermal performance enhancement of eco friendly bricks incorporating agro-wastes // Energy Build. 2018. No. 158. pp. 1117–1129.

13. Ozturk S, Sutcu M, Erdogmus E, et al. Influence of tea waste concentration in the physical, mechanical and thermal properties of brick clay mixtures // Constr Build Mater. 2019. No. 217. pp. 592–599.

УДК 620.179

О ВОЗМОЖНОСТИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЗОН МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
ON THE POSSIBILITY OF QUANTITATIVE ULTRASONIC CONTROL OF NEAR-SURFACE ZONES OF METAL PRODUCTS

Смотрова Светлана Александровна[1,2], Глухих Виктор Константинович[1,2], Манегин Сергей Юрьевич[1], Будадин Олег Николаевич[1,2], Федотов Михаил Юрьевич[1,2], Смотров Андрей Васильевич[3], Кускова Александра Николаевна[3], Мантрова Юлия Викторовна[3], Юрьев Александр Юрьевич[3]
Smotrova Svetlana A.[1,2], Glukhikh Viktor K.[1,2], Manegin Sergey Yu.[1], Budadin Oleg N.[1,2], Fedotov Mikhail Yu.[1,2], Smotrov Andrey V.[3], Kuskova Aleksandra N.[3], Mantrova Julia V.[3], Yuriev Alexander Yu.[3]

[1]Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии имени И.П. Бардина, Россия, Москва
[1]I.P. Bardin Central Research Institute of Ferrous Metallurgy, Russia, Moscow
(e-mail: s.smotrova@chermet.net)
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
[3]Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского, Россия, Москва
[3]Central Aerohydrodynamic Institute named after professor N.E. Zhukovsky, Russia, Moscow region, Zhukovsky
(e-mail: andrey.smotrov@tsagi.ru)

Аннотация: Рассмотрены возможности лазерно-ультразвукового контроля качества приповерхностных зон металлических изделий, приведены результаты экспериментального обнаружения несплошностей поверхности на примере металлических образцов.

Abstract: The ultrasonic quality control possibilities of metal products near-surface zones are considered, the results of surface discontinuities experimental detection on the metal samples example are presented.

Ключевые слова: неразрушающий контроль металлических образцов, «мертвая» зона, лазерно-ультразвуковой метод.

Keywords: non-destructive testing of metal samples, «dead» zone, laser-ultrasonic method.

Ультразвуковой контроль (УЗК) является одним из наиболее распространенных методов оперативного неразрушающего контроля металлических изделий, который позволяет обнаруживать непровары, трещины, поры, различные включения, расслоения и иные внутренние несплошности [1-3]. Для контроля основного металла и сварных соединений из-за наличия только одностороннего доступа к объекту контроля (ОК) чаще всего используется эхо-импульсный метод УЗК с использованием контактных пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) [4, 5]. Однако этот подход практически не позволяет выявить приповерхностные дефекты, например, волосовины, рванины, плены и др., оценить их характер, форму и месторасположение в ОК. Основная причина – наличие так называемой «мертвой» зоны, иначе называемой минимальной глубиной прозвучивания, т.е. участка ОК непосредственно под преобразователем, где выявление несплошностей (дефектов) невозможно.

Известно [6], что при использовании прямого совмещенного ПЭП «мертвая» зона обусловлена невозможностью приема измерительных эхоимпульсов, т.е. сигналов от расположенных в структуре ОК различных отражателей (несплошностей), в то время, когда

излучается зондирующий импульс (испытательный возбуждающий сигнал), а также последующих паразитных эхо-сигналов – реверберационных помех, возникающих из-за собственных колебаний пьезопластины ПЭП после возбуждения. Величина «мертвой» зоны в этом случае определяется по формуле (1) [6]:

$$h = \frac{c\cdot(\tau+\tau_p)}{2}, \quad (1)$$

где c – скорость звука в ОК, τ – длительность зондирующего импульса (по огибающей), τ_p – длительность реверберационных помех, которая определяется свойствами ПЭП (характеристиками его пьезопластины и качеством наклеенного на нее демпфера).

Обычно длительность зондирующего импульса определяется количеством периодов колебаний до их затухания (рисунок 1). При одинаковом количестве периодов n зондирующих импульсов у различных УЗК приборов длительность каждого периода уменьшается с увеличением частоты f, т.к. $\tau = n/f$, поэтому с ростом частоты «мертвая» зона уменьшается. Обычно ее величина составляет 5÷10 мм при частоте зондирующего импульса 2,5÷5 МГц [7]. Глубина «мертвой» зоны наклонного ПЭП определяется по формуле (2):

$$h' = h \cdot \cos(\alpha), \quad (2)$$

где α – угол наклона призмы ПЭП.

Соответственно, для уменьшения «мертвой» зоны наклонного ПЭП необходимо увеличение угла падения падающего ультразвукового пучка (угла входа) α.

Для уменьшения «мертвой» зоны простого совмещенного ПЭП, например, устанавливают линию задержки – съемный элемент, из акустически прозрачного материала [8]. Основное ее назначение заключается в повышении разрешающей способности вблизи поверхности ОК за счет гашения вибрации элементов ПЭП еще до момента регистрации отраженного сигнала за счет многократных отражений эхо-сигналов от конца линии задержки.

При контроле раздельно-совмещенным ПЭП «мертвая» зона возникает в результате прохождения зондирующего импульса от излучающего к приемному пьезоэлементу. Такие ПЭП имеют «мертвую» зону 0,5÷1,0 мм, что значительно меньше, чем у совмещенных.

Обычно «мертвую» зону ПЭП оценивают с помощью стандартного образца СО-2 – короткой полосы (210×59×30 мм) из малоуглеродистой стали с мелкозернистой структурой, по боковым сторонам которого просверлены цилиндрические отверстия ∅2 мм на разных расстояниях от верхней и нижней поверхности (нормированные дефекты): 8 мм (для проверки прямых ПЭП) и 3 мм (для проверки наклонных ПЭП) соответственно [5, 9]. Если дефектоскопист может определить отверстие в СО-2, считают, что аппаратура прошла проверку, подтверждена ее работоспособность, и можно выполнять контроль.

В нормативно-технических документах линейный размер «мертвой» зоны, как правило, не устанавливается. Например, в [10], для металлических поковок, сортового проката, отливок, листов и пр., она назначается по результатам определения в СО-2 минимального расстояния от поверхности ввода ПЭП до бокового отверстия, если эхо-сигнал от него разделяется с зондирующим импульсом на уровне не менее 6 дБ. Величина изменения амплитуды сигнала в децибелах равна отношению сигнала на входе в ОК A_1 к амплитуде сигнала, полученного после отражения от дефекта или донной поверхности ОК A_2 согласно формуле (3):

$$dB = 20 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_2}\right), \quad (3)$$

То есть значение 6 дБ соответствует уменьшению амплитуды эхо-сигнала в ≈2 раза.

В [11] отсутствует конкретная последовательность действий для контроля «мертвой» зоны, содержится только перечень параметров ПЭП, подлежащих проверке, в число которых входит и «мертвая» зона. В стандарте указывается, что проверка осуществляется при помощи стандартных образцов, требования к которым, так же, как и методика проверки

должны быть указаны в технической документации на контроль, утвержденной в установленном порядке. Следовательно, на сегодня разработка методики определения «мертвой» зоны – прерогатива – отраслевых или ведомственных метрологических служб. Обычно под «соответствием параметров ПЭП» понимается, что «мертвая» зона не превышает 3 мм для наклонных и раздельно-совмещенных ПЭП, 8 мм – для прямых [11].

Указанные выше факты свидетельствуют, что стандартным эхо-импульсным методом УЗК из-за наличия «мертвой» зоны не представляется возможным обнаружить поверхностные и приповерхностные несплошности металлических изделий. Как правило, для одностороннего контроля поверхности ОК в дополнение к УЗК применяют другие методы неразрушающего контроля (вихретоковый, магнитопорошковый, капиллярный и пр.). Хотя из имеющихся в открытом доступе публикаций известно, что существуют технические приемы уменьшения «мертвой» зоны ПЭП, например, [8, 12-13].

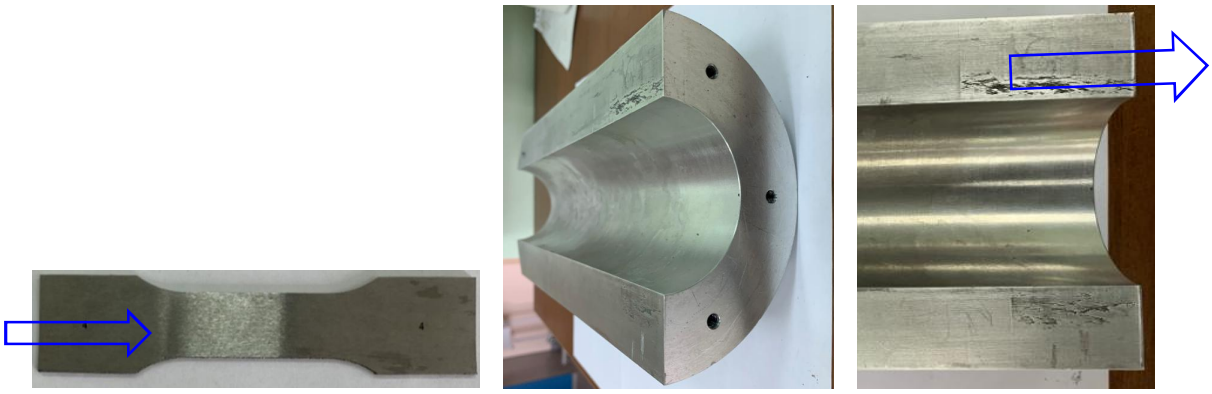
Эффективным инструментом для выполнения количественного УЗК поверхностных и приповерхностных зон металлических изделий является лазерно-ультразвуковой метод контроля (Л-УЗК) [14]. Главным его преимуществом является малая длительность зондирующего импульса (τ = 0,05÷0,10 мкс), обусловленная способом организации зондирующего воздействия – применение лазерного излучения, вызывающего термоупругий эффект на поверхности ОК. Длительность испытательного возбуждающего сигнала ПЭП, например, частотой 2,25 МГц, равняется 0,58 мкс. Короткий зондирующий импульс обеспечивает высокое пространственное разрешение (0,2 мм, получено авторами в экспериментах с металлическими ОК) и практическое отсутствие «мертвой» зоны [15].

Иллюстрациями практического применения метода Л-УЗК для количественной оценки дефектов поверхностных и приповерхностных зон металлических изделий являются приведенные ниже результаты экспериментальных исследований.

ОК-1 – плоский металлический образец (рисунок 1, *а*), подготовленный для испытаний. Он был изготовлен с помощью аддитивной технологии селективного лазерного сплавления металлических порошков (Selective Laser Melting). Его толщина 2 мм, на лицевой стороне в процессе изготовления были сформированы (не «осаждены» несколько слоев материала) маркерные цифры «4» размером 1×2 мм. Других видимых особенностей ОК-1 не имеет.

ОК-2 – металлический полуцилиндр размерами: длина L = 310 мм, внешний радиус R = 64 мм, толщина b = 30 мм (рисунок 1, *б* и *в*). В торцевой части ОК-2 выполнены три отверстия, а на секущей поверхности он имеет визуально обнаруживаемые дефекты.

Л-УЗК проводился в ФАУ «ЦАГИ» при помощи лазерно-ультразвуковой управляемой измерительной системы с широкополосным преобразователем ПЛУ-6П-02 в режиме «ручного» сканирования.



а *б* *в*

Рисунок 1 – Общий вид металлических образцов – объектов контроля и направления сканирования их поверхности: *а* – ОК-1, маркированный цифрой «4», синей стрелкой показаны зона и направление контроля; *б* – торцевая часть ОК-2; *в* – ОК-2, синей стрелкой показаны зона и направление контроля

Результаты контроля части лицевой поверхности ОК-1 представлены на рисунке 2. Хотя диаметр зондирующего ультразвукового импульса широкополосного преобразователя ПЛУ-6П-02 составляет 3 мм, что меньше маркерной цифры «4», ее местоположение все же удалось обнаружить. Эта поверхностная несплошность (глубиной, не превышающей 0,11 мм) видна не только на поле с разверткой типа А лицевой поверхности ОК-1, но и ее акустическая тень заметна на донной поверхности ОК-1, где наблюдается уменьшение амплитуды эхо-сигнала.

