СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ



Материалы XV Международной научно-инновационной молодежной конференции 30 ноября – 01 декабря 2023 г.

Тамбов 2023 г.

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
ФГБУН Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова РАН
Научно-образовательный центр ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии»

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Материалы XV Международной научно-инновационной молодежной конференции
(Тамбов, 30 ноября – 01 декабря 2023 г.)

Научное электронное издание

Тамбов
Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
2023

УДК 620.1
ББК 34.4+65.291.5
С56

Конференция проводилась в рамках реализации в форме субсидий из федерального бюджета образовательным организациям высшего образования на реализацию мероприятий, направленных на поддержку студенческих научных сообществ (*Соглашение № 075-15-2023-564 от 16.06.2023 г.*)

С56 **Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент** [Электронный ресурс] : материалы XV Международной научно-инновационной молодежной конференции ; под общ. ред. оргкомитета ФГБОУ ВО «ТГТУ», 30 ноября – 01 декабря 2023 г. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2023. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования : ПК не ниже класса Pentium II ; CD-ROM-дисковод ; 9,4 Mb ; RAM ; Windows 95/98/XP ; мышь. – Загл. с экрана.

ISBN 978-5-8265-2667-5

Содержат научные статьи и тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых научных работников ВУЗов, НИИ и предприятий Российской Федерации и зарубежных стран, вошедших в программу XV Международной научно-инновационной молодежной конференции «Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент».

Оргкомитет благодарит за помощь в организации и проведении конференции Совет молодых ученых и специалистов и Студенческое научное объединение ТГТУ.

Могут быть полезны преподавателям вузов, научным работникам, руководителям и специалистам предприятий, а также аспирантам, магистрантам и студентам.

УДК 620.1
ББК 34.4+65.291.5

Материалы статей предоставлены в электронном виде и сохраняют авторскую редакцию.

Все права на размножение и распространение в любой форме остаются за разработчиком. Нелегальное копирование и использование данного продукта запрещено.

ISBN 978-5-8265-2667-5

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2023
© Авторы статей, 2023

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ
XV Международной научно-инновационной молодежной конференции
СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ:
ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Программный комитет:

Краснянский Михаил Николаевич	– профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – председатель;
Бажин Павел Михайлович	– д.т.н., зам. директора Института структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А. Г. Мержанова РАН, г. Черноголовка, Россия;
Баронин Геннадий Сергеевич	– д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов, Россия – зам. председателя Программного комитета;
Валитов Венер Анварович	– д.т.н., ведущий научный сотрудник Института проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа, Республика Башкортостан.
Дмитриев Олег Сергеевич	– д.т.н., профессор, академик РАЕН, зав. кафедрой «Физика» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Лазарев Сергей Иванович	– д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Мищенко Сергей Владимирович	– д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Мордасов Денис Михайлович	– д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Материалы и технология» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Муромцев Дмитрий Юрьевич	– д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Столин Александр Моисеевич	– д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов ИСМАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г. Черноголовка, Россия;
Стельмах Любовь Семеновна	– д.т.н, вед.н.с. ИСМАН, г.Черноголовка, Россия;
Ткачев Алексей Григорьевич	– д.т.н., профессор, зав.кафедрой «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Туголуков Евгений Николаевич	– д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Хина Борис Борисович	– д.ф.-м.н., гл.н.с. Физико-технического института НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ

Краснянский Михаил Николаевич	– профессор РАН, д.т.н., профессор, ректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – председатель;
Завражин Дмитрий Олегович	– к.т.н., начальник отдела научно-технических программ ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия – заместитель председателя Оргкомитета;
Баронин Геннадий Сергеевич	– д.т.н., профессор ФГБОУ ВО «ТГТУ», директор НОЦ ТамбГТУ-ИСМАН «Твердофазные технологии», г. Тамбов, Россия;
Молоткова Наталия Вячеславовна	– д.п.н., профессор, первый проректор ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Майстренко Александр Владимирович	– к.т.н., доцент, проректор по развитию имущественного комплекса ФГБОУ ВО «ТГТУ», г.Тамбов, Россия;
Муромцев Дмитрий Юрьевич	– д.т.н., профессор, проректор по научно-инновационной деятельности ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия;
Столин Александр Моисеевич	– д.ф.-м.н., профессор, зав. лабораторией пластического деформирования материалов ИСМАН, руководитель НОЦ ИСМАН, г. Черноголовка, Россия;

СОДЕРЖАНИЕ

Пленарные доклады …….. 8
Валитов В.А., Галиева Э.В.
Получение твердофазных соединений из гетерофазных сплавов и интерметаллидов на основе никеля сваркой давлением в условиях сверхпластичности …….. 8

СЕКЦИЯ 1. Материаловедение и твердофазные технологии новых материалов …… 22
Бажина А.Д., Чижиков А.П., Константинов А.С., Бажин П.М., Антипов М.С.
Изготовление слоистых композиционных материалов на основе TiB/TiAl/Ti свободным СВС-сжатием, их структура и механические характеристики …… 22
Панченко Е.Б., Шерстеникин П.А., Мордасов М.Д., Мордасов Д.М.
Технологическая оснастка для низкотемпературного твердофазного азотирования …… 25
Воронина Н.С., Панченко Е.Б., Воронин А.В.
Усовершенствование полупроводников из диселенида фольфрама частицами серебра ……... 28
Галиева Э.В.
Твердофазное соединение жаропрочных никелевых сплавов ЭК61 и ЭП975 …… 31
Копытский В.О., Малахов А.Ю., Денисов И.В., Петров Е.В., Галиев Ф.Ф., Серопян С.А.
Обжатие полого стального цилиндра скользящей детонационной волной ... 34
Воронина Н.С., Панченко Е.Б., Воронин А.В.
Углеродная пена для поглощения нефти с поверхности воды ……... 37
Назарчук А.П., Данилов В.М., Ярцев В.П.
Влияние неблагоприятных климатических воздействий на набухание ДВП 40
Панченко Е.Б., Коняхина Н.С., Шерстеникин П.А., Мордасов М.Д.
Азотосодержащие соли в качестве насыщающей среды для твердофазного низкотемпературного азотирования …….. 45
Семенчук И.Е., Щербаков В.А., Грядунов А.Н.
СВС-компактирование двойного карбида TixZr1-xC …….. 48
Кожарина Т.В., Карпов С.В., Беляков А., Гороновский А.Р.
Методы восстановления частей мульчеров 53
Чижиков А.П., Антипов М.С., Жидович А.О., Константинов А.С., Бажин П.М.
Изучение реологических характеристик исходных порошковых заготовок для получения огнеупорных материалов методом свободного СВС-сжатия 57

СЕКЦИЯ 2. Технологии наносистем и материалов 60
Брянкин К.В., Субочева М.Ю., Брянкина А.К.
Свойства металлов в наноструктурированном виде как структурных элементов контактной массы в процессах нефтепереработки …… 60
Бадин Д.А., Тимиргалиев А.Н., Ананьева О.А., Яркин В.О., Кадум А.Х., Бураков А.Е., Буракова И.В., Кузнецова Т.С.
Получение активированных углей из вторичного сырья АПК Тамбовской области как эффективных сорбентов в очистке водных сред ……. 65

СЕКЦИЯ 3. Химико-технологические процессы и системы 69
Кровякова Е.И., Дегтярев А.А., Швец М.Е., Бакунин Н.С.
Адсорбция триалкиламинов на поверхности (102) фталоцианина меди ….. 69
Филимонова О.С., Михайлин М.И., Хорохорина И.В., Лазарев С.И.
Исследование десорбции ионов на катионообменной мембране после электродеионизационной очистки …… 72
Родин М.В., Родина Н.С., Евсеева Н.А., Пасько Т.В.
Применение патентной аналитики при анализе пространства инноваций в области электрохимического обессоливания воды ……... 75
Шестаков К.В., Лазарев С.И., Крылов А.В., Гессен М.С.
Разработка электродиализатора и технологической схемы линии очистки на его основе …… 79
Пасько А.А., Баранов Д.А., Зайцев Д.А., Ломакин П.А., Толмачева О.И.
Автономная установка для получения воды из воздуха …….. 82
Швец М.Е., Кровякова Е.И., Дегтярев А.А.
Адсорбция триалкиламинов на поверхности (130) фталоцианина меди ….. 86
Малин П.М., Галкин П.А.
Особенности очистки сточных вод после процесса латунирования …….. 89

СЕКЦИЯ 4. Механика и математическое моделирование новых материалов и технологий …… 93
Беляков А.А., Станкевич Е.А., Татур Т.В., Кожарина Т.В.
Комплексная оценка технических решений как составляющая проблема проектирования электротранспортных средств ……... 93
Пасько А.А., Никитин Д.В., Ломакин П.А., Баранов Д.А., Зайцев Д.А., Толмачева О.И.
Многофазное течение жидкости в водокольцевом вакуумном насосе …….. 98
Фижбах Т.В., Чуприкова А.А., Ермаков А.С.
Моделирование процессов получения резиновых смесей …….. 101
Беляков А.А., Рыбакова С.М., Станкевич Е.А., Кожарина Т.В.
Анализ прочности элементов трансмиссии малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом ……... 105
Тришина А.В., Здерева А.В., Ростова Д.П.
Проверка качества модели SMD для прогнозирования олеофильно-гидрофильных свойств поверхности органических пигментов …….. 110
Бакунин Н.С., Дегтярев А.А., Ростова Д.П., Кровякова Е.И., Швец М.Е.
Оценка значения энергетической щели в малых кластерах нанографита в зависимости от числа слоев ……. 113

СЕКЦИЯ 5. Инновационный менеджмент в сфере высоких технологий 116
Коршиков Д.А., Быковская Е.В.
Возможности реализации инновационного потенциала промышленного предприятия ……. 116
Андрющенко А.В., Королькова Е.М.
Инструменты управления проектами …… 121
Недбаев А.А., Быковская Е.В.
Актуальные аспекты концепции управления цифровой трансформацией экономической системы региона ……... 126
Чуприкова А.А., Ермаков А.С., Фижбах Т.В.
Бизнес-проект по изготовлению накладок для почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники …….. 131
Шварц Е.Б., Быковская Е.В.
Актуальные вопросы отечественного функционального образования …….. 136
Ермаков А.С., Фижбах Т.В., Чуприкова А.А.
Организация производства кровельных материалов из полимер-песчаного композита с использованием вторичных пластмасс …… 141
Крюков А.В., Быковская Е.В.
Возможности формирования мобилизационной экономики России: аспекты экономического роста как основы технологического суверенитета 146

ПОЛУЧЕНИЕ ТВЕРДОФАЗНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ГЕТЕРОФАЗНЫХ СПЛАВОВ И ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЯ СВАРКОЙ ДАВЛЕНИЕМ В УСЛОВИЯХ СВЕРХПЛАСТИЧНОСТИ

д.т.н. Валитов В.А.[1,2], к.т.н. Галиева Э.В.[1]
[1]Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, valitov_va@mail.ru;
[2]Уфимский университет науки и технологий, Уфа.

Аннотация. В работе обобщены результаты многолетних исследований, направленных на создание научных основ инновационного метода сварки давлением в условиях сверхпластичности (СП), позволяющего получать качественные твердофазные соединения из гетерофазных сплавов и интерметаллидов на основе никеля. Показано, что сварка давлением в условиях СП является эффективным методом для получения неразъемных твердофазных соединений из деформируемого жаропрочного никелевого сплава ЭП975 с другим деформируемым сплавом ЭК79, а также с монокристаллическим сплавом типа ВКНА-25 на основе интерметаллида Ni_3Al. Изучены закономерности изменения микроструктуры и фазового состава в зоне твердофазного соединения в зависимости от температуры, степени деформации при сварки давлением, а также химического состава соединяемых сплавов. Максимальные значения прочности твердофазных соединений в сочетании сплавов ЭП975//ВКНА-25 после термической обработки составляют $0{,}9\sigma_в$ от прочности интерметаллидного сплава, а в сочетании деформируемых сплавов ЭК79//ЭП975 достигают $0{,}68\sigma_в$ от прочности сплава ЭК79. Полученные результаты свидетельствуют о перспективности применения разработанного метода сварки давлением в условиях сверхпластичности для изготовления биметаллических деталей типа «блиск» и «диск-вал».

1. Введение

В настоящее время для авиадвигателестроительных предприятий актуальной является проблема повышения экономичности ГТД, которая в значительной степени может быть решена за счет разработки и внедрения новых ресурсосберегающих технологий [1,2], в том числе, основанных на использовании эффекта СП при изготовлении деталей ГТД особенно из жаропрочных никелевых сплавов [3]. Другой, не менее важной является проблема повышения энергоэффективности газотурбинного двигателя нового поколения, которая, по-существу, в настоящее время является одной из главных проблем современного авиадвигателестроения. В значительной степени вышеуказанная проблема может быть решена, во-первых, путем увеличения

температуры рабочего газа перед входом в турбину, что достигается за счет использования новых современных особолегких жаропрочных сплавов на основе никеля с повышенными эксплуатационными характеристиками, в частности, интерметаллидных сплавов на основе Ni_3Al, а также современной системы охлаждения. Так, по данным ЦИАМ, максимальная температура газа перед турбиной увеличилась с 1300…1450 К в двигателях III поколения до 1800…1950 К в двигателях V поколения. Во-вторых, благодаря снижению массы подвижных частей, что может быть обеспечено за счет оптимизации конструкции и применения биметаллических деталей типа «диск-вал» или «Блиск» (неразъемное соединение диска с лопатками) из разнородных жаропрочных сплавов и интерметаллидов на основе никеля. Проведенный в работах [4 – 6] анализ конструктивных особенностей и энергосиловых параметров биметаллических деталей типа «Блиск» показал, что равномерное распределение нагрузки в подобном биметаллическом соединении позволяет снизить массу и размеры замковых частей диска и лопаток. Это в свою очередь приведет к снижению массогабаритных показателей ступицы и полотна диска за счет уменьшения центробежной нагрузки. Так, потенциально, за счет изменения конструкции соединения лопаток с диском суммарное снижение массы рабочего колеса может достигнуть до 30% по сравнению с традиционным вариантом соединения. Известно [1, 2, 7 – 10], что лопатки и диски работают в различных температурных условиях. Поэтому целесообразно использование разных материалов для дисков и лопаток. Так в работах [4, 6] показано, что перспективными материалом в качестве лопаток является сплав ВКНА-25, а для диска сплав ЭП975 (самым жаропрочный серийный деформируемый отечественный сплав). В настоящее время ведутся работы, направленные на изучение методов получения неразъемных соединений из указанных сплавов, а также изготовлению такой детали типа «Блиск».

Тенденции развития материалов и технологий свидетельствует, что изучению природы получения твердофазного соединения (ТФС) из одноименных и разноименных металлов и сплавов, в том числе на основе никеля, посвящено много работ [10 – 18], выполненных отечественными и зарубежными специалистами. Для получения неразъемных соединений применяются различные методы: диффузионная сварка, сварка трением, ротационная сварка, диффузионная пайка, сварка плавлением и др. Многие методы, в частности, линейная сварка трением неприменимы или имеют ограниченное применение для соединения никелевых сплавов с высоким содержанием Al и Ti. Методы диффузионной сварки и пайки предполагают проведение обработки соединяемых сплавов при температурах близких к температуре плавления. В отличие от перечисленных способов, предлагаемый в данной работе метод сварки давлением (СД) в условиях сверхпластичности позволяет исключить возникновение в зоне ТФС термических и фазовых напряжений и обеспечивает сохранение исходной структуры соединяемых материалов. Итак, инновационным ресурсосберегающим методом для

формообразования изделий из жаропрочных сплавов, в том числе биметаллических является СП деформация [2].

Целью данной работы является обобщение результатов исследований, связанных с разработкой научных основ инновационного метода сварки давлением в условиях сверхпластичности для получения качественных твердофазных соединении гетерофазных сплавов и интерметаллидов на основе никеля.

2. Материалы и методики исследований

Высокотемпературную СД интерметаллидного сплава ВКНА-25 с деформируемым сплавом ЭП975 проводили в герметичном контейнере из нержавеющей стали. СД по схеме осадка двух цилиндрических образцов из литого интерметаллидного сплава типа ВКНА-25 монокристаллической структурой и деформируемого поликристаллического сплава ЭП975 проводили на установке УВСД-1 для высокотемпературной СД [19], включающей высокотемпературную печь, бойки из интерметаллидного сплава типа ВКНА, систему откачки вакуума, систему охлаждения датчика нагрузки испытательной машины, закрепленной на испытательной машине Shenck Trebel типа RMS100 (рабочая зона печи показана на рис. 1).



а *б* *в*

Рис. 1. Рабочая зона печи испытательной установке УВСД-1 (*а, б*) и образцы до и после СД в герметичных контейнерах (*в*)

Для сварки давлением (СД) из деформируемого сплава ЭП975 и монокристаллического ВКНА-25 применялись цилиндрические образцы диаметром 16 мм и высотой 16-20 мм. СД осуществляли в условиях СП сплава ЭП975. Температура при СД составила 1075, 1125, 1175 °С. Начальная скорость деформации была равна 10^{-4} $с^{-1}$, глубина вакуума $5 \cdot 10^{-2}$ Па, а степень деформации ε сплава ЭП975 варьировалась от 10 до 40%.

Для изготовления биметаллической модельной заготовки типа диск-вал были использованы следующие заготовки. Вал из сплава ЭК79 представлял собой цилиндр диаметром 12 мм и высотой 32 мм, сопряженный с усеченным конусом высотой 20 мм. Угол α между образующими цилиндра и усеченного конуса составлял 3°. Отверстие в диске имело сужение с углом наклона на внутренней стенке, соответствующим конусности вала.

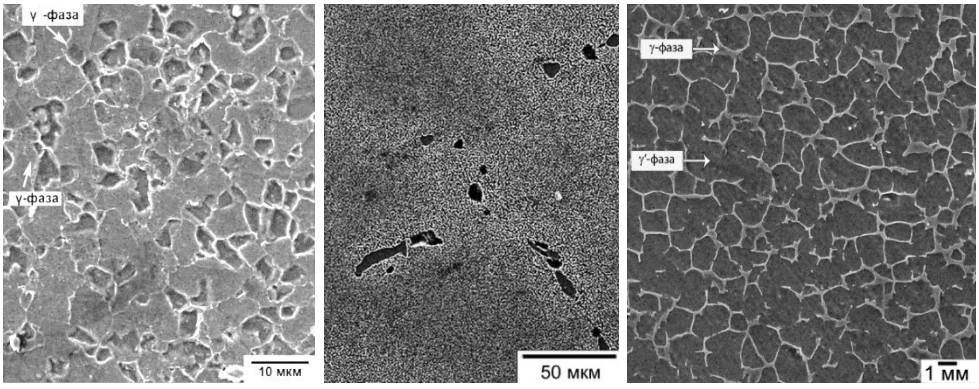
Общая высота диска – 14 мм, а диаметр 28 мм. Температура при СД модельной заготовки составила Т = 1100°С.

Микроструктурные исследования проводили на растровом электронном микроскопе Mira 3LMH (TESCAN, Чехия). Тонкую структуру изучали с использованием просвечивающего электронного микроскопа JEM-2000EX при ускоряющем напряжении 160 кВ. Энерго-дисперсионный (ЭДС) анализ проводили на растровом электронном микроскопе Vega 3SBH (TESCAN, Чехия). Механические испытания плоских сварных образцов проводили на испытательной машине Instron 5982.

3. Результаты исследования и их обсуждение

3.1. Исходная микроструктура исследуемых сплавов

Для исследований были использованы заготовки, вырезанные из штамповки диска из сплава ЭП975 диаметром ~550 мм [20], с мелкозернистой структурой типа микродуплекс (рис. 2, *а*), со средним размером зерен γ-фазы 8 ± 1,5мкм и γ′-фазы 3,5 ± 1,2 мкм, объемная доля крупных некогерентных частиц-зерен упрочняющей фазы (Vγ′) Vγ′ = 28%, объемная доля наноразмерных частиц Vγ′ = 27%. В исходном состоянии сплав ВКНА-25 в монокристаллическом состоянии имел типичную для интерметаллидных сплавов ячеисто-дендритную структуру и представлял собой естественный эвтектический композит γ′-Ni3Al + (10…15) об.% γ-Ni с избытком первичных выделений γ′-Ni3Al (рис. 2 *б*, *в*).



а *б* *в*

Рис. 2. Микроструктура сплавов ЭП975 и ВКНА-25 в исходном состоянии.

3.2. Влияние температуры и степени деформации при СД на структуру и свойства твердофазных соединений ЭП975//ВКНА-25

Влияние температуры. На рисунке 3 представлены микроструктуры после СД при температурах 1075, 1125 и 1175 °С.

Сплав ЭП975 перед СД имел мелкозернистую структуру типа микродуплекс, степень его деформации составила ε = 24%. Вблизи границы раздела в сплаве ЭП975 структура стабильна, сохраняется МЗ, размер γ-фазы составил ~8 мкм, в которой выделяются наноразмерные дисперсные частицы γ′-фазы.

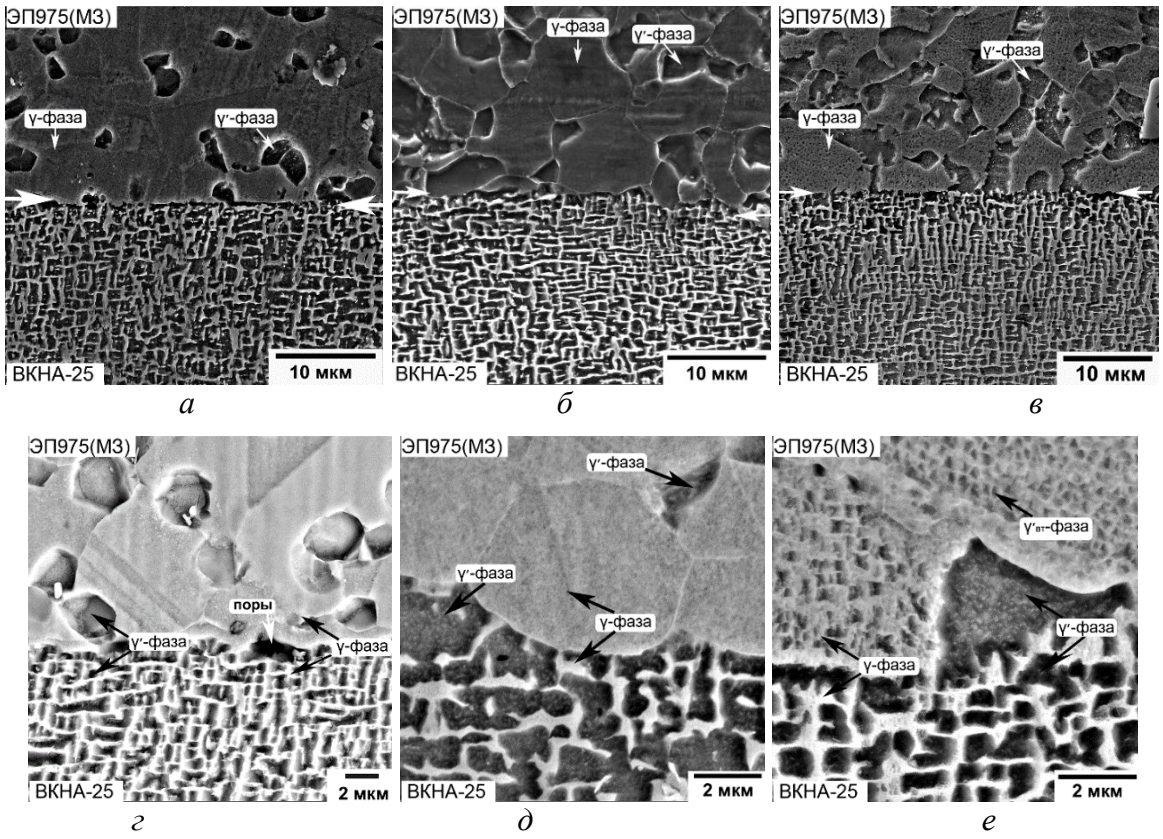


Рис. 3. Микроструктура зоны ТФС после СД образцов в паре ВКНА-25//ЭП975
(степень деформации сплава ЭП975 ε = 24%) при различных температурах
(*а – в* – режим SE; *г – д* – режим BSE): *а, г* – 1075 °С; *б, д* – 1125 °С; *в, е* – 1175 °С

В зоне ТФС около границы, разделяющей сплавы, со стороны сплава ВКНА-25 на глубину ~1…2 мкм наблюдается незначительное утолщение прослоек γ-фазы до 500 нм, далее структура стабильна. В зоне ТФС имеются круглые поры диаметром ~1 мкм и несплошности размером до 4…5 мкм в длину и 0,6 мкм в ширину.

Повышение температуры деформации до 1125 °С приводит к расширению диффузионной зоны до 35 ± 4 мкм [21. В славе ЭП975 сохраняется мелкозернистая структура, в теле зерен γ-фазы при охлаждении с температуры сварки дополнительно выделяются нанорзамерные частицы γ′-фазы. Граница раздела на плоскости шлифа представляет собой линию, вид которой зависит от того какая γ- или γ′-фаза сплава ЭП975 приходит во взаимодействие со сплавом ВКНА-25. На рисунке 3 видно, что в тех местах, где контактирование происходит с γ-фазой, линия прямая, а в тех местах, где осуществляется соприкосновение с γ′-фазой, происходит локальное искривление, вследствие того, что γ′-фаза твердая и менее пластичная.

Дальнейшее повышение температуры СД на 50С до 1175 °С вызвало изменения структуры сплава ЭП975 за счет неравномерного растворения γ′-фазы, объемная доля которой в микродуплексной структуре уменьшилась до 10…15%. Температура 1175 °С высокая и близка к температуре полного растворения γ′-фазы в сплаве ЭП975 ($T_{пр}$ = 1195 °С), поэтому более мелкие частицы начинают растворяться, а зерна γ-фазы начинают укрупняться.

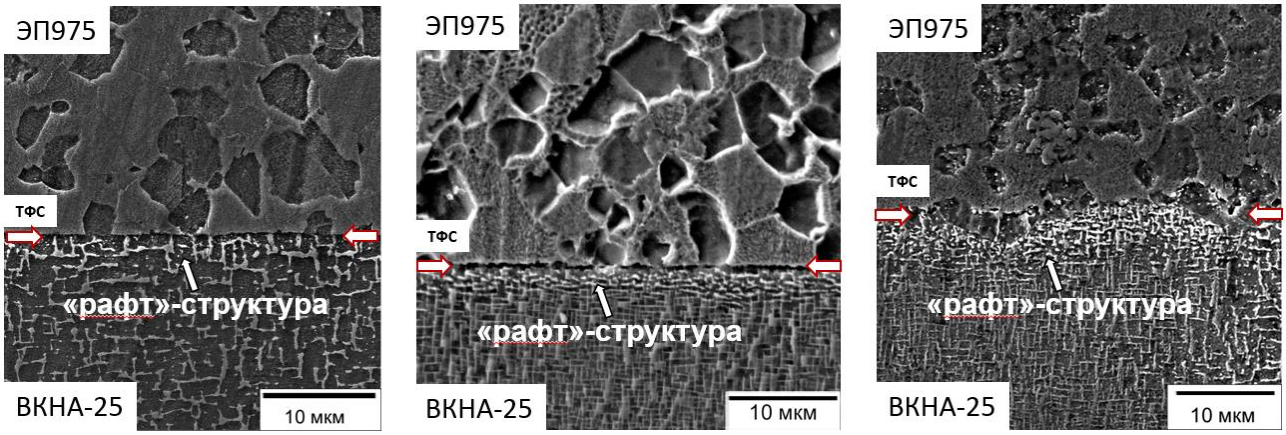
В структуре наблюдаются области с размером ~10 мкм и области с ~22 мкм, то есть средний размер зерна в разных областях различается более чем в 2 раза. Исследования показали, что такая разнозернистость полностью устраняется в результате последующей окончательной термической обработки. Следует отметить, что повышение температуры до 1175 °С существенного влияния на ширину диффузионной зоны не оказывает ее ширина составляет 30 ± 4 мкм, но обеспечивает формирование ТФС практически без пор 2,0 ± 0,5% даже при более низкой степени деформации сплава ЭП975, составляющей ε = 10%.

Необходимо отметить, что принципиальных различий в строении монокристалла ВКНА-25 при СД не произошло (рис. 3). Морфология γ′-фазы и γ-прослоек в γ′ + γ дендритах практически не изменилась. Там, где произошло утолщение отдельных участков γ-прослоек отмечается появление вторичных выдений γ′-фазы, что хорошо видно при больших увеличениях как в осях дендритов, так и в межосном пространстве.

Влияние степени деформации. На рисунке 4 представлены микроструктуры зон ТФС после СД при Т = 1125 °С и степенью деформации сплава ЭП975 ε = 24, 30 и 40%. В изученном интервале степеней деформации (24...40%), в сварных образцах между свариваемыми сплавами видна четкая граница раздела [22]. В основном наблюдаются участки свободные от пор. Суммарная протяженность пор вдоль границы не превышает 8…10%. Увеличение степени деформации до 40% приводит к формированию участков ТФС с извилистой границей (рис. 5, *в*) и, что особенно важно, сварных образцах с деформацией $\varepsilon_{ЭП975}$ = 40%, поры практически отсутствуют. Сверхпластическая деформация, по-видимому, позволяет не только разрушать оксидные пленки, но также приводит к снижению пористости, вероятно, за счет ЗГП происходит деформационное схлопывание пор аналогичным образом, как в работе [23], в результате чего площадь контактной зона увеличивается и создаются новые связи «металл-металл».

В процессе СД при 1125 ºС (продолжительность воздействия температуры составляет 43…72 мин.) изменения размера некогерентных выделений γ'-фазы и зерен γ-фазы в мелкозернистой структуре сплава ЭП975 не наблюдается. Морфология зерен γ′ и γ-фаз, характерных для дуплексной структуры исходного состояния сплава ЭП975, практически не изменилась, что характерно для сверхпластической деформации [24, 25]. После СД в сплаве ЭП975 внутри γ-зерен выделяются частицы γ′-фазы округлой формы размером до 600 нм, которые выделились в результате охлаждения с температуры сварки.

В структуре сплава ВКНА-25 на глубину до 5-7 мкм от линии ТФС наблюдается область, в которой произошло утолщение γ-прослоек до 550 нм и уменьшение размера участков γ′-фазы в дендритах (180…900 нм). В этой области прослойки γ-фазы вытягиваются перпендикулярно приложенному напряжению. Эта структурная область не имеет четкой границы с основным материалом – наблюдается плавный переход от крупных структурных составляющих к более мелким (структуре исходного сплава).



а *б* *в*

Рис. 4. Микроструктура зоны ТФС после СД образцов в паре ВКНА-25//ЭП975 при Т = 1125 ºС при различных степенях деформации сплава ЭП975:
а – 24%; *б* – 30%; *в* – 40%

В зоне, непосредственно прилегающей к зоне ТФС глубиной до 5…7 мкм формируется подобие так называемой «рафт-структуры» [22]. Причем с увеличение степени деформации такая структура становится более ярко выраженной. В области наблюдаемой «рафт-структуры» объемная доля γ′-фазы уменьшается по сравнению с ее содержанием в осях эвтектических γ′ + γ дендритов с ~85% до ~68 об. %. Это происходит за счет уменьшения содержания Al (в ~1,4 раза) как основного образующего элемента γ′-фазы вследствие его диффузии в никелевый сплав. Вдали от зоны ТФС в основном материале соединяемых сплавов ЭП975 и ВКНА-25 микроструктурных изменений не наблюдается. Структура обоих сплавов стабильна. Итак, сравнительный анализ микроструктуры в сплаве ВКНА-25 в околошовной зоне и вдали позволяют утверждать, что вся деформация сплава ВКНА-25 (степень которой составила не более 1%) локализуется в прилегающей к зоне ТФС.

Важно отметить, что несмотря на высокую степень деформации в сплаве ЭП975 ($\varepsilon_{ЭП975}$ = 40%) и локализации незначительной деформации ($\varepsilon_{ВКНА\text{-}25}$ = 1%) в сплаве ВКНА-25, структура сплава ЭП975 сохраняется мелкозернистой, а сплава ВКНА-25 монокристаллической даже в области непосредственно примыкающей к зоне ТФС, что подтверждается результатами EBSD анализа (рис. 5). На EBSD карте видно, что ориентация монокристалла соответствует направлению [001], лежащая в плоскости шлифа и ориентирована вертикально, никаких изменений в ориентации не произошло.

При всех исследованных режимах СД и последующей термической обработки (ТО) установлены общие закономерности изменения микроструктуры и фазового состава в зоне ТФС [19 – 22, 24 – 27]. Проведение ТО сварных образцов интенсифицирует в них диффузию всех элементов, а особенно таких, как Nb, Ti, Re, W, Mo, диффузия которых в процессе СД затруднена (рис. 6). ТО приводит к расширению в ~2…4 раза диффузионной зоны, которая характеризуется формированием градиентного изменения фазового состава и микроструктуры. После ТО изгиб на линиях распределения легирующих элементов становится более плавным при переходе от одного соединяемого сплава к другому.