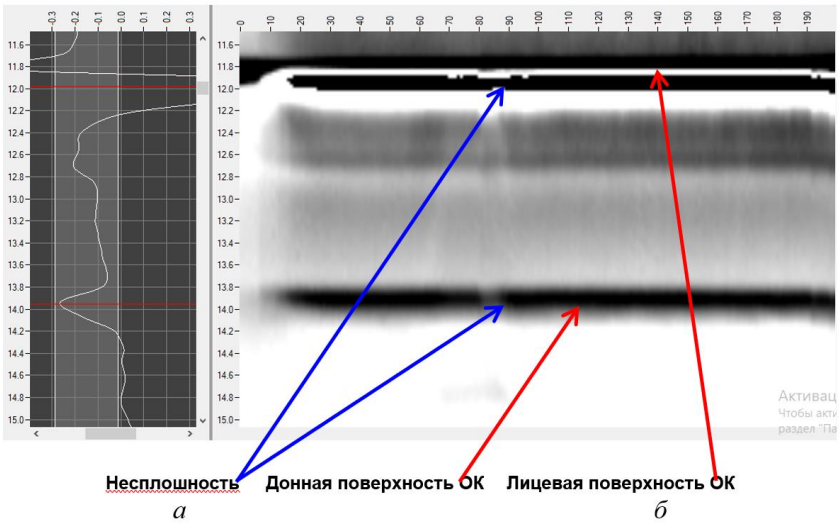


Рисунок 2 – Часть окна программной обработки сигналов сканирования с визуализацией несплошности на лицевой поверхности ОК-1, где: а – поле с разверткой типа А (А-скан), красными маркерами отмечены поверхностный и донный сигналы; б – поле с разверткой типа В (В-скан), красными стрелками обозначены границы ОК-1, синей стрелкой обозначена зарегистрированная несплошность

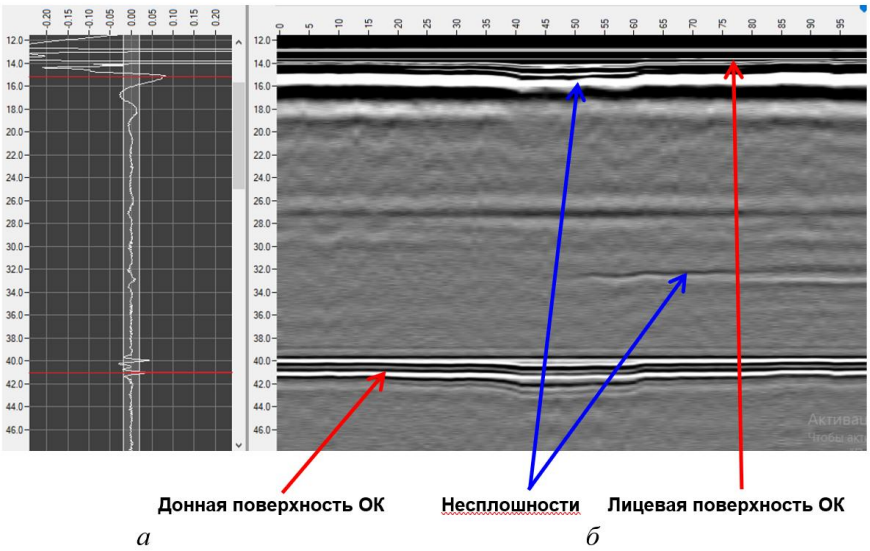


Рисунок 3 – Часть окна программной обработки сигналов сканирования с визуализацией несплошности на секущей поверхности ОК-2, где: а – поле с разверткой типа А (А-скан), красными маркерами отмечены поверхностный и донный сигналы; б – поле с разверткой типа В (В-скан), красными стрелками обозначены границы ОК-2, синими стрелками обозначены зарегистрированные несплошности

Рисунок 3 иллюстрирует результаты контроля части секущей ОК-2. Измерительным контролем подтверждено наличие визуально обнаруживаемой поверхностной несплошности (возможно дефект механической обработки типа: задир, дробление, повышенная шероховатость и др.) глубиной до 0,26 мм. Ее присутствие подтверждается акустической тенью на донной поверхности ОК-2. В добавок к этому обнаружено присутствие стенки одного из отверстий в донной части ОК-2. Эта внутренняя несплошность возникает на поле с разверткой типа А, когда в процессе сканирования широкополосный преобразователь ПЛУ-6П-02 достигает торца отверстия.

Выводы

Представленные результаты показали, что с помощью метода Л-УЗК можно надежно зафиксировать наличие несплошностей металлических изделий как на поверхности, так и внутри, а также оценить глубину их залегания.

Список литературы

1. ГОСТ 12503-75. Сталь. Методы ультразвукового контроля. Общие требования. – М.: Стандартинформ, 2009. 4 с.

2. ГОСТ 22727-88. Прокат листовой. Методы ультразвукового контроля. – М.: Издательство стандартов, 1988. 15 с.

3. ГОСТ 24507-80. Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Стандартинформ, 2010. 10 с.

4. Крауткремер Й., Крауткремер Г. Ультразвуковой контроль материалов. Справочник / Пер. с нем. Е.К. Бухмана и Л.С. Зенковой под ред. В.Н. Волченко. – М.: Металлургия, 1991. 752 с.

5. Методические рекомендации о порядке проведения ультразвукового контроля металлических конструкций технических устройств, зданий и сооружений. Сер. 32. Вып. 11 / Колл. авт. – М.: ОАО «НТЦ по безопасности в промышленности», 2015. 106 с.

6. Бояркин Е.В., Кочетков А.С., Бехер С.А. Физические основы ультразвукового контроля. Руководство по подготовке к экзамену: Учеб. пособ. – Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2018. 38 с.

7. Ермолов И.Н., Ермолов М.И. Ультразвуковой контроль: Учеб. для спец. 1-го и 2-го уров. квалиф. – М.: Издательский дом «Азимут», 2006. 208 с.

8. Способ уменьшения мертвой зоны при контроле изделий ультразвуковым эхо-импульсным методом: пат. № RU2621890C1, Россия, G01N 29/00 / Павлов А.В., Шуткин С.Г. – № 2016113812; Заявл. 11.04.2016; Опубл. 07.06.2017, Бюл. 16.

9. Зацепин А.Ф. Акустический контроль: учеб. пособ. / Под ред. чл.-кор. РАН, проф. В.Е. Щербинина. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. С. 167-171.

10. ГОСТ Р 50.05.05-2018. Система оценки соответствия в области использования атомной энергии. Оценка соответствия в форме контроля. Унифицированные методики. Ультразвуковой контроль основных материалов (полуфабрикатов). – М.: Стандартинформ, 2018. 32 с.

11. ГОСТ 14782-86. Контроль неразрушающий. Соединения сварные. Методы ультразвуковые. – М.: Стандартинформ, 2005. 27 с.

12. Способ уменьшения мертвой зоны в ультразвуковых эхо-дефектоскопах: авт.свид. № 148949, СССР, Класс 42_k, 46_{06} / Шрайбер Д.С., Голодаев В.Г. – № 739002/25; Заявл. 21.07.1961; Опубл. 20.06.1962, Бюл. 14.

13. Способ ультразвукового контроля поверхностных и подповерхностных дефектов металлопродукции и устройство для его осуществления: пат. № RU2644438C1, Россия, G01N 29/04 / Кашин А.М. – № 2016149534; Заявл. 05.02.2016; Опубл. 12.02.2018, Бюл. 5.

14. Karabutov A.A. CLUE of Aerospace Materials and Parts. [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: https://www.ndt.net/article/ndtp2013/papers/slides3.pdf.

15. Жаринов А.Н., Карабутов А.А., Миронова Е.А. и др. Лазерно-ультразвуковое исследование остаточных напряжений в трубах из аустенитной стали / Акустический журнал, 2019. Т. 65. № 3. С. 372-381.

УДК 001.894

АЛГОРИТМ ФОРМИРОВАНИЯ ПАТЕНТОСПОСОБНОГО РЕШЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ ИЗОБРЕТАТЕЛЕЙ
ALGORITHM FOR THE FORMATION OF A PATENTABLE SOLUTION IN CONSTRUCTION FOR NOVICE INVENTORS

Фомин Никита Игоревич
Fomin Nikita Igorevich

Уральский федеральный университет, Россия, Екатеринбург
Ural Federal University, Russia, Yekaterinburg
(e-mail: ni.fomin@urfu.ru)

Аннотация: Для методического обеспечения изобретательской деятельности в строительстве предложен алгоритм формирования патентоспособного решения для начинающих изобретателей.

Abstract: For methodological support of inventive activity in construction, the algorithm for the formation of a patentable solution for novice inventors is proposed.

Ключевые слова: изобретательство в строительстве, алгоритм, патентоспособное решение.

Keywords: invention in construction, algorithm, patentable solution.

В настоящее время сформировался тренд к снижению объема запатентованных технических решений в области строительства. Это происходит, несмотря на объективную необходимость наращивания технологического суверенитета во всех отраслях отечественной экономики. Согласно данным из статистического отчета Роспатента за 2022 год [1], количество полученных патентов РФ на изобретения и полезные модели по разделу «*E*» – «Строительство и горное дело» в Международной патентной классификации постоянно снижается, начиная с 2019 года, см. табл. 1.

Таблица 1 – Динамика выдачи патентов РФ по разделу *E* – «Строительство и горное дело»

Количество патентов	Годы					
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
на изобретения, шт.	2087	2241	1888	1750	1420	1406
на полезные модели, шт.	1058	1107	919	763	739	нет данных

Снижение изобретательской активности в строительстве обусловлено различными факторами, среди которых необходимо отметить недостаточную методическую подготовленность высококвалифицированных специалистов отрасли, обладающих потенциалом инновационной деятельности.

В результате анализа спектра работ по отраслевому изобретательству, опубликованных за последние 15 лет по различным областям техники [2]: агроинженерия (Кравченко и др., 2016); (Шило и др., 2017); архитектура (Саркисов, 2022); атомная энергетика (Попов, Ташлыков, 2021); конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств (Харченко и др., 2018); (Шевченко, 2015); лесоинженерное дело (Глебов, 2017); наукоемкие технологии (Деулин, 2023); (Соколов, 2010); пищевая инженерия (Алексеев, Леу, 2020); строительство (Абовский, 2011); (Байбурин, Кочарин, 2020); (Фомин, Лысова, 2020); технология геологической разведки (Нескоромных, Рожков, 2013); технология машиностроения (Кане, 2018); (Пашкевич и др. 2005); (Ревенков, Резчикова, 2017); (Царенко, 2019);

транспортные машины (Бакатин, 2013); упаковочное производство (Шипинский, 2016); экономика (Ефимов, 2011); электротехнологии (Зуев, 2006), было установлено следующее:

1) указанные авторы предлагают достаточно обширный арсенал изобретательских методик и приемов для решений отраслевых изобретательских задач, наиболее распространенными из которых являются: теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) [3], морфологический анализ [4], мозговой штурм [5];

2) в указанных пособиях не предложен наглядный алгоритм, позволяющий начинающему изобретателю (специалисту-практику) разработать патентоспособное решение при решении актуальных производственных задач, в частности, в строительстве.

В Институте Строительства и Архитектуры Уральского федерального университета (УрФУ) реализуются отдельные дисциплины, посвященные отраслевому изобретательству, подготовлен соответствующий учебник [6]. Наш образовательный опыт показал, что для практической возможности разработки патентоспособных решений в профессиональной деятельности студент должен овладеть и уметь продемонстрировать на практике:

– приемы преодоления психологической инерции в процессе анализа и синтеза решения отраслевых изобретательских задач;

– методики поиска аналогов и прототипов для решения изобретательской задачи;

– умение оформить заявку на выдачу патента на изобретение и полезную модель.

Вместе с образовательными подходами, которые уже реализуются в университетах, необходимо использовать адаптированные методические приемы, позволяющие работникам строительных организаций, имеющих мотивацию к разработке новых патентоспособных решений (потенциал инновационной деятельности), заниматься изобретательством.

Для этого нами разработан алгоритм дивергентного (эволюционного) формирования патентоспособного решения, реализующий улучшения известных решений на основе выявления и устранения в них технического недостатка. Алгоритм, составленный с использованием графических элементов наглядного языка Дракон [7], представлен на рис. 1.