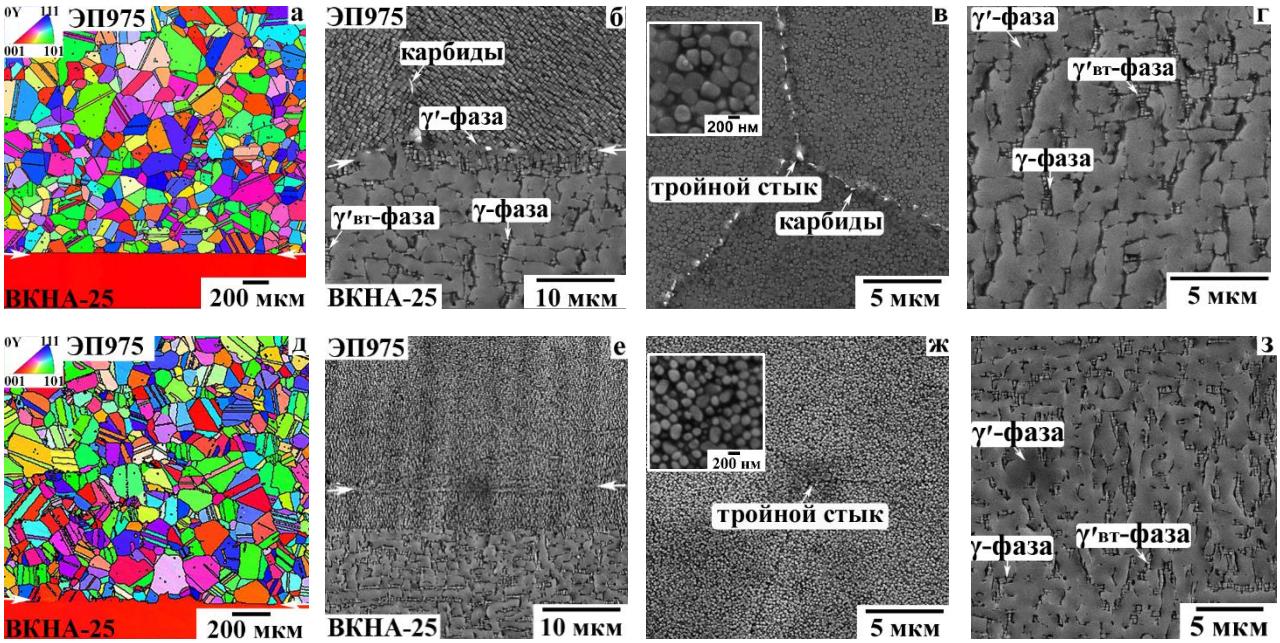


Рис. 5. Микроструктура сварных образцов ЭП975//ВКНА-25 после СД при Т = 1125 °С с различной степенью деформации и последующей термической обработки:
(*а* – г) $\varepsilon_{ЭП975}$= 24%; (*д* – *з*) $\varepsilon_{ЭП975}$ = 40%:
а, *д* – EBSD карты в зоне ТФС; *б*, *е* – зона ТФС; *в*, *ж* – ЭП975; *г*, *з* – ВКНА-25

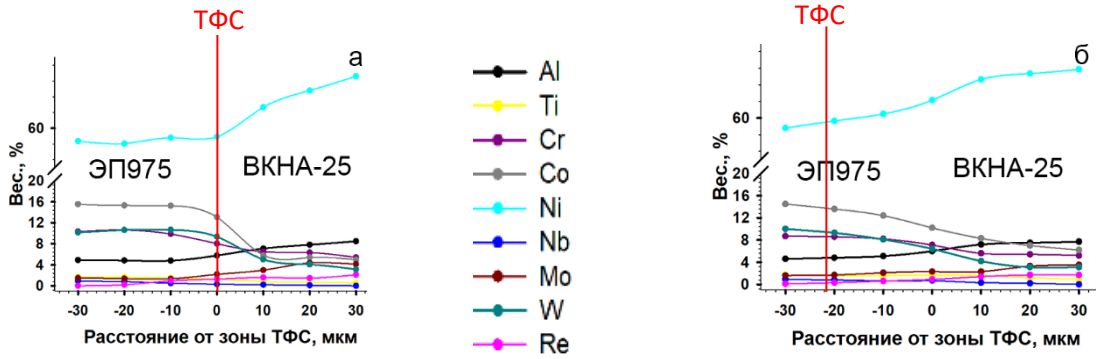


Рис. 6. Распределение элементов в поперечном направлении относительно зоны ТФС при переходе от сплава ЭП975 к сплаву ВКНА-25 после СД (*а*) и последующей ТО (*б*):
СД при Т = 1125 °С, $\varepsilon_{ЭП975}$ = 24%

Механические свойства сварных образцов ВКНА-25//ЭП975.

Результаты оценки прочности сварных соединений в сочетании сплавов приведены в табл. 1. Установлено, что с ростом степени деформации сплава ЭП975 с 24 до 40% в процессе СД при высокой температуре Т = 1125 °С происходит увеличение времени термического и деформационного воздействия (с ~40 до ~70 мин). Это обстоятельство, а также последующее проведение ТО, включающей высокотемпературный отжиг и старение, приводит к развитию стадии объемного взаимодействия за счет протекания гетеродиффузии легирующих элементов, что оказало положительное влияние на повышение прочности сварных соединений. Механические испытания на растяжение при комнатной температуре показали, что повышение температуры сварки до 1175 °С позволяет получить ТФС, которое равнопрочно основному материалу ВКНА-25 уже при низких степенях деформации сплава ЭП975

ε = 10%. Снижение температуры до 1075 °С позволяет получить ТФС, но в этих сварных образцах разрушение произошло по шву.

1. Механические свойства сварных соединений в сочетании сплавов ЭП975//ВКНА-25 при Т = 20 °С

Состояние сплава ЭП975	Степень деформации ЭП975	Температура СД, °С	$\sigma_{в(ТФС)}$, МПа, Т = 20 °С	$\sigma_{в\ (ТФС)}$ / $\sigma_{в\ (ВКНА)}$
МЗ Dγ= 8,0 ± 1,5 мкм	СД 24%	1075	550 ± 43	0,55
	СД 24% + ТО		950 ± 38	0,95
	СД 24%	1125	1076 ± 33	Разрушение по ВКНА-25
	СД 24% + ТО		1217 ± 40	
	СД 30%		1094 ± 35	
	СД 30% + ТО		1326 ± 39	
	СД 40%		1075 ± 51	
	СД 40% + ТО		1261 ± 63	
	СД 24%	1175	1160 ± 38	
	СД 24% + ТО		1259 ± 58	

3.3. Влияние СД на структуру и свойства модельной заготовки типа диск-вал из никелевых сплавов ЭП975 и ЭК79

Были проведены эксперименты по сварке давлением со сдвигом образцов из сплавов ЭП975 и ЭК79, имитирующих поведение диска и вала, соответственно. Скорость деформации составляла 10^{-5} $с^{-1}$. Температура сварки – 1100 °С. Величина перемещения траверсы – 1 мм. При металлографическом анализе зоны ТФС диск-вал обнаружено неравномерное распределение пористости вдоль конической части вала. В периферийных зонах ТФС диска с валом, то есть зон вблизи верхнего и нижнего оснований диска (рис. 7, *а*, поз. 1, 3), относительная протяженность пор составляет не более 15%. В центральной зоне (рис. 7, *а*, поз 2), соответствующей половине высоты конической части вала, относительная протяженность пор составляет не более 2%. При микрорентгеноспектральном анализе установлено, что в зоне ТФС наблюдается монотонное изменение состава легирующих элементов (рис. 8).

По результатам измерения микротвердости обнаружено, что ее величина в зоне соединения равна значению микротвердости соединяемых материалов, в пределах погрешности.

По всей видимости, формированию твердофазного соединения из разноименных никелевых сплавов ЭК79 и ЭП975 благоприятствуют не только температурно-скоростные условия сверхпластической деформации соединяемых материалов, но и сдвиговая деформация, которая по данным конечно-элементного моделирования составляет 8,3%, возникающая вследствие осевого смещения вала относительно диска [28 – 31]. При этом, важно

отметить, что в процессе сдвиговой деформации возможно механическое разрушение оксидной пленки на контактных поверхностях соединяемых материалов и образование ювенильных поверхностей, что необходимо для формирования неразъемного беспористого твердофазного соединения.

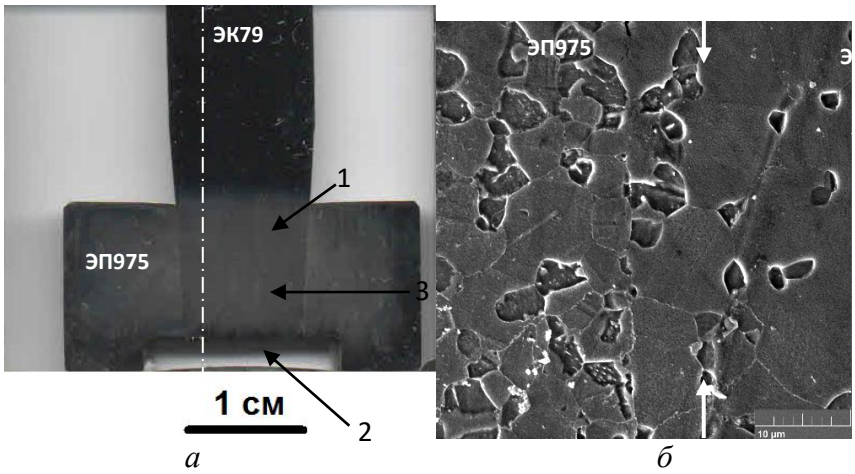
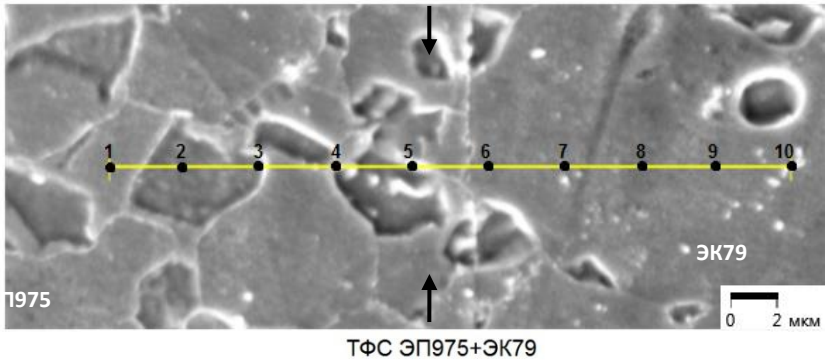


Рис. 7. Образцы после сварки давлением:
а – общий вид; *б* – микроструктура в зоне твердофазного соединения



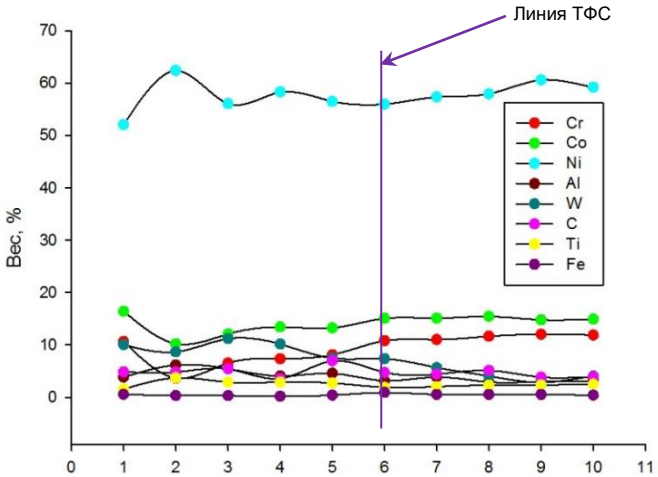


Рис. 8. Микрорентгеноспектральный анализ зоны соединения в сочетании сплавов ЭП975//ЭК79

Выводы

1. Показано, что сварка давлением в условиях СП является эффективным методом для получения неразъемных твердофазных соединений типа ЭП975//ЭК79 и ЭП975//ВКНА-25 из высоколегированных жаропрочных

никелевых сплавов, в том числе на основе интерметаллида Ni_3Al, что свидетельствует о перспективности применения этого метода для изготовления деталей ГТД типа «блиск» и «диск-вал».

2. Выявлен характер и направленность диффузионных процессов на стыке монокристаллов интерметаллидного сплава ВКНА-25 с деформируемым поликристаллическим сплавом ЭП975. Показано, что ширина диффузионного слоя вглубь каждого сплава зависит от его фазового состава и параметров микроструктуры: границ (межфазных, межзеренных, междендритных) и их протяженности.

3. Максимальные значения прочности твердофазного соединения в сочетании сплавов ВКНА-25//ЭП975 достигнуты после термической обработки и составляют 0,9-1,0 $\sigma_в$ от прочности интерметаллидного сплава.

4. Прочность твердофазного соединения ЭК79//П975 после сварки давлением и последующей ТО составляет 0,68 $\sigma_в$ от прочности сплава ЭК79.

***** *Исследования по сварке давлением сплавов в сочетании ВКНА-25//ЭП975 были выполнены в рамках Госзадания ИПСМ РАН №122011900470-7 и при поддержке Гранта РНФ 18-19-00685 (в сотрудничестве с учеными из ФГУП «ВИАМ НИЦ «Курчатовский институт» (к.т.н. Базылева О.А., Аргинбаева Э.Г.) и ФГБУН ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова (д.т.н., профессор Поварова К.Б., к.т.н. Дроздов А.А.). Исследования по сварке давлением сплавов ЭП975 и ЭК79 выполнены при поддержке Гранта РНФ 22-79-00271. Методика СД разработана в рамках Госзадания ИПСМ РАН № 122011900474-5.*

Список используемых источников

1. Логунов А.В., Шмотин Ю.Н. Современные жаропрочные никелевые сплавы для дисков газовых турбин. М., ООО «Наука и технология». 2013. 256с.

2. Каблов Е.Н., Оспенникова О. Г., Ломберг Б. С. Стратегические направления развития конструкционных материалов и технологий их переработки для авиационных двигателей настоящего и будущего // Автоматическая сварка. -2013, № 10-11, -С. 23-32.

3. Кайбышев О.А., Утяшев Ф.З. Сверхпластичность, измельчение микроструктуры и обработка труднодеформируемых сплавов. – М.: Наука, 2002. 438с.

4. Оспенникова, О.Г. Технология высокотемпературной пайки конструкции типа «БЛИСК» из разноименных сплавов / О.Г. Оспенникова, В.И. Лукин, А.Н. Афанасьев-Ходыкин, И.А. Галушка // Труды ВИАМ – 2019. – №9(81). – С. 26-37

5. Магеррамова, Л.А. Биметаллические блиски турбин с бандажированными лопатками для газотурбинных двигателей / Магеррамова Л.А., Васильев Б.Е. / Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – №6. – С. 143–156.

6. Оспенникова, О. Г. Изготовление конструкции типа «Блиск» из разноименного сочетания материалов (Обзор) / О. Г. Оспенникова, В. И. Лукин, А. Н. Афанасьев–Ходыкин, И. А. Галушка // Труды ВИАМ. Жаропрочные стали и сплавы. – 2018. – № 10 (70). – С. 10–16.

7. Ломберг, Б.С. Применение новых деформируемых никелевых сплавов для перспективных газотурбинных двигателей / Б.С. Ломберг, С.В. Овсепян, М.М. Бакрадзе, М.Н. Летников, И.С. Мазлов / Авиационные материалы. 2017. С. 116-129.

8. Кишкин С.Т. Создание, исследование и применение жаропрочных сплавов: избранные труды (К 100-летию со дня рождения). – М.: Наука, 2006.- 407с.

9. Симс Ч., Столофф Т., Хагель В. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. / В 2-х кн. – Пер. с англ. – М.: Металлургия, 1995. – 568с.

10. Лукин, В.И. Особенности технологии сварки трением соединений из сплавов ВКНА-25 и ЭП975 / В.И Лукин, В.Г. Ковальчук, М.Л. Саморуков, Ю.М. Гриднев, И.П. Жегина, Л.В. Котельникова // Сварочное производство. – 2010. – №5. – С. 28-33.

11. Валитов, В.А. Сварка давлением в состоянии сверхпластической деформации никелевого сплава Inconel 718 // В.А. Валитов, Р.Я. Лутфуллин, Ш.Х. Мухтаров, М.Х. Мухаметрахимов / Перспективные материалы. – 2004. – №6. –С. 78-83.

12. Бычков, В.М. Исследование свариваемости жаропрочного никелевого сплава ЭП742 Методом линейной сварки трением. / Бычков В.М. [и др.] // Вестник УГАГУ. – 2012. – Т. 16. – №7(52). – С. 112-116.

13. Люшинский А. В. Диффузионная сварка разнородных материалов. / А.В. Люшинский – М.: Академия, 2006. –208 с.

14. Лариков, Л.Н. Диффузионные процессы в твердой фазе при сварке / Л.Н. Лариков, В.Р. Рябов, В.М. Фальченко – М.: Машиностроение, 1975. –192 с.

15. Shirzadi, E New method to diffusion bond superalloys. / E. Shirzadi, Wallach //Sci. Technol. Weld. Joi. – 2004. – 9. P. 37-40.

16. Люшинский, А.В. Диффузионная сварка жаропрочных сплавов на никелевой основе. / А.В. Люшинский, Е.В. Николич, А.А, Жлоба, С.В. Харьковский//Сварочное производство. –2014. – №5. – С. 25-28.

17. Лутфуллин Р.Я. Наноструктурирование и твердофазная сварка труднообраба-тываемых сплавов/ Лутфуллин Р.Я., Мухаметрахимов М.Х., Валитов В.А., Мухтаров Ш.Х., Классман П.А., Астанин В.В. // Перспективные материалы. – 2011.- Спец/ выпуск, №12. – С. 295-300.

18. Valitov V., Mukhtarov Sh., Lutfullin R., Safiullin R., Mukhametrakhimov M. Microstructure and Properties of Nanostructured Alloy 718 // Advanced Materials Research.- 2011. – Vol. 278.- P. 283-288.- doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.-278.283.

19. Галиева Э. В. Твердофазное соединение интерметаллидного сплава на основе Ni_3Al и жаропрочного никелевого сплава с использованием сверхпластической деформации: дис. … канд. тех. наук: 05.16.01 / Галиева Эльвина Венеровна. – Уфа, 2021.- 195с.

20. Валитов В.А., Мулюков Р.Р., Ломберг Б.С., Оспенникова О.Г., Овсепян С.В., Утяшев Ф.З., Бубнов М.В. Влияние сверхпластической деформации и термической обработки на структуру и свойства дисков ГТД из

гетерофазных никелевых сплавов //Труды Всероссийской конференции «Современные жаропрочные деформируемые никелевые и интерметаллидные сплавы, методы их обработки» (13 ноября 2015 года, ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ г. Москва, ул. Радио, д. 17, Россия). Статья в электронном сборнике, 11стр.

21. Дроздов, А. А. Влияние температуры сварки давлением деформируемого никелевого сплава ЭП975 и монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА–25 на строение и свойства сварных образцов / А. А. Дроздов, К. Б. Поварова, В. А. Валитов, Э. В. Галиева, Э. Г. Аргинбаева, О. А. Базылева, М. А. Булахтина, А. Н. Раевских // Металлы. – 2020. – № 4. – С. 48—55.

22. Дроздов, А. А. Влияние степени деформации при сварке давлением деформируемого никелевого сплава ЭП975 и монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА–25 на строение и свойства сварных образцов / А. А. Дроздов, К. Б. Поварова, В. А. Валитов, О. А. Базылева, Э. В. Галиева, М. А. Булахтина, Э. Г. Аргинбаева // Металлы. – 2019. − № 6. − С. 53–64.

23. Sah, I. The recovery of tensile ductility in diffusion–bonded Ni–base alloys by post–bond heat treatments / I. Sah, D. Kim, H. Jung Lee, C. Jang // Materials and Design. – 2013. 47. P. 581–589.

24. Дроздов А.А. Формирование твердофазных соединений жаропрочного дискового никелевого сплава с ультрамелкозернистой структурой и монокристального лопаточного сплава на основе Ni3Al/ Дроздов А.А., Валитов В.А., Поварова К.Б., Базылева О.А., Галиева Э.В., Овсепян С.В. // Письма о Материалах. 2015. №5(2), С. 142-146

25. Галиева Э.В. Строение и свойства твердофазных соединений деформируемого никелевого сплава ЭП975 и монокристаллического интерметаллидного сплава ВКНА-25, полученных сваркой давлением со степенью деформации 24% в условиях сверхпластичности сплава ЭП975/ Галиева Э.В., Поварова К.Б., Дроздов А.А., Валитов В.А. // Металлы. − 2018. − №6. − С. 64-72.

26. Поварова, К. Б. Изучение свойств и выбор сплавов для дисков с лопатками («Блисков») и способа их соединения / К. Б. Поварова, В. А. Валитов, С. В. Овсепян, А. А. Дроздов, О. А. Базылева, Э. В. Валитова (Галиева Э. В.) // Металлы. – 2014. – № 5. – С. 61–70.

27. Патент РФ № 2608118 «Способ изготовления биметаллического изделия» авторы: Валитов В.А., Мулюков Р.Р., Оспенникова О.Г., Поварова К.Б.,Базылева О.А., Галиева Э.В., Лутфуллин Р.Я., Овсепян С.В., Дмитриев С.В., Ахунова А.Х., Дроздов А.А., Мухаметрахимов М.Х.- 2017г.

28. Валитов В.А. Исследование напряженно-деформированного состояния и микроструктуры в зоне твердофазного соединения типа диск-вал из разноименных сплавов на основе никеля / В.А. Валитов, А.Х. Ахунова, Э.В. Галиева, С.В. Дмитриев, Р.Я. Лутфуллин, М.Ю. Жигалова.// Письма о материалах. 2017. Т.7. №2. С.180-185//doi.org/10.22226/2410-3535-2017-2-180-185.

29. Ахунова А.Х. Компьютерное моделирование сварки давлением со сдвигом образцов из разноименных никелевых сплавов/ Ахунова А.Х., Валитов В.А., Галиева Э.В. // Письма о материалах. – 2020. – Т.10. – №3. – С. 328-333.

30. Ахунова А.Х. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния в образцах из разноименных сплавов на основе Ni при их сварке давлением со сдвигом/ Ахунова А.Х., Дмитриев С.В., Валитов В.А., Галиева Э.В. // Сварочное производство. 2020. №12. С. 63-69.

31. Патент РФ № 2706925 на изобретение «Способ изготовления составной заготовки типа «диск-вал» из жаропрочных сплавов» авторы: Валитов В.А., Мулюков Р.Р., Утяшев Ф.З., Ахунова А.Х., Галиева Э.В., Жигалова М.Ю. -2019г.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СЛОИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ TIB/TIAL/TI СВОБОДНЫМ СВС-СЖАТИЕМ, ИХ СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Бажина А.Д., Чижиков А.П., Константинов А.С., Бажин П.М., Антипов М.С.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, Черноголовка, arina@ism.ac.ru

Многие проблемы сплавов TiAl, ограничивающие их широкое практическое применение, связаны с низкой пластичностью, пониженной вязкостью разрушения, плохой жаропрочностью и т.д. Стратегии улучшения свойств TiAl для практического применения в последние годы вызвали большой интерес [1]. В последнее время, TiB рассматривается как совместимый и термохимически стабильный армирующий материал для интерметаллида TiAl с целью улучшения его физико-механических характеристик [2].

В данной работе для получения слоистых композиционных материалов TiB/TiAl/Ti предложено использование метода свободного СВС-сжатия, представляющего собой процесс получения компактных материалов в режиме самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, уплотнения и формования продуктов горения [3].

Полученный композит на основе TiB/TiAl/Ti имеет макрослойную структуру, состоящую из 3 основных слоев, соответствующих различным фазовым и структурным составляющим. В результате химического взаимодействия между исходными компонентами титана и бора на поверхности композита образовался моноборид титана (до 70 масс. %) в виде вискеров, расположенных в матрице α-Ti. Центральный слой имеет высоту до 2,5 мм и состоит из интерметаллидных фаз TiAl и Ti_3Al. За счет высокой температуры горения исходных компонентов и внешнего давления в процессе свободного СВС-сжатия между слоями образовались диффузионные зоны, способствующие повышению адгезионной прочности между собой.

Измерения показали, что на поверхности многослойного композита значения твердости (1080 HV) и микротвердости (14,1 ГПа) наибольшие, что подтверждает наличие упрочняющей фазы TiB, которая эффективно препятствует распространению трещин и укрепляет границы зерен (рис. 2). По сравнению с чистым интерметаллидом TiAl, значения данных характеристик на поверхности слоистого композита увеличились более чем в 2,3 раза.

Коэффициенты интенсивности напряжений для трещин перпендикулярно и параллельно расположенным микрослоям составили: 3,3 и 10,1 МПа·$m^{1/2}$. Установлено, что в процессе свободного СВС-сжатия, происходит ориентация керамических (TiB) и интерметаллидных (TiAl, Ti_3Al) микрослоев вдоль направления течения материала. Ориентация микрослоев в интерметаллидном слое оказывает существенное влияние на механизм распространения трещин и позволяет снизить коэффициент интенсивности напряжений в 3 раза.

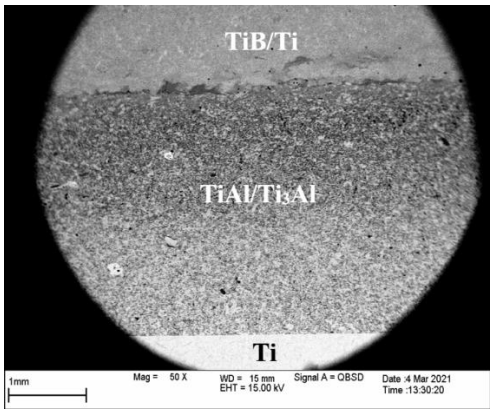


Рис. 1. Макроструктура слоистого материала

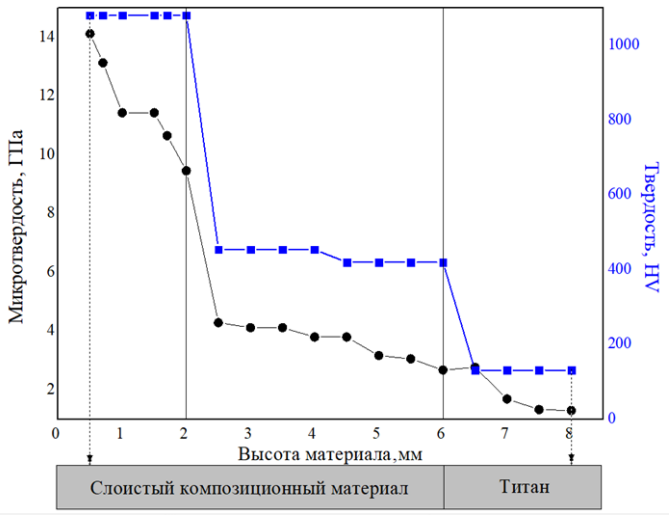


Рис. 2. Изменение микротвердости и твердости по высоте слоистого композиционного материала

Установлено, что в результате горения и последующего высокотемпературного сдвигового деформирования, реализующихся в условиях свободного СВС-сжатия, происходит ориентация керамических (TiB) и интерметаллидных (TiAl, Ti_3Al) микрослоев вдоль направления течения материала. Ориентация микрослоев в интерметаллидном слое оказывает существенное влияние на механизм распространения трещин и позволяет снизить коэффициент интенсивности напряжений в 3 раза.

Образование диффузионных границ между керамическим (TiB) и интерметаллидным (TiAl, Ti_3Al) слоями протекает по жидко/твердофазному механизму, что позволяет повысить адгезионную прочность этих слоев. Величина зоны взаимной диффузии зависит от выбора состава исходных

реагентов (как следствие температуры горения выбранного состава) и составляет от 40 до 450 мкм.

Отсутствие трещин в керамическом слое композита связано с наличием в структуре упрочняющей фазы моноборида титана, которая эффективно препятствует распространению трещин и укрепляет границы зерен.

Список используемых источников

1. Qiu F., He Y., Zhu L., Shu S.L., Hu W., Zhan C.H., Jiang Q.C. Microstructure and compression properties of in situ dual phase nanosized (TiB_2–Ti_5Si_3)/TiAl matrix composites fabricated by combustion synthesis and hot press consolidation // Powder Metall. 2015. Vol. 58. P. 235–240.

2. Wei L., Yi Y., Jie L., Yan Z., Ming L., Shifeng W., Qingsong W., Chunze Y., Yusheng S. Enhanced nanohardness and new insights into texture evolution and phase transformation of TiAl/TiB_2 in-situ metal matrix composites prepared via selective laser melting // Acta Mater. 2017. Vol. 136. P. 90–104.

3. Bazhin P.M., Konstantinov A.S., Chizhikov A.P., Pazniak A.I., Kostitsyna E.V., Prokopets A.D., Stolin A.M. Laminated cermet composite materials: The main production methods, structural features and properties (review) // Ceram. Int. 2021. Vol. 47. Issue 2. P. 1513–1525.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ОСНАСТКА ДЛЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТВЕРДОФАЗНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Панченко Е.Б., Шерстеникин П.А., Мордасов М.Д., Мордасов Д.М.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», makaveli.mordasov@yandex.ru

Азотирование – это технологический процесс химико-термической обработки, при которой поверхность различных металлов или сплавов насыщают азотом в специальной азотирующей среде. Поверхностный слой изделия, насыщенный азотом, имеет в своем составе растворенные нитриды и приобретает повышенную коррозионную стойкость и высочайшую микротвердость. По микротвердости азотирование уступает только борированию, в то же время незначительно превосходя цементацию и нитроцементацию [1, 2].

Существует несколько методов азотирования: твердофазное, газовое, жидкостное и плазменное. Наиболее широко изучены и применяются технологии газового, жидкостного и плазменного азотирования.

Твердофазное низкотемпературное азотирование является развивающейся перспективной технологией. Для проведения твердофазного азотирования используют порошки азотсодержащих солей. Процесс протекает в диапазоне температур 500…550 °С. Детали, подлежащие азотированию, помещают в специальный контейнер и засыпают порошком. К порошку, используемому для азотирования, предъявляется ряд требований:

- низкая токсичность как самого порошка, так и продуктов и полупродуктов его разложения;
- температура разложения, близкая к температуре азотирования;
- низкая пожаро- и взрывоопасность образующихся веществ.

В результате теоретических и экспериментальных исследований установлено, что изложенным выше требованиям наиболее полно отвечает калиевая селитра (нитрат калия) KNO_3.

Нитрат калия разлагается при температуре от 400 до 500 °С до нитрита калия KNO_2 по реакции

$$2KNO_3 \rightarrow 2KNO_2 + O_2 \uparrow .$$

При дальнейшем нагреве, при температурах выше 500°С происходит термолиз нитрита калия по реакции

$$4KNO_2 \rightarrow 2K_2O + 2N_2 \uparrow + 3O_2 \uparrow .$$

Для поддержания азотсодержащей среды в твердофазном состоянии необходимо использовать связующее вещество, которое формирует твердый каркас при температурах протекания процесса азотирования. Для этой цели, как показали исследования, хорошо подходит шамотная глина.

Как видно из рассмотренного выше механизма термического разложения нитрата калия, азот образуется на второй стадии, а предшествует ему выделение кислорода.

При использовании для реализации процесса оснастки, подобной ящикам для цементации, выделяющийся на первой стадии кислород, оставаясь в замкнутом объеме, будет снижать концентрацию азота.

Для повышения эффективности процесса нами разработана технологическая оснастка с интеллектуальным клапаном, который закрывается в момент начала разложения нитрита калия, отводя кислород, образующийся при разложении нитрата калия.

На рис. 1 представлена схема разработанной оснастки, представляющей собой металлический контейнер со съемной крышкой, в которую вмонтированы предохранительный клапан 1 и интеллектуальный клапан 2. Внутри контейнера находится азотсодержащая смесь 3 с размещенными внутри нее азотируемыми деталями 4.

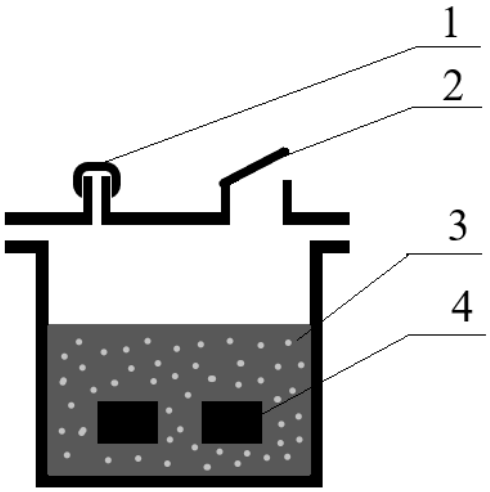


Рис. 1. Оснастка для твердофазного азотирования

Устройство, представленное на рис. 1 функционирует следующим образом. При плавном нагреве конструкции и достижении температуры 400 °С начинается первая ступень разложения нитрата калия с выделением кислорода. Нормально открытый клапан 2 позволяет выйти образующемуся кислороду в печное пространство. При достижении в печи температуры 500 °С он закрывается, и внутри начинается вторая стадия разложения с азотсодержащей смеси 3 с выделением азота, который обеспечивает протекание процесса азотирования деталей 4. Предохранительный клапан 1 поддерживает давление газовой смеси внутри контейнера, а также предотвращает поступление воздуха в контейнер из печного пространства.

В качестве интеллектуального клапана могут быть использованы известные термомеханические преобразователи (биметаллический или дилатометрический).