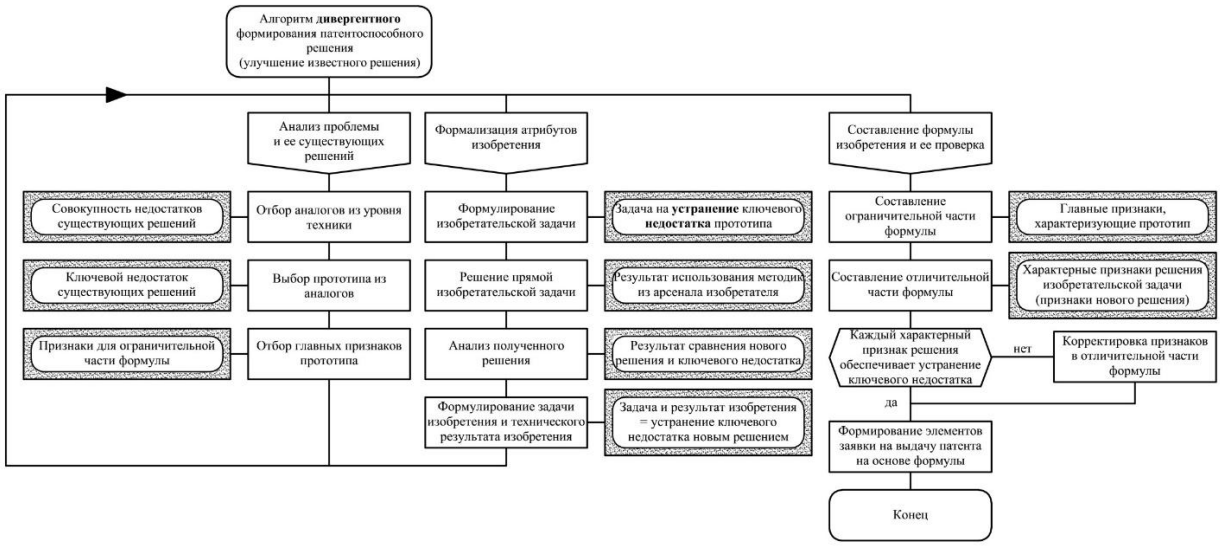


Рисунок 1 – Алгоритм дивергентного (эволюционного) формирования патентоспособного решения в строительстве

Как видно из алгоритма, разработка нового патентоспособного решения происходит в результате выявления изобретателем необходимости устранения недостатков в существующих решениях. Если решения не имеют технических недостатков, то оснований для запуска процессов отраслевого изобретательства, как правило, не имеется. Устранение выявленного недостатка – это задача изобретения или полезной модели, в зависимости от области разработок. Процесс решения изобретательской задачи в алгоритме не детализирован, поскольку описанию содержаний конкретных изобретательских методик посвящено значительное количество литературы, например, представленной в работе [2].

Алгоритм предусматривает также проверку изобретателем необходимости всех новых признаков, которые содержатся улучшенном техническом решении, предложенном им для устранения выявленного недостатка. Для начинающего изобретателя такая проверка обеспечит отсутствие избыточных новых признаков, которые были предложены «для запаса», без учета достижения заявленного технического результата.

В заключение статьи следует отметить, что предложенный алгоритм может быть одним из элементов методического обеспечения процессов масштабной инновационной деятельности в отраслевых предприятиях, необходимой для обеспечения технологического суверенитета отечественного строительства.

Выводы

В результате выполненного исследования выявлено снижение изобретательской активности в строительстве, вызванное недостаточной методической подготовленностью высококвалифицированных специалистов-практиков, обладающих потенциалом инновационной деятельности. Предложен наглядный алгоритм дивергентного (эволюционного) формирования патентоспособного решения для начинающих изобретателей (специалистов-практиков). Алгоритм позволяет начинающим изобретателям улучшать известные решения на основе выявления и устранения в них технического недостатка.

Список литературы

1. Роспатент в цифрах и фактах – 2022 / под общ. ред. Ю.С. Зубова. – М.: ФИПС, 2023. – 322 с.

2. Фомин Н.И. Обоснование разработки сервиса для обеспечения изобретательской деятельности студентов университета / Н.И. Фомин, Д.А. Летавин, Л.И. Миронова // Перспективы науки. – 2023. – № 5 (164). – С. 184-190.

3. Альтшуллер Г.С. Найти идею: Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач / Г.С. Альтшуллер. М.: Альпина Паблишер, 2022. – 402 с.

4. Раков Д.Л. Структурный анализ и синтез новых технических систем на базе морфологического подхода / Д.Л. Раков. – М.: Книжный дом «Либроком», 2011. – 159 с.

5. Бубенцов В.Ю. Пособие для подготовки и проведения мозгового штурма / Бубенцов В.Ю., Бубенцов Н.В. – М.: Солон-пресс, 2018. – 69 с.

6. Фомин Н.И. Разработка и защита технических решений в строительстве / Н.И. Фомин, Ю.Д. Лысова. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2020. – 156 с.

7. Паронджанов В.Д. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы алгоритмизации / В.Д. Паронджанов. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 520 с.

УДК 004.896

СИНЕРГИЯ АДДИТИВНЫХ 3D-ТЕХНОЛОГИЙ И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: ПЕРСПЕКТИВЫ И ИННОВАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ И ПРОЕКТИРОВАНИИ
SYNERGY OF ADDITIVE 3D TECHNOLOGIES AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: PROSPECTS AND INNOVATIONS IN PRODUCTION AND DESIGN

Узбеков Руслан Шавкятьевич [1], Челноков Виталий Вячеславович [1,2], Аверина Юлия Михайловна [1,2]
Uzbekov Ruslan S. [1], Chelnokov Vitaly V. [1,2], Averina Yulia M. [1,2]

[1]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, Россия, Москва
[1]D.I. Mendeleev Russian University of Chemical Technology, Moscow, Russia
[2]Российская инженерная академия
[2]Russian Academy of Engineering
(e-mail: uzbekovruslan01@yandex.ru)

Аннотация: Рассмотрены современные тенденции развития аддитивных технологий в сочетании с искусственным интеллектом. Представлены возможные сферы внедрения ИИ и 3D-печати и их преимущества над традиционными методами производства.

Abstract: Modern trends in the development of additive technologies in combination with artificial intelligence are considered. Possible areas of AI and 3D printing implementation and their advantages over traditional production methods are presented.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-печать, искусственный интеллект.

Keywords: additive technologies, 3D printing, artificial intelligence.

Применение аддитивных 3D- технологий в сочетании с искусственным интеллектом становится всё более актуальным направлением развития технологий в различных областях промышленности от изготовление высококачественных медицинских имплантатов до определения дефектов и повреждений деталей с использованием машинного зрения. На 2023 год объём российского рынка аддитивных технологий составляет порядка 6 млрд. рублей и продолжает расти, что свидетельствует о тенденции развития данной области промышленности.

Аддитивные технологии (АТ) – это метод создания разнообразных трехмерных объектов, которые создаются при помощи 3D-принтера, послойным нанесением материала, состав которого варьируется в зависимости от требуемых характеристик изделия.

Искусственный интеллект (ИИ) – это технологии выполняющие задачи, которые требуют человеческого интеллекта, к ним относятся распознавание речи, решение сложных задач и много другое. Создать искусственный интеллект можно при помощи нейронных сетей, машинного обучения и глубокого машинного обучения.

3D-моделирование и ИИ играют ключевую роль в создании более эффективных, надежных и автоматизированных процессов производства сложносоставных изделий. Сочетание ИИ с аддитивными технологиями обусловлена необходимостью обработки большого количества данных, объем которых зависит от решаемой задачи будь то определение шероховатости поверхности деталей или контроль качества продуктов и полупродуктов производства [1-3].

Основы аддитивных 3D-технологий

Создание изделий с использованием аддитивных 3D-технологий можно разделить на несколько ключевых этапов:

Разработка 3D-модели с помощью различных программных обеспечений (Системы

автоматизированного проектирования или САПР).

Создание уменьшенного прототипа из более дешевого материала, например, из полимеров в место металла.

Изготовление 3D-принтером детали из требуемого материала, послойном нанесением жидкости.

Аддитивные 3D-технологии выгодно отличаются от традиционных методов производства изделий. К преимуществам 3D-печати можно отнести, например:

– скорость производства. Для изготовления сложной детали традиционным способом не редко затрачивается несколько дней, в отличие от АТ временные затраты, которой составляют несколько часов.

– безотходность, так как в случаи брака изделия, например, металлической детали, её можно преобразовать обратно в металлический порошок и пустить на производство, в отличии от традиционных методов производства.

– отсутствие необходимости в дополнительной механической обработке.

– отсутствие сварных соединений и швов. В отличии от традиционных методов соединения деталей (например, сварка, штамповка), аддитивные технологии в этом не нуждаются, в следствии этого изделия изготовленные таким методом не подвержены образованию центром вероятностного разрушения.

На сегодняшний день аддитивные технологии широко проникли во многие сферы жизни и продолжают распространятся. Например, компания BMW использует 3D-печать для производства сложных высокопрочных деталей шасси и деталей эксклюзивных автомобилей, вышедших из производства.

Так же компания Boeing использует АТ для изготовления более 20 000 деталей самолетов, к ним можно отнести сверхпрочные облегченные детали крыльев и обшивки самолетов.

В медицине 3D-технологий используются для изготовления протезов, к ним можно отнести напечатанные на 3D-принтере челюсти, протезы конечностей, суставов, детали слуховых аппаратов и т.д. Также был успешно напечатан и пересажен мочевой пузырь, изготовленный из тканей того же пациента. В будущем предполагается, что изготовление органов, напечатанных с помощью 3D-технологий практически полностью заменит трансплантацию органов от других пациентов, что значительно расширит возможности современной медицины [4].

Аддитивные технологий широко применяются в строительстве в ОАЭ, США и Франции, для печати полноценных домов и их деталей, которые можно быстро собрать как конструктор. Такая технология позволяет удешевить и ускорить процесс строительства.

Искусственный интеллект и аддитивные технологии

В последнее время ИИ и аддитивные 3D-технологии произвели революцию во многих областях человеческой жизни. С помощью аддитивных технологий можно создать практически любую деталь. А инструменты ИИ такие как ChatGPT, MidJourney и Resemble позволяют создать простым вводом текста, произведения искусства, статьи, рассказы, решать сложные задачи за несколько секунд.

Объединение искусственного интеллекта и аддитивных технологий позволяет расширить возможности технологий и вывести производство на новый уровень развития. Так применение программной платформы Additive Works, которая базируется на искусственном интеллекте позволяет моделировать процесс аддитивного производства в аэрокосмической промышленности, для выявления дефектов деталей задолго до из изготовления. При производстве алгоритмы искусственного интеллекта могут сравнивать текущее состояние 3D-модели с деталью, находящейся в процессе производства и в случае отклонений менять параметры (температура, давление, скорость и т.д.) в реальном времени для быстрого вывода системы на оптимальный режим работы [5].

Возможности аддитивных технологий не ограничены лишь деталями или промышленными изделиями. Эта технология сейчас также используется в медицине, для создания

высококачественных протезов, имплантатов и т.д. Внедрение в данную технологию инструментов искусственного интеллекта позволит расширить возможности АТ. Так как создание персонализированных 3D-моделей требует использование высококачественных визуализаций для каждого пациента индивидуально, что требует больших временных и финансовых затрат.

Создание медицинского изделия выглядит следующим образом: собирается большой объём данных о пациенте, которому требуется продукт (имплантат, протез и т.д.) и передается инженер-конструктору, который в свою очередь используя программное обеспечение создает 3D-модель. Далее по цифровой модели происходит послойная печать изделия по средствам 3D-принтера. Все эти процедуры можно автоматизировать с помощью ИИ. Например, по средствам персональных данных полученных с помощь КТ и МРТ, искусственный интеллект и 3D-печать может создать требуемую модель без вмешательства человека. Это в свою очередь ускорит и удешевит процесс производства для людей, нуждающихся в имплантатах и протезах [6].

Выводы

3D-моделирование и искусственный интеллект играют важную роль в производстве сложносоставных изделий, особенно в контексте аддитивного производства (3D-печати). Глядя на современные тенденции развития ИИ, от литературы и искусства до написания программного кода, в сфере аддитивных технологий ожидается большой скачет роста в связи повсеместного внедрением ИИ, что удешевит, упростит и ускорит работу 3D-принтера, до обычных офисных принтеров.

Список литературы

1. Sharma A., Mukhopadhyay T., Rangappa S.M., Siengchin S., Kushvaha V. Advances in Computational Intelligence of Polymer Composite Materials: Machine Learning Assisted Modeling, Analysis and Design // Archives of Computational Methods in Engineering. - 2022. - №29. - С. 3341–3385.

2. Sacco, C., Radwan, A.B., Anderson, A., Harik, R., Gregory, E. Machine Learning in Composites Manufacturing: A Case Study of Automated Fiber Placement Inspection. // Composite Structures. - 2020. - №112514. - С. 250.

3. Nachtane M., Tarfaoui M., Abichou M.a., Vetcher A., Rouway M., Aâmir A., Mouadili H., Laaouidi H., Naanani H. An Overview of the Recent Advances in Composite Materials and Artificial Intelligence for Hydrogen Storage Vessels Design. // Composite Science. - 2023. - №7. - С. 119.

4. Nagarajan H.P.N., Mokhtarian H., Jafarian H., Dimassi S., Bakrani-Balani S., Hamedi A., Haapala K. R. Knowledge-Based Design of Artificial Neural Network Topology for Additive Manufacturing Process Modeling: A New Approach and Case Study for Fused Deposition Modeling. // Journal of Mechanical Design. - 2018. - №141(2). - С. 141.

5. Milazzo M., Libonati F. The Synergistic Role of Additive Manufacturing and Artificial Intelligence for the Design of New Advanced Intelligent Systems // Advanced Intelligent Systems. - 2022. - №4. - С. 7.

6. Habeeb H.A., Wahab D.A., Azman A.H., Alkahari M.R. Design Optimization Method Based on Artificial Intelligence (Hybrid Method) for Repair and Restoration Using Additive Manufacturing Technology // Metals. - 2023. - №13. - С. 490.

УДК 001.895 + 330.101.542

О ВЫБОРЕ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ ОФОРМЛЕНИЯ ПРАВ НА НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ, ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ
ABOUT THE CHOICE OF DIFFERENT REGIMES OF REGISTRATION OF RIGHTS FOR RESEARCH, DEVELOPMENT AND TECHNOLOGICAL WORK

Торицын Игорь Валериевич [1,2]
Toritsyn Igor V. [1,2]

[1]Автономная некоммерческая организация "Секция "Инженерные проблемы стабильности и конверсии" Российской инженерной академии", Россия, Москва
[1]Autonomous non-profit organization "Section "Engineering problems of stability and conversion" of the Russian Academy of Engineering", Russia, Moscow
[2]ООО Торицын, Россия, Казань
[2]Toritsyn LLC, Russia, Kazan
(e-mail: igrtor@gmail.com)

Аннотация: Рассмотрены варианты оформления прав интеллектуальной собственности, проанализирован пример действующих патентов РФ на изобретение с использованием патентного деривативa.

Abstract: Options for registration of intellectual property rights are considered, an example of a valid RU patents for an invention a patent derivativeis analyzed.

Ключевые слова: интеллектуальная собственность, научно-исследовательские, опытно-конструкторские и технологические работы, патентный дериватив.

Keywords: intellectual property, research, development and technological work, patent derivative.

Варианты оформления прав интеллектуальной собственности (ИС) имеют различные стоимостные, как в части затрат, так и в части потенциального дохода, и правовые особенности, которые следует учитывать на наиболее ранних этапах выполнения (в идеале – при замысле) научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР).

Для реализации вариантов оформления прав ИС в первую очередь следует учитывать ограничения, накладываемые на результаты, планируемые в НИОКТР, заказчиком или инвестором. Для примера, ряд ведомств (Минобороны России, МВД, госкорпорации Росатом, Роскосмос), выступающих заказчиком НИОКТР, в контракте (ТТЗ) на НИОКТР явно указывают, что все права на полученные в ходе НИОКТР результаты принадлежат заказчику. При этом они же и выбирают режим правовой охраны результатов интеллектуальной деятельности. Эти ограничения могут оказывать существенное влияние на варианты оформления прав ИС. Некоторые ведомства, выступающие заказчиком НИОКТР, например, Минпромторг России, софинансируя НИОКТР, указывают, что все права на результаты НИОКТР принадлежат исполнителю.

В первом случае требований заказчика исполнитель заранее отчужден от конечного результата НИОКТР, а процедура коммерциализации результатов НИОКТР, если таковая предусмотрена, возлагается на заказчика. Правильно это или нет – не предмет рассмотрения этой статьи. Во втором случае, риски коммерциализации результатов НИОКТР, и потенциальные доходы возлагаются на исполнителя.

Любой из рассмотренных вариантов при его реализации потребует, в первую очередь, ресурсного обеспечения (финансового, временного и пр.).

Имеющийся научный задел (знание предметной области в части ИС), как правило, позволяет "проектировать" систему прав интеллектуальной собственности НИОКТР, однако в редких случаях такой процесс "проектирования" организуется на ранних стадиях, в том числе с привлечением специалистов, которые юридически правильно сформируют права ИС по НИОКТР, специалистов, которые оценят или дадут диапазон оценок НИОКТР, а также специалистов, способных дать рекомендации по распоряжению правами ИС на весь жизненный цикл разработки. Для различных видов работ (НИР, ОКР и технологических работ) возможны следующие основные формы оформления прав ИС: публикации (депонирование), соответствующие стадии НИР; патентование, соответствующее ОКР и режим секрета производства (ноу-хау), соответствующий созданию новых технологий. Это, по сути, "классические идеальные" соответствия этапам разработки, присущие инженерному делу. В реальности принято классифицировать этапы и разделять их на вышеперечисленные, однако на практике эти этапы глубоко связаны в единый замысел, и соответствующее оформление прав ИС может быть комбинированным и сопровождать разработку всеми указанными формами.

Все три основные формы оформления прав ИС требуют привлечения различного объёма ресурсов, оценив которые, можно обоснованно принять решение о форме оформления прав ИС.

Публикация результатов НИР, наименее затратная форма оформления прав ИС, но и доход по факту публикации имеет "отложенную природу" – помимо зарплаты (гранта или гонорара за публикацию) этот результат должен быть оценён независимыми коллегами, и как наивысший результат, получена премия (в идеале – Нобелевская).

Патентование – более сложный процесс как с точки зрения затрат, так и с точки зрения взаимодействия с сообществом, как специалистов, так и просто желающих заработать на разработке, не вкладывая в неё на ранних этапах никаких ресурсов. Первая особенность процесса патентования – экспертиза патентного ведомства на удовлетворение критериям патентоспособности, сопровождающаяся уплатой пошлин и занимающая достаточно много времени. Вторая особенность – поддержание в силе патента, в случае его выдачи, сопровождающаяся уплатой пошлины, возрастающей год от года. Третья особенность – осознание того, как зарабатывать на наличии патента (монопольного права на техническое решение). Четвертая особенность – в "идеале" назначение патента реализовывать права монополиста, пресекая попытки конкурентов коммерческого использования защищенного патентом технического решения, а не "оповещение" общественности о разработке (по сути – специальный юридический документ, закрепляющий права на совокупность признаков технического решения за патентообладателем).

Режим секрета производства (ноу-хау) также отличается рядом особенностей. Первая особенность – на мероприятия по поддержанию этого режима также требуются затраты, в том числе финансовые. Вторая – любой субъект может стать обладателем этого же технического решения, если специально не "похищал" этот секрет производства (ноу-хау), а сам "дошел до этого". При этом получить обратно монопольные права представляется слишком затратным, так как необходимо доказать, что другой обладатель не сам "дошел до этого решения".

Для примера рассмотрим продолжающийся жизненный цикл действующего патента РФ на изобретение [1]. История его создания и уступки отчуждаемых имущественных прав пример того, как все исполнители при указании руководителя добросовестно выполнили свои обязанности, даже учтя диалектику изменения законодательства, но получили как слегка "ущербный" результат интеллектуальной деятельности, так и "запоздалые" по эффективности совокупности фактов хозяйственной жизни, ассоциированные с правами по патентам РФ на изобретение.

В 2014 году было создано и реализовано замечательное техническое решение – система автоматического управления потреблением тепловой энергией. Суть её в том, что можно дооборудовать старые системы централизованного теплоснабжения с элеваторами,

коих по всему бывшему СССР преогромное множество, до современного вида: потребитель тепла не переплачивает и не берет тепла "столько, сколько ему дадут", а "столько, сколько ему необходимо", в периоды межсезонья, когда отопление уже работает, а жителям приходится открывать форточки (уж больно много тепла подают поставщики) и отапливать окружающую среду, оставляя "жирный след отсутствия углеродной нейтральности".

Далее руководитель дал указание добросовестному работнику запатентовать разработку. Добросовестный работник прибыл к добросовестному патентному поверенному, объяснил задачу – нужно запатентовать разработку. Добросовестный патентный поверенный по имеющейся документации добросовестно подал заявку на изобретение и получил вышеуказанный патент для патентообладателя юридического лица ООО "СИСТЕМЫ ЭФФЕКТИВНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ". В 2016 году была выдана неисключительная лицензия ООО "Бюро Инженерного Сервиса" сроком на 2 года на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Однако техническое решение на предприятии было усовершенствовано – один из элементов системы перестал быть актуальным и в юридическом аспекте техническое решение по патенту никто не использует (ни предприятие, ни те, кто потенциально мог нарушить патент, ни те, кто потенциально мог приобрести лицензию на использование этого технического решения).

Осенью 2019 года автором статьи совместно с руководителем предприятия была проанализирована жизнь экономической модели использования результатов интеллектуальной деятельности (РИД) в сравнении с иной моделью применения патентов РФ на изобретение [2] и [3], патентообладателем которых является физическое лицо с оформлением неисключительных лицензий на право использования РИД юридическому лицу на срок действия патента на территории РФ.

Анализ показал, что общие затраты на оплату труда добросовестных работников и патентного поверенного, оплаты пошлин и поддержание патента [1] в силе составили сумму около 200 тыс. рублей. Прямых поступлений средств от реализации лицензионных договоров иным лицам не поступало, т.е. предприятие не зарабатывало на этом РИД. Срок действия истекает, а средства на поддержание его в силе растут год от года. Таким образом, подобная практика показывает только имиджевую составляющую предприятия от владения РИД, а дохода от продажи лицензионных договоров не существует – есть косвенное влияние на общественность, а доход происходит через получение заказов на модификацию старых систем теплоснабжения.

При этом до средины 2020 года существовали отличия по финансовой эффективности использования режима патентообладания в зависимости от того, является патентообладатель физическим или юридическим лицом [4]. В указанном примере регистрация договора об отчуждении исключительного права по патенту РФ на изобретение [1] в пользу физических лиц позволила повысить КПД доведения объема финансовых средств до физического лица на 30% по сравнению с обычным, по сути, выступая патентным деривативом.

Подводя итог рассмотренного примера, следует два существенных вывода. Первый: законодательная и исполнительные ветви власти прекратили поддержку изобретателей (патентообладателей) физических лиц. Второй: стремление оформить права ИС даже добросовестными участниками процесса, без должного проектирования всего жизненного цикла и опыта использования активов в различных моделях, не всегда приводит к эффективному использованию имеющихся ресурсов. При этом следует отметить, что законодательная и исполнительные ветви власти всё же мотивируют инновации косвенными методами, что позволяет, в идеале, достичь показателей повышения КПД пути доведения объема финансовых средств до физического лица до 30% по сравнению с обычным, а в некоторых случаях и до 43%, ассоциированные с правами ИС, что может повысить конкурентоспособность НИОКТР и ускорить коммерциализацию их результатов.

Вся информация по фактам хозяйственной деятельности, ассоциированных с правами по патентам РФ на изобретение [1-3] взята из официального источника [5] – открытого реестра патентов РФ на изобретения.

Список литературы

1. Патент РФ на изобретение № 2566943. Устройство автоматического управления потреблением тепловой энергии (варианты).

2. Патент РФ на изобретение № 2636533. Система теплохолодоснабжения здания.

3. Патент РФ на изобретение № 2636885. Система теплохолодоснабжения здания.

4. Письмо Минфина России от 25 июня 2020 года N 03-15-06/54535. О страховых взносах при выплате вознаграждений по договорам об отчуждении исключительного права на изобретение, предоставлении права его использования, передаче прав на получение патента на него.

5. https://www1.fips.ru/registers-web/action?acName=clickRegister&regName=RUPAT

УДК 37

О ПРОБЛЕМЕ ПРЕПОДАВАНИЯ В ВУЗАХ КУРСА «СЕРТИФИКАЦИИ АВИАЦИОННОЙ ТЕХНИКИ» ABOUT THE PROBLEM OF TEACHING THE COURSE «AVIATION EQUIPMENT CERTIFICATION» AT UNIVERSITIES

Малой Борис Семёнович
Maloy Boris S.