Таким образом, в результате проведенных исследований разработана конструкция технологической оснастки, позволяющая повысить эффективность проведения низкотемпературного твердофазного азотирования.

Список используемых источников

1. Мордасов, Д. М. Оборудование и автоматизация процессов производства и обработки материалов: учебное пособие для студ. напр. 22.03.01 / Д. М. Мордасов, Д. О. Завражин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 96 с.

2. Фатеев, Ю. Г. Исследование причин преждевременного разрушения подшипников буксового узла / Д.М. Мордасов, Ю.Г. Фатеев, С.В. Зотов // Вестник ТГТУ. 2015. Т. 21. № 4. – С. 686-695.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВ ИЗ ДИСЕЛЕНИДА ФОЛЬФРАМА ЧАСТИЦАМИ СЕРЕБРА

Воронина Н.С., Панченко Е.Б., Воронин А.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», conyahina.nina@yandex.ru

Весь современный мир стремится к инновациям и постоянному техническому прогрессу. Ученые, инженеры, конструкторы и все те, кто занимается исследованиями, экспериментами и научными разработками хотят усовершенствовать и подчинить себе не только земные вещи, но и то, что находится выше нас. Космос – это непостижимое и малоизученное направление, но люди науки не оставляют попыток освоить этот далекий мир.

Одним из тысячи шагов к покорению нашей вселенной стал рывок к приручению энергии солнца. Солнце – это огромный источник тепла и энергии, которую мы используем для обеспечения нашей жизни. Но чтобы совладать с этой энергией, человеку необходимы специальные инструменты, приборы и материалы.

Новым материалом для освоения космоса в целом, и солнца в частности стал усовершенствованный полупроводниковый материал, с которым можно будет проводить химические реакции под воздействием света.

Фотокатализ представляет собой ускорение химических реакций благодаря энергии света. Это важный элемент альтернативной энергетики и ряда других сфер. За счет фотокатализа можно не только генерировать энергию, но и, например, получать ценные химические вещества или очищать воду. Предполагается, что усовершенствованный материал повысит чувствительность фотоэлементов.

Ключевыми составляющими в этом процессе являются полупроводники: они поглощают свет и преобразовывают его в электроны с высокой энергией [1, с. 616]. Отдается предпочтение тем, которые изготовлены в форме нанолент. Наноленты – синтетическая клейкая лента, состоящая из массивов углеродных нанотрубок, нанесенных на материал основы из гибкой полимерной ленты [2, с. 368]. Особое внимание также обращают на себя наноленты из диселенида вольфрама (рис. 1), это соединение обладает полезными электронными и оптическими свойствами, однако изготавливать их крайне затруднительно [3, с. 21].

В связи с этим была разработана новая технология получения современных нанолент высокого качества из диселенида вольфрама и предложен способ усовершенствования их оптоэлектронных свойств за счет наночастиц серебра. Для этого к краям нанолент были прикреплены частицы серебра с помощью лазерного излучения (рис. 2). Эти наночастицы позволяют ускорить протекание фотокаталитического процесса и усилить фотоотклик нанолент.



Рис. 1. Диселенид вольфрама

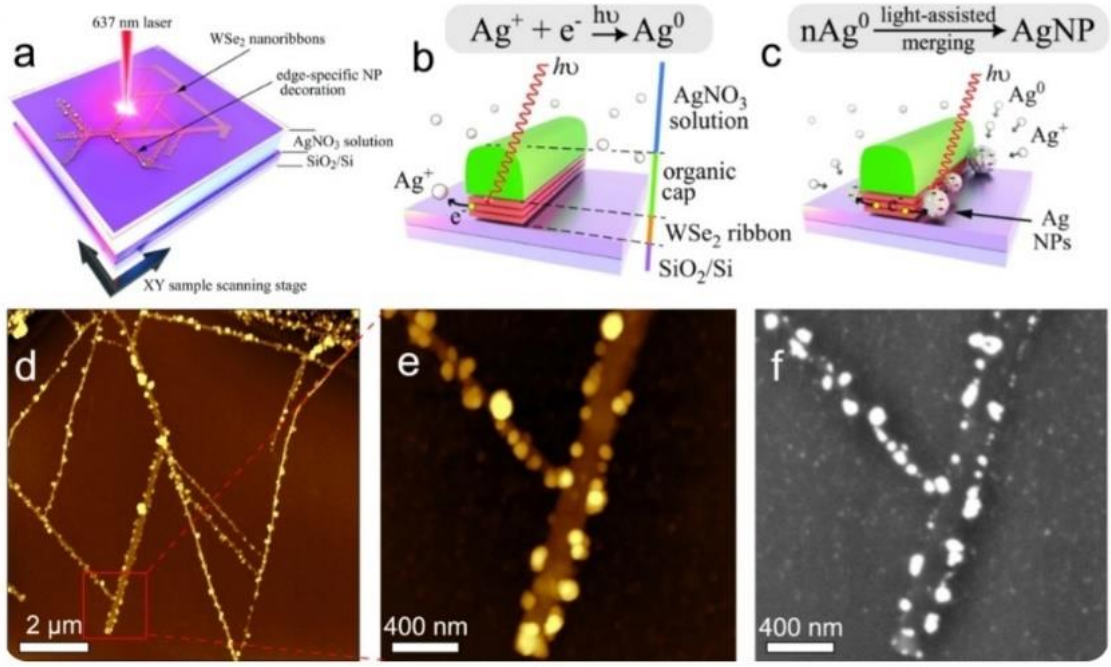


Рис. 2. Наноленты с прикрепленными к ним частицами серебра

Такой метод создания нанолент отличается простотой. Новый материал обеспечивает эффективность фотокаталитической реакции близкую к 100%, что недостижимо при использовании диселенида вольфрама или серебряных наночастиц по отдельности.

Также отмечается, что в будущем модифицированные серебром наноленты можно будет создавать не только с использованием лазерного излучения, но и с помощью других источников энергии, включая солнечный свет.

Список используемых источников

1. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников / А.И. Ансельм. – Л.: Наука, 1978. – 616 с.

2. Мартинес-Дуарт, Дж.М. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники / Дж.М. Мартинес-Дуарт. // М.: Техносфера, 2009. – 368 с.

3. Божеев, Ф. Е. Нанотекстурированные пленки дисульфида и диселенида вольфрама с фотоактивными свойствами : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : спец. 01.04.07 : спец. 05.17.11 / Ф. Е. Божеев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Институт физики высоких технологий (ИФВТ), Лаборатория № 12 ; науч. рук. В. М. Погребенков. – Томск, 2014. – 21 с. : ил.

ТВЕРДОФАЗНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ЖАРОПРОЧНЫХ НИКЕЛЕВЫХ СПЛАВОВ ЭК61 И ЭП975

Галиева Э.В.
Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа
Galieva_elvina_v@mail.ru

Известно [1], что жаропрочные никелевые сплавы применяются в авиационной промышленности. Из них изготавливают различные детали газотурбинных и ракетных двигателей, способные работать при высоких температурах. Такие сплавы имеют сложный химический состав, являются труднодеформируемыми и имеют низкую технологическую пластичность [1]. Кроме этого, такие материалы являются трудно свариваемыми традиционными методами сварки. Для решения указанной проблемы в ряде работ [2 – 4] было показано, что одним из перспективных методов изготовления неразъемных соединений применительно к никелевым сплавам является сварка давлением (СД) в условиях сверхпластичности, которая позволяет получать качественные твердофазные (ТФС) соединения. Данная работа посвящена изучению влияния термической обработки на микроструктуру ТФС из деформируемых сплавов на основе никеля ЭК61 и ЭП975, полученных СД с использованием сверхпластической деформации.

Материалы и методики исследования

В качестве материалов исследования были выбраны жаропрочные деформируемые никелевые сплавы ЭП975 и ЭК61, имеющие разный фазовый состав. В исходном состоянии перед сваркой сплав ЭП975 имел мелкозернистую структуру, состоящую из зерен матричной γ-фазы размером 8 ± 1,5 мкм и частиц γ′-фазы размером 4 ± 1,2 мкм, а в теле зерен матричной γ-фазы выделены дисперсные частицы γ′-фазы [2 – 4]. Сплав ЭК61 [2, 3] имел ультрамелкозернистую структуру, представляющую собой зерна матричной γ-фазы и частиц δ-фазы размер обоих фаз был менее 1 мкм.

СД в вакууме ($5 \cdot 10^{-2}$ Па) проводили по схеме одноосного сжатия на установке фирмы Schenck Trebel, в разноименном сочетании сплавов ЭК61 и ЭП975 при температурах: 850 (пара образцов № 1), 900 (пара образцов № 2) и 925 °С (пара образцов № 3). Затем сварные образцы подвергались термической обработке (ТО), включающей закалку и старение. Прочность сварных образцов оценивали по результатам механических испытаний на растяжение при комнатной и повышенной (Т = 650 °С) температурах. Механические испытания на растяжения проводили на установке Instron 5982. Исследования микроструктуры проводили на растровом электронном микроскопе Mira 3LMH (TESCAN, Чехия). Распределение легирующих элементов исследовали методом энергодисперсионного (ЭДС) анализа с использованием растрового электронного микроскопа Vega 3SBH (TESCAN, Чехия).

Результаты исследования и их обсуждение

На рисунке 1 представлена микроструктура локальных участков зоны ТФС, а также графики распределения легирующих элементов в зоне ТФС.

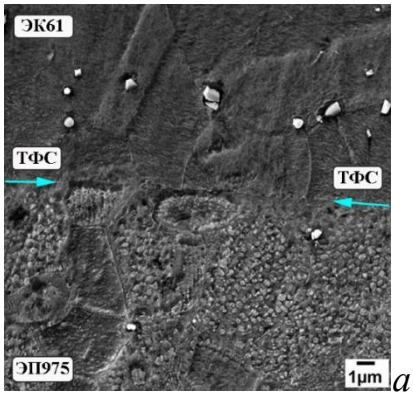
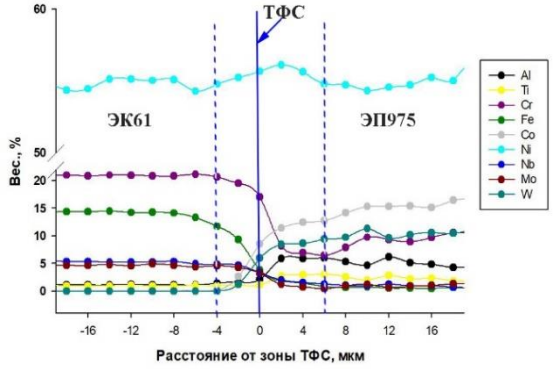
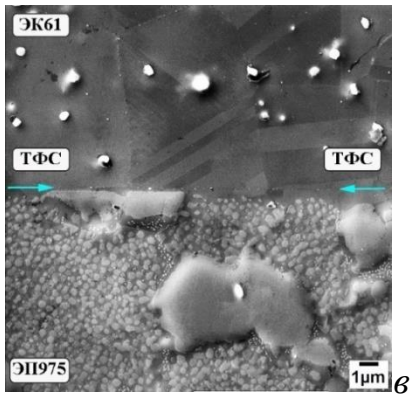
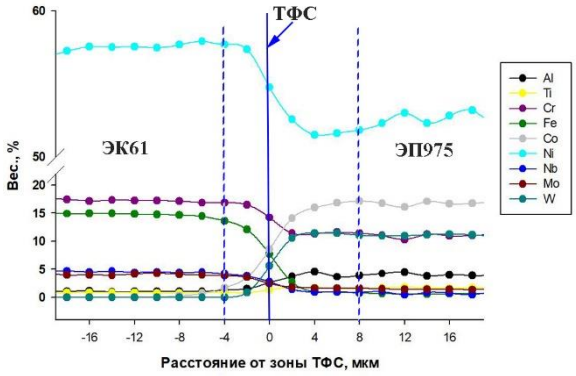
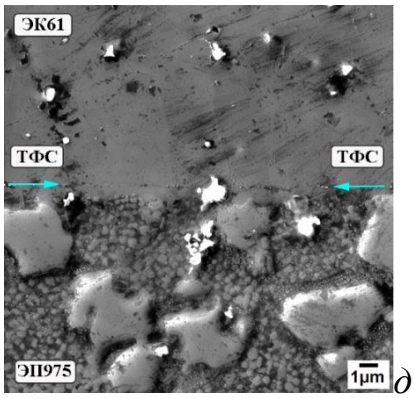
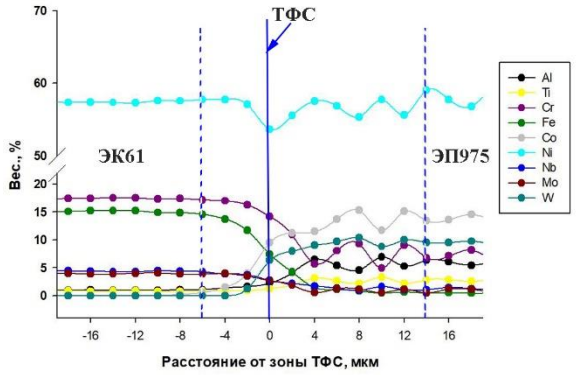
Условия	Микроструктура зоны ТФС	Распределение легирующих элементов в зоне ТФС (ЭДС анализ)
СД при Т=850°С + ТО	 *а*	 *б*
СД при Т=900°С + ТО	 *в*	 *г*
СД при Т=925° +ТО	 *д*	 *е*

Рис. 1. Микроструктура и распределение легирующих элементов в зоне ТФС в сварных образцах ЭК61//ЭП975

В ранее представленных работах [2, 3], было показано, что в процессе СД вся деформация локализовалась в более пластичном сплаве ЭК61 с ультрамелкозернистой структурой. При этом его структура оставалась стабильной при температуре сварки 850 °С, а повышение температуры до 925 °С привело к укрупнению зерен матричной фазы более чем в 2 раза.

Структура сплава ЭП975 оставалась стабильной в обоих случаях. В зоне ТФС выявлялась четкая линия, которая является границей раздела двух сплавов.

Результаты исследований, представленные в данной работе, которые являются продолжением ранее начатых исследований, показали следующее. По результатам исследований влияния термической обработки (закалка и старение) на микроструктуры твердофазных соединений, полученных сваркой давлением при различных температурах (850, 900 и 925°С), было установлено, что во всех состояниях микроструктура сплава ЭК61 трансформировалась из ультрамелкозернистой в крупнозернистую. А микроструктура сплава ЭП975 сохранилась стабильной мелкозернистой. При низкой температуре линия ТФС, указанная стрелками на рис. 1, принимает криволинейный вид, по-видимому, из-за присутствия со стороны сплава ЭП975 твердых некогерентных частиц γ′-фазы, чередующихся с более пластичной γ-фазой. Ширина диффузионной зоны в образцах после ТО увеличивается с ростом температуры сварки с 10 до 20 мкм. Хрупких частиц не выявлено.

В работе установлено, что в результате термической обработки сварных образцов в сочетании ЭК61//ЭП975 происходит трансформация ультрамелкозернистой структуры в крупнозернистую в сплаве ЭК61, при этом структура сплава ЭП975 остается стабильной мелкозернистой. Происходит расширение диффузионной зоны, в которой наблюдается монотонное изменение химического состава при переходе от одного свариваемого сплава к другому.

**Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым и аспирантам СП-4002.2022.1.*

Список используемых источников

1. Логунов, А. В. Жаропрочные никелевые сплавы для лопаток и дисков газовых турбин. М.: ООО «Издательский дом «Газотурбинные технологии», 2017. 854 с.

2. Galieva, E.V. The influence of ultrafine-grained structure on solid-state weldability and formability of precipitation-hardening nickel-based superalloys / E.V. Galieva, E.Yu. Klassman, V.A. Valitov, E.M. Stepukhov, R.R. Gabbasov, R.V. Safiullin, R.Ya. Lutfullin. // Journal of Advanced Materials and Technologies. 2023. – V. 8, No. 1. DOI: 10.17277/jamt.2023.01.

3. Галиева, Э. В. Формирование твердофазного соединения из разноименных сплавов на основе никеля ЭК61 и ЭП975/ Э. В. Галиева, А.А. Бикмухаметова, В. А. Валитов // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2022. – Т. 19. – №3. – С. 394-401. doi: 10.25712/ASTU.1811-1416.2022.03.012.

4. Drozdov, A. A. Effect of the Temperature of Pressure Welding of a Wrought EP975 Nickel Alloy and a Single-Crystal Intermetallic VKNA-25 Alloy on the Structure and Properties of the Welded Joints / A. A. Drozdov, K. B. Povarova, V. A. Valitov, E. V. Galieva, E. G. Arginbaeva, O. A. Bazyleva, M. A. Bulakhtina, A. N. Raevskikh // Russian Metallurgy (Metally), Vol. 2020. No. 7. P. 752–759.

ОБЖАТИЕ ПОЛОГО СТАЛЬНОГО ЦИЛИНДРА СКОЛЬЗЯЩЕЙ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНОЙ

Копытский В.О., Малахов А.Ю., Денисов И.В., Петров Е.В., Галиев Ф.Ф., Серопян С.А.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук,
kvo@ism.ac.ru

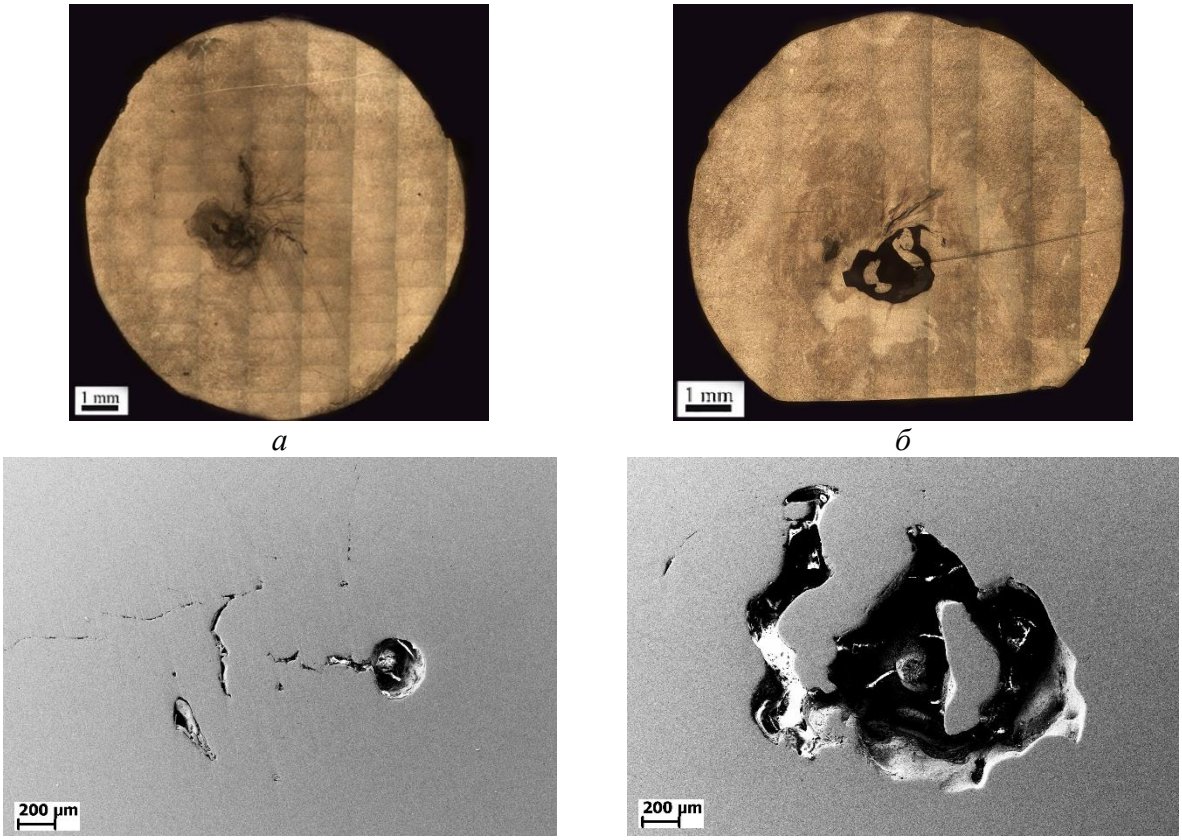
Метод обжатия скользящей детонационной волной широко используется при ударно-волновой обработке материалов с целью модификации их структуры и формирования особых свойств. Основой данного метода является использование взрывчатого вещества (ВВ) и специальной оснастки. Инициирование заряда ВВ создает скользящую детонационную волну вдоль образца, что приводит к его коллапсу и пластической деформации. Степень коллапса полого цилиндра зависит от толщины стенки, внутреннего диаметра отверстия, скорости детонации и давления продуктов детонации ВВ.

В рамках данной работы был проведен эксперимент по обжатию цилиндрического образца из стали 08Х18Н10Т. Толщина стенки цилиндра была равна 2 мм, диаметр отверстия 10 мм, длина цилиндра 85 мм. В качестве ВВ использовались аммонит 6ЖВ (инициирующий заряд) и смесь микропористой аммиачной селитры с дизельным топливом (основной заряд). При заданных параметрах ВВ расчетное давление продуктов детонации на стенки образца составляло 1,88 ГПа, скорость детонации 3150 м/с, а скорость коллапса цилиндра 1170 м/с. По всему диаметру и длине заряд ВВ прилегал к слою из песка, который уменьшал разлет частиц ВВ в процессе детонации и увеличивал время действия импульса от продуктов детонации на стенки цилиндрического образца. Схема эксперимента более подробно описана и представлена в работе [1].

В результате эксперимента был получен сплошной цилиндрический образец, который разрезался посередине в поперечном сечении на 2 части. На рисунке 1 показаны изображения поперечных шлифов из начала (1 часть) и конца (2 часть) обжатия с оптического и электронного микроскопа. Видно, что в результате коллапса внутренняя полость цилиндрического образца практически полностью схлопнулась. В центральной части шлифов обнаружены трещины, расположенные вблизи с несхлопнувшейся областью площадью до 2 мм^2.

На поперечных шлифах 2-х частей из середины образца отверстие практически полностью отсутствует, что говорит о почти полном коллапсе цилиндра при выбранных условиях нагружения.

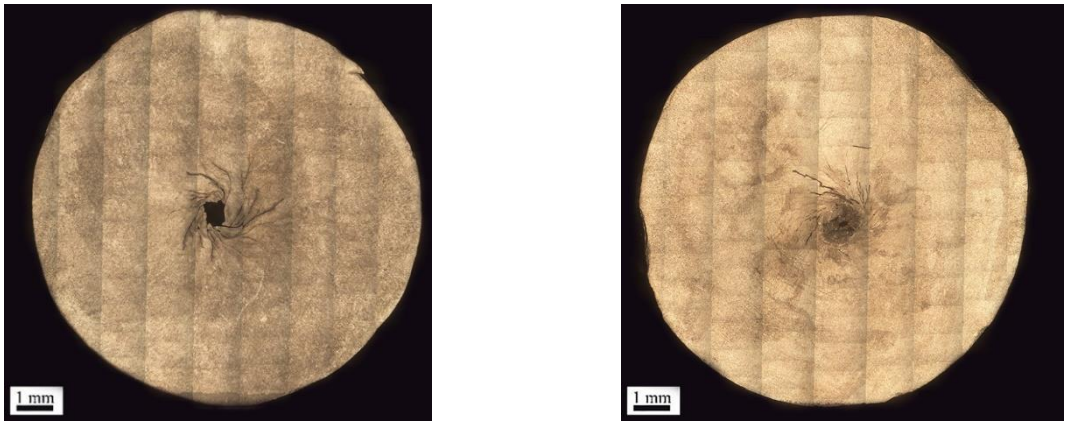
На рисунке 3 представлена гистограмма распределения микротвердости. Измерение микротвердости начиналось от внутренней стенки цилиндра (точка 0). Исходная микротвердость составляла 320HV. Результаты измерений показали, что в среднем микротвердость цилиндра после ударно-волнового нагружения увеличилась на 60…65% по сравнению с исходной. Минимальная микротвердость составляла 325HV, ближе к центру, где произошел коллапс отверстия, а максимальная микротвердость составляла 550HV.



а *б*

в *г*

Рис. 1. Верхняя и нижняя поверхности стального цилиндра:
а) верх 1 части, б) низ 2 части; в) центральная область верхней поверхности,
г) центральная область нижней поверхности



а *б*

Рис. 2. Поверхности в середине стального цилиндра:
а) низ 1 части, б) верх 2 части

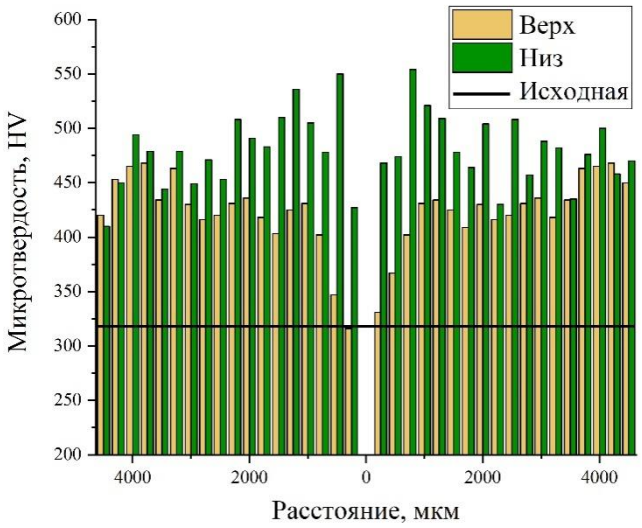


Рис. 3. Микротвердость верхней и нижней поверхностей стального цилиндра

Результаты этого исследования показывают возможность получения сплошных стальных прутков из полых цилиндров методом обжатия скользящей детонационной волной. Особенностью данного метода является равномерное нагружение стенок цилиндра скользящей детонационной волной с высоким уровнем давления приводящее к его деформации. Характер изменения микротвердости после коллапса демонстрирует особенности ударно-волнового упрочнения. В местах образовавшихся трещин микротвердость может достигать значений в 2 раза выше изначальной.

Параметры (P = 1,88 ГПа, υ = 1170 м/с) создают стабильное воздействие ударных волн на цилиндр. Можно сделать вывод, что при нагружении полого цилиндра скользящей детонационной волной, инициированной сверху, формируются две сдвиговые волны, одна направлена по длине цилиндра, а вторая в поперечном (коаксиальном) направлении приводящие к сложному процессу коллапса полого цилиндра. Характер разрушения в металле на поперечных шлифах указывает на то, что в процессе коллапса происходит сжатие металла и при превышении прочности металла, зарождаются трещины, распространяющиеся по спирали вдоль границ зерен. Различная степень коллапса верхнего и нижнего оснований цилиндра связана с разницей в интенсивности ударных волн и их взаимодействием со стенками цилиндра в этих плоскостях.

Список используемых источников

1. Malakhov A. Synthesis of NiAl Intermetallic Compound under Shock-Wave Extrusion / A. Malakhov, D. Shakhray, I. Denisov, F. Galiev, S. Seropyan // Metals. – 2022. – Vol. 15. – P. 6062

УГЛЕРОДНАЯ ПЕНА ДЛЯ ПОГЛОЩЕНИЯ НЕФТИ С ПОВЕРХНОСТИ ВОДЫ

Воронина Н.С., Панченко Е.Б., Воронин А.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», conyahina.nina@yandex.ru

Разлив нефти – это выброс жидкого нефтяного углеводорода в окружающую среду, особенно в морскую экосистему, в результате деятельности человека, и является одной из форм загрязнения.

При разливе нефти в воде она поднимается на поверхность водоема и растекается по ней тонкой, плотной масляной пленкой, затрудняя поступление кислорода в воду и препятствуя дыханию водной фауны. Нефтяное пятно может увеличиваться в размерах и передвигаться, включая в зону поражения новые участки водной среды [1, с. 15].

Катастрофа, связанная с разливом нефти по поверхности водоема, является максимально опасной, как для окружающей среды, так и для человека. Именно поэтому она требует немедленных действий по ее устранению.

Так как, разработки в этом направлении ведутся постоянно, совсем недавно был получен углеродный материал с ячеистой структурой, или углеродная пена, для эффективного поглощения нефти с поверхности воды.

Создан пеноуглерод (рис. 1) на основе пропан-бутановой смеси (табл. 1) – это суперлегкий материал, состоящий из чистого углерода.

Эффективность сорбента – как минимум вдвое выше, чем у существующих. Преимущества материала – возможность использовать в качестве сырья для его получения отходы нефтепереработки, а также простой синтез, который проводят при атмосферном давлении без добавления пенообразователей [2, с. 59].



Рис. 1. Пеноуглерод

1. Пропан-бутановая смесь

Вещество	Химическая формула	Процентное соотношение в веществе	Общее количество
Пропан	C_3H_8		не менее 93%
Бутан	C_4H_{10}	от 5 до 30%	
Этан	C_2H_5	не более 2%	≈ 7%
Этилен	C_2H_4	не более 2%	
Бутилен	C_4H_8	не более 3%	

Полученный пеноуглерод имеет такую степень чистоты, что его можно использовать в медицине, но разработчики сосредоточились на сорбции нефти и нефтепродуктов с поверхности воды.

В перспективе углеродную пену можно будет получать в промышленных масштабах, вторично используя многотоннажные технические отходы.

Углеродная пена – очень эффективный сорбент. Нефть заполняет большой внутренний объем материала, а низкая плотность и гидрофобность обеспечивают длительную плавучесть такого пеноуглерода на поверхности воды. Высокая химическая и структурная однородность полученной углеродной пены обеспечивает хорошую термостойкость и регенерируемость сорбента. После использования пеноуглерод с абсорбированной нефтью прокаливают на воздухе при температуре до 550 °С – основная часть нефти сгорает, а материал можно использовать снова. Пена выдерживает десятки таких циклов при извлечении из воды нефти, бензина и дизельного топлива.

Получение углеродной пены происходит следующим образом.

Синтез углеродной пены проводят в две стадии при атмосферном давлении без добавления вспенивателей. Сначала пропан-бутановую смесь нагревают при 85 градусов Цельсия для образования пиролизных смол. В них содержатся полициклические ароматические углеводороды: молекулы, в основе которых – атомы, связанные в кольца.

В определенных условиях происходит конденсация этих молекул и их ориентация с образованием так называемой мезофазы. Она и становится предшественником пеноуглерода. На следующей стадии – вспенивании – углеводородные цепочки, связывающие полиароматические слои, отрываются, и образуются газовые пузыри [3, с. 7].

Еще одно приложение сорбента – катализ, не только термостойкий, но и устойчивый к кислотам. Он работает в агрессивных средах и не разрушается даже при выдержке в концентрированной серной кислоте. Кроме того, структура углеродной пены обеспечивает низкое сопротивление движению высокоскоростных потоков, что важно для уменьшения времени контакта и повышения селективности в многостадийных каталитических реакциях.

Важным отличием разработанного сорбента от остальных имеющихся веществ для очистки поверхности воды, является его высокая действенность:

1 грамм сорбента способен впитать 20 граммов нефти, в то время как традиционные сорбенты способны поглотить не более 10 граммов.

Список используемых источников

1. Маценко, С. В. Расчет достаточного количества производительности нефтесборных систем в составе сил и средств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на морских акваториях жизнедеятельности. –Выпуск 6 (222), 2019 г. – М.: ООО «Издательство «Новые технологии», 2019 – с. 15-19 (СА, 0,4 п.л.).

2. Плаксин, Г. В. Создание новых типов пористых углеродных материалов для процессов адсорбции и катализа, Диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук, Новосибирск, 2001, с. 59, 241-258.

3. Бельская О.Б., Райская Е.А. , Лихолобов В.А. Пеноуглерод: методы синтеза и перспективы использования в качестве адсорбента и носителя катализаторов. – Сборник «Новые каталитические процессы глубокой переработки углеводородного сырья и биомассы. Четвертая школа молодых ученых : сборник тезисов докладов». – Институт катализа им. Г.К. Борескова СО РАН., 2020. – С.7. – ISBN 9785906376305.

ВЛИЯНИЕ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА НАБУХАНИЕ ДВП

Назарчук А.П., Данилов В.М., Ярцев В.П.
Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, vm.danilov1997@gmail.com

Несмотря на многообразие способов применения, ДВП, как и любой другой материал, подвергается воздействию окружающей среды. Среди таких факторов можно выделить перепады температур с замораживанием и оттаиванием, воздействие ультрафиолетового излучения и повышенных температур.

Исследование воздействия неблагоприятных климатических условий на древесноволокнистые плиты позволяет прогнозировать поведение материала в процессе его эксплуатации. Например, одним из основных недостатков ДВП является его уязвимость к влаге. В случае отсутствия надлежащей защиты, древесноволокнистая плита может подвергаться деформациям, набуханию и даже разрушению под воздействием воды или высокой влажности. Кроме того, после воздействия неблагоприятных климатических условий, таких как высокие температуры или длительное воздействие ультрафиолета, физические характеристики материала могут снижаться [1, 2].

Результаты зависимости набухания от количества циклов замораживания-оттаивания представлены на рис. 1. Ускоренное старение циклами замораживания-оттаивания в лабораторных условиях включает в себя повторение трех этапов – замачивание образцов до полного водонасыщения в емкости с водой в течение не менее двух часов, замораживание влажных образцов в морозильной камере при отрицательной температуре и оттаивание при комнатной температуре продолжительностью 5, 10, 15, 25, 30 и 35 часов для каждой отдельной партии соответственно.

Представленные результаты зависимости величины набухания от количества циклов замораживания-оттаивания (рис. 1) описываются логарифмическими зависимостями. Для наглядности полученные зависимости сведены в табл. 1.

Как видно из табл. 1, скорость протекания процесса набухания снижается с увеличением количества циклов замораживания-оттаивания.

Результаты влияния продолжительности воздействия повышенных температур на величину набухания представлены на рис. 2. Процессы теплового старения моделировались в сушильном шкафу при температуре 80 °С. Для этого партию образцов длиной 115…135 мм, толщиной около 3,3 мм и шириной около 30 мм выдерживали в сушильном шкафу в течении определенного промежутка времени, после чего доставались и охлаждались до комнатной температуры. Каждая последующая партия из шести образцов

подвергалась тепловому воздействию на 50 часов дольше. В итоге было испытано 6 партий образцов с продолжительностью 50, 100, 150, 200, 250 и 300 часов соответственно.

Представленные результаты зависимости величины набухания от продолжительности воздействия повышенных температур (рис. 2) описываются логарифмическими зависимостями. Для наглядности полученные зависимости сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, скорость протекания процесса набухания снижается с увеличением продолжительности воздействия повышенных температур до 100 часов, далее этот процесс стабилизируется и практически не изменяется.

Результаты влияния продолжительности ультрафиолетового воздействия на величину набухания представлены на рис. 3. Воздействие ультрафиолетового облучения моделируется с помощью специальной камеры искусственного фотостарения, оснащенной прямыми ртутно-кварцевыми (ПРК) лампами. Также к данной камере подключен центробежный вентилятор марки через систему воздушных каналов, в качестве вытяжной вентиляции. Она необходима для устранения озона, которые выделяют лампы и соответственно охлаждения этих ламп.

Представленные результаты зависимости величины набухания от продолжительности ультрафиолетового облучения (рис. 3) описываются логарифмическими зависимостями. Для наглядности полученные зависимости сведены в табл. 3.

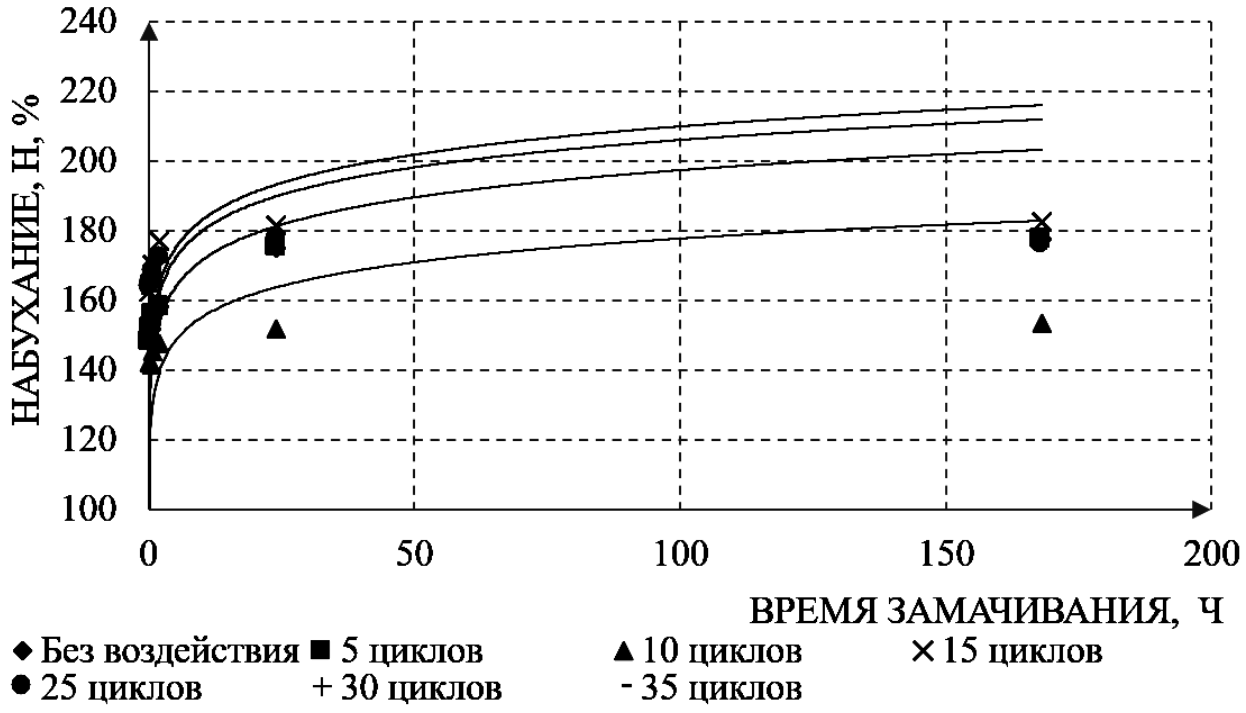


Рис. 1. Зависимость набухания ДВП от количества циклов замораживания-оттаивания

1. Зависимость набухания ДВП от количества циклов замораживания-оттаивания

Количество циклов, N	Функция изменения набухания	Скорость протекания процесса, y’(x)
0	y = 4,587ln(x) + 54,072	4,587/x
5	y = 3,1895ln(x) + 35,85	3,190/x
10	y =2,9521ln(x) + 35,189	2,952/x
15	y = 2,6399ln(x) + 28,004	2,640/x
25	y = 2,2797ln(x) + 26,173	2,280/x
30	y = 1,724ln(x) + 20,855	1,724/x
35	y = 2,0872ln(x) + 23,501	2,087/x

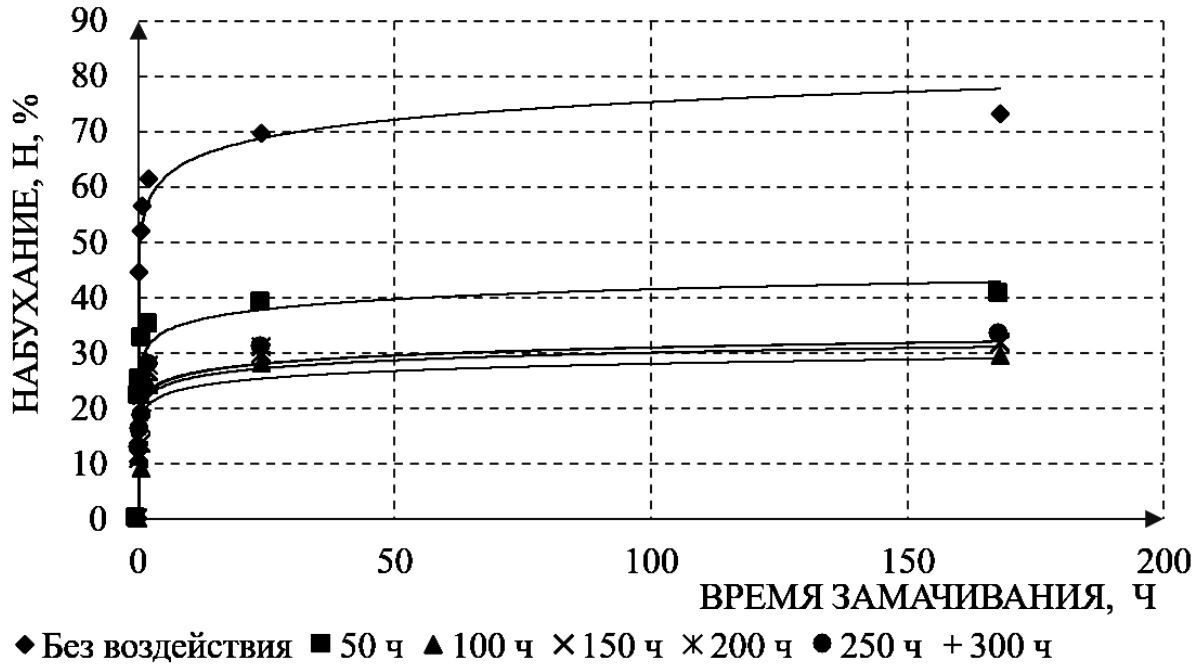


Рис. 2. Зависимость набухания ДВП от продолжительности воздействия повышенных температур

2. Зависимость набухания ДВП от продолжительности воздействия повышенных температур

Продолжительность воздействия, N, часов	Функция изменения набухания	Скорость протекания процесса, y’(x)
0	y = 4,587ln(x) + 54,072	4,587/x
50	y = 2,5904ln(x) + 29,615	2,590/x
100	y = 1,8897ln(x) + 19,389	1,8897/x
150	y = 2,0201ln(x) + 20,814	2,020/x
200	y = 2,0551ln(x) + 21,591	2,055/x
250	y = 2,0892ln(x) + 21,397	2,089/x
300	y = 2,0233ln(x) + 21,394	2,023/x

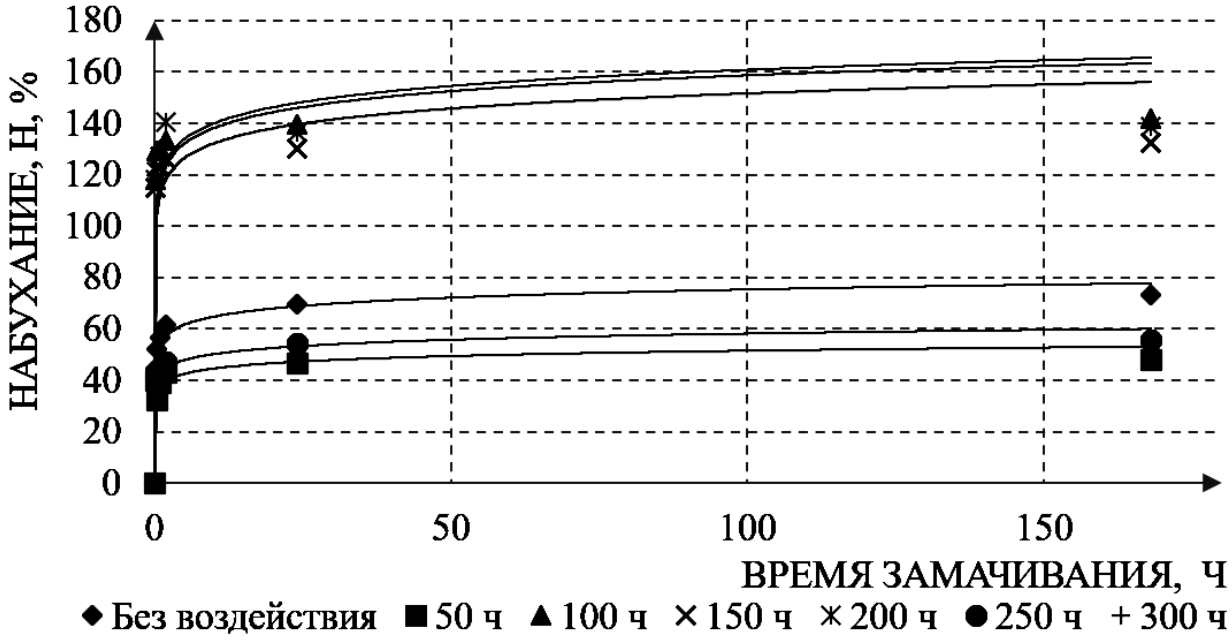


Рис. 3. Зависимость набухания ДВП от продолжительности воздействия ультрафиолетового облучения

3. Зависимость набухания ДВП от продолжительности воздействия ультрафиолетового облучения

Количество часов, N	Функция изменения набухания	Скорость протекания процесса, y'(x)
0	y = 4,587ln(x) + 54,072	4,587/x
50	y = 3,0286ln(x) + 37,61	3,029/x
100	y =3,1009ln(x) + 37,72	3,100/x
150	y = 3,1834ln(x) + 39,588	3,183/x
200	y = 3,2487ln(x) + 41,047	3,249/x
250	y = 3,4928ln(x) + 42,122	3,493/x
300	y = 3,2101ln(x) + 39,453	3,210/x

Как видно из табл. 3, с увеличением продолжительности воздействия ультрафиолетом скорость набухания ДВП снижается уже в первые 50 часов и продолжает протекать почти с постоянной скоростью.

Таким образом, было установлено, что наиболее значительное влияние на набухание древесноволокнистых плит оказывает воздействие попеременного замораживания-оттаивания и повышенных температур, которые замедляют скорость процессов набухания. Процессы дополимеризации смолы в структуре ДВП при действии повышенной температуре увеличивают структурную прочность материала, тем самым снижая скорость протекания процесса водопоглощения. При попеременном замораживания-оттаивания происходит деструкция ДВП, разрушающая его пористость, тем самым снижая способность материала к набуханию [3, 4].

Список используемых источников

1. Киселева О.А. Прогнозирование работоспособности древесноволокнистых и древесностружечных композитов в строительных изделиях / Киселева О.А. // тезисы: 05.23.05. – Тамбов, 2003. – 115 с.

2. Киселева О.А. Прогнозирование работоспособности древесноволокнистых и древесностружечных композитов в строительных изделиях / Киселева О.А. // Дис… к-та техн. наук: 05.23.05. – Воронеж, 2003. – 205 с.

3. Ярцев, В. П., Киселева, О. А. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях эксплуатации: учебное пособие / В. П. Ярцев, О. А. Киселева. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 124 с.

4. Ярцев, В. П. Влияние климатического старения на эксплуатационные свойства фанеры / В. П. Ярцев, В. М. Данилов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2022. – Т. 28, № 2. – С. 339-347. – DOI 10.17277/vestnik.2022.02.pp.339-347.

АЗОТОСОДЕРЖАЩИЕ СОЛИ В КАЧЕСТВЕ НАСЫЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ ДЛЯ ТВЕРДОФАЗНОГО НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО АЗОТИРОВАНИЯ

Панченко Е.Б., Коняхина Н.С., Шерстеникин П.А., Мордасов М.Д.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»
evgenpvh@mail.ru

Азотирование стали — насыщение поверхности стальных деталей азотом для повышения твердости, износоустойчивости и коррозионной стойкости. Процесс азотирования может быть проведен в жидкой, порошковой или газообразной среде, при разных температурах и длительности процесса [1, 2].

В настоящей работе рассмотрены азотосодержащие соли для использования в качестве насыщающей среды в процессе низкотемпературного твердофазного азотирования.

Для создания насыщающей среды предложено использовать пасту-обмазку на основе порошков солей с использованием связующих компонентов: шамотной глины или жидкого натриевого стекла.

Данный метод считается наиболее эффективным благодаря быстрому массопереносу, который возможен, когда ионы азота расположены максимально близко к поверхности детали и имеют возможность беспрепятственно восстанавливаться до атомарного состояния на поверхности, адсорбироваться на ней и диффундировать.

Процесс низкотемпературного твердофазного азотирования проводился в диапазоне температур 500…550 °С. В этом интервале температур выбранный порошок должен либо непосредственно реагировать со стальными образцами, осуществляя диффузию азота, либо вступать в реакцию с другими составляющими смеси с выделением азотосодержащего газа (например, аммиака) или непосредственно азота. Также в результате протекания реакций не должны выделяться ядовитые или горючие вещества. Соль не должна разлагаться или вступать в реакции при более низких температурах, когда диффузия азота невозможна.

Первая соль, подвергнутая анализу, – карбамид, он же мочевина $(NH_2)_2CO$. Главным ее недостатком является разложение при температуре около 200 °С на ядовитую изоциановую кислоту и аммиак.

При дальнейшем нагреве свыше 400°С аммиак, в присутствии катализатора – Fe, распадается на водород и азот, происходит детонация, что недопустимо из соображений безопасности процесса.

$$(NH_2)_2 \rightarrow NHCO + NH_3$$

Вторая соль – хлорид аммония NH_4Cl, разложение которого начинается при t = 337,8 °С. Недостатком, как и в случае с первой солью, является появление аммиака при разложении.

$$NH_4Cl \rightarrow NH_3 + HCl$$

Третья соль – нитрат аммония разлагается при температуре 169,6 °С.

$$NH_4NO_3 \rightarrow N_2O + 2H_2O\,.$$

А при температуре выше 350 °С происходит детонация, что недопустимо из соображений безопасности процесса

$$2NH_4NO_3 \rightarrow 2N_2 + O_2 + 4H_2O\,.$$

В работе [3] установлено, что карбамид повышает температуру разложения нитрата аммония до 260-280 °С, однако этого недостаточно, чтобы использовать такую смесь для твердофазного низкотемпературного азотирования.

Следующим рассмотренным веществом является *калиевая селитра или нитрат калия* KNO_3, разложение которого происходит в диапазоне температур от 400 до 500 °С до нитрита калия KNO_2 по реакции

$$2KNO_3 \rightarrow 2KNO_2 + O_2$$

При дальнейшем нагреве, при температурах выше 500 °С происходит термолиз нитрита калия по реакции

$$4KNO_2 \rightarrow 2K_2O + 2N_2 + 3O_2$$

Это удовлетворяет условиям процесса. Для сосредоточения азотосодержащей среды непосредственно в зоне контакта со стальными образцами нами предложено использовать связующие компоненты, для получения пасты-обмазки с равномерно распределенной калиевой селитрой.

В качестве связующего рассмотрено 2 соединения: натриевое жидкое стекло (Na_2SiO_3) и шамотная глина.

Главным недостатком жидкого стекла является при смешивании с калиевой селитрой образуется новая азотосодержащая соль – нитрат натрия, температура полного разложения которой ниже, чем у нитрата калия и составляет 380 °С.

$$2KNO_3 + Na_2SiO_3 \rightarrow K_2SiO_3 + 2NaNO_3$$

При использовании шамотной глины, которая состоит из смеси оксид железа (Fe_2O_3), оксида калия (K_2O), алюмооксидной керамики (Al_2O_3) и оксида кальция (CaO), во время перемешивания с калиевой селитрой не происходит. Исходя из вышесказанного в качестве связующего для проведения процесса твердофазного азотирования нами выбрана калиевая селитра с шамотной глиной в качестве связующего.

Список используемых источников

1. Мордасов, Д. М. Оборудование и автоматизация процессов производства и обработки материалов: учебное пособие для студ. напр. 22.03.01 / Д. М. Мордасов, Д. О. Завражин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 96 с.

2. Фатеев, Ю. Г. Исследование причин преждевременного разрушения подшипников буксового узла / Д.М. Мордасов, Ю.Г. Фатеев, С.В. Зотов // Вестник ТГТУ. 2015. Т. 21. № 4. – С. 686-695.

3. Смарыгин, С. Н. Неорганическая химия. Практикум : учебно-практическое пособие / С. Н. Смарыгин, Н. Л. Багнавец, И. В. Дайдакова. – Москва : Издательство Юрайт, 2022. – 414 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-9916-2736-8. – Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: https://urait.ru/bcode/509103 (дата обращения: 23.11.2023).

СВС-КОМПАКТИРОВАНИЕ ДВОЙНОГО КАРБИДА $Ti_xZr_{1-x}C$

Семенчук И.Е., Щербаков В.А., Грядунов А.Н.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук,
semenchuk-ilya@mail.ru

Карбиды металлов IV группы периодической системы, обладающие рекордно высокими температурами плавления и высокой прочностью, представляют большой интерес для использования в современной аэрокосмической, ядерной, металлообрабатывающей промышленности, турбиностроении и в других высокотемпературных применениях. Характерная особенность карбидов металлов IV группы – взаимная растворимость и образование непрерывного ряда твердых растворов, физико-механические свойства которых превосходят характеристики однофазных карбидов [1].

Традиционными методами получения твердых растворов являются горячее изостатическое прессование [2] и искровое плазменное спекание [3] порошков исходных карбидов, полученных различными методами. Однако эти методы являются энергозатратными, требующими значительного времени и средств на их осуществление.

Эффективным способом получения керамических композитов является метод СВС-компактирования [4]. Он отличается от электроискрового спекания тем, что керамический композит нагревается за счет тепла, выделяемого при тепловыделяющем синтезе тугоплавких соединений. К преимуществам этого метода можно отнести простоту оборудования, отсутствие затраты на электроэнергию и возможность изготовления крупногабаритных изделий из керамических композитов. На рисунке 1 представлена иллюстрация экспериментального процесса получения двойных карбидов TixZr1-xC.

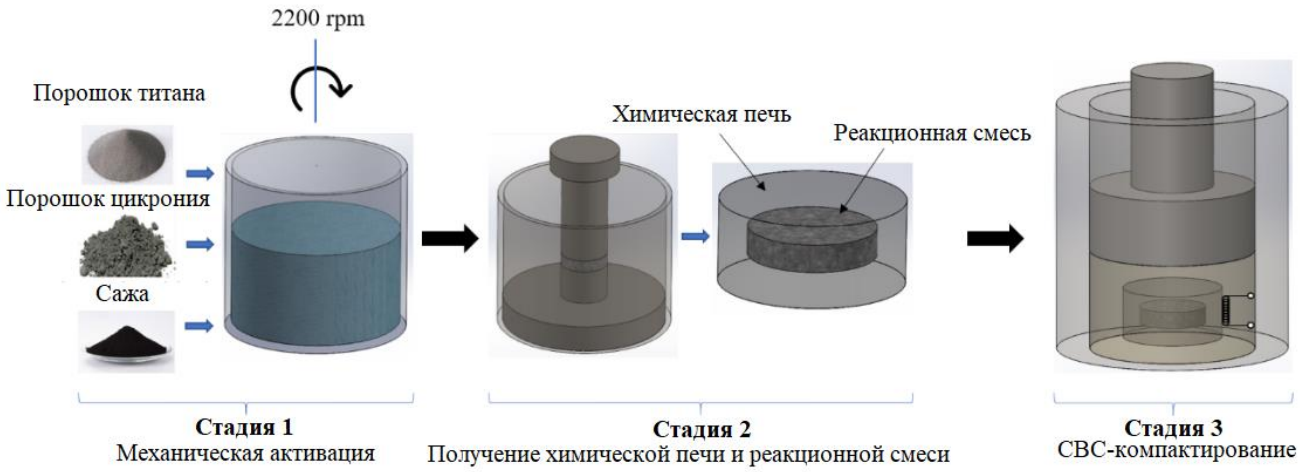


Рис. 1. Иллюстрация экспериментального процесса получения двойных карбидов $Ti_xZr_{1-x}C$

В настоящей работе исходную смесь, использованную в экспериментах готовили с использованием коммерческих порошков титана (марка ПТМ, дисперсность <40 мкм), циркония (марка ПцРК-1, дисперсность <5 мкм) и сажи (марка П804-Т, дисперсность <0,2 мкм). Экзотермический синтез ультратугоплавкого композита проводили по схеме:

$$0{,}54(Ti+C) + 0{,}46(Zr+C) \Rightarrow (Ti0.54Zr0.46)C. \quad (1)$$

Мольное соотношение исходных реагентов выбрано из условия равенства объемов, занимаемых в конечном продукте фаз TiC и ZrC. Исходные порошки механически активировали в шаровой планетарной мельнице АГО-2 (Россия) при скорости вращения 2220 об/мин в гексане. Материал мельничных барабанов – сталь 40Х13 (Россия), шаров – сталь ШХ-15 (Россия). Сначала порошки Ti и Zr активировали с различным временем смешивания (5, 20, 40 и 60 минут), а затем добавляли сажу и дополнительно активировали 4 мин. В каждый барабан объемом 150 мл загружали 30 г смеси (Ti + Zr), 35 мл гексана и 240 г шаров диаметром 8 мм.

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез и уплотнение горячих продуктов реакции проводили с использованием лабораторной установки, описаной в [4]. Образцы диаметром 58 мм, высотой 16 мм и относительной плотностью 0,6 помещали в реакционную форму, оснащенную системой, инициирующей реакцию синтеза с выделением тепла. Для повышения эффективности уплотнения продуктов синтеза была использована химическая печь. Реакционная смесь порошков помещалась между слоями химической печи. В качестве химической печки использовались таблетки, спресованные из стехиометрической смеси порошков титана и сажи. Тепловыделяющая химическая реакция осуществлялась по схеме:

$$Ti + C \Rightarrow TiC \quad (2)$$

На рисунке 2 представлены дифрактограмма МА в течение 60 минут смеси (Ti + Zr) и синтезированного двойного карбида. Видно, что на дифрактограмме МА смеси металлических порошков присутствуют низкоинтенсивные дифракционные пики твердого раствора карбидов титана и циркония. Образование карбидной фазы на этой стадии можно объяснить взаимодействием титана и циркония с углеродом, который выделяется при разложении гексана в процессе МА [5]. Установлено, что при МА в течение 60 минут содержание связанного углерода в смеси порошков титана и циркония возрастает до 3,2% масс. На рисунке 2 видно, что синтезированный продукт содержит два набора рефлексов. Угловые положения дифракционных линий этих фаз находятся между соответствующими линиями фаз чистых карбидов титана и циркония.

В таблице 1 приведены рассчитанные параметры элементарной ячейки и составы синтезированных двойных карбидов TixZr1-xC. Можно видеть, что карбиды, полученные из смесей МА в течение 5, 20 и 40 минут, содержат три фазы: $Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$, $Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$ и $Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$. По мере увеличения длительности МА интенсивность отражений от фазы $Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$ уменьшается.

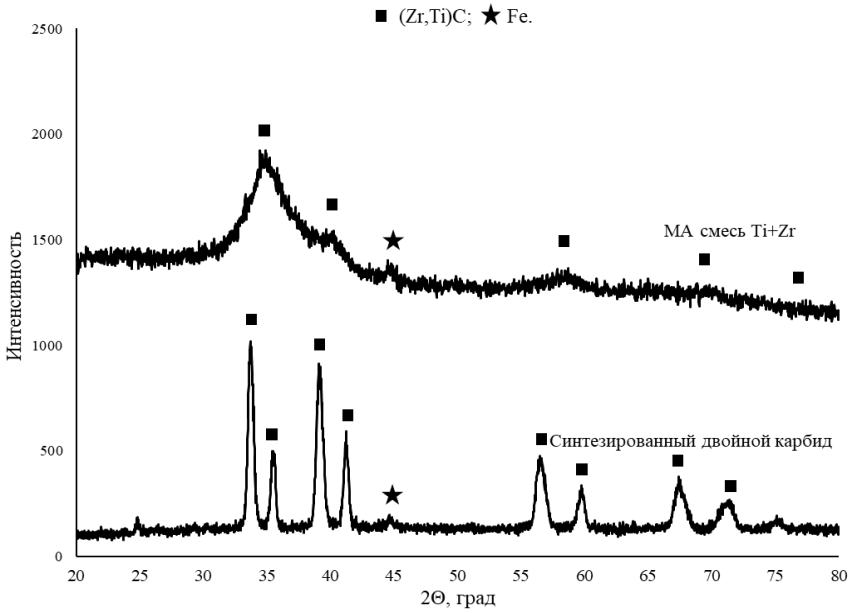


Рис. 2. Дифрактограммы: МА в течение 60 минут смеси порошков титана и циркония и синтезированного из этой смеси двойного карбида

Карбид, синтезированный из смеси МА в течение 60 минут, содержит две фазы: $Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$ и $Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$. Следует отметить, что однофазный сплав $Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$ синтезирован не был. Это связано с длительным временем охлаждения массивного образца (диаметр 90 мм, толщина 30 мм, включая химическую печь), помещенного в химическую печь. Во время охлаждения высокотемпературная фаза $Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$ частично разложилась на дочерние фазы $Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$ и $Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$.

1. Фазовый состав и параметры кристаллической решетки двойных карбидов

Время МА, минут	Фазовый состав	Содержание, wt. %	Параметр решетки, Å	R_{wp}
5	$Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$	36.8(4)	4.6042(2)	2.67
	$Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$	44.4(2)	4.5139(1)	
	$Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$	18.8(2)	4.3690(2)	
20	$Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$	46.4(4)	4.6116(1)	2.76
	$Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$	23.3(8)	4.5069(1)	
	$Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$	30.3(3)	4.3684(2)	
40	$Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$	44.5(9)	4.6036(2)	2.17
	$Zr_{0.51}Ti_{0.49}C$	24.8(4)	4.5278(4)	
	$Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$	30.7(9)	4.3768(2)	
60	$Zr_{0.76}Ti_{0.24}C$	60.7(6)	4.6027(1)	2.28
	$Ti_{0.88}Zr_{0.12}C$	39.3(6)	4.3816(2)	

На рисунке 3 представлена макроструктура синтезированного двойного карбида. Результаты микроструктурного анализа согласуются с данными рентгенофазового анализа. Видно, что синтезированный карбид, состоит из двух твердых растворов: один на основе ZrC (темная область), а другой на основе TiC (светлая область) с размером зерна 0,1…0,2 мкм.

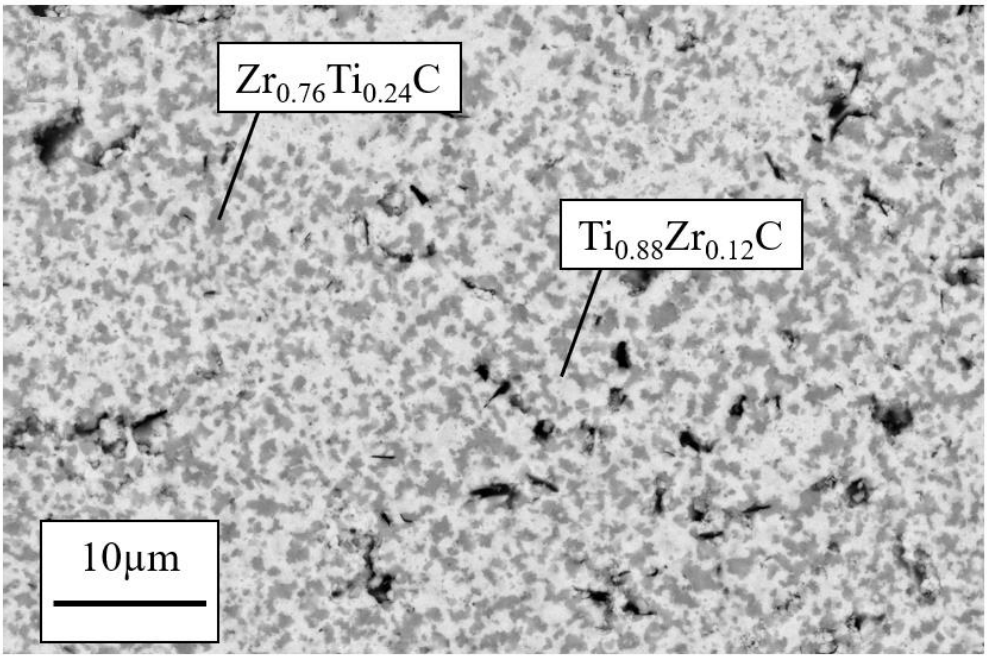


Рис. 3. Микроструктура двойного карбида

Физико-механические характеристики конечного продукта представлены в табл. 2. В таблице видно, что в результатате максимальная твердость была у двойного карбида, полученного из смеси МА в течение 60 минут. Это обусловлено субмикронной структурой, сформировавшейся в результате синтеза.

2. Физико-механические характеристики полученных композитов

Время МА, минут	$\rho_{отн}$, %	Закрытая пористость, %	Размер зерна, мкм	Hv, ГПа
5	91.2	8.3	5.0…7.0	11.3
20	91.2	8.6	3.0…5.0	13.2
40	89.56	9.6	1.0…2.0	16.4
60	85.96	10.5	0.1…0.2	18.5

Впервые методом СВС-компактирования с использованием механоактивированной смеси титана, циркония и сажи в одну стадию синтезирован ультратугоплавкий композит на основе системы TiC-ZrC с субмикронной структурой. Важно отметить, что методом СВС-компактирования двухфазный двойной карбид с субмикронной структурой получен непосредственно в процессе экзотермического синтеза без стадии длительного отжига.

Список используемых источников

1. V.I. Ivashchenko, P.E.A. Turchi, V.I. Shevchenko. First-principles study of elastic and stability properties of ZrC–ZrN and ZrC–TiC alloys. J. Phys. Condens. Matter. 21 (2009) 395-503. https://doi.org/10.1088/0953-8984/21/39/395503

2. X.J. Guo, X.T. Xin, W. Bao, X.G. Wang, Q.Q. Yang, Y. Zeng, G.J. Zhang, F. Xu. High hardness (TiZr)C ceramic with dislocation networks. JACerS. 105 (2022) 5984-5993. https://doi.org/10.1111/jace.18552

3. Y. Li, H. Katsui, T. Goto. Phase decomposition of TiC–ZrC solid solution prepared by spark plasma sintering, Ceram. Int. 41 (2015) 14258-14262. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2015.07.055

4. E.A. Levashov, Y.V. Bogatov, A.S. Rogachev, A. N. Pityulin, I. P. Borovinskaya, A. G. Merzhanov. Specific features of structure formation of synthetic hard tool materials in the SHS compacting process, J. Eng. Phys. and Thermophys., 63 (1992) 1091–1105. https://doi.org/10.1007/BF00853505

5. M.A. Eremina, S.F. Lomaeva, I.N. Burnyshev, D.G. Kalyuzhnyi, G.N. Konygin. Titanium carbohydride synthesis by mechanical activation in liquid hydrocarbon. Russian Journal of Inorganic Chemistry. 63 (2018) 1274-1282. https://doi.org/10.1134/S0036023618100066

МЕТОДЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧАСТЕЙ МУЛЬЧЕРОВ

Кожарина Т.В.[1], Карпов С.В.[1], Беляков А.[2], Гороновский А.Р.[2]
[1-]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
tata.vladimiiirovna@gmail.com
[2-] Белорусский государственный технологический университет, Минск

Для устранения деревьев и кустарников на территории лесного или сельского хозяйства широко используют мульчеры, которые являются навесным оборудованием и могут быть подключены к различным машинам, таким как тракторы, погрузчики и экскаваторы. Они работают не только на поверхности земли, но и на глубине до 1,5 метров. Применение специальных измельчителей позволяет решить проблему корчевания и утилизации пней, что делает этот метод безвредным и эффективным для выравнивания территории. Кроме того, контакт с камнями и почвой, выполняющей функции абразива, также способствует быстрому износу. Современные производители специализированной техники и оборудования должны учитывать растущие требования рынка и использовать конструкционные материалы, которые улучшат эксплуатационные характеристики продукции, снизят затраты на ее использование и продлят срок службы. Увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей является важной проблемой современного машиностроения, поскольку короткий срок службы приводит к безвозвратным потерям металла и снижает экономическую эффективность многих машин и оборудования.