Московский научно-исследовательский институт радиосвязи (МНИИРС), Россия, Москва.
Moscow Scientific Research Institute of Radio Communications (MNIIRS), Russia, Moscow.
Российская инженерная академия, Россия, Москва.
Russian Academy of Engineering, Russia, Moscow.
(e-mail: maloy.boris@yandex.ru)

Аннотация: Предпринята попытка сравнительного анализа преподавания в вузах курса "Сертификация авиационной техники" в начале 2000-х гг. и спустя 20 лет. На примерах показано снижение уровня знаний студентов за этот период в связи с изменением профиля основополагающих дисциплин, а также низкий уровень школьной общеобразовательной подготовки, что приводит к снижению уровня общей подготовки подрастающего поколения.

Abstract: An attempt was made to conduct a comparative analysis of the teaching of the course “Certification of Aviation Equipment” at universities in the early 2000s. and 20 years later. The examples show a decrease in the level of knowledge of students during this period due to a change in the profile of fundamental disciplines, as well as a low level of school general education training, which leads to a decrease in the level of general culture of the younger generation.

Ключевые слова: преподавание, сертификация, авиатехника, просвещение, двухступенчатая система обучения, топ менеджер.

Key words: teaching, certification, aviation technology, education, two-stage training system, top manager.

В 2000 году в учебную программу кафедры «Автоматизированное проектирование летательных аппаратов» (АПЛА) пятого курса МАТИ имени К.Э. Циолковского была включена новая дисциплина «Сертификация авиационной техники». Это было обусловлено тем, что после распада СССР, его правопреемница РФ выбрала иной путь экономического развития. Социалистическая экономика была заменена экономикой рыночных отношений, т.е. путь капиталистического развития.

В этой связи РФ впредь должна была развиваться в соответствии с порядком и законами, принятыми в западном мире.

Одной из ведущих отраслей экономики, где произошли кардинальные изменения, было гражданское авиастроение. Уже в 90-х годах прошлого столетия для введения в эксплуатацию новейших российских авиалайнеров Ил-96 и Ту-204 и признание их лётной годности за пределами России потребовалось проведение их сертификации, то есть выполнения комплекса работ по подтверждению их соответствия действовавшем в стране нормам лётной годности для самолётов транспортной категории НЛГС-3.

Однако, эти нормы, несмотря на их высокий профессиональный уровень, по сути, ничуть не уступая нормам США и Европы не соответствовали им по форме и изложению. Кроме этого, порядок и процедуры сертификации, принятые в СССР, в целом не соответствовали зарубежным. В связи с этим Межгосударственный авиационный комитет в лице

его комиссии по правилам и процедурам – Авиарегистр МАК, руководствуясь нормами, принятыми в США, выпустил первую редакцию авиационных правил (АП) – порядок и процедуры сертификации АТ, часть 21 (АП-21) и нормы лётной годности самолётов транспортной категории часть 25 (АП-25). И АП-21, и АП-25 в целом соответствовали зарубежным аналогам.

Первый самолёт, который был сертифицирован по этим правилам и нормам был Ту-214 разработки ОКБ А.Н. Туполева и построенный на Казанском авиационном производственном объединении (КАПО им. Горбунова). Именно после выполнения указанных выше проектов автор был приглашен в МАТИ для преподавания студентам 5-го курса основ сертификации АТ, в качестве факультатива по желанию студентов.

После долгих колебаний было дано согласие на преподавание, хотя никаких вспомогательных методических материалов в то время ещё не было. И во многом вести преподавание пришлось, опираясь на имеющиеся нормативные документы по сертификации, свой личный, хотя и небольшой, практический опыт.

Введение курса сертификации АТ не только привлекло внимание, но и вызвало большой интерес у студентов и посещение ими лекций было на первых порах весьма активным.

На вопрос о том, чем привлекает сертификация, большинство опрашиваемых студентов ссылалось на новизну темы, а также из простого любопытства. Причём важным в такой заинтересованности, явилось их представление о том, что отсутствовала необходимость выполнять проектные, конструкторские, а также чисто производственные работы.

Однако, вскоре оказалось, что такое представление о специализации было ошибочным. Первый опыт преподавания курса Сертификации авиационной техники продолжался до 2006 года. И это, несмотря на очень большую загрузку и ответственность по основной работе. Именно в период первого десятилетия XXI-го века Туполевское ОКБ вместе с авиазаводами КАПО имени Горбунова и Авиастар-СП в Ульяновске переживали бум развития гражданской авиации 4-го поколения. Самолёты этого поколения практически ничем не уступали Airbus и Boeing – ни в части безопасности, ни в части поддержания лётной годности. Была создана линейка самолётов семейства Ту-204/Ту-214, а также Ту-334. Большинство модификаций этих ГВС было сертифицировано АР МАК и начат их серийный выпуск.

В 2008 году одна из таких модификации самолёта Ту-204, грузовой Ту-204-120 СЕ с двигателями RB211 получил валидационный сертификат типа, выданный EASA, а в 2009-м году этот самолёт получил валидационный сертификат, выданный CAAC, авиационными властями Китайской Народной Республики.

Именно в этот период преподавания до 2006 г. было осуществлено четыре выпуска студентов, прошедших этот первый начальный курс сертификации АТ, причем часть студентов-выпускников остались трудится в ОАО «Туполев» и на протяжении многих лет успешно справлялись с задачами сертификации.

В 2006 году совмещение основной работы в должности Директора по сертификации АТ в ОАО «Туполев» и преподавание стало весьма затруднительным, поэтому преподавательскую деятельность в МАТИ я был вынужден оставить.

Что дал первый опыт 5-ти летнего преподавания курса «Сертификация АТ»?

Во-первых, ознакомление преподавателя с имеющимися опубликованными материалами, составляющими нормативную базу сертификации, включая документы ИКАО, Авиационные правила, применяемые в нашей стране, в том числе разработанные Авиарегистром МАК, ГОСТами и др. Каких-либо учебных пособий, тем более учебники не были изданы.

Первым учебником стала книга заместителя заведующего кафедрой МАИ А.А. Красоткина «Сертификация авиационной техники», вышедшая из печати в 2003 году довольно ограниченным тиражом. Эта книга включила в себя все основные требования, предъявляемые нормативно-технической и сертификационной документацией при выполнении сертификационных работ. А также большое количество дополнительных вспомогательных материалов, относящихся не только к процедурам и, собственно, сертификации АТ, но и сертификации Разработчика, Изготовителя, и Эксплуатанта.

Как преподавателю курса, мне не довелось воспользоваться вышеуказанной книгой, и я рассчитывал только на свои знания, опыт и умение, которые было необходимо применить в

процессе преподавания.

Надо сказать, что в те годы студенты воспринимали курс как некую экзотику, с которой никогда не приходилось иметь дела, поэтому объяснение каких-то положений сводилось к «бытовому» уровню восприятия.

Во-вторых, стало понятно, что без достаточного знания студентами устройства воздушного судна, его характеристик, параметров, особенностей конструкции, понимания взаимодействия отдельных компонентов ВС в самом общем виде, невозможно понять смысл сертификационного процесса, и процедур, применяемых в нём и к нему. Поэтому посещение авиационных учреждений, предприятий, выставок и т.п. крайне необходимо и, в первую очередь, с учётом проведения сертификационного процесса. К великому сожалению, в настоящее время, когда российская гражданская авиация переживает глубокий кризис, практически не представляется возможность организовать такие посещения.

В-третьих, первые шесть лет преподавания дали импульс для разработки, пусть на первых порах, примитивной методологии преподавания, в первую очередь, самому преподавателю.

И в то же время стало понятно, что совмещение деятельности преподавательской и производственной, причём с очень большой долей ответственности, недостаточно продуктивно из-за невозможности проводить полноценную подготовку занятиям со студентами, что превращалась в нечто, похоже на «вступления в бой сходу, с колёс», то есть в процессе производственной трудовой деятельности. Хотя такое совмещение имеет свои весьма положительные стороны – актуальность сертификации в процессе создания воздушного судна.

Вновь я вернулся к преподаванию по теме сертификации АТ в 2019 году в МАИ на кафедре 101 «Проектирование сертификация АТ». За годы, прошедшие с момента приобретения первого опыта преподавания, прошло более 10 лет. За эти годы произошли очень серьезные изменения в экономике нашей страны и, в первую очередь, в авиастроении.

Если до 2010-2013 гг. в гражданском авиастроении ещё продолжалась какая-то творческая деятельность, например создание глубоко модифицированного варианта самолёта Ту-204 – Ту-204 СМ, а также совершенствование нормативно-правовой базы. При этом предпринимались попытки заключения контрактов на поставку зарубеж сертифицированных в EASA самолётов SSJ-100 и Бе-200, и было необходимо отслеживать все изменения в мировой НПБ авиастроения. Но в самые ближайшие годы, когда парк гражданских ВС РФ был на 98% вытеснен боингами и эрбасами, работа с НПБ существенно замедлилась и превратилась в интернет-клуб специалистов в этой области.

Соответственно изменилась и система подготовки авиаспециалистов в ВУЗах. Так МАИ к 2020 г. полностью перешёл на двухуровневую подготовку специалистов по так называемой Болонской системе. К тому же «ковидная эпопея» усугубила влияние этой системы на качество приобретаемых знаний за счёт почти полного перехода на дистанционное обучение.

Вот наглядный пример из практики работы со студентами и выпускниками авиационных вузов. До перехода на двухступенчатую систему обучения и дистанционное преподавание я, как руководитель низшего, а затем и среднего звена, старался принимать на работу молодых людей с периферии. Эти, стремящиеся к получению достойного образования, ребята ехали, как говорится, «завоевывать в Москву». Это им, несмотря на преодоление ряда серьезных бытовых трудностей, удавалось. Из них вырастали хорошие, квалифицированные, вникающие в существующие проблемы, инженеры. Они были заинтересованы в своем утверждении в столице, в своем служебным росте и карьерном продвижении.

Как показала жизнь, мои действия соответствовали духу времени до определённого момента.

Не думаю, что это случайное или простое совпадение, но с полным переходом на «Болонскую систему» – бакалавры-магистры, все студенты и столичные, и из глубинки страны, превратились в потребителей, которых в первую очередь стали интересовать только зарплата. В этой связи, более половины выпускников МАИ местом работы после окончания института выбирали не авиационную профессию, а более доходный бизнес в

любой отрасли экономики.

Последний выпуск инженеров МАИ пришелся на 2020 год. В 2019 году я начал преподавание курса «Сертификация АТ» студентам 4-го и 5-го курсов МАИ. Несмотря на большое влияние новой системы образования, многие из выпускников 2020 года защищали свои дипломные проекты со знанием дела, демонстрируя неплохие знания, полученные за годы обучения. К тому же воспитание и культурный уровень этих молодых людей был существенно выше, чем у выпускников последних лет.

Переход на двухуровневую систему существенно изменил программу обучения. Вместо ряда чисто технических, авиационных дисциплин были расширены или введены курсы, касающиеся социологии, международного права и т.п. Было прекращено выполнение УИРС, то есть Учебной исследовательской работы студента – первого, студенческого, опыта выполнения НИР. Кстати, весьма полезного с точки зрения анализа рассматриваемых материалов задания и умения изложить его, демонстрируя этим способность анализировать и делать выводы.

В результате вместо акцента на инженерные науки институт стал готовить «эффективных менеджеров», будущих чиновников, владеющих знаниями в области авиации на уровне среднего пассажира воздушного судна.

Наша практика преподавания дала мне достаточно полное представление о состоянии общего уровня образования, которое студенты получили до поступления в институт.

Каждый учебный год я начинаю с проведения опроса-викторины, своего рода тестирования, на темы истории авиации, а также на их осведомлённость в области как минимум русской литературы и искусства. Причём вопросы викторины не выходят за рамки школьного общеобразовательного курса.

Казалось бы, что имея довольно ограниченные познания в сфере русской, российской, культуры, свои устремления они направили на свои айфоны и смартфоны, чтобы хоть как-то восполнить пробелы в своих знаниях. Увы, оказывается, что освоение компьютерной техники развивается в направлении развлечений – игр, фильмов и т.п. и отнюдь, не в направлении приобретения знаний.