При работе мульчера износу подвергаются как вал, так и зубья. Для изготовления зубьев мульчера используют комбинированные материалы, такие как литейная конструкционная сталь и металлокерамический твердый сплав. Однако, отрыв рабочей части от державки и износ боковых поверхностей державки являются основными дефектами при эксплуатации. Основным механизмом износа является абразивный процесс, который определяет предельный износ корпуса зуба, при достижении которого происходит отрыв наконечника. Схема работы мульчера показана на рис. 1.



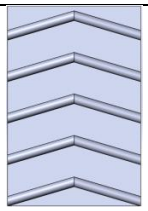
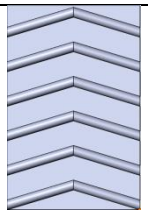
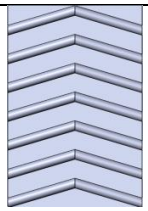
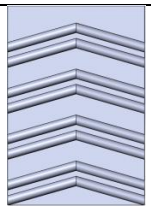
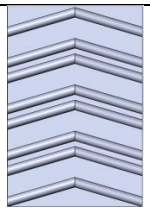
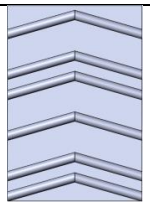
Рис. 1. Схема работы мульчерных установок

Для увеличения срока службы и восстановления режущих частей инструментов используются различные методы, включая упрочнение поверхности лап культиватора [1] и дисков бороны с помощью электродуговой наплавки [2]. Однако, необходимо провести моделирование процесса взаимодействия режущего инструмента с потоком почвы при интенсивном абразивном износе для оптимизации геометрии нанесения износостойких покрытий на режущие части сельскохозяйственных машин.

В данной работе проведены исследования влияния разной геометрии нанесения износостойких покрытий, наплавляемых на режущие части органов сельскохозяйственных машин, для их последующей оптимизации.

Объектом исследования являются прямоугольные пластины шириной 70 мм, длиной 130 мм и толщиной 2 мм, на лицевой стороне которых с двух сторон распложены валики, образующие угол 150˚, направленный вверх относительно потока почвы. Профиль валиков является полусферой с радиусом 3 мм. Конструкции пластин представлены в табл. 1.

1. Исследуемые образцы

5.27	6.22	7.18,5	9.13,5
			
12.10	8.10 v1	8.10 v2	8.10 v3
			

Необходимо пояснить, что первое число означает количество валиков с двух сторон, а второе – расстояние между центрами в миллиметрах. Образцы 8.10 v1; 8.10 v2; 8.10 v3 отличаются от образца 12.10 отсутствием 3, 6, 9 и 12 рядов; 2, 5, 8 и 11; 3, 5, 8 и 10 рядов соответственно. В качестве контрольного образца «0» использована пластина без наплавок.

Для решения внешней задачи обтекания неподвижного твердого тела (пластина) движущейся несжимаемой средой (почва) использовался модуль SolidWorks Flow Simulation [3, 4]. Исследуемые образцы располагались в центре прямоугольного канала 150×90×30 мм, в котором под углом 30° с постоянной скоростью 3,5 м/с движется среда с характеристиками: коэффициент динамической вязкости μ_s = 150 Па·с и плотностью ρ_s = 1500 кг/м^3.

На основе распределения скоростей движущейся среды с использованием модели эрозии [5] были найдены значения суммарной массовой интенсивности эрозии R_e для исследуемых образцов. Результаты представлены на рис. 2.

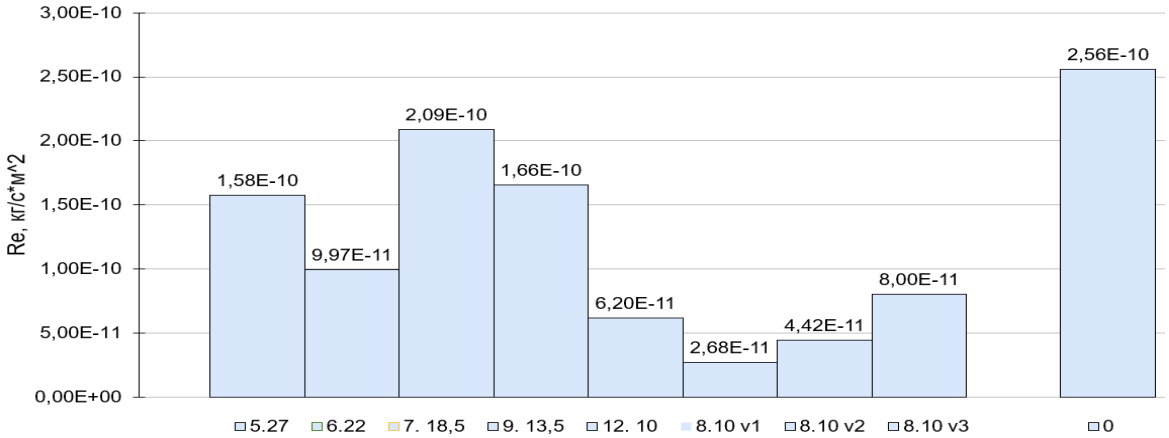


Рис. 2. Результаты исследования

Анализ данных, представленных на рис. 1, позволяет сделать вывод, что у контрольного образца «0» наблюдается максимальное значение R_e = 2,56*e^{-10} кг/с*$м^2$. Минимальное значение R_e соответствует образцу 8.10 v1 и составляет 2.68e^{-11} кг/с*$м^2$. Незначительно отличаются значения для образцов 8.10 v1 (4.43e^{-11} кг/с*$м^2$) и 12.10 (6.20e^{-11} кг/с*$м^2$). Таким образом, показатель суммарной массовой интенсивности эрозии у образца 8.10 v1 почти в 10 раз меньше, чем у контрольного образца.

Такую значительную разницу можно объяснить следующим. Валики на лицевой стороне пластины образуют рифленую поверхность (см. рис. 3). Скорость частиц на этой поверхности уменьшается, так как при взаимодействии с валиками, направленными по движению потока почвы, в зоне контактирования увеличивается сопротивление. Это приводит к формированию завихрений. При этом нижняя часть потока начинает «забиваться» между валиками, формируя застойную зону частиц, где наблюдается снижение скорости частиц почти до нуля. Следовательно, трение между почвой и валиками происходит по их вершинам, что создает условия для уменьшения площади контактирования частиц с рабочей поверхностью пластин, снижая тем самым интенсивность изнашивания детали.

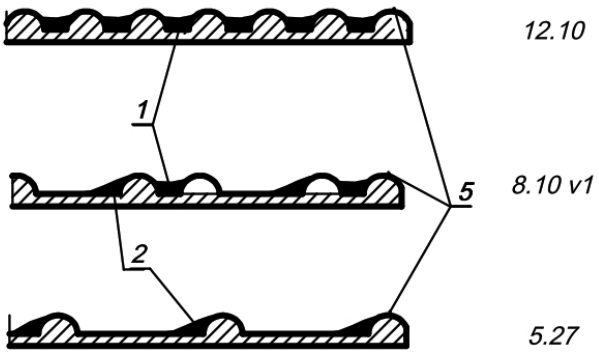


Рис. 3. Схема образования застойных зон

При анализе результатов течения среды для образцов 8.10 v1, 8.10 v2 и 8.10 v3 можно сделать вывод, что присутствует максимальная застойная зона и минимальная (2), которая образуется в том случае, если первые два ряда валиков отдалены от следующих двух рядов. Таким образом, геометрия образцов 8.10 v1 и у 12.10 является оптимальной. Если учитывать материалоемкость защитных покрытий, то образец 12.10 является предпочтительным для практического применения. Полученные данные можно использовать для создания новых обрабатывающих инструментов с повышенной абразивной стойкостью, например долот, лап культиваторов, дисков и других деталей, взаимодействующих с почвой.

Список используемых источников

1. Слинко, Д. Б. Упрочнение рабочей поверхности лап культиваторов электродуговой наплавкой износостойкими валиками / Д. Б. Слинко, Л. Д. Варламова, Д. М. Некрасов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124. – № 2. – С. 118-124.

2. Маренов, М. В. Упрочнение диска бороны с применением средств автоматизации и компьютерных технологий / М. В. Маренов, Д. Б. Слинко // Инновационные технологии реновации в машиностроении: Сборник трудов Международной научно-технической конференции, посвященной 150-летию факультета «Машиностроительные технологии» и кафедры «Технологии обработки материалов» МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 04–05 февраля 2019 года / под общ. ред. В. Ю. Лавриненко. – Москва: Московский государственный областной университет, 2019. – С. 64-68.

3. Sun J. et al. DEM simulation of bionic subsoilers (tillage depth> 40 cm) with drag reduction and lower soil disturbance characteristics //Advances in Engineering Software. – 2018. – Т. 119. – С. 30-37.

4. Карпов, С. В. Анализ абразивного износа бионических структур / С. В. Карпов, Т. В. Кожарина // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : Материалы XIII Международной научно-инновационной молодежной конференции, Тамбов, 11–12 ноября 2021 года. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2021. – С. 192-194.

5. Amara M. et al. Effect of sand particles on the Erosion-corrosion for a different locations of carbon steel pipe elbow //Procedia Structural Integrity. – 2018. – Т. 13. – С. 2137-2142.

ИЗУЧЕНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИСХОДНЫХ ПОРОШКОВЫХ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕУПОРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СВС-СЖАТИЯ

Чижиков А.П., Антипов М.С., Жидович А.О., Константинов А.С., Бажин П.М.
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт структурной макрокинетики и проблем материаловедения им. А.Г. Мержанова Российской академии наук, chij@ism.ac.ru

Успешное развитие современного научно-промышленного сектора невозможно без разработки новых материалов с улучшенными физико-механическими свойствами и новых энергоэффективных способов получения готовых изделий из таких материалов. Выполненные на сегодняшний день научные исследования в области изучения деформационных процессов керамических материалов, а также в области макрокинетики СВС-систем говорят о перспективности использования процессов, сочетающий СВС и сдвиговое высокотемпературное деформирование. В ходе исследования указанных процессов было установлено, что дальнейшее направление данных исследований следует развивать в двух направлениях: расширения номенклатуры объектов исследования и дополнения существующих знаний теории горения, материаловедения и структурной макрокинетики реологическим подходом, и развития нового направления – структурной реологии. Развитие структурной реологии керамических материалов позволит установить влияние параметров и условий процесса получения на свойства конечного изделия. Таким образом, известная цепочка «состав-структура-свойства» может быть модифицирована до «состав – способ получения – структура – свойства».

В качестве объектов исследования в настоящей работе были выбраны композиционные материалы на основе стабилизированного оксидом иттрия оксида циркония. Керамика на основе оксида циркония обладает высокой температурой плавления и химической инертностью, что делает ее перспективной для получения огнеупорных материалов на ее основе. Оксид циркония существует в трех различных модификациях, а именно: моноклинной, тетрагональной и кубической. Высокотемпературные фазы оксида циркония обладают перспективными свойствами для применения в промышленности, в том числе в качестве огнеупорных материалов. При комнатной температуре стабильной является моноклинная модификация, при этом переход из моноклинной в тетрагональную сопровождается изменением объема образца, приводящего к возникновению трещин. Таким образом, для получения керамики на основе высокотемпературных фаз оксида циркония на

практике применяются стабилизирующие добавки, частично либо полностью препятствующие переходу в моноклинную модификацию при охлаждении.

Для изучения механизма деформации порошковых материалов при уплотнении, а также для определения значений реологических характеристик выбранных объектов исследования и нахождения оптимальных значений давления прессования заготовок были проведены эксперименты по деформированию порошковых смесей на испытательной машине РЭМ-20А. Эксперименты проводились при постоянной скорости нагружения при максимальной нагрузке 20 тонн. В качестве исходных образцов использовались порошковые навески на основе разработанных составов массой 10 грамм, диаметр рабочей камеры пресс-формы составлял 12 мм. Исследуемые порошки помещались в камеру пресс-формы насыпной плотностью, после чего фиксировалась высота засыпки. После проведения эксперимента по деформированию фиксировалась конечная высота засыпки.

Подготовленную пресс-форму с исследуемой системой исходных компонентов устанавливалась под плунжер универсальной испытательной машины РЭМ-20А, после чего в ходе проведения эксперимента по деформированию были получены кинетические кривые, представляющие собой зависимость давления от времени. Учитывая изменения высоты заготовки, загруженной в пресс-форму, зависимость давления от времени перестраивалась в зависимость «давление прессования – изменение высоты». Далее для определения реологических характеристик исследуемых порошков и выбора оптимальных условий прессуемости строились реологические кривые «напряжение деформация». В результате анализа данных кривых определялись модуль упругости при сжатии G, конечное значение деформации линейного участка кривой «напряжение – деформация», коэффициент сжимаемости k. По физическому смыслу он характеризует способность материала к уплотнению на начальной (линейной) стадии, во время которой интенсивность уплотнения максимальна. Основной задачей, ставившейся при проведении данных исследований, являлось определение величины необходимого давления при предварительном холодном прессовании для обеспечения выбранного значения плотности заготовок, которое обеспечивает условия полноты реакции при горении и синтеза материала в процессах самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, и, в частности, при свободном СВС-сжатии. Известно, что для успешного осуществления процессов синтеза в процессах СВС относительная плотность шихтовой заготовки (по отношению к плотности компактного материала) должна составлять 0,5 – 0,7.

Для определения оптимального интервала давлений прессования строилась зависимость «давление прессования – относительная плотность». Относительная плотность заготовки определялась как отношение реальной плотности заготовки к теоретической плотности беспористой заготовки. На основе проведенных экспериментов по холодному одноосному деформированию порошковых материалов для разработанных исходных (с различным содержанием Y_2O_3 и марками порошка циркония) составов был изучен механизм деформации порошковых материалов при уплотнении, были

получены кинетические кривые зависимости давления от времени. На основе данных кривых, учитывая изменение высоты деформированной заготовки, были получены реологические кривые «напряжение – деформация». В ходе анализа данных кривых были определены реологические параметры: модуль сжимаемости G, конечное значение деформации линейного участка кривой «напряжение – деформация» e, коэффициент сжимаемости k, изучен механизм деформации порошковых материалов, определены значения давления прессования для достижения оптимальных значений относительной плотности исходной заготовки.

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-79-10182, https://rscf.ru/project/22-79-10182/.*

СВОЙСТВА МЕТАЛЛОВ В НАНОСТРУКТУРИРОВАННОМ ВИДЕ КАК СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТАКТНОЙ МАССЫ В ПРОЦЕССАХ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ

Брянкин К.В., Субочева М.Ю., Брянкина А.К.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», nach_umu@tstu.ru

На результативность процесса термокаталитической деструкции углеводородного сырья влияют его физико-химические свойства, температура, давление, эффективность контакта катализатора с сырьем, а также свойства катализатора: качественный и количественный составы, геометрическая структура, величина удельной поверхности частиц катализатора.

Разработка высокоэффективного катализатора по совершенствованию процессов деструкции и изомеризации углеводородного сырья заключается в учете основных физико-химических свойств используемого углеводородного сырья, так и в определении характеристики компонентов катализаторов процессов деструкции нефти и изомеризации высококипящих соединений. В качестве компонентов катализатора термокаталитической деструкции и изомеризации жидких углеводородов использовались металлы в наноструктурированной форме: платина (Pt), вольфрам (W), медь (Cu), никель (Ni), марганец (Mn), хром (Cr), титан (Ti) [1 – 4].

Для оценки структуры и характеристики поверхности частиц металлов и их агломератов на процессы деструкции и изомеризации углеводородов определяли для нанометаллов размеры частиц методами сканирующей электронной микроскопии при помощи сканирующего микроскопа Carl Zeiss (Германия) с полевым эмиссионным катодом, колонной электронной оптики GEMINI-II и безмаслянной вакуумной системой. Распределения по размеру нанометаллов и их агломератов строили, используя метод Гаусса, согласно ГОСТ Р ИСО 21501-4-2012 [5, 6].

Для исследований использовали нефть Харьягинского месторождения, которая относится к типу «обычная» нефть с возможностью использования для получения прямогонных светлых фракций топлива [7].

Изображения частиц металлов были получены во вторичных электронах, ускоряющее напряжение при этом составляло 20 кВ. Фотоснимки частиц Ni, Cr, Mn, Pt, Cu, Ti, W представлены на рис. 1.

Определение формы и размера микрочастиц осуществляли при помощи лазерного анализатора микрочастиц – микросайзера марки «Микросайзер 201».

В состав частиц никеля (рис. 1, *а*) входят частицы разнообразной формы, в т.ч. гантелевидной с размерами от 570 до 1010 нм. Некоторые частицы имеют размеры от 0,5 до 1 нм. Эквивалентный диаметр агломерата составляет от 4 до 30 мкм. Частицы платины (рис. 1, *б*) имеют шарообразную форму с размерами

от 3 до 6 нм и образуют агломераты различной формы с геометрическим размером в диапазоне от 38 до 170 мкм.

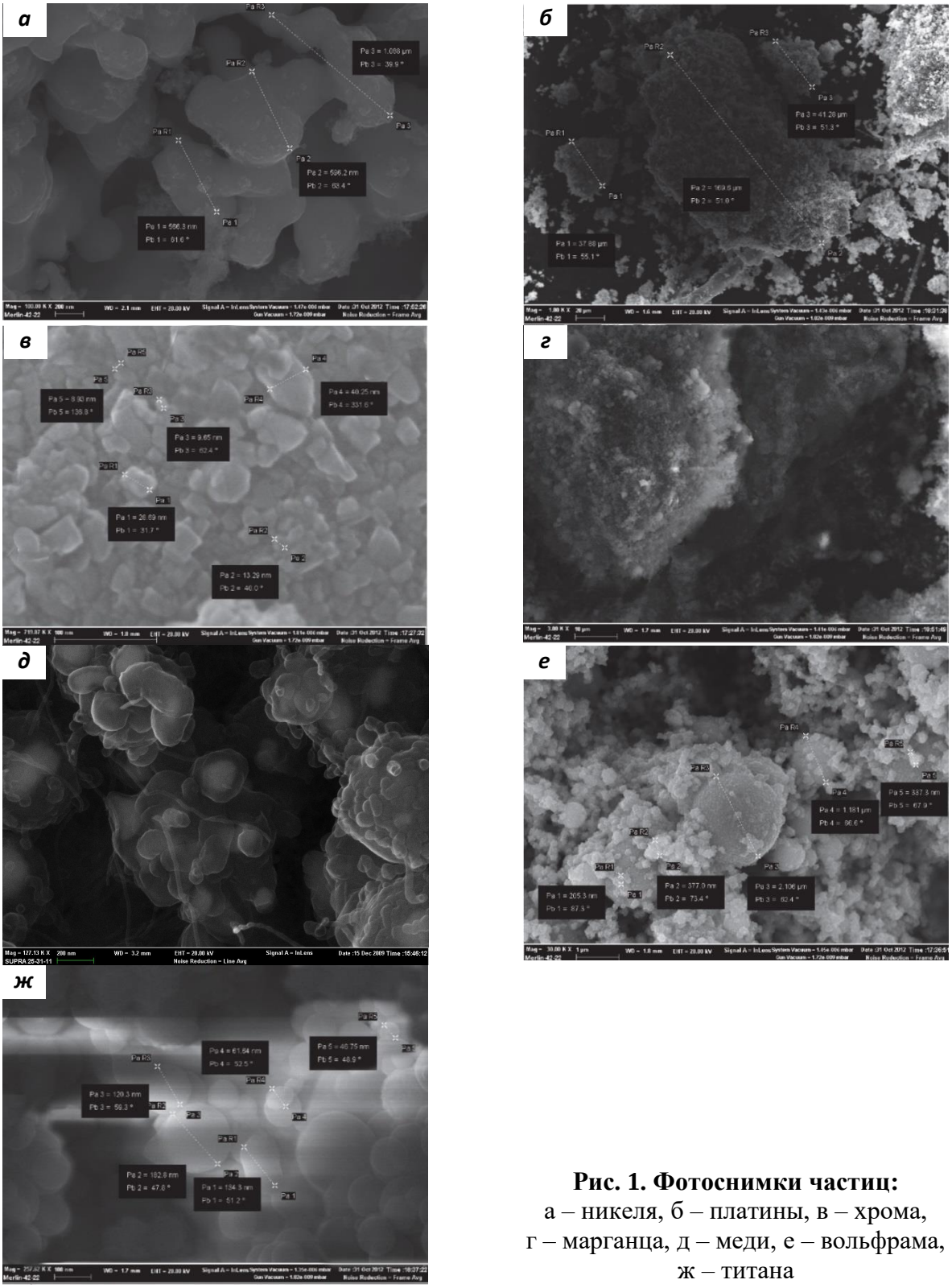


Рис. 1. Фотоснимки частиц:
а – никеля, б – платины, в – хрома,
г – марганца, д – меди, е – вольфрама,
ж – титана

Частицы хрома (рис. 1, *в*) характеризуются гранецентрированной формой, имеют размеры от 15 до 60 нм, а их совокупность составляет агломерат шарообразной формы диаметром от 350 до 1698 нм. Частицы марганца (рис. 1, *г*) характеризуются эллиптической формой с диаметром частиц от 5 до

30 нм и образуют агломераты с эквивалентным диаметром от 30 до 120 мкм. Для частиц меди (рис. 1, *д*) характерна эллиптическая форма с размерами от 5 до 30 нм со склонностью к образования агломератов с диаметром от 30 до 120 мкм. Частицы вольфрама (рис. 1, *е*) имеют гранецентрированную форму и эквивалентный диаметр от 9 до 40 нм; отдельные частицы образуют агломераты шарообразной формы с диаметром от 205 нм до 2106 нм. Частицы титана имеют неправильную форму с размерами от 10 до 50 нм и образуют агломераты частиц шарообразной формы с диаметром от 115 нм до 1500 нм.

Распределение нанометаллов по размеру оценивалось как результат динамического рассеяния света на частицах в броуновском движении с использованием автоматического анализатора размера частиц и zeta-потенциала Nicomp 7030. Для оценки распределения нано и микрочастиц по размеру осуществлялось их диспергирование в инертной среде. Для создания устойчивой к агломерации и осаждению суспензии приготовленная проба обрабатывалась ультразвуком с использованием ультразвуковой установки ИЛ 100-6/4 производства ООО «Ультразвуковая техника – Инлаб». Для анализа гранулометрического состава частиц использовался метод Гаусса.

Результаты измерения размеров частиц в наноструктурированном виде в среде органического растворителя для частиц меди, платины, никеля, хрома, вольфрама и титана показали следующее:

– частицы никеля состоят из двух видов частиц металла – мелких с размерами от 10 до 13 нм, в количестве 4,7 масс. % листообразной формы с сторонами *a, b, c* (соотношение сторон 1×10×20), и крупных частиц с размерами от 171 до 515 нм в количестве 95,3 масс. % гантелевидной формы с конденсированными на поверхности чешуйками; удельная поверхность частиц никеля, диспергированных в инертном растворителе, составляет 16, 697 $м^2/г$;

– частицы платины состоят из отдельных частиц металла с размерами от 10 до 15 нм, в количестве 47,2 масс. % шарообразной формы и агломератов частиц с размерами от 32 до 157 нм в количестве 52,8 масс. % стохастической формы близкой к вытянутому эллипсоиду; удельная поверхность частиц составляет 21,143 $м^2/г$;

– частицы хрома содержат в своем составе отдельные частицы Cr с размерами от 5 до 30 нм, в количестве 85 масс. % гранецентрированной формы со сторонами a, b, c (соотношение сторон 1×1,5×2) и агломераты частиц Cr с размерами от 30 до 120 нм, в количестве 22 масс. % шарообразной формы; удельная поверхность частиц составляет 9,191 $м^2/г$;

– частицы марганца состоят из отдельных частиц металла с размерами от 60 до 210 нм, в количестве 100 мас. % шарообразной формы; удельная поверхность частиц составляет 19,544 $м^2/г$;

– частицы меди содержат отдельные частицы, характеризуемые размерами от 75 до 360 нм, в количестве 100 масс. % шарообразной формы; удельная поверхность частиц составляет 10,144 $м^2/г$;

– частицы вольфрама состоят из отдельных частиц металла с размерами от 50 до 200 нм, в количестве 80 масс. % пластинчатой формы; удельная поверхность частиц составляет 11,264 м^2/г;

– частицы титана состоят из отдельных частиц металла с размерами от 45 до 450 нм, в количестве 95 масс. % шарообразной формы; удельная поверхность частиц составляет 9,553 м^2/г.

Удельную поверхность частиц металлов определяли путем измерения сорбционной емкости в парах азота в диапазоне относительных давлений 0,05 – 0,3, в среде жидкого азота при температуре -195,8 °С, по многоточечному методу БЭТ (Брунауэра, Эммета, Тейлора). Измерения приводили при помощи автоматического измерителя сорбции газов и паров Autosorb – iQ – C фирмы Quantachrome Ins., США.

Оценка удельной поверхности микрочастиц осуществлялась при помощи автоматического измерителя сорбции газа и паров «Сорбтометр М».

Усредненные численные значения удельной поверхности частиц никеля, вольфрама, платины и микрочастиц никеля, вольфрама и платины представлены в табл. 1.

1. Удельная поверхность частиц металлов

Металл	Значение удельной поверхности (S), м^2/г			
	Определенная по методу БЭТ	Рассчитанная	Отн. погрешность, %	Условно принятая
никель	25,672	16,697	53,75	16,697
медь	15,592	10,114	54,16	10,114
платина	21,960	21,143	3,72	21,143
вольфрам	12,127	11,264	7,12	11,264
хром	10,628	9,191	15,63	9,191
марганец	23,134	19,544	18,37	19,544
титан	11,955	9,553	25,14	9,553

Анализируя представленные данные можно сделать вывод, что наибольшей удельной поверхностью среди измеренных образцов частиц металлов, по методу измерения сорбционной емкости в парах азота (методом БЭТ), обладает никель, наименьшей – хром.

Для частиц вольфрама и платины численные значения удельной поверхности, полученные по методике БЭТ и расчетным путем, имеют расхождение в 7,66 и 10,42% соответственно.

Учитывая обнаруженные характеристики частиц исследуемых металлов в наноструктурированном виде, для изготовления контактной массы для осуществления процессов термокаталитической деструкции и изомеризации жидких углеводородов в качестве катализаторов наиболее целесообразно применять частицы платины, марганца, никеля. Промышленная апробация разработанного способа реализации каталитических процессов, а также состава и структуры контактной массы показала положительные результаты – скорость

процесса деструкции нефти увеличилась в 3 раза, процесса изомеризации – в 2 раза; выход прямогонного бензина составил 43%.

Список используемых источников

1. Балобаева, Н. Н. Повышение выхода бензиновой фракции, выкипающей при температуре до 195º С при атмосферной возгонке легкой малосернистой высокопарафинистой нефти с использованием наноструктурированных катализаторов / Н.Н. Балобаева, К.А. Паршина, Е.А. Николаева // Материалы III Международной научно-практической конференции Современные тенденции развития науки и технологий. – Белгород, 2015. – С. 104-107.

2. Леонтьева, А. И. Благородные фракции исследование эффективности использования металлов в наноструктурированной форме в процессах каталитического крекинга нефтяного сырья и изомеризации бензиновой фракции / А.И. Леонтьева, Н.Н. Балобаева, А.Н. Брянкина, Аль Фадхли Кхазаал Хамид Кхазаал // Neftegaz.ru. – 2018. – № 4(76). – С. 112-120.

3. Леонтьева, А. И. Крекинг отбензиненной нефти с использованием композиций оксидов металлов и металлов в наноструктурированной форме / А.И. Леонтьева, Н.Н. Балобаева, А.Н. Брянкина // Инновационное развитие современной науки: проблемы, закономерности, перспективы: сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 2017. – С. 27-29.

4. Балобаева, Н. Н. Термическая деструкция нефти с целью повышения выхода бензиновой фракции и улучшением ее качественных характеристик с использованием металлов в наноструктурированной форме / Н.Н. Балобаева, А.В. Выжанов, А.И. Бельков // Мир нефтепродуктов. – 2016. – №9. – С. 13-17.

5. Иванов, С. Г. Особенности физико-химических свойств мелкодисперсных материалов / С.Г. Иванов, А.М. Гурьев // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4-1. – С. 195-196.

6. Сюше, Ж. П. Химия твердого тела / Ж.П. Сюше. – М.: Металлургия, 1972. – 144 с.

7. Требин, Г. Ф. Физико-химические свойства нефтей Харьягинского месторождения / Г.Ф. Требин, Ю.В. Капырин, Ю.Н. Скороваров, П.В. Жуйко, Л.В. Коновалова // Геохимия нефтей и органического вещества. №8. – М.: Геология нефти и газа, 1987.

ПОЛУЧЕНИЕ АКТИВИРОВАННЫХ УГЛЕЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ АПК ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ КАК ЭФФЕКТИВНЫХ СОРБЕНТОВ В ОЧИСТКЕ ВОДНЫХ СРЕД

Бадин Д.А., Тимиргалиев А.Н., Ананьева О.А., Яркин В.О., Кадум А.Х., Бураков А.Е., Буракова И.В., Кузнецова Т.С.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», iris_tamb68@mail.ru

Авторами работы синтезирован биоуголь на основе возобновляемого растительного сырья – травяной муки. Для получения углей использовали экологичный метод гидротермальной карбонизации (ГТК) (180 °С / 12 часов). После ГТК смесь фильтровали на водоструйном насосе через тканевый фильтр для удаления побочных продуктов реакции. Далее полученный материал сушили при 110 °С до постоянной массы. Карбонизацию проводили в 3 этапа путем нагревания и выдерживания образца при 150, 500 и 750 °С ступенчато в течение часа при каждой из температур в инертной среде. Для активации карбонизированные материалы смешивали с гидроксидом калия (в соотношении 1:3 по массе), нагревали в 2 этапа при 400 и 750 °С в инертной среде. После полного остывания, материал извлекали и заливали дистиллированной водой на 12 ч. Далее смесь промывали до нейтрального pH. Затем удаляли избытки влаги из материала с помощью вакуумного насоса, и заливали соляной кислотой на 12 ч. После чего смесь промывали до нейтрального pH. Материал сушили при 110°С до постоянной массы. Для изучения влияния добавки оксида графена (ОГ) на сорбционные свойства биоугля, на стадии ГТК в смесь вводили 1% водную суспензию ОГ. На рисунке 1 представлено изображение микроструктуры поверхности гидротермального углерода.

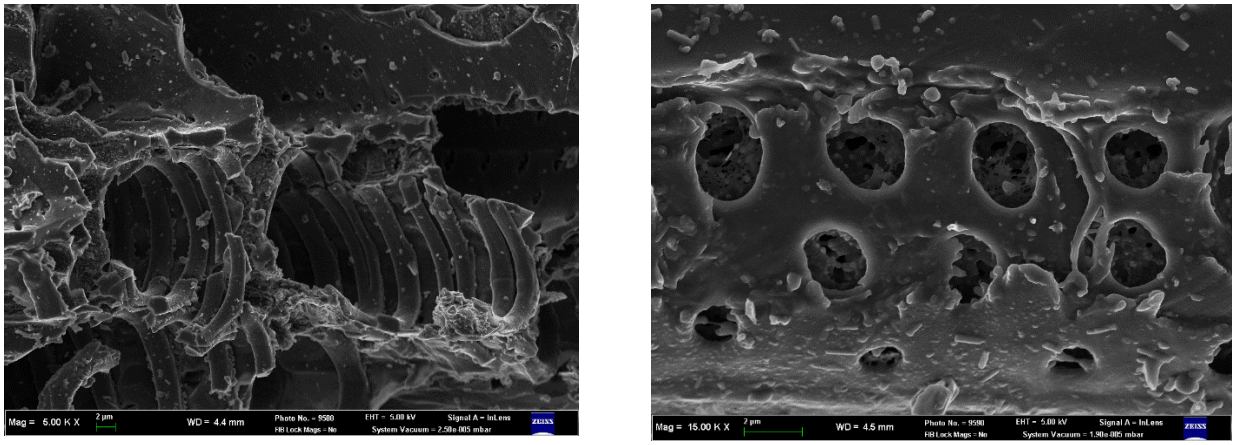


Рис. 1. СЭМ-изображение поверхности биоугля из травяной муки после щелочной активации

Определение параметров пористого пространства материалов осуществляли по низкотемпературной адсорбции азота на анализаторе

Autosorb-1 (Quantachrome, Одельцхаузен, Германия) (измерения производились при температуре кипения жидкого азота (77 К) и парциальном давлении $p/p_0 = 0.30$).

Согласно полученным параметрам пористого пространства (табл. 2, рис. 2, 3), в результате активации происходит значительное увеличение удельной поверхности биоугля, возрастает объем пор – появляется значительное количества транспортных мезопор, которые будут способствовать эффективному извлечению.

Определение сорбционной способности производилось по отношению к ионам тяжелых металлов Zn^{2+}, а также молекулам синтетического органического красителя – метиленового синего (МС), проводились в ограниченном объеме в статическом режиме. Начальная концентрация модельного раствора ионов металла объемом 30 мл составляла 100 мг/л, МС – 1500 мг/л, вес сорбента – 0,01 г. Время сорбции – 5, 10, 15, 30, 60 мин. Оптическую плотность растворов синтетического красителя определяли на спектрофотометре ПЭ-5400В при длине волны $\lambda = 815$ нм. Равновесную концентрацию ионов тяжелых металлов в водных растворах измеряли с помощью энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии (спектрометр ARLQuant ThermoScientific, ThermoScientific, США).

Таким образом, кинетические исследования позволили установить время сорбции при сорбции МС – 10 мин, ионов цинка – 30 мин. При извлечении МС все синтезированные материалы показывают очень высокую скорость поглощения на начальном этапе поглощения. В первые минуты сорбируется 95% загрязнителя. Наиболее эффективным материалов при адсорбции МС является биоуголь из травяной муки, прошедший карбонизацию и активацию – 2685 мг/г. Кинетика адсорбции цинка имеет более пологий характер и наибольшую емкость показывает биоуголь из травяной муки, прошедший карбонизацию, с добавкой ОГ – 42,1 мг/г.

1. Величина удельной поверхности и объем пор

Образец	Параметры пористой структуры*		
	$S_{БЭТ}$, м^2/г	S_{DFT}, м^2/г	V_{DFT}, см^3/г
Т.1.К	3,059	2,811	0,002
Т.1.К+КОН(1:6)	3152,938	2017,343	1,653

* $S_{БЭТ}$ – удельная поверхность по БЭТ, м^2/г; S_{DFT} – удельная поверхность по DFT, м^2/г; V_{DFT} – удельный объем пор по DFT, см^3/г.

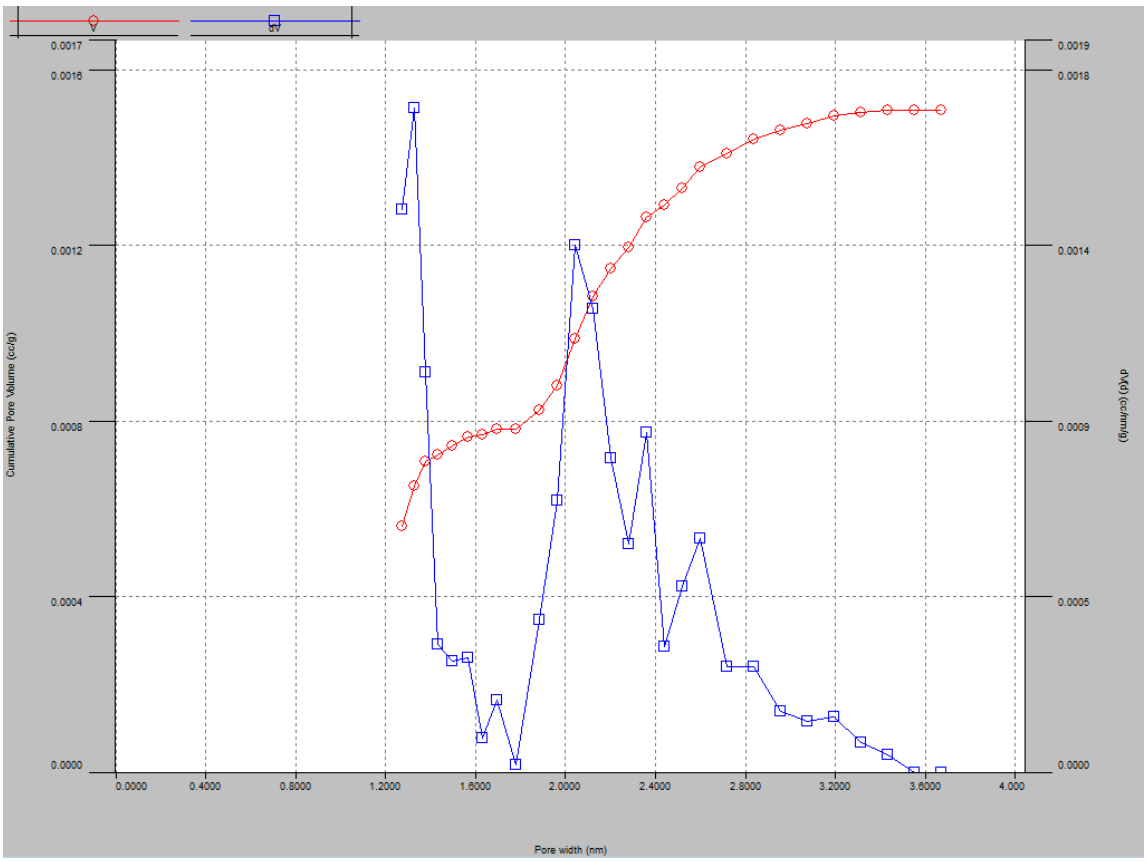


Рис. 2. Распределение пор по размерам Т.1.К по модели DFT (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры)

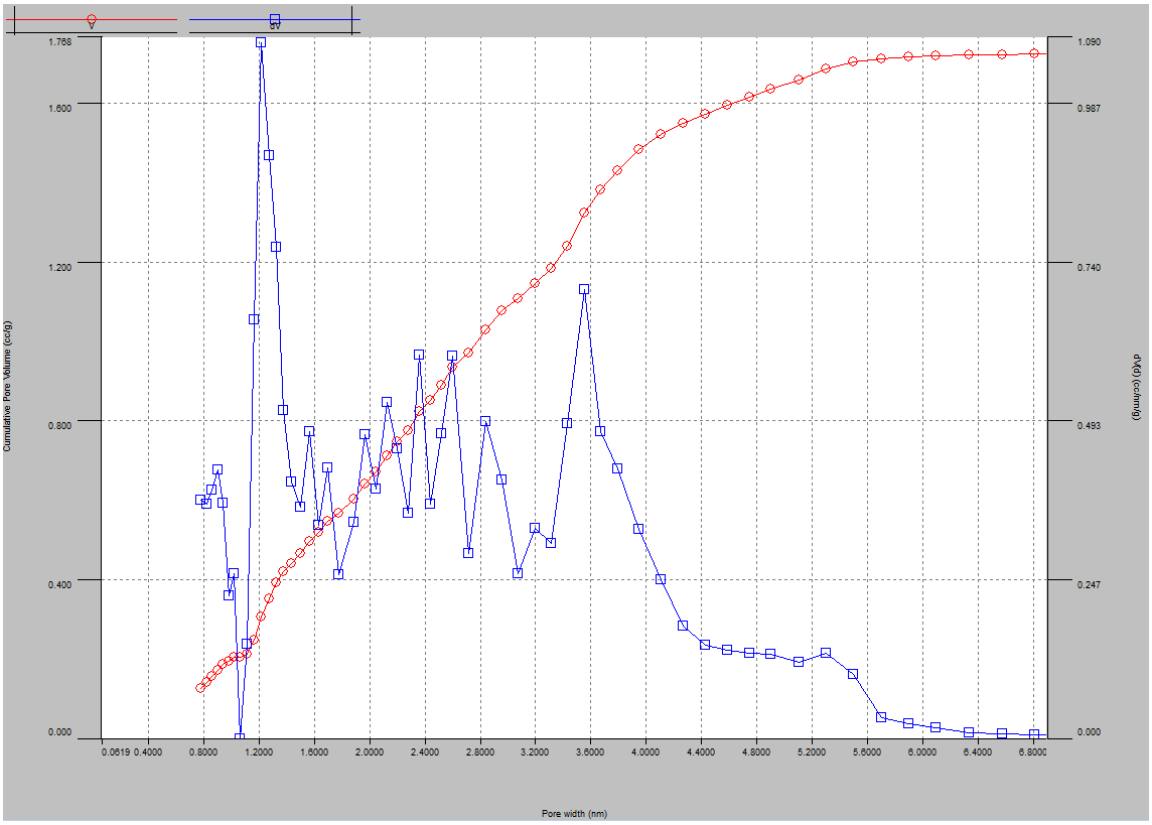
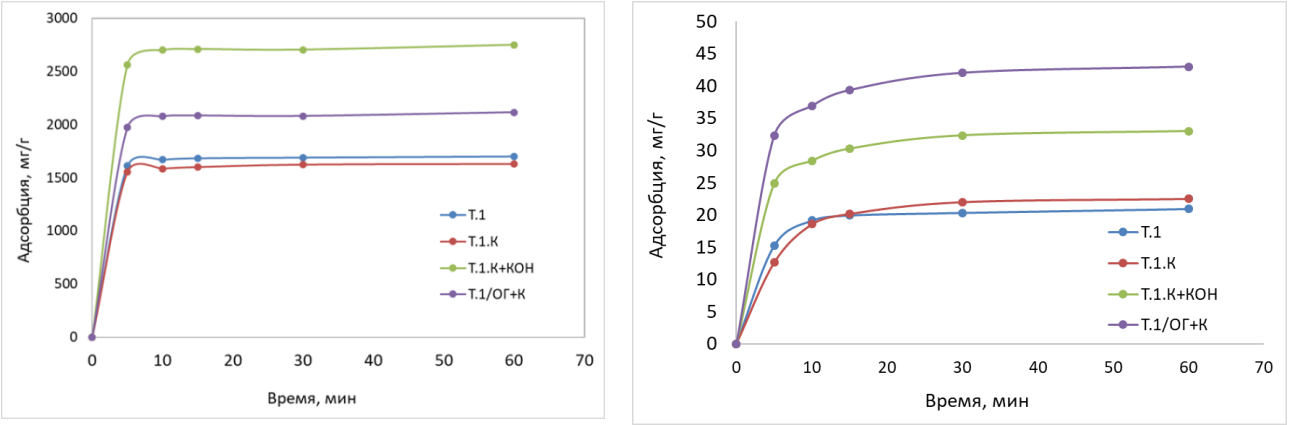


Рис. 3. Распределение пор по размерам Т.1.К+КОН(1:6) по модели DFT (NLDFT модель, учитывающая щелевидные/цилиндрические поры)



а) *б)*

Рис. 4. Кинетика адсорбции МС и Zn^{2+} на гидротермальном углероде из травяной муки

**Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-13-20074, https://rscf.ru/project/22-13-20074*

АДСОРБЦИЯ ТРИАЛКИЛАМИНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ (102) ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ

Кровякова Е.И., Дегтярев А.А., Швец М.Е., Бакунин Н.С.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
K.Liza.9072003@gmail.com

Фталоцианины являются высшими гетероциклическими соединениями, состоящими из пиррольных колец, соединяющихся между собой атомами азота. С катионами переходных металлов данные соединения образуют комплексы, которые имеют наибольшее промышленное значение. Их используют преимущественно для производства пигментов и красителей.

Для повышения олеофильности поверхности пигментов, в том числе и фталоцианина меди, наиболее эффективно использовать третичные амины [1]. В данной работе изучалась адсорбция триалкиламинов с разной длиной цепи (от триметиламина до триоктиламина) на поверхности фталоцианина меди. Была исследована адсорбция на поверхности (102), так как она занимает наибольшую долю.

Расчеты проводились в программном обеспечение ORCA 5 [2] полуэмпирическим методом XTB2 [3]. Данный метод был выбран так как хорошо описывает дисперсионные силы, которые являются преобладающими при сорбции на данной поверхности. В качестве модели растворителя использовалась ALPB [4], растворитель – вода.

Для моделирования поверхности пигмента использовался восьмимолекулярный кластер с геометрией, соответствующей экспериментальной, для β-модификации кристаллической решетки [5].

На рисунке 1 изображен восьмимолекулярный кластер фталоцианина меди, исследуемая поверхность (102) находится вверху.

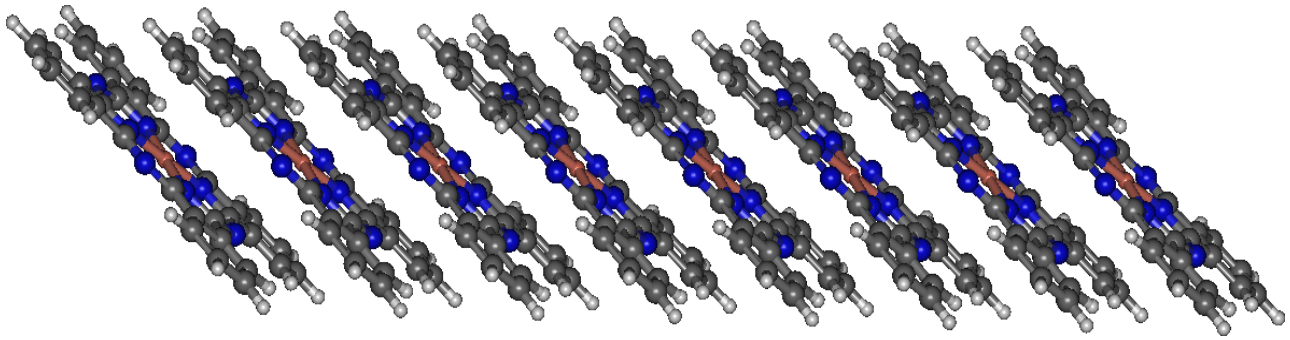
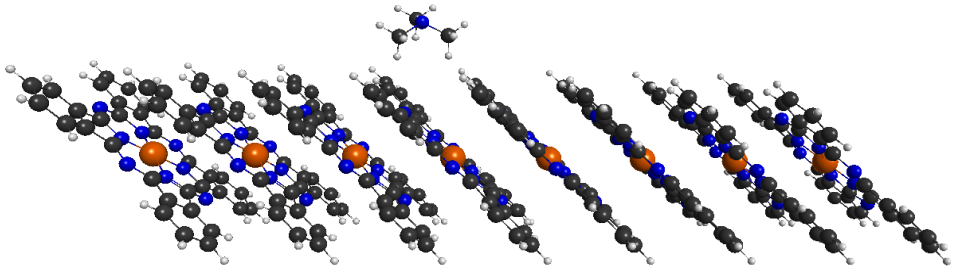
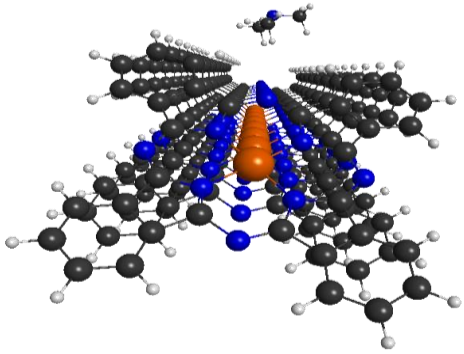


Рис. 1. Восьмимолекулярный кластер фталоцианина меди

Примеры комплексов триалкиламинов с пигментом представлены на рис. 2, 3.

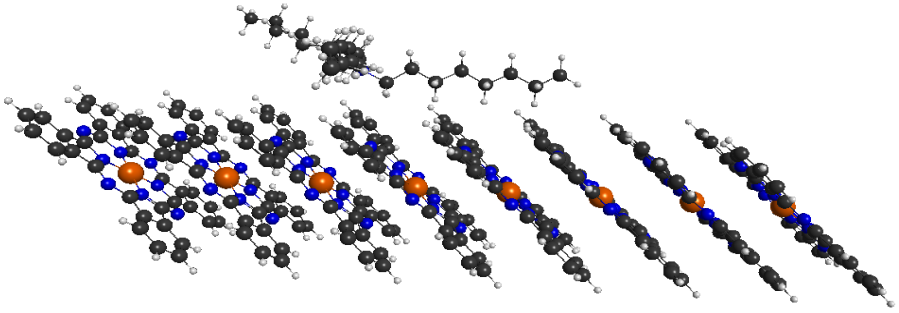


а)

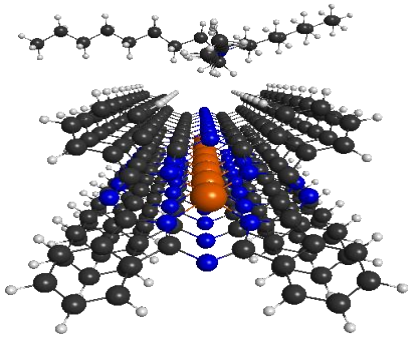


б)

Рис. 2. Восьмимолекулярный кластер фталоцианина меди с триметиламином на поверхности (102)



а)



б)

Рис. 3. Восьмимолекулярный кластер фталоцианина меди с триоктиламином на поверхности (102)

Для всех триалкиламинов с длиной цепи больше или равной двум, наиболее благоприятное положение сорбции: одна из цепей параллельна стопке молекул, остальные под углом 120° (см. рис. 3).

Рассчитанное изменение энергии при образовании комплексов сорбат-сорбент представлено на рис. 4.



Рис. 4. Зависимость энергии сорбции от длины алкильной цепи

Исходя из данных графика, можно сделать вывод, что по типу сорбции триалкиламины можно разделить на две группы, до трибутиламина включительно имеют энергию сорбции – (16…19) кДж/моль, от трипентиламина и выше – (27…33) кДж/моль. Для первой группы характерно отсутствие изгиба алкильной цепи. Во второй группе алкильная цепь изгибается под действием дисперсионных сил и прижимается ближе к поверхности пигмента.

Список используемых источников

1. Прогнозирование возможности олеофилизации поверхности фталоцианина меди на основании индексов реакционной способности / А. А. Дегтярев, А. В. Тришина, Т. П. Дьячкова [и др.] // Журнал физической химии. – 2020. – Т. 94. – № 8. – С. 1263-1268. – DOI: 10.31857/S0044453720080051.

2. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger // – 2020. – Vol. 152, No. 22. – P. 224108. – DOI: 10.1063/5.0004608.

3. Bannwarth C., Ehlert S., Grimme S. GFN2-xTB — An Accurate and Broadly Parametrized Self-Consistent Tight-Binding Quantum Chemical Method with Multipole Electrostatics and Density-Dependent Dispersion Contributions / C. Bannwarth, S. Ehlert, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2019. – Vol. 15, No 3. – P. 1652-1671.

4. Robust and efficient implicit solvation model for fast semiempirical methods / S. Ehlert, M. Stahn, S. Spicher, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2021. – Vol. 17, No. 7. – P. 4250-4261. – DOI: 10.1021/acs.jctc.1c00471.

5. Brown, C.J. Crystal Structure of β-Copper Phthalocyanine / C.J. Brown // J. Chem. Soc. A. – 1968. – P. 2488-2493. – DOI: 10.1039/J19680002488.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕСОРБЦИИ ИОНОВ НА КАТИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЕ ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОДЕИОНИЗАЦИОННОЙ ОЧИСТКИ

Филимонова О.С., Михайлин М.И., Хорохорина И.В., Лазарев С.И.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», filimonovaos2017@mail.ru

Загрязнение водных объектов сточными водами гальванических производств, содержащих тяжелые металлы, является серьезной проблемой для окружающей среды, напрямую связанной с быстрым ростом индустриализации, урбанизации и модернизации промышленных производств.

По данным ООН, примерно 80% всех промышленных сточных вод в развивающихся странах сбрасывается в пресноводные водоемы без какой-либо должной предварительной очистки [1]. Удаление тяжелых металлов из стоков может быть достигнуто с помощью различных физических, химических и биологических методов. Выбор между ними может основываться на характере и величине нагрузки загрязнения и достоинствах/недостатках процессов дезактивации наряду с другими факторами. В связи с этим мембранные методы, в частности электродеионизационная очистка сточных вод является более надежной, не требующей затрат на химические реагенты и, соответственно, может относиться к экологически чистым. Также снижено количество времени, необходимое для обеспечения почти полного удаления металлов [2]. Основное внимание в настоящее время уделяется изучению эффективности удаления ионов Cu^{2+}, Cd^{2+}, Co^{2+} методом электродеионизации в низких и высоких концентрациях.

В данной работе описаны исследования очистки растворов, содержащих ионы кадмия, меди и кобальта. Разделение исследуемых растворов проводилось на электродеионизационной установке, показанной на рис. 1.

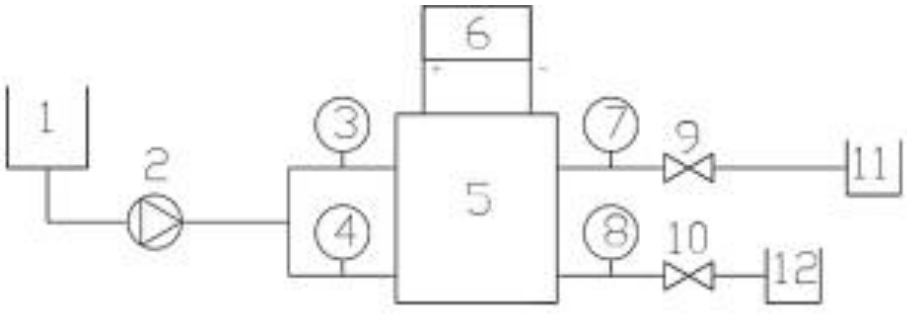


Рис. 1. Схема электродеионизационной установки

Установка включает в себя емкость 1 для исходного раствора, насос 2, который подает раствор в систему, расходомеры 3 и 4 для регулировки направляемых в разные камеры потоков в электродеионизационный модуль 5. Постоянный электрический ток, поступающий от источника питания 6, делит исходный раствор на дилюат и концентрат. Давление в системе регулируется и

контролируется манометрами 7, 8 и дросселями 9, 10. Очищенный раствор и концентрат собираются в емкости 11 и 12 соответственно [3].

После проведения эксперимента мембрану извлекали и проводили десорбцию. Для этих целей отработанную мембрану помещали в емкость с бидистилированной водой и выдерживали в течение 24 часов. После этого мембрану помещали во вторую емкость и так далее до четвертой. Время выдержки в каждой емкости составляло 24 часа. После проведения десорбции в растворе каждой емкости определяли концентрацию десорбированного вещества из прикатодной мембраны МК-40П.

Характеристика мембраны МК-40П представлена в табл. 1 [4].

1. Характеристика мембраны МК-40П

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Непрозрачные листы без посторонних включений диаметром более 2 мм и сквозных отверстий. Неоднородность листов по цвету – допустима
Размеры:	
Длина, мм, не менее	1420
Ширина, мм, не менее	450
Толщина, мм	0,3-0,5
Прочность при разрыве, МПа, не менее	11,9
Поверхностное электрическое сопротивление $Ом \cdot см^2$, не более	11,0
Ионная группа	Сульфо-группа (SO_3H)
Ионная форма – противоион	Na^+
Инертное связующее	полиэтилен
Армирующая ткань	полиамидная

Данные по десорбции представлены в табл. 2.

2. Экспериментальные данные по десорбции ионов

Время, сутки	Концентарация ионов, г/л		
	Cd^{2+}	Cu^{2+}	Co^{2+}
1	0,0016	0,001	0,002
2	0,0007	0,005	0,0009
3	0,0006	0,0004	0,0005
4	0,0005	0,0003	0,0004

На рисунке 2 показана зависимость десорбции ионов на мембране МК-40П от времени.

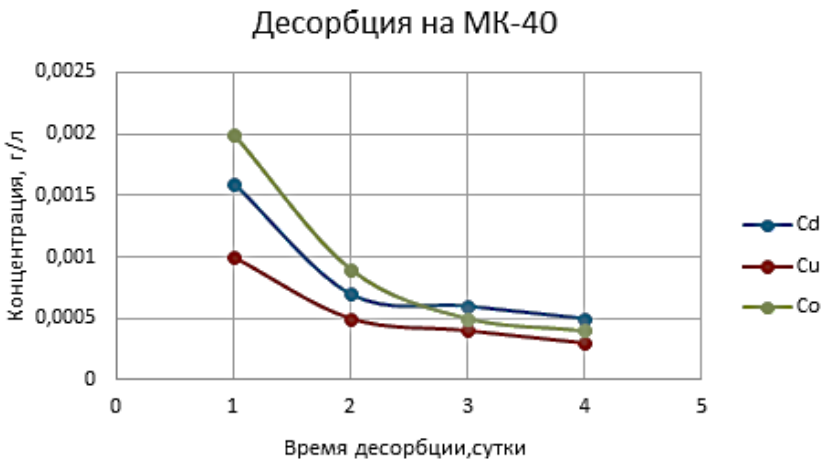


Рис. 2. Зависимость десорбции ионов Cd^{2+}, Cu^{2+}, Co^{2+} на мембране МК-40П от времени

Таким образом, представленные данные по десорбции ионов кадмия, меди и кобальта на катионообменной мембране МК-40П показывают, что с течением времени десорбция ионов снижается. Разность концентраций катионов обусловлена закономерностью рядом селективности катионита, входящего в состав катионообменной мембраны МК-40П.

Список используемых источников

1. Price, J.R.; Ledford, S.H.; Ryan, M.O.; Toran, L.; Sales, C.M. Science of the Total Environment Wastewater treatment plant effluent introduces recoverable shifts in microbial community composition in receiving streams. Sci. Total Environ. 2018, 613–614, 1104–1116.

2. Извлечение тяжелых металлов из промывочных вод гальванических производств и методика расчета электродеионизационного аппарата / С.И. Лазарев, И.В. Хорохорина, М.И. Михайлин, О.С. Филимонова // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2023. – № 2. – С. 45-48.

3. Исследование вольт-амперных характеристик процесса электродеионизации с использованием различного ионообменного наполнителя / М. И. Михайлин, С. И. Лазарев, И. В. Хорохорина, К. К. Полянский // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 7. – С. 60-63.

4. Монополярные мембраны [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.azotom.ru/monopolyarnye-membrany/.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАТЕНТНОЙ АНАЛИТИКИ ПРИ АНАЛИЗЕ ПРОСТРАНСТВА ИННОВАЦИЙ В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ

Родин М.В., Родина Н.С., Евсеева Н.А., Пасько Т.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», tpasko@yandex.ru

Патентная аналитика играет важную роль при анализе пространства инноваций. Она позволяет оценить текущий уровень инновационности в определенной отрасли, определить наиболее активных игроков и технологических лидеров, а также выявить тенденции и направления развития.

Одним из основных инструментов патентной аналитики является анализ патентной информации, который включает в себя исследование патентных документов для выявления новых технологий, разработок и изобретений. Анализ патентов позволяет выявить активность конкурентов в определенных областях и оценить степень их инновации.

Другим важным элементом патентной аналитики является определение патентных портфелей компаний. Анализ патентных портфелей позволяет оценить степень защищенности компании и ее конкурентов, а также выявить потенциальные области взаимодействия и сотрудничества. Это может быть особенно полезно при проведении поиска партнеров в рамках инновационных проектов.

Патентная аналитика также позволяет выявить тенденции развития технологий и прогнозировать их будущее развитие. Анализ трендов в патентной информации позволяет определить наиболее перспективные и актуальные области инновационного развития.

Использование патентной аналитики при анализе пространства инноваций позволяет более эффективно выстраивать стратегии развития, прогнозировать рыночные тенденции, а также выявлять потенциальные возможности для инновационного роста (рис. 1). Это может стать важным конкурентным преимуществом для компании, позволяющим сфокусироваться на наиболее перспективных областях и снизить риски инновационных проектов.

Процесс проведения патентной аналитики включает следующие этапы:

1. Постановка цели исследования: определение темы или области, для которой требуется провести патентную аналитику, а также установление конкретных вопросов, на которые необходимо получить ответы.

2. Поиск патентных документов: проведение поиска с использованием специализированных баз данных, таких как база данных патентов USPTO, EPO, WIPO, или использование коммерческих платформ для патентного поиска.

3. Анализ найденных документов: изучение содержания патентных документов, а также их классификация и кластеризация.

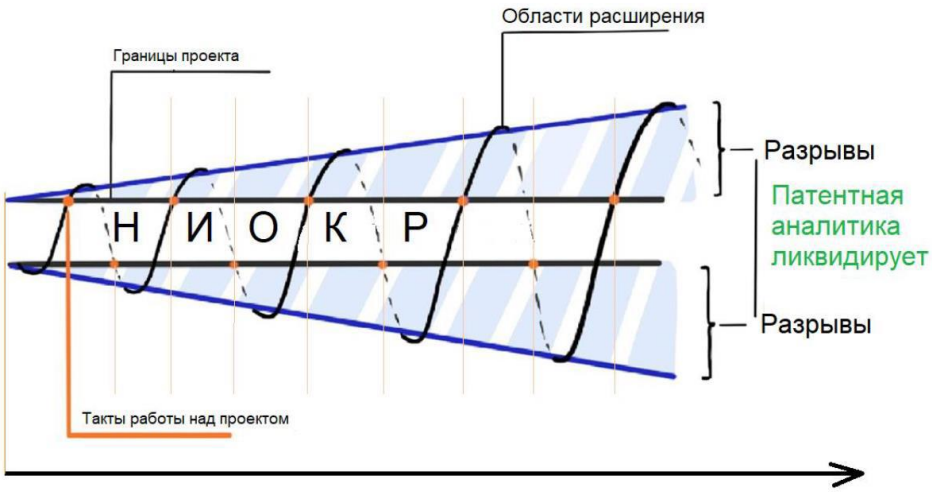


Рис. 1. Развитие научного исследования с течением времени через призму патентной аналитики [1]

4. Оценка патентного ландшафта: определение существующих патентных прав и их степени защиты в выбранной области, а также выявление потенциальных пробелов или возможностей для новых изобретений.

5. Генерация инсайтов и рекомендаций: на основе проведенной патентной аналитики формулирование выводов, оценка технологических трендов и разработка рекомендаций для клиента.

Отраслевой патентный ландшафт в области электрохимического обессоливания воды показан на рис. 2.

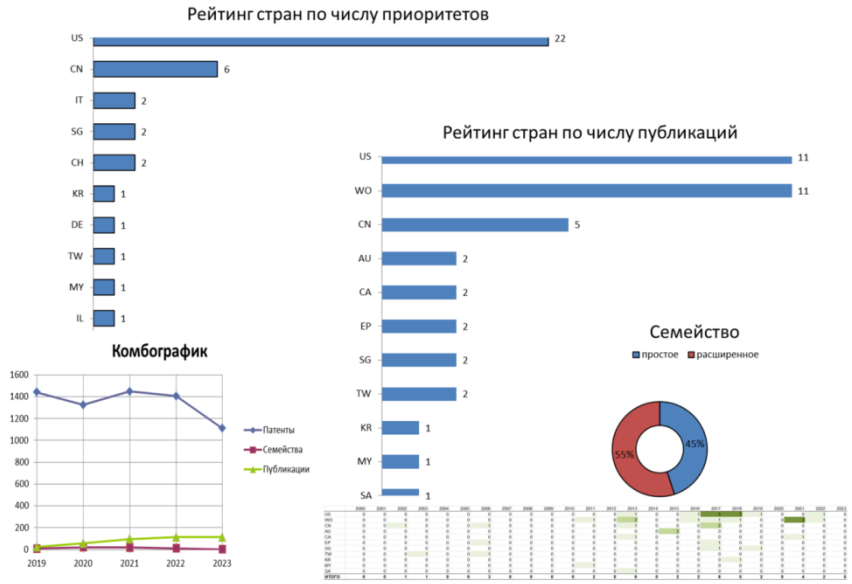


Рис. 2. Отраслевой патентный ландшафт

В результате анализа отобранной патентной документации выявлено 40 патентных семейств, включающих в себя 113 публикаций начиная с 1978 года. Восемнадцать семейств являются простыми, а двадцать два – расширенными. Динамика патентной активности, показанная на рис. 3, имеет положительный тренд, что говорит об актуальности направления для

разработчиков. Рост числа публикаций может указывать на стремление к захвату зарубежных рынков, обеспечив надлежащую правовую охрану своих технических решений путем расширения патентных прав в потенциальных странах поставки продукции, вызывая рост патентной семьи за счет подачи заявки и ее дальнейшей публикации в желаемой стране.

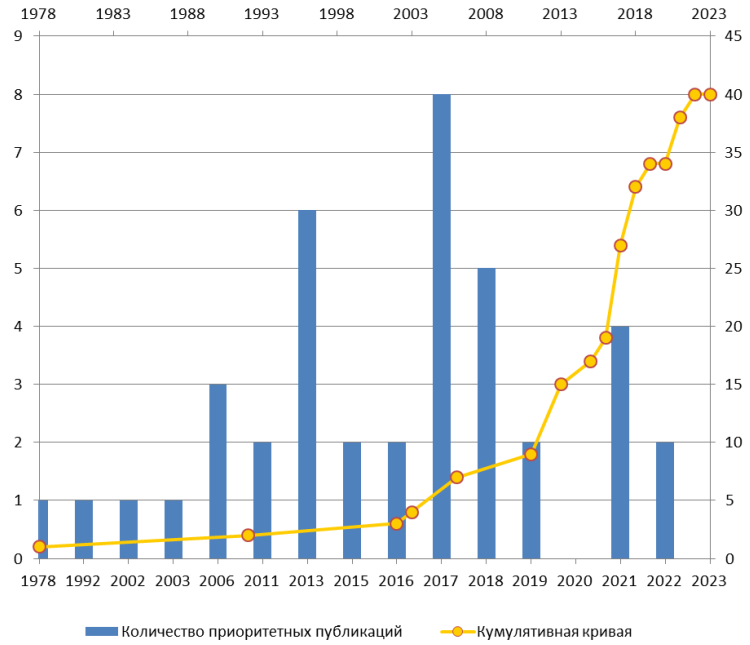


Рис. 3. Динамика патентной активности

Распределение патентных семейств по странам первого приоритета (страна подачи первой заявки) позволяет определить те страны, которые являются основными разработчиками и исследователями в анализируемой области. США являются лидером по числу разработок, на чью долю приходится 55% от общего числа семейств в анализируемой области. На втором месте Китай – 15%, на третьем Италия – 5%. России нет среди стран первого приоритета. Средний возраст семейств 9,1 года, самому старшему патентному семейству – 45 лет. Патенты, включенные в семейство, как правило, имеют более высокую значимость, говорят о ценности технических решений, и заинтересованности.