Крайне удивляет, точнее удручает, что немало студентов старших курсов МАИ не умеют (или не хотят) извлечь нужную для учёбы справочную информацию из интернета. Во-первых, это серьезный упрёк школьному образованию, которое не сумело научить правильно пользоваться интернетом. Во-вторых, в вузах, возможно будет целесообразно, ввести дополнительный методический курс обучения пользования интернетом. Ведь студенты и без интернета обладают скудным запасом знаний, а интернет, вместо расширения интеллектуальных возможностей подчас наоборот ограничивают эти возможности.

Выводы:

Представляется, что школа и институт перестали быть органами просвещения молодого поколения, без которого любые приобретаемые профессиональные знания не имеют под собой прочного интеллектуального фундамента. Именно на такой прочной основе, заложенной русской школой, любой человек сможет расширять свой кругозор, и пополнять свои знания, независимо от сферы его деятельности – будь то техника, наука, искусство, медицина, биология и т.п.

Список литературы.

1. А.А. Красоткин "Сертификация авиационной техники" Стр. 353. Москва Издательство МАИ 2007. Допущен в качестве учебника для студентов вузов направления подготовки "Авиастроение".

2. Б.С. Малой "Практическая сертификация авиационной техники" Стр. 156. Москва Издательский дом ООО “Ваш полиграфический партнер” 2012 г. Учебно-методическое пособие для студентов вузов, аспирантов и т.д.

УДК 539.434:677.494

МЕТОДОЛОГИЯ ДОВЕРИТЕЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕЛАКСАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ
METHODOLOGY OF CONFIDENCE PREDICTION OF RELAXATION OF POLYMER TEXTILE MATERIALS

Переборова Н.В.[1,2], Козлов А.А.[1]
Pereborova N.V.[1,2], Kozlov A.A.[1]

[1]Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна, Россия, Санкт-Петербург
[1]St. Petersburg State University of Industrial Technology and Design, Russia, St. Petersburg
[2]Российская инженерная академия, Россия, Москва
[2]Russian Academy of Engineering, Moscow, Russia
(e-mail: nina1332@yandex.ru, aakozlov92@mail.ru)

Аннотация Рассматриваются вопросы адекватности математического моделирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов. Разработанные интегральные критерии доверительного прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов, основаны на минимизации интегрального функционала-свертки, соответствующего определяющему уравнению состояния. Внедрение разработанных критериев доверительного прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов возможно благодаря их компьютеризации.

Abstract The issues of adequacy of mathematical modeling of relaxation processes of polymer textile materials are considered. The developed integral criteria for confidence prediction of relaxation processes of polymer textile materials are based on minimizing the integral functional-convolution corresponding to the defining equation of state. The implementation of the developed criteria for confidence prediction of relaxation processes of polymer textile materials is possible due to their computerization.

Ключевые слова: релаксация, полимерные текстильные материалы, математическое моделирования, прогнозирование, критерии оптимизации.

Keywords: relaxation, polymer textile materials, mathematical modeling, forecasting, optimization criteria.

Прогнозирование релаксационных процессов полимерных текстильных материалов существенно зависит от нескольких факторов: точности экспериментальных данных, адекватности физической модели и от оптимального построения математической модели. Более высокой точности проведения эксперимента можно добиться путем усовершенствования измерительной аппаратуры и увеличением объема испытаний с целью повышения репрезентативности экспериментальных данных [1].

Для совершенствования физической модели релаксационных процессов необходимо сочетать исследование образцов текстильных материалов не только на макроуровне, но и реологически на микроуровне, что сопряжено с объективными трудностями. Альтернативой повышения точности прогнозирования релаксационных процессов текстильных материалов является выбор наиболее оптимальной математической модели в рамках рассматриваемой физической модели [2].

В настоящее время общепризнанным в теории нелинейно-наследственной релаксации полимеров считается физический подход, основанный на идее Александрова-Гуревича учета активирующего влияния приложенной деформации на ускорение релаксационных процессов [3].

Основой же построения математических моделей релаксационных процессов полимерных текстильных материалов является принцип Больцмана [4] суперпозиции откликов на предысторию деформирования, аналитически выраженный в интегральном соотношении Больцмана-Вольтерра, где нелинейно-наследственной релаксации соответствует определяющее интегральное уравнение [5]

$$\sigma_t = E_o\varepsilon_t - (E_o - E_\infty) \cdot \int_0^t \varepsilon_\theta \cdot \phi'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta, \quad (1)$$

где t – время, ε_t – деформация, σ_t – напряжение, E_o – модуль упругости, E_∞ – модуль вязкоупругости, $\phi'_{\varepsilon t}$ – ядро релаксации.

В качестве релаксационной функции $\varphi_{\varepsilon t}$ выбирается, как правило, одна из следующих функций [6]

$$\phi_t = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\frac{1}{a_n} ln\frac{t}{\tau}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz - \quad (2)$$

интеграл вероятностей (ИВ), характеризующий нормальное распределение [7];

$$\phi_t = \frac{1}{1+\left(\frac{t}{\tau}\right)^{-A}} = \frac{1}{2}\left(1 + th\left(\frac{A}{2} ln\frac{t}{\tau}\right)\right) - \quad (3)$$

степенная функция или гиперболический тангенс (ГТ) [8];

$$\phi_t = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\tau}\right)^k} - \quad (4)$$

функция Кольрауша (ФК) [9], график которой не обладает свойством симметрии, в отличие от ИВ и ГТ, но имеющая более простой аналитический вид (здесь a_n, A, k – параметры интенсивности процессов релаксации или ползучести, t/τ – приведенное время).

Кроме указанных функций, для прогнозирования нелинейно-наследственной релаксации применяется нормированный арктангенс логарифма приведенного времени (НАЛ) [10]

$$\phi_t = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} arctg\left(\frac{1}{b_n} ln\frac{t}{t_1}\right), \quad (5)$$

где b_n – структурный параметр интенсивности процесса релаксации, характеризующий скорость процесса.

Следует заметить, что функции НАЛ соответствует распределение Коши, обладающее важным свойством: среднее арифметическое случайных величин, распределенных по нормированному закону Коши, также распределено по нормированному закону Коши [11].

Данное обстоятельство оправдывает выбор функции релаксации (5) в качестве основы математической модели релаксационного процесса полимерного текстильного материала, так как любой текстильный материал представляет собой сложную макроструктуру, состоящую из более простых элементов (нитей, волокон, макромолекул и т.д.). Следовательно, спектр релаксации представляет собой сумму элементарных спектров, соответствующих более простым элементам, распределенных также по закону Коши [12].

Наличие нескольких математических моделей, использующих разные релаксационные функции оправдано, так как это позволяет получать независящие друг от друга результаты прогнозирования релаксационных процессов. Релаксационные характеристики, полученные усреднением характеристик, определенных с помощью различных методов, обладают большей степенью достоверности, чем характеристики, полученные по одному методу [13].

При аппроксимации процесса релаксации нормированными функциями возникает вопрос о правомерности такого подхода. Ответ на данный вопрос дают критерии правдоподобия [14], применение которых позволяет оценить значение относительной погрешности

такой аппроксимации. Компьютеризация указанных критериев позволяет получить наглядное средство подтверждения достоверности рассчитанных релаксационных характеристик.

Двойственным процессом для релаксации является процесс ползучести, определяющее уравнение которого имеет вид [15]

$$\varepsilon_t = D_o\sigma_t + (D_\infty - D_o)\cdot\int_0^t \sigma_\theta \cdot \phi'_{\sigma;t-\theta}d\theta, \tag{6}$$

где D_o – начальная упругая податливость, D_∞ – предельно-равновесная податливость, $\phi'_{\sigma t}$ – ядро запаздывания.

Аналитическую взаимосвязь модуля релаксации и податливости получаем из уравнения нелинейно-наследственной релаксации (1) при $\sigma = const$ [16]

$$E_o D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma\theta}E'_{\varepsilon;t-\theta}d\theta = 1, \tag{7}$$

где $E'_{\varepsilon t} = \frac{\partial E_{\varepsilon t}}{\partial\left(ln\left(\frac{t}{t_1}\right)\right)}$.

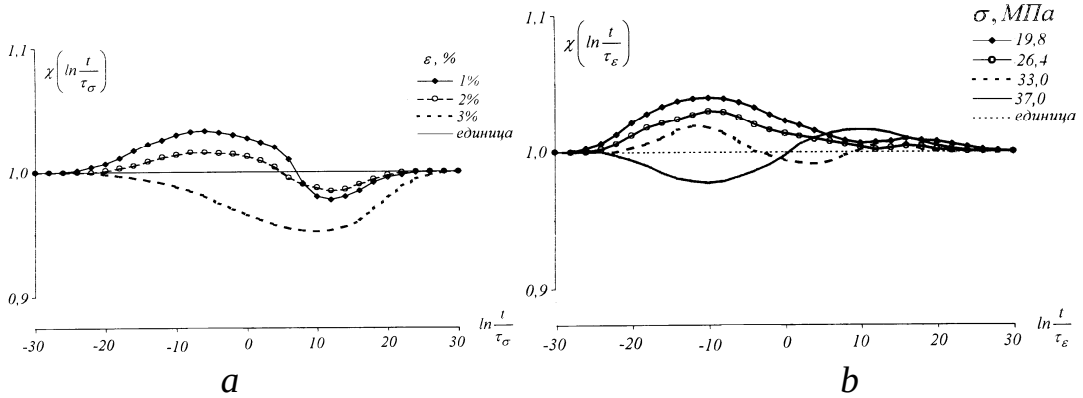
Аналогично из уравнения нелинейно-наследственной ползучести (7) при $\varepsilon = const$ получаем [17]

$$D_o E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon\theta}D'_{\sigma;t-\theta}d\theta = 1, \tag{8}$$

где $D'_{\sigma t} = \frac{\partial E_{\sigma t}}{\partial\left(ln\left(\frac{t}{t_1}\right)\right)}$.Чем удачнее выбор интегральных ядер, тем меньше отклонение левых частей (7) и (8) от "единицы".

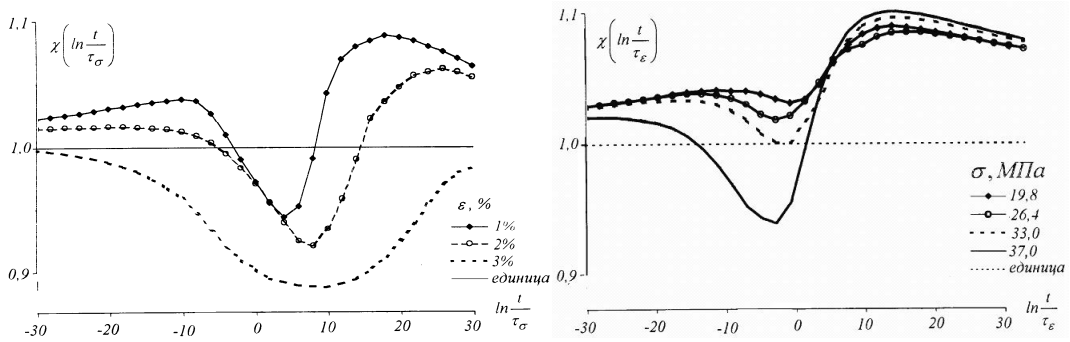
Данные соотношения можно рассматривать как интегральные критерии соответствия модуля релаксации и податливости, а, следовательно, и остальных вязкоупругих характеристик [18].

В качестве образца, на котором опробовались приведенные критерии (7, 8), предлагается многокомпонентная пряжа, полученная кольцевым прядением (хлопок – 30%, лен – 20%, лавсан – 50%, линейная плотность 29 текс, разрывное напряжение $\sigma_р = 225$ МПа, разрывная деформация $\varepsilon_р = 14$ %) [19].



a *b*

Рисунок 1 – Применение критериев (7) – (a), (8) – (b) с функцией НАЛ к многокомпонентной пряже ($T = 20^0$)



a *b*

Рисунок 2 – Применение критериев (7) – (a), (8) – (b) с функцией ИВ к многокомпонентной пряже ($T = 20^0$)

Графическая интерпретация критериев (7, 8) является наглядным средством наилучшего выбора интегральных ядер релаксации и запаздывания из числа предложенных. Обозначая

$$\chi\left(\ln\frac{t}{\tau_\sigma}\right) = E_o D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma\theta} E'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta, \tag{9}$$

$$\chi\left(\ln\frac{t}{\tau_\varepsilon}\right) = D_o E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon\theta} D'_{\sigma;t-\theta} d\theta, \tag{10}$$

приведем результаты применения критериев (7, 8) к многокомпонентной пряже (рис. 1), полученные для интегральных ядер, соответствующих функции НАЛ, и аналогичные результаты для ядер, соответствующих интегралу вероятностей (рис. 2). Данные результаты визуально показывают преимущества первой из них при моделировании релаксационных свойств рассматриваемой пряжи [20].