На зрелость патентного семейства оказывает влияние не только прошедшее время с даты приоритета (возраст семейства), но и общее количество публикаций в семействе, а также количество заявленных стран (рис. 4). В среднем насчитывается 3 публикации и 2 заявленные страны.

На рисунке 5 (а) представлено распределение патентных семейств в области электрохимического обессоливания воды, по патентообладателям. Наибольшее количество патентообладателей находятся в США, далее следует Китай.

Анализ развития технологического направления «Электрохимическое обессоливание воды» показал его зрелость и высокую коммерческую значимость.

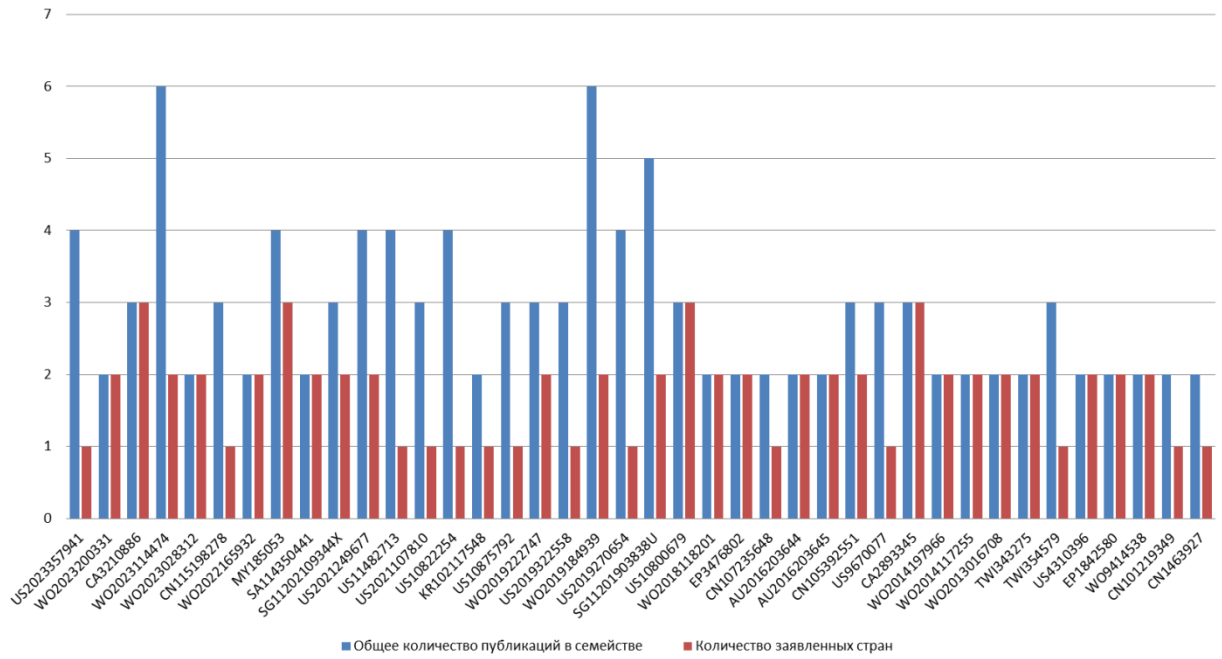
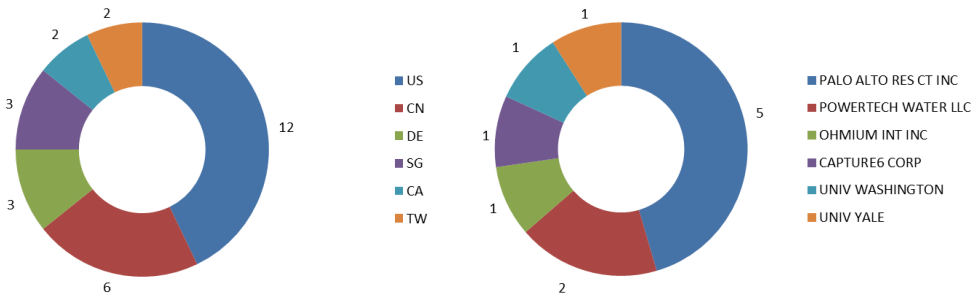


Рис. 4. Общее количество публикаций в семействе и количество заявленных стран



а) б)

Рис. 5. Распределение патентной документации по патентообладателям (*а*) и распределение патентообладателей из США (*б*)

Список используемых источников

1. Николаев А.С. Патентная аналитика: учебно-методическое пособие / А.С. Николаев – СПб: Университет ИТМО, 2022. – 98 с

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДИАЛИЗАТОРА И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ЛИНИИ ОЧИСТКИ НА ЕГО ОСНОВЕ

Шестаков К.В., Лазарев С.И., Крылов А.В., Гессен М.С.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», kostyanshestakov@mail.ru

Очистка и регенерация водных ресурсов являются ключевыми элементами устойчивого развития и сохранения окружающей среды. В настоящее время электромембранные методы разделения представляют собой передовые технологии в этой области, обеспечивающие высокую степень очистки благодаря использованию полупроницаемых мембран.

Мембранные очистные сооружения компактны, что делает их удобными для установки в различных условиях, включая индустриальные предприятия, коммерческие объекты и муниципальные системы водоснабжения. Помимо этого, они обладают высокой степенью автоматизации, что позволяет сократить необходимость в человеческом вмешательстве и следить за процессом очистки воды, обеспечивая стабильное качество воды.

При этом важно постоянно повышать эффективность мембранных методов разделения. Многие исследователи и инженеры работают над оптимизацией мембранных процессов, разрабатывая новые типы мембран, улучшая методы их очистки, разрабатывая более эффективные системы рециркуляции и взаимодействия с другими элементами установок. Поэтому целью данной работы была разработка принципиально конструкции электродиализатора, имеющего ряд преимуществ перед имеющимися аналогами, а также технологической схемы линии очистки на основе данного аппарата.

В результате серии экспериментальных исследований [1, 2] была разработана конструкция нового электродиализатора (рис. 1), который предназначен для очистки, разделения и концентрирования промышленных растворов. Этот аппарат может быть использован в различных отраслях промышленности, включая химическую, нефтегазовую, пищевую и другие.

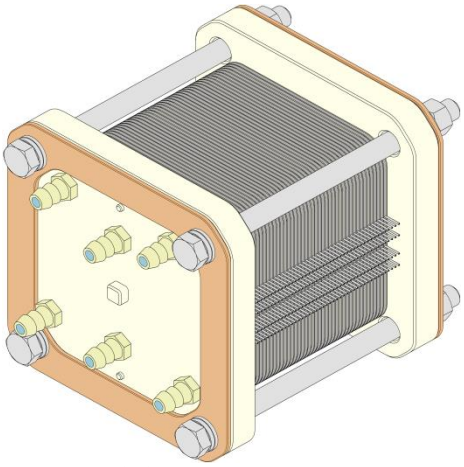
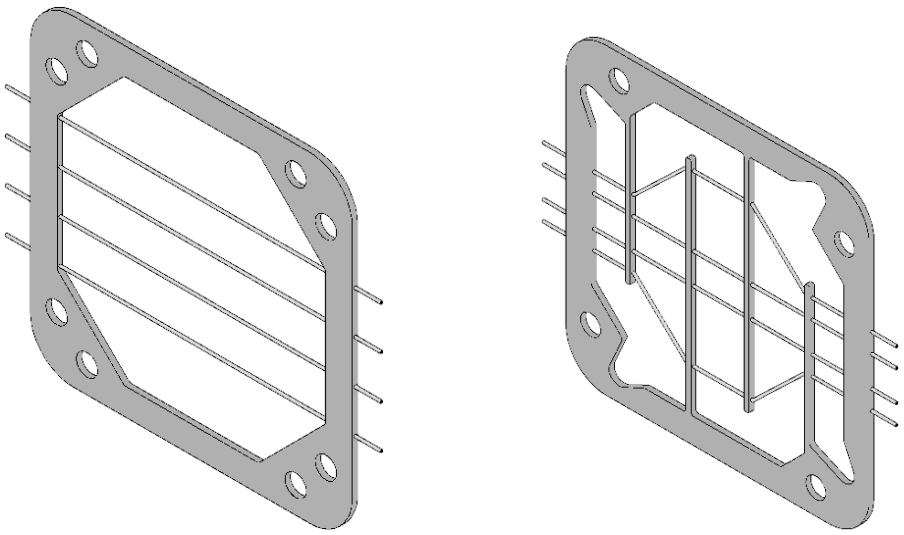


Рис. 1. Электродиализатор

Отличительными особенностями аппарата являются утолщенные разделительные прокладки-спейсеры (рис. 2), увеличенная общая полезная площадь мембран, лабиринтное построение свободного пространства прокладок-спейсеров для дилюата и концентрата с помощью расположения в них двух коротких и двух длинных направляющих-держателей, охлаждение разделяемого раствора за счет расположенных в приэлектродных прокладках-спейсерах поперек направления сборки аппарата

охлаждающих трубок, уменьшенная толщина плит корпуса с расположением входных и выходных каналов для подачи и вывода разделяемого раствора на их торцевой поверхности.



а *б*

Рис. 2. Промежуточная (*а*) и приэлектродная (*б*) прокладки-спейсеры

Электродиализатор имеет следующие преимущества перед своими аналогами:

- Снижены гидродинамическое сопротивление и кавитация при движении разделяемого раствора внутри плит корпуса аппарата.
- Охлаждение разделяемого раствора и внутренних элементов непосредственно в процессе разделения.
- Повышенная на 40% производительность аппарата.
- Повышенная на 15% эффективность разделения раствора.

На основе разработанной конструкции электромембранного аппарата была предложена технологическая схема линии очистки для производства и химического синтеза (рис. 3). Она состоит из двух линий, которые могут работать независимо друг от друга. На одной линии осуществляется очистка кислых промывных вод. Сначала промывные воды копятся в емкости сбора кислых промывных вод *1*, откуда их закачивают с помощью насоса *3* в аппарат нейтрализации растворов *4*. После нейтрализации воды поступают в электродиализатор *5* для последующей очистки. Далее дилюат перекачивают в емкость сбора очищенной воды *6*, а концентрат в емкость *7* сбора растворов, подлежащих утилизации или направляемых на выделение металлов.

В это же время происходит параллельное накопление кислых сточных вод в емкости *2*. С помощью насоса *3* они подаются в фильтр грубой очистки *8*, где часть взвешенных загрязнений оседает и собирается в шламосборнике *9*. Остальная часть загрязняющих веществ вместе со сточными водами поступает в тонкослойный отстойник *10*. В отстойнике происходит осаждение остатков взвешенных частиц, которые также направляются в шламосборник *9*. Очищенные от взвешенных частиц сточные воды перекачиваются через установки для коррекции pH *11* и поступают в электробаромембранный

аппарат *12*. Количество необходимых электробаромембранных аппаратов зависит от общего объема сточных вод, требующих очистки.

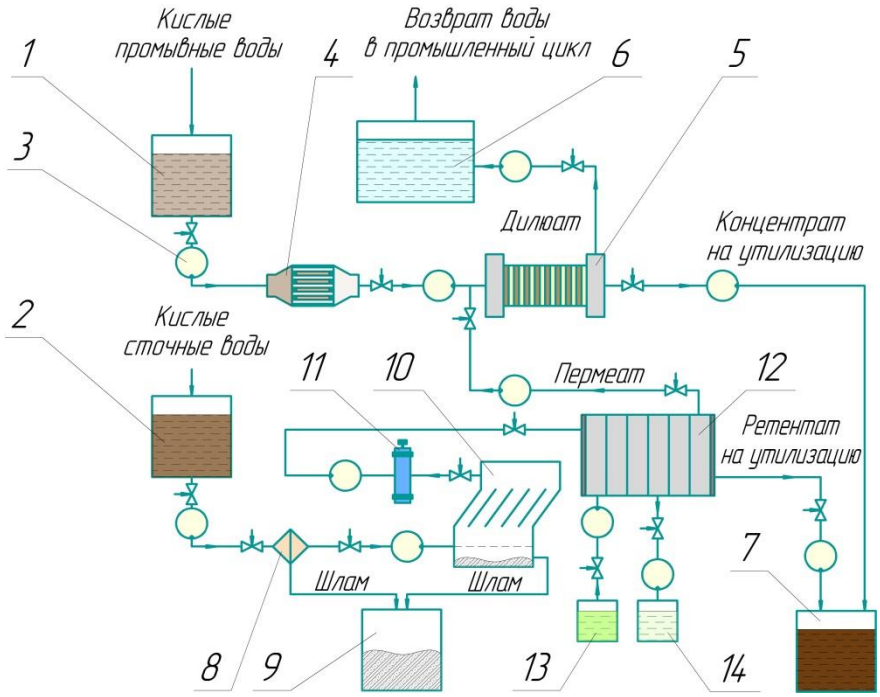


Рис. 3. Технологическая схема очистной системы на производстве химического синтеза: *1* – емкость сбора кислых промывных вод; *2* – емкость сбора кислых сточных вод; *3* – насос; *4* – аппарат нейтрализации растворов; *5* – электродиализатор; *6* – емкость сбора очищенной воды, *7* – емкость сбора растворов, подлежащих утилизации; *8* – фильтр грубой очистки; *9* – шламосборник; *10* – тонкослойный отстойник; *11* – установка корректировки pH; *12* – электрогиперфильтрационный аппарат; *13* – емкость с чистящими реагентами; *14* – емкость сбора отработанных чистящих реагентов

Выводы. В рамках выполнения данной работы был разработан электродиализатор, имеющий целый ряд преимуществ перед аналогами, а также предложена технологическая схема линии очистки для производства и химического синтеза, включающая две независимые друг от друга линии очистки кислых промывных и сточных вод.

Список используемых источников

1. Шестаков, К.В. Восстановление железа, никеля и меди из сточных вод производства печатных плат методом электродиализа / К. В. Шестаков, С. И. Лазарев, К. К. Полянский, Н. Н. Игнатов // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94. – № 5. – С. 547-552. – DOI 10.31857/S0044461821050017.

2. Шестаков, К.В. Влияние исходной концентрации ионов металлов в многокомпонентных растворах на процесс электродиализной очистки / К. В. Шестаков, С. И. Лазарев, А. В. Крылов, Д.С. Лазарев, О.В. Ломакина // Вестник Технологического университета. – 2023. – Т. 26, № 3. – С. 21-25. – DOI 10.55421/1998-7072_2023_26_3_21.

АВТОНОМНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДЫ ИЗ ВОЗДУХА

Пасько А.А., Баранов Д.А., Зайцев Д.А., Ломакин П.А., Толмачева О.И.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ttmp2005@yandex.ru

Недостаток пресной воды на сегодняшний день является одной из глобальных проблем в мире. Примерно две трети населения Земли испытывают дефицит пресной воды. Половина из них проживают в Китае и Индии.

Наша страна стоит на втором месте по запасам воды в мире (после Бразилии), но они главным образом сосредоточены в Сибири и на Дальнем Востоке. На европейскую часть, где проживает 80% населения, приходится всего 20% всего объема воды.

Острую нехватку воды, согласно прогнозу института водных проблем РАН, будут испытывать Крым, Калмыкия, Краснодарский и Ставропольский края и ряд других регионов.

С поверхностей океанов, морей, озер и рек происходит непрерывное испарение воды, в атмосфере Земли всегда содержится водяной пар.

Вода в виде водяных паров распределена в атмосфере Земли крайне неравномерно: ее содержание в разных местностях может колебаться от 0,01% над пустынями до 4% на уровне моря. В среднем можно принять, что в атмосфере 0,03% водяных паров. Масса атмосферы оценивается в $5 \cdot 10^{15}$ тонн. Тогда 0,03% составят $1{,}5 \cdot 10^{12}$ тонн или полтора триллиона тонн.

Часть этой влаги можно забрать из атмосферы. Принцип конденсации воды из пара воздуха достаточно хорошо известен. Когда температура воздуха приближается к точке росы — пар достигает состояния насыщения и начинает конденсироваться.

Количество воды, которое может быть сконденсировано из одного килограмма воздуха, может быть определено по *I-d*-диаграмме влажного воздуха. *I-d*-диаграмма (диаграмма Рамзина) графически связывает все параметры, определяющие тепловлажностное состояние воздуха: энтальпию, влагосодержание, температуру, относительную влажность, парциальное давление водяных паров. Так же, с ее помощью можно рассчитать количество энергии, необходимое для охлаждения воздуха до состояния насыщения.

При наличии доступа к электрическим сетям нет препятствий для реализации технологии непосредственной конденсации влаги из воздуха. Установка строится вокруг компрессорного холодильного агрегата и содержит: накопительный бак, фильтры, озонатор или ультрафиолетовую лампу для обеззараживания воды, минерализатор, а при необходимости нагреватель.

Так, например, американская компания «AQUAMATIC» выпускает атмосферные генераторы воды с производительностью от 30 до 5000 л/сутки. Потребляемая при этом электрическая мощность может достигать огромных значений.

Если доступа к электрическим сетям нет, рассчитывать можно только на альтернативные источники энергии, такие как солнечная энергия или ветер. Примером может служить гидропанель AlterOcean (Россия). По заявлению разработчиков гидропанель AlterOcean производит воду из воздуха в любом месте при наличии солнца, где относительная влажность превышает 5%. Панели будут способны производить до 5 л воды с 1 м^2 поверхности, но пока на экспериментальном образце производят около 2 л.

Работает панель в режиме «день – ночь»: ночью поглощает влагу из атмосферного воздуха, а днем, благодаря солнечному теплу, в специальном блоке конденсируется практически дистиллированная вода.

Ночью водяной пар из воздуха задерживается в адсорбенте, напоминающем губку. Этот материал способен принимать значительное количество воды.

В дневном режиме адсорбент нагревается от солнца, постепенно высвобождая водяной пар, который превращается в воду на поверхности конденсатора внутри установки. Конденсатор охлаждают, продувая через него атмосферный воздух. Отметим еще раз – в настоящее время эти панели серийно не производятся.

Серийно производятся гидропанели только одной компанией в мире. Это гидропанели SOURSE (США).

Принцип действия гидропанели SOURSE очень похож на описанный выше – это поглощение влаги из воздуха гидрогелем, а далее извлечение воды из гидрогеля. Энергия для этого берется от солнечных батарей. Они смонтированы с гидрогелем в общем корпусе. Цена панели около 3000$, производительность до 3 л/сутки.

Гидрогель требуется периодически менять, его ресурс ограничен. А в случае контакта с вредными для человека веществами, например, гербицидами, требуется срочная замена гидрогеля. И, возможно, это один из самых дорогих элементов установки. Все это может существенно снизить экономическую эффективность установок на основе гидрогеля.

Предлагаемая установка обеспечивает охлаждение конденсатора прямым преобразованием электрической энергии. В установке используется термоэлектрический преобразователь, принцип действия которого основан на эффекте Пельтье – возникновении разности температур при протекании электрического тока.

В основе работы элементов Пельтье лежит контакт двух полупроводниковых материалов с разными уровнями энергии электронов в зоне проводимости. При протекании тока через контакт таких материалов электрон должен приобрести энергию, чтобы перейти в более высокоэнергетическую зону проводимости другого полупроводника. При поглощении этой энергии происходит охлаждение места контакта полупроводников.

Конструкция конденсатора статична, материал – алюминий – сочетает высокую теплопроводность, достаточную механическую прочность, высокую коррозионную стойкость и приемлемую стоимость.

В настоящее время разрабатывается форма и расположение (ориентация) ребер охлаждения конденсатора с целью обеспечения максимальной производительности установки по конденсату, т.е. максимальной энергоэффективности.

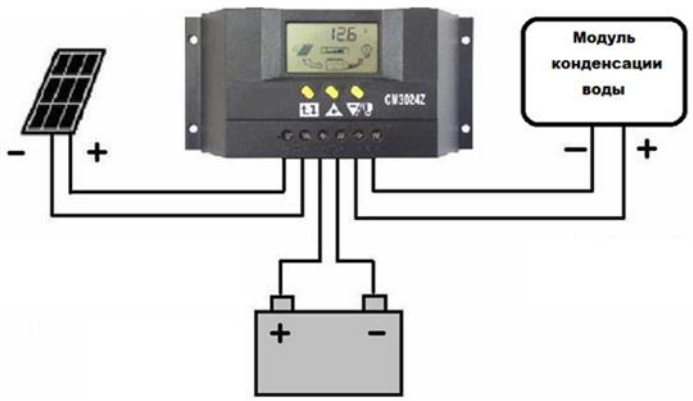


Рис. 1. Схема установки

Схема установки, представленная на рис. 1, включает:
- модуль конденсации воды;
- солнечную панель;
- аккумуляторную батарею;
- программируемый контролер заряда аккумуляторной батареи.

Установка работает в режиме «день – ночь»: ночью, когда влажность воздуха максимальна, происходит конденсация паров воды, а днем происходит заряд аккумуляторной батареи.

В случае использования установки в субтропическом климате, где высокая влажность воздуха сохраняется и днем, установка может работать круглосуточно.

Основные характеристики установки:

Термоэлектрический преобразователь	ТЕС1-12706
Питающее напряжение: номинальное, В максимальное, В	 12 15,2
Максимальная потребляемая мощность, Вт	60
Производительность по воде	до 3 л/сутки в зависимости от влажности и температуры окружающего воздуха

Автономная установка для получения воды из воздуха может заинтересовать следующие министерства:
- ✓ МЧС России;
- ✓ Министерство обороны РФ;
- ✓ Министерство сельского хозяйства РФ.

Важной характеристикой продукта является срок хранения – период, в течение которого продукт при соблюдении установленных условий хранения сохраняет все свои свойства.

Срок хранения модуля конденсации неограничен. Солнечные панели могут храниться годами, как и сухозаряженные аккумуляторы.

АДСОРБЦИЯ ТРИАЛКИЛАМИНОВ НА ПОВЕРХНОСТИ (130) ФТАЛОЦИАНИНА МЕДИ

Швец М.Е., Кровякова Е.И., Дегтярев А.А.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
K.Liza.9072003@gmail.com

Пигмент фталоцианин меди является соединением голубого цвета, отличается высокой термо- и светостойкостью, не растворяется в воде и в большинстве органических растворителей.

В данной работе стоит задача повышения олеофильности пигмента путем адсорбирования на его поверхности различных поверхностно- активных веществ (ПАВ), в данном случае триалкиламинов. Использовали третичные амины с различной длиной цепи (от триметиламина до триоктиламина) из-за их наибольшей эффективности [1] и исследовали адсорбцию на поверхности (130) так как она наименее олеофильна.

Расчеты проводились в программном обеспечение ORCA 5 [2] полуэмпирическим методом XTB2 [3] и методом теории функционала плотности (DFT) r2SCAN-3c [4] (ONIOM метод, 2 верхних молекул r2SCAN-3c, остальное XTB2). XTB2 был выбран так как хорошо описывает дисперсионные силы, которые являются преобладающими при сорбции на данной поверхности, r2SCAN-3c более надежен для хемосорбции, однако более затратен по вычислительным ресурсам. В качестве модели растворителя использовалась ALPB [5] для XTB2 и SMD [6] для r2SCAN-3c, растворитель – вода.

Для моделирования поверхности пигмента использовался кластерный подход с четырьмя молекулами, соответствующими геометрии кристаллической решетки для β-модификации [7].

Модели пигмента с триалкиламинами изображены на рис. 1, 2.

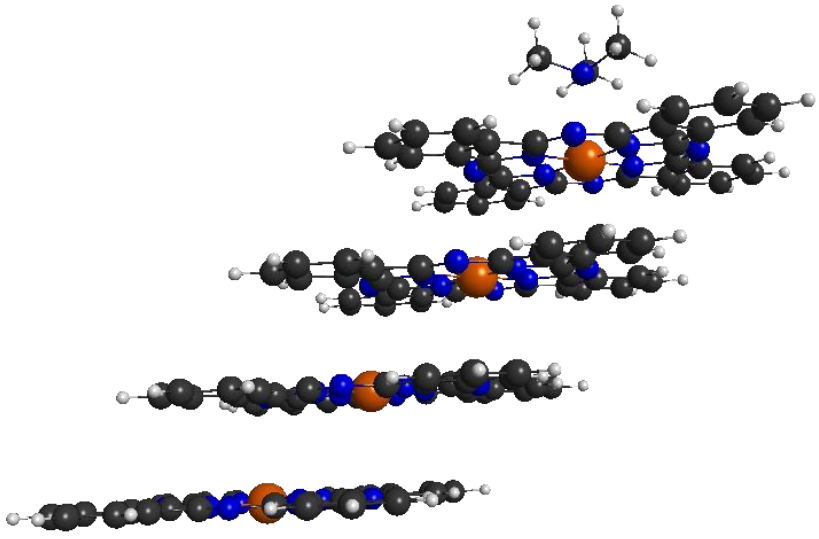


Рис. 1. Четырехмолекулярный кластер фталоцианина меди с триметиламином на поверхности (130)

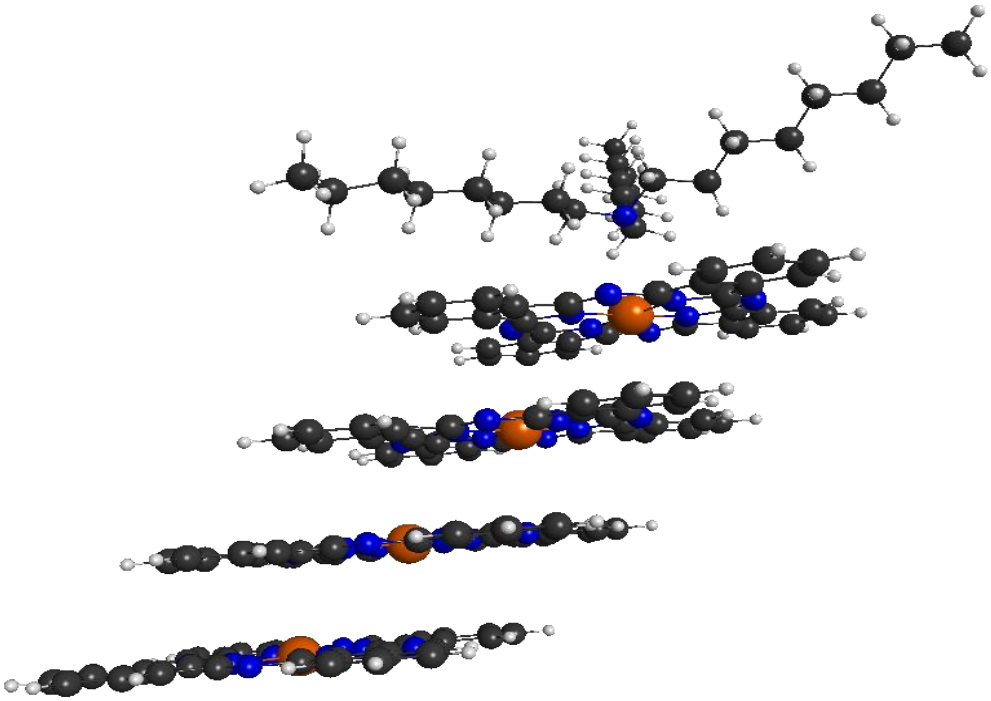


Рис. 2. Четырехмолекулярный кластер фталоцианина меди с триоктиламином на поверхности (130)

ПАВ расположен в центре кластера фталоцианина меди, таким образом, что атом азота из триалкиламина приближен к атому меди из пигмента.

Рассчитанная энергия сорбции разными методами представлена на рис. 3.

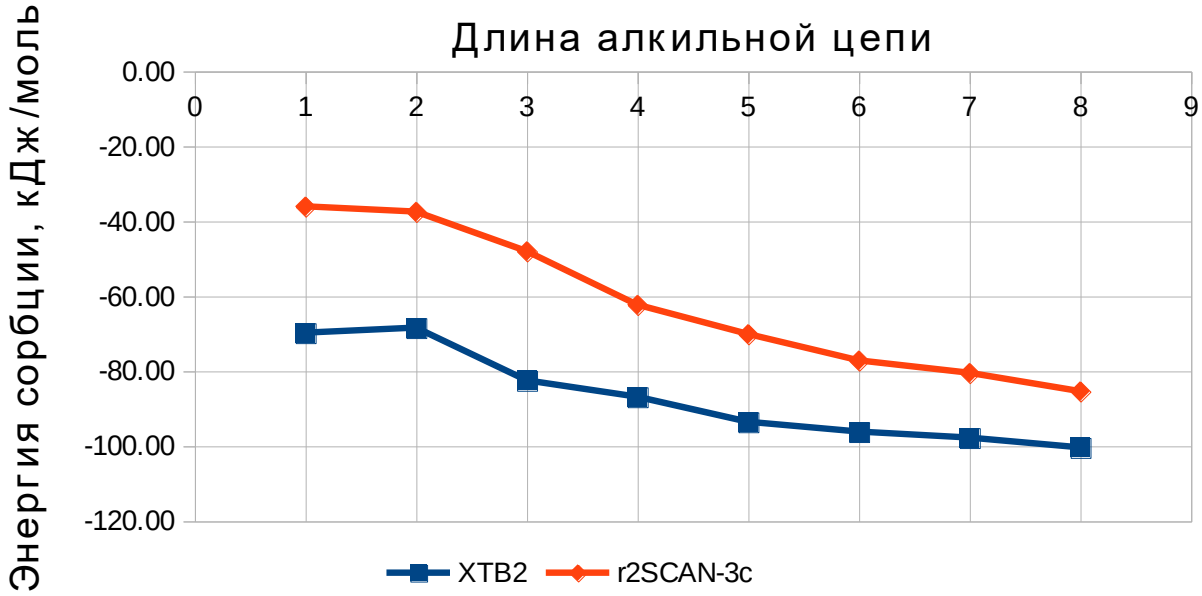


Рис. 3. Зависимость энергии сорбции от длины алкильной цепи

Исходя из графика можно сделать вывод, что для триметил-триэтиламинов основной вклад в энергию сорбции вносит перекрывание орбиталей. Для триалкиламинов с большей длинной цепи большую роль играет дисперсионное взаимодействие. Метод XTB2 переоценивает энергию сорбции, особенно при орбитальном взаимодействии.

Список используемых источников

1. Влияние заместителей в триэтиламине на его способность к гидрофобизации электрофильной поверхности / Е. И. Кровякова, А. В. Королева, А. В. Здерева [и др.] // Современные твердофазные технологии: теория, практика и инновационный менеджмент : материалы XIV Международной научно-инновационной молодежной конференции, Тамбов, 17–18 ноября 2022 года. – Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2022. – С. 150-153.

2. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger. – 2020. – Vol. 152, No. 22. – P. 224108. – DOI: 10.1063/5.0004608.

3. Bannwarth C., Ehlert S., Grimme S. GFN2-xTB — An Accurate and Broadly Parametrized Self-Consistent Tight-Binding Quantum Chemical Method with Multipole Electrostatics and Density-Dependent Dispersion Contributions / C. Bannwarth, S. Ehlert, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2019. – Vol. 15, No 3. – P. 1652-1671.

4. R2SCAN-3c: A «swiss army knife» composite electronic-structure method / S. Grimme, A. Hansen, S. Ehlert, J. M. Mewes // Journal of Chemical Physics. – 2021. – Vol. 154, No. 6. – P. 064103. – DOI 10.1063/5.0040021.

5. Robust and efficient implicit solvation model for fast semiempirical methods / S. Ehlert, M. Stahn, S. Spicher, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2021. – Vol. 17, No. 7. – P. 4250-4261. – DOI: 10.1021/acs.jctc.1c00471.

6. Marenich, A. V. Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions / A. V. Marenich, C. J. Cramer, D. G. Truhlar // J. Phys. Chem. B. – 2009. – Vol. 113, No. 18. – P. 6378-6396. – DOI: 10.1021/jp810292n.

7. Brown, C.J. Crystal Structure of β-Copper Phthalocyanine / C.J. Brown // J. Chem. Soc. A. – 1968. – P. 2488-2493. – DOI: 10.1039/J19680002488.

ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ПРОЦЕССА ЛАТУНИРОВАНИЯ

Малин П.М., Галкин П.А.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», malin.pavlik@mail.ru

Латунирование металлических изделий является одним из наиболее важных процессов защиты и улучшения свойств металлических изделий. В настоящее время этот процесс преимущественно используют для обеспечения прочного сцепления между сталью и резиной при гуммировании. Сплав меди и цинка так же применяют как подслой при серебрении и как декоративное покрытие.