Интегральные критерии (7, 8) можно рассматривать также как критерии оптимального выбора математической модели релаксации текстильных материалов [21]

$$\left|E_o D_{\sigma t} + \int_0^t D_{\sigma\theta} E'_{\varepsilon;t-\theta} d\theta - 1\right| \to min, \tag{11}$$

$$\left|D_o E_{\varepsilon t} + \int_0^t E_{\varepsilon\theta} D'_{\sigma;t-\theta} d\theta - 1\right| \to min. \tag{12}$$

Критерии оптимальности выбора математической модели релаксации полимерных текстильных материалов (11, 12) можно использовать для численного решения задачи о резольвенте интегральных уравнений (7, 8), то есть задачи нахождения оптимального ядра релаксации по заданному ядру запаздывания и наоборот, нахождению оптимального ядра запаздывания по заданному ядру релаксации [22].

Данная задача решена в аналитическом виде только для случая линейной релаксации [23] Сложность решения указанной задачи при нелинейности релаксационных свойств полимерных материалов объясняется необходимостью учета активирующего влияния приложенной деформации и нагрузки на времена релаксации и запаздывания.

Указанное влияние зависит от многих факторов - компонентного состава, внутренней структуры текстильных материалов, температуры и т.д. Учет активирующего влияния деформации и нагрузки на ускорение процессов релаксации и ползучести возможен только системной обработкой экспериментальных данных, что реально возможно благодаря компьютеризации вычислительных методик [24].

В силу сказанного, аналитическое решение задачи о резольвенте определяющего интегрального уравнения нелинейно-наследственной релаксации и нелинейно-наследственной ползучести, то есть нахождение ядра релаксации по ядру запаздывания и наоборот затруднено [25]. Однако, применяя интегральный критерий правдоподобия нелинейно-наследственной релаксации (7) или нелинейно-наследственной ползучести (8) можно по за-

данному интегральному ядру релаксации численно рассчитать интегральное ядро запаздывания и обратно. Критерием расчета служат условия минимизации (11, 12) [26].

Критерии оптимальности (11, 12) с уровнем значимости $\alpha_{\sigma t} \leq 0{,}05$, $\alpha_{\varepsilon t} \leq 0{,}05$, (где $\alpha_{\sigma t} = \chi(ln(t/\tau_\sigma))$, $\alpha_{\varepsilon t} = \chi(ln(t/\tau_\varepsilon)))$ применялись к ядрам релаксации и запаздывания многокомпонентной пряжи, заданным в виде функции НАЛ. При этом было получено численное обращение нормированной функции релаксации $\phi_{\varepsilon t}$ и запаздывания $\phi_{\sigma t}$. Пример обращения функции релаксации $\phi_{\varepsilon t}$ в виде НАЛ для многокомпонентной пряжи приведен на рис. 3.

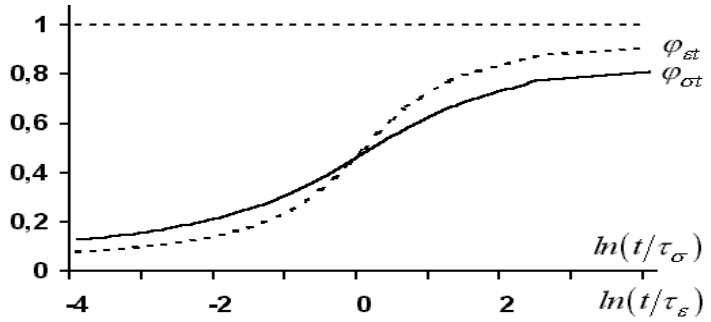


Рисунок 3 – Расчет обращения функции релаксации $\phi_{\varepsilon t}$ в виде НАЛ для многокомпонентной пряжи ($T = 20^0$).

Как видно из приведенного примера, график расчетной функции запаздывания имеют форму, близкую к форме графика функции НАЛ. Данное обстоятельство позволяет сделать еще один вывод о правомочности выбора функции НАЛ в качестве основы математической модели. Обращая функции релаксации и запаздывания, соответствующие другим нормированным функциям, можно отобрать ту из них, которая наилучшим образом подходит для моделирования деформационных свойств текстильных материалов [27].

Решение поставленной задачи стало возможно благодаря применению компьютерной техники. На основе разработанных методик прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов создано программное обеспечение [28], позволяющее не только рассчитать релаксационные характеристики и спрогнозировать деформационные процессы, но и определить доверительную область прогнозирования нелинейно-наследственной релаксации полимерных текстильных материалов, а также провести анализ устойчивости полученных параметров.

Таким образом:

1. Получен метод численного решения задачи о резольвенте определяющих интегральных уравнений релаксации и ползучести для случая нелинейности релаксационных свойств полимерных текстильных материалов.

2. Численное обращение интегральных ядер релаксации и запаздывания, а также соответствующих им нормированных функций в виде нормированный арктангенс логарифма приведенного времени для многокомпонентной пряжи позволяет сделать вывод о правильности выбора данной функции в качестве основы модели релаксационных свойств.

3. Сформулированы критерии оптимальности выбора математической модели релаксации полимерных текстильных текстильных материалов.

4. Разработано программное обеспечение, позволяющее определить доверительную область прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов и провести анализ устойчивости параметров релаксации.

Работа финансировалась в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, Проект № FSEZ-2023-0003.

Список литературы

1. Козлов А.А., Киселев С.В. Исследование эксплуатационных процессов полимерных текстильных эластомеров медицинского назначения//Химические волокна, 2023 - 2, с. 3-5.

2. Киселев С.В., Козлов А.А. Методы проведения экспериментальных и теоретических исследований эксплуатационных свойств полимерных текстильных эластомеров для имплантологии//Химические волокна, 2023 - 2, с. 17-19.

3. Климова Н.С. Разработка рекомендаций по проектированию полимерных текстильных материалов медицинского назначения//Химические волокна, 2023 - 2, с. 20-22.

4. Егоров И.М., Козлов А.А. Математическое моделирование релаксационных свойств текстильных эластомеров, применяемых в имплантологии//Химические волокна, 2023 - 2, с. 29-31.

5. Егорова М.А., Козлов А.А., Томашевич Я.С. Разработка математических моделей и методов прогнозирования релаксационных процессов полимерных текстильных материалов //Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 1, с. 5-9.

6. Киселев С.В. Расчетное прогнозирование деформационных процессов полимерных текстильных материалов //Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 1, с. 21-26.

7. Климова Н.С. Проведение оценки функциональности полимерных текстильных материалов с целью повышения их конкурентоспособности// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 2, с. 32-35.

8. Киселев С.В. Исследование и моделирование деформационных свойств текстильных эластомеров для имплантологии// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 2, с. 23-27.

9. Козлов А.А., Киселев С.В. Методы прогнозирования релаксационных и деформационных процессов полимерных текстильных материалов// Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности - 2023 - 2, 40-43.

10. Козлов А.А. Исследования деформационных процессов медицинских текстильных эластомеров // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 2, с. 133-138.

11. Киселев С.В. Проведение теоретических и экспериментальных исследований процессов эксплуатации медицинских текстильных эластомеров // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 2, с. 139-144.

12. Егоров И.М., Козлов А.А. Математическое моделирование релаксационных режимов эксплуатации медицинских текстильных эластомеров для имплантологии // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 2, с. 145-150.

13. Егорова М.А., Киселев С.В. Проведение системного и качественного анализа эксплуатационных процессов арамидных текстильных материалов // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 2, с. 88-93.

14. Климова Н.С. Компьютерное моделирование деформационных свойств полимерных текстильных нитей для парашютостроения // Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 3, с. 113-117.

15. Козлов А.А. Методы цифрового прогнозирования процессов обратной релаксации полимерных текстильных материалов// Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 3, с. 87-90.

16. Егоров И.М., Егорова М.А. Цифровое моделирование деформационных процессов полиэфирных крученых нитей// Дизайн. Материалы. Технология, 2023 - 3, с. 91-96.

17. Козлов А.А. Проведение исследований деформационных процессов текстильных эластомеров для имплантологии //Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 1, с. 25-29.

18. Киселев С.В. Экспериментальные и теоретические исследования деформационных свойств текстильных эластомеров для имплантологии // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 1, с. 93-97.

19. Егоров И.М., Козлов А.А. Моделирование релаксации текстильных эластомеров

для имплантологии // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 1, с. 98-102.

20. Егорова М.А., Киселев С.В. Системный анализ эксплуатационных свойств арамидных текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 1, с. 10-14.

21. Козлов А.А., Киселев С.В. Цифровизация прогнозирования релаксационных и деформационных процессов текстильных материалов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 1, с. 15-19.

22. Егоров И.М., Козлов А.А. Построение математических моделей деформационных процессов текстильных медицинских эластомеров//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 91-94.

23. Козлов А.А., Киселев С.В. Разработка методов прогнозирования процессов обратной релаксации полимерных текстильных материалов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 95-98.

24. Климова Н.С. Математическое моделирование деформационных процессов полиэфирных крученых нитей//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 99-103.

25. Киселев С.В., Козлов А.А. Методы исследования деформационных и релаксационных свойств полимерных морских канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 54-58.

26. Климова Н.С. Математическое моделирование и системный анализ деформационных свойств полимерных нитей для парашютостроения//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 14-17.

27. Козлов А.А., Киселев С.В. Системный анализ деформационных свойств полимерных морских канатов//Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 4. Промышленные технологии, 2023 - 2, с. 18-22.

28. Киселев С.В. Методы системного анализа при определении энергии активации процессов релаксации и ползучести полимерных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2022, № 3, с. 46-50.

УДК 677.022

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ ПРЯЖИ
APPLICATION OF EXPERIMENTAL DESIGN METHODS FOR PREDICTING LINEAR YARN DENSITY

Сичевой Д.В. [1,3], Разумеев К.Э. [2,3]
Sichevoy D.V. [1,3], Razumeev K.E. [2,3]

[1] ФГБУ «Российский сельскохозяйственный центр», Москва
[1] "Russian Agricultural Center", Moscow
[2]ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», Москва
[2] Kosygin Russian State University, Moscow
[3] Российская инженерная академия, Москва
[3] Russian Engineering Academy, Moscow
(email: dmitriy.sichevoy@gmail.com, ker2210@yandex.ru)

Аннотация: В работе рассмотрена возможность применения методов планирования эксперимента для прогнозирования линейной плотности пряжи. В качестве входных параметров были выбраны количество сложений, коэффициент крутки, линейная плотность волокна, линейная плотность одной нити в пряже. В результате расчетов была получена многофакторная модель, позволяющая прогнозировать линейную плотность пряжи.

Annotation: The paper examines the possibility of using experimental design methods to predict the linear density of yarn. The number of folds, twist coefficient, linear density of the fiber, linear density of one thread in the yarn were selected as input parameters. As a result of calculations, a multifactor model was obtained that allows predicting the linear density of yarn.

Ключевые слова: пряжа, линейная плотность, планирование эксперимента, многофакторный эксперимент, уравнение регрессии

Key words: yarn, linear density, experimental planning, multivariate experiment, regression equation

Развитие предприятия невозможно без планирования процессов функционирования и без их грамотной организации. И тем более это невозможно без использования научных подходов планирования и организации деятельности. Задачей планирования эксперимента является разработка рекомендаций или производственного процесса на основе исследования предварительных опытных данных для дальнейшей их реализации и построения математической модели исследуемого процесса с целью дальнейшего прогнозирования производства.

Рассмотрим возможность применения методов планирования эксперимента для прогнозирования линейной плотности пряжи. Для расчетов использованы данные, представленные в табл. 1.

Таблица 1 – Данные прогнозирования линейной плотности пряжи

Линейная плотность пряжи Y, текс	Количество сложений X1	Коэффициент крутки X2	Линейная плотность волокна X3, текс	Линейная плотность одной нити в пряже X4, текс
84	1	42	0,448	84
130	1	54	0,598	130
150	1	65	0,818	150
64	2	18	0,429	32
84	3	20	0,457	28
90	2	22	0,548	45
140	2	28	0,684	70

Определим вектор оценок коэффициентов регрессии. Согласно методу наименьших квадратов, вектор *s* получается из выражения: $s = (X^TX)^{-1}X^TY$ [1-12]

К матрице с переменными X_j добавляем единичный столбец:

1,00	1,00	42,00	0,45	84,00
1,00	1,00	54,00	0,60	130,00
1,00	1,00	65,00	0,82	150,00
1,00	2,00	18,00	0,43	32,00
1,00	3,00	20,00	0,46	28,00
1,00	2,00	22,00	0,55	45,00
1,00	2,00	28,00	0,68	70,00

Матрица Y

84
130
150
64
84
90
140

Находим обратную матрицу $(X^TX)^{-1}$

9,98	-2,02	-0,23	-6,06	0,07
-2,02	1,67	-0,07	-5,32	0,06
-0,23	-0,07	0,03	0,64	-0,01
-6,06	-5,32	0,64	41,90	-0,41
0,07	0,06	-0,01	-0,41	0,01

Вектор оценок коэффициентов регрессии равен $Y(X) = (X^TX)^{-1}X^TY =$

-5,92
18,96
-2,80
87,91
1,68

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии)

$$Y = -5{,}92 + 18{,}96X_1 - 2{,}80X_2 + 87{,}91X_3 + 1{,}68X_4$$

В результате расчетов выявили значимые факторы.

Если в матрице есть межфакторный коэффициент корреляции rxjxi > 0.7, то в данной

модели множественной регрессии существует мультиколлинеарность. В нашем случае r(x1x2), r(x1x4), r(x2x4), r(x3x4) имеют |r|>0.7, что говорит о мультиколлинеарности факторов и о необходимости исключения одного из них из дальнейшего анализа.

В нашем случае $r(x_1x_2)$, $r(x_1x_4)$, $r(x_2x_4)$, $r(x_3x_4)$ имеют |r|>0.7, что говорит о мультиколлинеарности факторов и о необходимости исключения одного из них из дальнейшего анализа.

Наиболее детальным показателем наличия проблем, связанных с мультиколлинеарностью, является коэффициент увеличения дисперсии, определяемый для каждой переменной как:

$$VIF(b_j) = \frac{1}{1-R_j^2}$$

где R_j^2 – коэффициент множественной детерминации в регрессии X_j на прочие X.

О мультиколлинеарности будет свидетельствовать VIF от 4 и выше хотя бы для одного j [1-12].

Модель регрессии в стандартном масштабе предполагает, что все значения исследуемых признаков переводятся в стандарты (стандартизованные значения) по формулам:

$$t_j = \frac{xj_i - \overline{xj}}{S(x_j)}$$

где x_{ji} – значение переменной x_{ji} в i-ом наблюдении.

$$t_y = \frac{y_i - \overline{xj}}{S(y)}$$

Начало отсчета каждой стандартизованной переменной совмещается с ее средним значением, а в качестве единицы изменения принимается ее среднее квадратическое отклонение S.

Для наших данных (берем из матрицы парных коэффициентов корреляции):

$$-0{,}45 = \beta1 - 0{,}835\beta2 - 0{,}414\beta3 - 0{,}84\beta4$$
$$0{,}715 = -0{,}835\beta1 + \beta2 + 0{,}675\beta3 + 0{,}986\beta4$$
$$0{,}939 = -0{,}414\beta1 + 0{,}675\beta2 + \beta3 + 0{,}743\beta4$$
$$0{,}793 = -0{,}84\beta1 + 0{,}986\beta2 + 0{,}743\beta3 + \beta4$$

Данную систему линейных уравнений решаем методом Гаусса:

$$\beta1 = 0{,}43;\ \beta2 = -1{,}55;\ \beta3 = 0{,}378;\ \beta4 = 2{,}402;$$

Стандартизированная форма уравнения регрессии имеет вид:

$$ty = 0{,}43x1 - 1{,}55x2 + 0{,}378x3 + 2{,}402x4$$

Найденные из данной системы β – коэффициенты позволяют определить значения коэффициентов в регрессии в естественном масштабе.

Для несмещенной оценки дисперсии проделаем следующие вычисления:

Несмещенная ошибка ε = Y - Y(x) = Y - X*s (абсолютная ошибка аппроксимации)

Y	Y(x)	ε = Y - Y(x)	ε^2	$(Y-Ycp)^2$	|ε : Y|
84,00	75,56	8,44	71,22	484,00	0,10
130,00	132,22	-2,22	4,92	576,00	0,02
150,00	154,27	-4,27	18,22	1936,00	0,03
64,00	72,93	-8,93	79,68	1764,00	0,14
84,00	82,05	1,95	3,81	484,00	0,02
90,00	93,97	-3,97	15,75	256,00	0,04
140,00	131,01	8,99	80,82	1156,00	0,06
			274,41	6656,00	0,42

Средняя ошибка аппроксимации

$$A = \frac{\sum|\epsilon : Y|}{n} \cdot 100\,\% = \frac{0.417}{7} \cdot 100\,\% = 5.96\,\%$$

Оценка дисперсии равна:

$$s_e^2=(Y-Y(X))^T(Y-Y(X))=274.409$$

Несмещенная оценка дисперсии равна:

$$s^2 = \frac{1}{n-m-1} \cdot s_e^2 = \frac{1}{7-4-1} \cdot 274.409 = 137.2047$$

Оценка среднеквадратичного отклонения (*стандартная ошибка для оценки Y*):

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{137.2047} = 11.713$$

Найдем оценку ковариационной матрицы вектора $k = S^2 \bullet (X^TX)^{-1}$

1369,62	-277,69	-31,97	-831,68	9,56
-277,69	229,59	-9,75	-730,21	8,40
-31,97	-9,75	3,82	87,64	-1,78
-831,68	-730,21	87,64	5748,95	-55,90
9,56	8,40	-1,78	-55,90	0,92

Дисперсии параметров модели определяются соотношением $S^2_i = K_{ii}$, т.е. это элементы, лежащие на главной диагонали

$$S_{b0} = \sqrt{1369.621} = 37.008$$
$$S_{b1} = \sqrt{229.589} = 15.152$$
$$S_{b2} = \sqrt{3.817} = 1.954$$
$$S_{b3} = \sqrt{5748.949} = 75.822$$
$$S_{b4} = \sqrt{0.924} = 0.961$$

Рассчитаем частные коэффициенты эластичности, которые определяются по формуле:

$$E_i = b_i \cdot \frac{\overline{x}_i}{\overline{y}}$$

Частный коэффициент эластичности показывает, насколько процентов в среднем изменяется признак-результат *y* с увеличением признака-фактора x_j на 1% от своего среднего уровня при фиксированном положении других факторов модели.

$$E_1 = 18.961 \cdot \frac{1.714}{106} = 0.307$$
$$E_2 = -2.8 \cdot \frac{35.571}{106} = -0.94$$
$$E_3 = 87.906 \cdot \frac{0.569}{106} = 0.472$$
$$E_4 = 1.675 \cdot \frac{77}{106} = 1.217$$

Влияние факторов на Y значительно.

Тесноту совместного влияния факторов на результат оценивает индекс множественной корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{s_e^2}{\sum(y_i - \overline{y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{274.409}{6656}} = 0.9792$$

Коэффициент множественной корреляции можно определить через матрицу парных коэффициентов корреляции:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\Delta_r}{\Delta_{r11}}}$$

где Δ_r – определитель матрицы парных коэффициентов корреляции; Δ_{r11} – определитель матрицы межфакторной корреляции.

$$\Delta_r = \begin{vmatrix} 1 & -0{,}45 & 0{,}715 & 0{,}939 & 0{,}793 \\ -0{,}45 & 1 & -0{,}835 & -0{,}414 & -0{,}84 \\ 0{,}715 & -0{,}835 & 1 & 0{,}675 & 0{,}986 \\ 0{,}939 & -0{,}414 & 0{,}675 & 1 & 0{,}743 \\ 0{,}793 & -0{,}84 & 0{,}986 & 0{,}743 & 1 \end{vmatrix} = 6.4E\text{-}5$$

$$\Delta_{r11} = \begin{vmatrix} 1 & -0{,}835 & -0{,}414 & -0{,}84 \\ -0{,}835 & 1 & 0{,}675 & 0{,}986 \\ -0{,}414 & 0{,}675 & 1 & 0{,}743 \\ -0{,}84 & 0{,}986 & 0{,}743 & 1 \end{vmatrix} = 0.00154$$

Коэффициент множественной корреляции

$$R = \sqrt{1 - \frac{6.4E-5}{0.00154}} = 0.9792$$

Связь между признаком Y и факторами X_i весьма сильная.

Расчёт коэффициента корреляции выполним, используя известные значения линейных коэффициентов парной корреляции и β-коэффициентов.

$$R = \sqrt{(-0.45)\cdot 0.43 + 0.715\cdot(-1.55) + 0.939\cdot 0.378 + 0.793\cdot 2.402} = \sqrt{0.959} = 0.979$$

Коэффициент детерминации

$$R^2 = 0{,}959$$

Коэффициент детерминации.

$$R^2 = 0{,}9792^2 = 0.9588$$

Более объективной оценкой является скорректированный коэффициент детерминации:

$$\overline{R}^2 = 1 - (1 - R^2)\cdot\frac{n-1}{n-m-1}$$

$$\overline{R}^2 = 1 - (1 - 0.9588)\cdot\frac{7-1}{7-4-1} = 0.876$$

Стандартная ошибка коэффициента корреляции рассчитывается по формуле:

$$S_{eY} = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

$$S_{eY} = \frac{1}{\sqrt{7}} = 0.378$$

Если коэффициент автокорреляции первого порядка r_1 находится в интервале:

$$-6.205*0.378 < r_1 < 6.205*0.378$$

то можно считать, что данные не показывают наличие автокорреляции первого порядка.

Используя расчетную таблицу, получаем:

$$r_1 \approx \frac{\sum \epsilon_i \cdot \epsilon_{i-1}}{\sum \epsilon_i^2} = \frac{-32.004}{274.409} = -0.117$$

Так как $-2.345 < r_1 = -0.117 < 2.345$, то свойство независимости остатков выполняется. Автокорреляции отсутствует.

Список использованных источников

1. Сичевой Д.В., Разумеев К.Э. Идентификация волокон шерсти. Монография. – М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2023. – 164 с.

2. Корицкий К.И. Основы проектирования свойств пряжи. М.: Гизлегпром, 1963. 246 с.

3. Рыклин Д.Б. Технологические и теоретические основы производства многокомпонентной пряжи и комбинированных нитей: дисс. ... докт. техн. наук: 05.19.02. утв.

22.05.2007. М., 2007. 536 с.

4. Kogan A.G. Research in to the Features of Producing Combined Yam by the Air - Jet Technique // Fibres and Text. East. Europe. 1999, 7, №3(26). S. 16-18.

5. Ryklin D.B., Rynejsky K.N., Kogan A.G. Imitation modeling of drawing with computer // Wlo kiennict wo: Zeszyty nauk Politechniki Lodzkiej. №845. Lodz: PolitechnikaLodzka-2000. S.137-142.

6. Рыклин Д.Б., Коган А.Г. Производство многокомпонентной пряжи и комбинированных нитей. Витебск: УО «ВГТУ», 2002. 215 с.

7. Рыклин Д.Б. Моделирование технологических процессов переработки неоднородных волокнистых материалов. Витебск: УО «ВГТУ», 2006. -170 с.

8. Кузнецов А.А. Разработка экспресс-методов оценки и программирования физико-механических свойств текстильных нитей: дисс. ... докт. техн. наук: 05.19.01. утв. 25.10.2007. М., 2007. 358 с.

9. Богачева С.Ю. Проектирование прочности гребенной шерстяной пряжи: дисс ... канд. техн. наук: 05.19.02. утв. 28.12.2004. М., 2004. 163 с.

10. Щербаков В.П. Прикладная механика нити. М.: МГТУ им. А.Н. Косыгина, 2001. 301 с.

11. Щербаков В.П., Скуланова Н.С. Аналитические методы проектирования нити и пряжи. М.: МГТУ им. А.И. Косыгина, 2007. 73 с.

12. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико- технологических процессов. М.: Легкая индустрия, 1980. 392 с.

IV МЕЖДУНАРОДНЫЙ КОСЫГИНСКИЙ ФОРУМ «ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНЫХ НАУК: ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА»

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ «СОВРЕМЕННЫЕ ИНЖЕНЕРНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КЛЮЧЕВЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ СТРАНЫ»

Сборник научных трудов

Том 2

по итогам Международного научно-технического
симпозиума «Современные инженерные
проблемы ключевых отраслей экономики страны»
20-22 февраля 2024 г.

Научное издание

Технический редактор Федорова Н.Е.

Компьютерная верстка Федорова Н.Е.

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