Технологический процесс латунирования выглядит следующим образом:

– изделие очищается от грязи, оксидов и защитных покрытий. Затем происходит обработка щелочным раствором для улучшения адгезии между латунью и основным металлом;

– далее изделие погружается на требуемое время в нагретый до температуры 20-30 ^{0}С цианистый раствор электролита, основными компонентами которого являются: сернокислая медь, сернокислый цинк и вода;

– при определенной плотности тока и напряжении на стальной поверхности происходит совместное осаждение меди и цинка в виде их сплава – латуни. Толщина осажденного слоя зависят от времени погружения изделия в раствор и концентрации электролита. В качестве анодов применяют латунные пластины, а катодом является изделие, подвергаемое покрытию;

– по окончании процесса латунирования изделие тщательно очищается, удаляются остатки реагентов.

Данный процесс на сегодняшний день является востребованным и применяется на многих машиностроительных предприятиях и других производствах, но в тоже время проблематичным с точки зрения экологии. Как показывает практика, серьезной проблемой для производств является дорогостоящее оборудование очистных сооружений с неотработанной технологией очистки промышленных растворов, хотя очистка растворов и сточных вод является неотъемлемой частью технологической завершенности промышленного предприятия, а также ресурсосбережения и экологичности процесса [1, 2].

Недавние проведенное исследование показало, что в стоках предприятия ОАО «Тамбовполимермаш» присутствуют тяжелые металлы после процесса латунирования (табл. 1) [1].

Данные свидетельствуют о том, что существует необходимость комплексного подхода в изучении вопроса по необходимости очистки стоков гальванических производств после процесса латунирования. Современное оборудование позволяет и выделять ценные компоненты из сточных вод. Наиболее перспективно использовать отходы предприятия для возможной продажи концентрата.

1. Содержание тяжелых металлов в сточных водах после латунирования

Раствор	Состав	Концентрация, г/л	pH
Сточные воды гальванических производств от процессов: латунирования	Сульфат меди	0,5…1,5	4,5…5,5
	Сульфат цинка	3,0…4,5	
	Калий пирофосфорнокислый	15…25	
	Кислота борная	15…17	
	Аммоний хлористый	3,5…4,5	

Для химической нейтрализации сточных вод, содержащих цианистые соединения техническое применение, нашел метод, основанный на выделении ионов в виде труднорастворимой комплексной соли, образующейся в основной среде [2]. Однако применение метода затрудняет необходимость точного обеспечения условий реакции, и в особенности pH реакционной среды.

Другим методом удаления цианистых соединений из сточных вод является гипохлоритный метод окисления цианидов до цианатов. Особенностью метода является сложность его применения для концентрированных растворов, ввиду опасности выделения ядовитого циана хлора. Поэтому перед его применением снижают концентрацию растворов путем разбавления.

После нейтрализации в сточных водах цианидов создаются благоприятны условия для удаления соединений тяжелых металлов (цинка, меди и др.). Для этого используют электрохимические методы, одним из которых является цементация – вытеснение металлов из растворов их содей другими, более активными. Наиболее распространен процесс цементации железом или алюминием. В качестве сырья используют соответствующие отходы металлообработки. Недостатком метода является необходимость тщательной очистки сырья от органических примесей и значительные габаритные размеры оборудования.

Электрохимическое извлечение металлов из растворов основано на процессе восстановления ионов на катоде при протекании электрического тока. Извлечение металлов из разбавленных растворов требует значительной площади поверхности электродов, а следовательно, и габаритов оборудования. Данное затруднение частично решают за счет использования объемно-пористых электродов (насыпных из частиц графита, кокса, металлов), а также из тканых и нетканых углеграфитовых материалов с предварительной металлизацией поверхности [2]. Следует отметить, что указанное техническое решение должно сопровождаться созданием соответствующего гидродинамического режима в электролизере для подвода ионов осаждаемого металла к электроду.

Наиболее современным способом извлечения ионов тяжелых металлов из растворов является электромембранный метод, основанный на применении

полупроницаемых полимерных мембран. Сущность метода (рис. 1) заключается в разделении рабочего объема электродиффузионного аппарата полупроницаемой мембраной *1*, которая крепится с помощью решеток *6*.

Исходный раствор подается в камеры I и II из расходных емкостей *2* и *4*. В аппарате поддерживается определенный температурный и гидродинамический режим. [3]. На электроды 7, расположенные в камерах аппарата, подается постоянный электрический ток, который создает движущую силу для диффузии ионов, содержащихся в исходном растворе сквозь поры мембраны. Таким образом, происходит концентрирование раствора в одной из камер и очищение от ионов в другой.

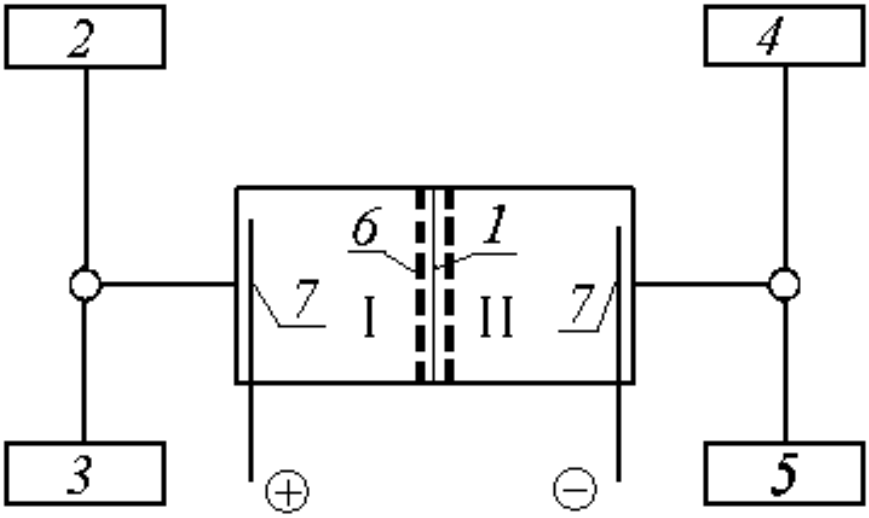


Рис. 1. Схема электродиффузионного метода очистки:
1 – мембрана; 2 и 4 – емкости исходных растворов; 3 и 5 – емкости отработанных растворов; 6 –решетка; 7 – электроды

По завершению процесса растворы сливаются в емкости *3* и *5* и цикл повторяется. Метод обладает следующими преимуществами: простота аппаратурного оформления, сравнительно небольшая энергоемкость процесса. Однако, в настоящее время недостаточно изучена кинетика процесса с применением современных мембран для очистки сточных вод, образующихся в процессе латунирования, что обуславливает необходимость дополнительных исследований в данной области.

Список используемых источников

1. Хорохорина, И. В. Технологическое оформление и экономическая оценка электромембранных методов очистки промышленных сточных вод от тяжелых металлов и АПАВ / И. В. Хорохорина, С. И. Лазарев, О. С. Филимонова, К. В. Брянкин // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. – 2023. – № 2(88). – С. 19 – 28.

2. Зампольский А. К., Образцов В. В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – К.: Тэхника, 1989. – 199 с.

3. Конструктивное оформление электромембранных аппаратов / С. В. Ковалев, Д. Н. Коновалов, О. А. Ковалева, П. Луа., В. Ю. Рыжкин, Т. А. Хромова // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии: материалы II-ой Международной конференции 27-29 октября 2021 года. – Тамбов, Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2021. – С. 343-345.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОБЛЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Беляков А.А.[1], Станкевич Е.А.[1], Татур Т.В.[1], Кожарина Т.В.[2]
[1-]Белорусский государственный технологический университет, Минск, Baa_333655140@mail.ru
[2-]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

При более глубоком анализе практики процессов проектирования исследователи быстро сталкиваются с тем, что одной из основных проблем при проектировании сложных систем транспортных средств является сравнение полученного технического решения с уже известными, сокращенное для решения формальной задачи ранжирования. При этом задача требует решения с учетом рационального использования системных ресурсов.

На практике полученные решения не рассматриваются с точки зрения оценки, а преследуется цель решения задачи как таковой. При этом полагаясь на неформальный подход, который представлен хорошо известными методами экспертных оценок [3], оценка при этом проводится экспертами, которые на интуитивном уровне «понимают» скрытые зависимости между параметрами.

Суть сравнительной оценки одной из сложных систем электротранспорта будет разъяснена на доступном примере. В качестве примера такой системы принята тяговая батарея электротранспортного средства, в которой специально подобраны характеристики таким образом, чтобы наглядно показать, объяснить данный метод оценки. Сравнение полученного технического решения с уже известными будет представлено как сокращенное для решения формальной задачи ранжирования.

Ранжирование сложных объектов, тяговых батарей, проводится в соответствии с комплексным критерием. В этом случае допускается множество решений, каждое из которых приемлемо при отсутствии предварительной информации о важности критериев.

В итоге из набора нескольких недоминируемых решений, можно выбрать одно, наиболее предпочтительное исходя из специфики решения задачи для конкретной прикладной задачи.

Перейдем к математическому аппарату, который направлен на анализ данных в многомерном пространстве признаков и позволяет оценивать решения по заданному критерию или нескольким критериям.

Рассмотрим практическую задачу сравнительной оценки тяговых аккумуляторных батарей для электротранспортного средства.

Данный пример является демонстрационным. Данные, используемые в примере, не основаны на конкретных типах или моделях батарей, а взяты

условно, таким образом, чтоб в доступном для общего понимания виде показать постановку задачи и ее решение в конкретной прикладной области.

Пусть имеется несколько тяговых аккумуляторных батарей. В таблице 1 представлены четыре батареи, которые характеризуются несколькими параметрами: количеством процессоров, производительностью, габаритами, энергопотреблением.

Будем считать, что эти батареи могут решать одну и ту же задачу как источника питания, основное назначение которого заключается в снабжении энергией технических средств с электрическим приводом, но реализованы они в разном исполнении, разных типов и технологии изготовления.

Каждое техническое решение батареи характеризуется набором качественных и количественных параметров и может быть представлено точкой в многомерном пространстве, а набор альтернативных технических решений одной и той же прикладной задачи, соответственно, набором точек.

Поэтому необходимо: дать сравнительную оценку (провести ранжирование) систем. Выбрать наиболее эффективную систему.

Ранжировать системы по любому из четырех параметров несложно. Однако если мы захотим ввести сложный критерий сравнительной оценки, учитывающий несколько или все параметры, то столкнемся с рядом трудностей и неопределенностей.

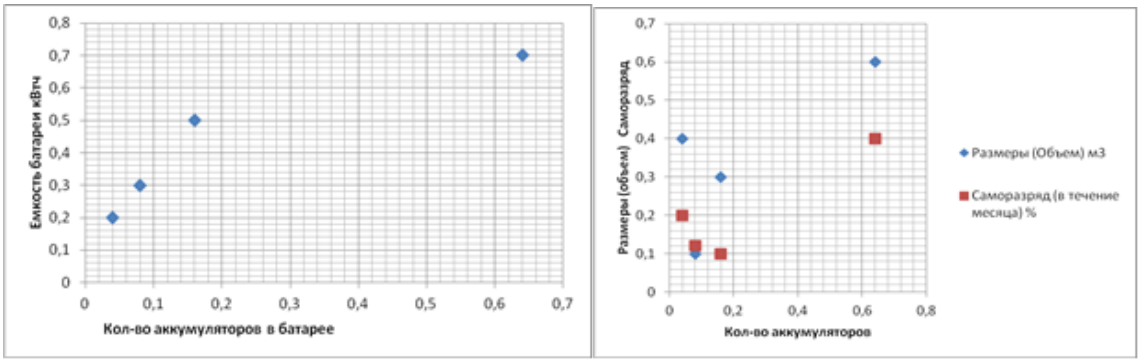
Во-первых, у нас есть параметры разной природы, поэтому мы не можем оперировать ими в абсолютном выражении. Для получения относительных значений используется один из методов нормализации, подходящий для решаемой задачи.

Для наглядности и простоты рассуждений мы используем самый простой метод нормализации, когда параметры сводятся к некоторому фиксированному максимальному значению (в нашем случае 100, 100, 1 и 100 соответственно). Нормированные значения параметров батарей приведены в табл. 1 в соответствующих столбцах после знака (/).

Если количество аккумуляторов и емкость батареи – известные, статистически подтвержденные параметрические зависимости (рис. 1, *а*), то зависимости размеров и саморазряда в данном примере не видны (рис. 1, *б*). (Хотя, теоретически, мы знаем, что с увеличением числа аккумуляторов и емкости, размеры должны увеличиваться). Но в данном примере намеренно не приводится никакой информации о технологии, элементной базе, конструкции, назначении, поколении и т.д., что напрямую влияет как на габариты, так и на саморазряд.

Далее необходимо произвести обоснование выбора комплексного критерия для сравнительной оценки. И здесь не все очевидно! Чтобы свести параметры емкости и саморазряда в единый показатель, необходимо ввести весовые коэффициенты.

Будем считать, что включать в комплексный критерий количество аккумуляторов не имеет смысла, так как оно непосредственно влияет на емкость батарей. (Точки на графиках (см. рис. 1) еще не отражают соотношения значимости параметров при принятии оценочных решений).



а) б)

Рис. 1. Распределение параметров тяговых аккумуляторных батарей в различных двумерных нормализованных пространствах признаков

Рассмотрим формирование комплексного критерия для сравнительной оценки систем как взвешенной суммы трех критериев. В этом случае необходимо выполнить следующие шаги:

1. Приведение критериев к единому диапазону значений (нормализация или масштабирование критериев) [8 – 11]:

$$\overline{x_i} = \frac{x_i - x_i^{\min}}{x_i^{\max} - x_i^{\min}}, \quad (1)$$

где $ximin$ – минимальное значение i-го параметра, $ximax$ – максимальное значение i-го- параметра. Для нашего примера $ximin = 0$ для $i = 1,2,3$ и $x1max = 100$, $x2max = 1$, $x3max = 100$

2. Выбор весовых коэффициентов $w1$, $w2$, $w3$ для каждого критерия: емкость, габариты и саморазряд.

3. Ранжирование решений по комплексному критерию:

$$F(x) = w1x1 – w2x2 – w3x3. \quad (2)$$

Критерий оптимальности $F(x)$ max соответствует наиболее оптимальному решению.

Выберем следующие значения весовых коэффициентов $w1 = w2 = w3 = 1$.

Вычислим значения комплексного критерия для каждой из батарей:

$$F1(x) = – 0,4,\ F2(x) = 0,08,\ F3(x) = 0,1,\ F4(x) = – 0,3.$$

Таким образом, системы, представленные, по комплексному критерию можно расположить следующим образом: система 3, система 2, система 4 и система 1 в порядке возрастания значения критерия. Наиболее оптимальной является система 3.

Недостатком данного метода ранжирования является зависимость оптимального решения от выбора значений весовых коэффициентов $w1$, $w2$, $w3$.

Например, если значение весового коэффициента для параметра размеры установить равным $w1 = 2$, то в качестве наиболее оптимальной будет выбрана

батарея 2. Однако, выбор весового коэффициента – это и есть учет особенностей конструкции и специфики назначения того или иного транспортного средства.

Проблема визуализации хода проектирования и анализа результатов связана с многими проблемами, и в первую очередь связана с работой в многомерном (более 3-х) пространстве признаков. Известные методы визуализации не решают проблему полностью, а лишь отдельные ее аспекты. Для образовательных целей классическим способом визуализации является сокращение числа признаков до двух, с последующим обобщением результата на многомерное пространство [12, 13].

В связи с тем, что формирование комплексного критерия сравнения является достаточно сложной задачей, обусловленной спецификой технических решений. Представленное решение задачи ранжированием является субъективным решением (зависит от выбора весовых коэффициентов), однако полученные значения нельзя недооценивать, поскольку при правильном применении они показывают разработчику направление поиска новых технических решений и ресурсы, которые можно для этого использовать.

Список используемых источников

1. R. F. de Magalhães, A. D. Danilevicz, J. Palazzo. Managing trade-offs in complex scenarios: A decision-making tool for sustainability projects, Journal of cleaner production 212 (2019) 447-60.

2. K. N. Otto, E. K. Antonsson, Trade-off strategies in engineering design, Research in Engineering Design 3(2) (1991) 87-103.

3. C. W. Brownley, Multi-objective decision analysis: Managing trade-offs and uncertainty, Business Expert Press, 2013.

4. C. Dudas, A. H. Ng, L. Pehrsson, H. Boström, Integration of data mining and multi-objective optimisation for decision support in production systems development, International Journal of Computer Integrated Manufacturing 27(9) (2014) 824-839.

5. K. Deb, Multi-objective Optimization Using Evolutionary Algorithms, John Wiley and Sons, Ltd, England, 2001.

6. C. M. Fonseca, P. J. Fleming, Genetic algorithms for multi-objective optimization: Formulation, discussion and generalization, in: Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA, 1993, pp. 416-423.

7. Валяжонков В.Д. Трансмиссии лесной автотракторной техники: учеб, пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – 172 с.

8. Вахламов В.К. Автомобили: конструкция и элементы расчета. – М.: Академия, 2006. – 479 с.

9. Баженов С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов. – М.: Академия, 2005. – 329 с.

10. Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Пищов С.Н. / Моделирование электросилового привода малогабаритного лесохозяйственного трактора // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й научно-

технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск 31 января – 12 февраля 2022г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 23 – 26.

11. В Гуськов, Тракторы: Теория, Машиностроение, Москва, 1988

12. Kim, T.; Lee, W.; Parsa, L.; Ehsani, M. Optimal power and torque control of a brushless DC (BLDC)motor/generator drive in electric and hybrid electric vehicles. In Proceedings of the IEEE Industry Applications Conference, Tampa, FL, USA, 8–12 October 2006; pp. 1276–1281, doi:10.1109/IAS.2006.256695.

13. Жуков, А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие / А. В. Жуков. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.

МНОГОФАЗНОЕ ТЕЧЕНИЕ ЖИДКОСТИ В ВОДОКОЛЬЦЕВОМ ВАКУУМНОМ НАСОСЕ

Пасько А.А., Никитин Д.В., Ломакин П.А., Баранов Д.А., Зайцев Д.А., Толмачева О.И.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ttmp2005@yandex.ru

Процесс вакуумирования используется в самых разных отраслях промышленности: химической, электротехнической, радиотехнической, металлургической, строительной. Особенно следует отметить пищевую промышленность и сельское хозяйство, где требования к чистоте регламентируются жесткими санитарно-гигиеническими требованиями. Примерами использования могут служить: вакуумная сушка, фильтрование под вакуумом, испарение, кристаллизация, дегазация, ректификация и ряд других процессов.

Основным элементом многих вакуумных систем являются жидкостно-кольцевые вакуум-насосы (ЖВН), характеризующиеся надежностью, бесшумной работой, отсутствием маслонасосов и специальных систем смазки. Соответствующий подбор рабочей жидкости обеспечивает откачивание газов, не допускающих загрязнение их парами масел. Развитие вакуумных технологий приводит к увеличению количества и номенклатуры выпускаемых ЖВН.

Моделирование течения в ЖВН дает возможность принимать обоснованные решения по конструкции и режимам работы, и позволяет проектировать новое высокоэффективное и экономичное оборудование.

Целью данного исследования является использование вычислительной гидродинамики (CFD) для понимания нестационарного трехмерного многофазного потока в ЖВН в зависимости от давления всасывания и частоты вращения рабочего колеса. Особый интерес представляет понимание механизмов течения, которые формируют жидкостное кольцо, и влияния формы жидкостного кольца на процессы всасывания, сжатия, нагнетания и расширения.

Рассматриваемый ЖВН (рис. 1) состоит из корпуса с внутренним диаметром 108 мм и имеет эксцентрично установленный на валу ротор, имеющий 10 вращающихся лопастей. Внешний диаметр ротора 90 мм, длина 94 мм, а эксцентриситет по отношению к корпусу 7 мм. Максимальная скорость вращения ротора 297,3 рад/с.

Для гидродинамического моделирования использовалось программное обеспечение ANSYS FLUENT, известное своим развитым функционалом в области вычислительной динамики жидкостей и газов.

При моделировании гидродинамики ЖВН использованы следующие установки: задача нестационарная (Transient time), решатель на основе давления (Pressure Based), подключено уравнение энергии (Energy Equation).

Используемая модель турбулентности k-epsilon является одной из наиболее распространенных моделей, используемых в вычислительной гидродинамике для моделирования характеристик потока в условиях турбулентного течения.

Модель многофазности VOF (Volume of Fluid) используется для многофазного моделирования газожидкостного взаимодействия, чтобы определить границы раздела газ-жидкость. Этот метод хорошо подходит для потока газ-жидкость со свободной границей раздела в водокольцевом вакуумном насосе, позволяет точно фиксировать границу раздела. Число используемых фаз – 3: воздух, вода (жидкость) и вода (пар). Между водой и паром установлен механизм взаимодействия «кавитация» (cavitation). Модель кавитации Шнерра-Зауэра (Schnerr-Sauer).

Из-за вращающихся лопаток ротора использована динамическая сеть (Dynamic mesh), методы сглаживания (Smoothing) и перестроения (Remeshing) сети.

Газовая фаза инициализируется в центральной зоне с радиусом 30 мм, тогда как водная фаза в остальной части. Устанавливается коэффициент поверхностного натяжения равный 0,07 Н/м.

При решении задачи использовалась сеть, состоящая из 6 млн. узлов и 4,2 млн. элементов. В пристенной области в зоне пограничного слоя сетка была дополнительно уплотнена.

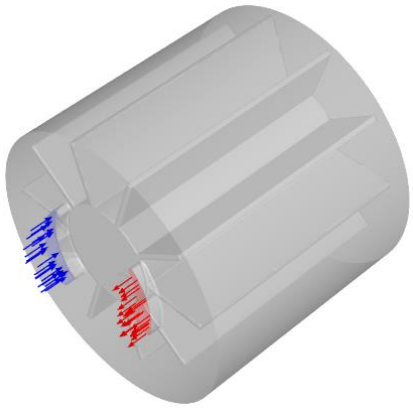


Рис. 1. Геометрическая модель ЖВН

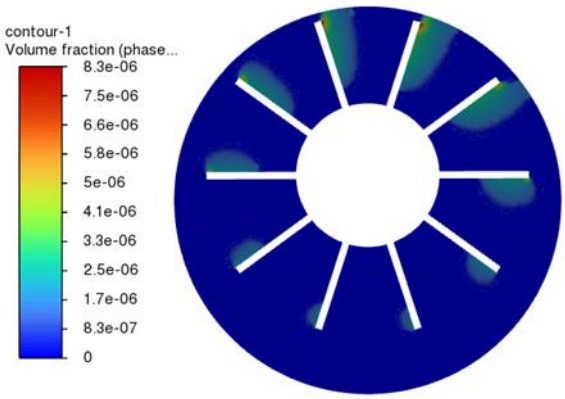


Рис. 2. Доля паровой фазы

Кавитация возникает в насосном оборудовании центробежного типа. Она начинается, когда значение давления становится равным, либо меньше давления насыщенного пара. Из-за этого в потоке рабочей среды образуются полости, заполненные паром и растворенными газами.

Это явление может возникнуть как в движущихся, так и в неподвижных зонах проточной части оборудования. Кавитация является очень распространенной причиной эрозионного разрушения стали и других конструкционных материалов, что приводит к поломке оборудования.

Определить условия возникновения кавитации можно по отрицательному давлению за лопаткой, т.е. $P_{абс} < 0$, что физически невозможно. Подключение механизма взаимодействия «кавитация» «нормализует» давление за лопаткой.

На рисунке 2 показана доля паровой фазы в поперечном сечении насоса при угловой скорости ротора 297,3 рад/с, давлении 10 кПа на входе и 101 кПа на выходе из ЖВН. Моделирование гидродинамики проточной части ЖВН позволяет определить: распределение фаз, поля давлений и скоростей каждой из фаз, а также степень развития кавитации.

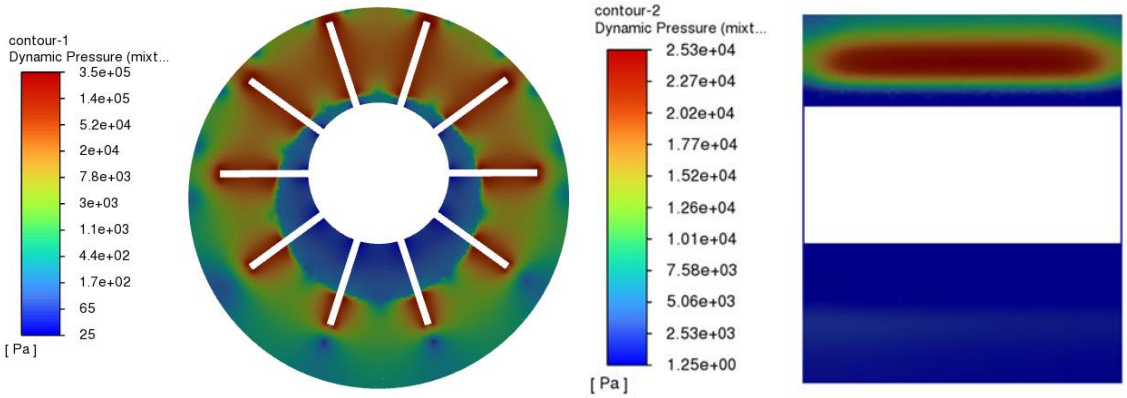


Рис. 3. Поле динамического давления

На рисунке 3 представлено поле динамического давления в поперечном и продольном сечениях ЖВН. Максимальные значения давления наблюдается в местах сближения лопаток ротора с корпусом.

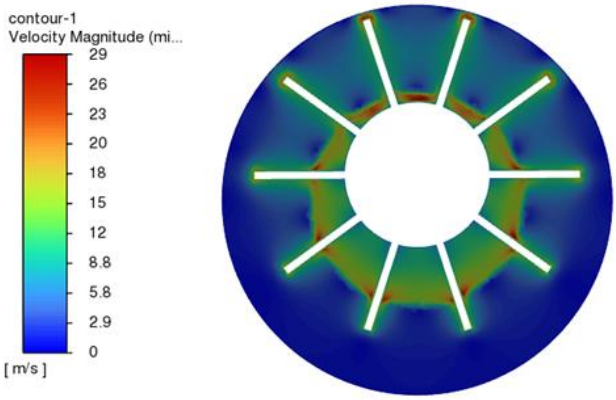


Рис. 4. Поле скорости

На рисунке 4 представлено поле скорости в поперечном сечении ЖВН. Скорость имеет максимальное значение на концах лопаток ротора вблизи корпуса, а так же на границе жидкостного кольца, что связано с высокой степенью турбулентности потока в этих местах.

Концевые вихри образуются вблизи краев лопаток вследствие разности давлений на передней и задней сторонах лопатки. Вихревое движение формируется также у концов лопаток в зоне вторичных течений, а также вблизи торцевых поверхностей насоса.

Гидродинамическое моделирование течений в проточной части ЖВН является крайне полезным инструментом при проектировании, так как позволяет определить оптимальные параметры и режимы работы насоса, а также сократить время и затраты на проектирование.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ РЕЗИНОВЫХ СМЕСЕЙ

Фижбах Т.В., Чуприкова А.А., Ермаков А.С.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Резина отличается от других технических материалов уникальным комплексом свойств, из которых главное – высокая эластичность. Это свойство, присущее каучуку – основному компоненту резины, делает ее незаменимым конструкционным материалом в современной технике.

Резиновая смесь – многокомпонентная система, содержащая полимерную основу, в которой диспергированы различные химические вещества. Резиновая промышленность является крупнейшим потребителем таких полимеров, как синтетические и натуральные каучуки, термопласты и реактопласты, химические волокна.

Каучуки обладают пласто-эластическим свойствами, поэтому они способны смешиваться с ингредиентами и приобретать желаемую форму под действием механических усилий.

Технические свойства каучуков подразделяются на технологические, характеризующие способность сырого (невулканизованного) каучука и резиновых смесей на его основе к переработке при изготовлении резиновых изделий, и эксплуатационные, характеризующие работоспособность вулканизатов в различных условиях эксплуатации.

Активаторы серной вулканизации каучуков являются одними из важнейших компонентов резиновых смесей, обеспечивающих формирование эффективной вулканизационной структуры и, как следствие, высокие физико-механические показатели резин. Основным активатором вулканизации является оксид цинка. В настоящее время в резинотехнической отрасли прослеживается тенденция применения компонентов резиновых смесей, проявляющих полифункциональное действие. В рецептурах резиновых смесей используются композиционные ингредиенты российского и зарубежного производства, прежде всего активирующие процесс вулканизации [1 – 4].

Цель работы состоит в оптимизации технологического процесса изготовления деталей литьевым методом из синтетических каучуков.

В основе построения физико-химической модели сложного химикотехнологического процесса структурирования многокомпонентных эластомерных композитов в работе заложено математическое моделирование состояний многокомпонентного эластомерного композита в нотациях Кельвина Фойгта, Гука и Алфрея [5]. В качестве основной методики для определения количественных показателей процесса структурирования эластомерных композитов использовалась методика вибрационной реометрии [6 – 8]. Сущность метода определения вулканизационных характеристик с помощью сдвигового вибрационного реометра заключается в измерении крутящего момента при сдвиговой деформации образца резиновой смеси, вызываемой колебаниями ротора с биконическим диском с определенной частотой и амплитудой при заданной температуре (обычно температуре вулканизации) [6, 8].

Определение вулканизационных характеристик резиновых смесей методом вибрационной реометрии стандартизировано. В нашей стране, США и других странах действуют национальные стандарты на метод определения вулканизационных характеристик резиновых смесей с помощью вибрационных сдвиговых реометров (ГОСТ 12535-84, ASTM D2084) [9 – 12]. В рамках международной организации по стандартизации на этот метод действует стандарт JS0 3417 [11]. Момент сопротивления сдвигу, регистрируемый реометрическими приборами, пропорционален сдвиговым напряжениям, возникающим в массе образца. Резиновая смесь в реологическом смысле является упруговязким телом. При малых деформациях поведение резиновых смесей и резин описывается моделью Кельвина-Фойгта [13]. Считается, что закон Гука справедлив для упругой деформации полимерного материала, а закон Ньютона – для вязкого течения. При испытании на вибрационном сдвиговом реометре материал подвергается знакопеременным деформациям с частотой ω. Деформация материала под действием внешних сил изменяется в этих условиях по закону [13, 14]:

$$\gamma = \gamma_0 \cdot \sin(\omega t) \quad (1)$$

где γ_0 – амплитуда деформации, град.; ω – круговая частота, рад/с.

Дифференцируя соотношение (1) по времени, получим скорость деформации

$$Y = \omega \cdot \gamma_0 \cos(\omega t) \quad (2)$$

Для материала, подчиняющегося закону Гука, напряжение упругой деформации $\tau_{упр}$. примет вид:

$$\tau_{упр} = G' \gamma_0 \sin(\omega t) \quad (3)$$

где G'- модуль упругости при сдвиговой деформации; $\tau_{упр}$ – напряжение упругой деформации. Для ньютоновской жидкости, с учетом формулы (2), напряжение пластической деформации выражается зависимостями:

$$\tau_{вяз} = \mu Y = \mu \omega \gamma_0 \cos(\omega t) = G'' \gamma_0 \cos(\omega t) \quad (4)$$

где $G'' = \mu \cdot \omega$ – так называемая мнимая компонента динамического модуля сдвига или, иначе – модуль трения; μ – вязкость; $\tau_{вяз}$ – напряжение пластической деформации.

Таким образом, для вязкоупругого тела имеем два симметричных выражения:

$$\tau_{упр} = G' \gamma_0 \sin(\omega t);$$

$$\tau_{вяз} = G'' \gamma_0 \cos(\omega t).$$

Максимальные значения напряжений $\tau_{упр}$ и $\tau_{вяз}$ будут наблюдаться при фазах, отличающихся по величине на π/2:

$$\tau_{упр} = G' \gamma_0; \ \tau_{вяз} = G'' \gamma.$$

Объединяя выражения, получим:

$$G^* = G + i\mu \cdot \omega = G + iG'' \quad (5)$$

где G'' – комплексный динамический модуль; i – мнимая единица, μ – вязкость.

При структурировании (подвулканизации и вулканизации) резиновых смесей происходит уменьшение модуля G" и возрастание модулей G' и G, фазовый угол при этом, пройдя через максимум, резко уменьшается. При постоянной амплитуде и частоте колебаний, которые в приборе имеют строго фиксированные значения, модуль G пропорционален вязкости μ. Поэтому для невулканизованных резин, когда G" > G', величина комплексного напряжения будет определяться большей частью вязкостью, а для подвулканизованных и вулканизованных – упругостью [8]. Приведенные соотношения удовлетворительно описывают поведение резиновых смесей, когда они находятся в области подвулканизованного состояния и в стадии вулканизации, но значительно хуже – резиновую смесь в ее первоначальном состоянии. Это обусловлено тем, что при математическом описании поведения резиноподобного материала по модели Кельвина-Фойгта невозможно моделировать процессы, приводящие к изменению свойств при вулканизации. Согласно этой модели, вязкость сохраняет некоторое малое конечное значение, тогда как в действительности вязкость смеси возрастает до бесконечности.

Список используемых источников

1. Шершнев, В. А. Активирующее действие шунгита в процессе вулканизации бутадиен-нитрильных эластомеров / В.А. Шершнев, Е.А.Живина, Ю.Л.Морозов, С.В.Резниченко // Каучук и резина. – 2008. – № 2. – С.12-20.

2. Maciejewska, M. Organic zinc salts as pro-ecological activators for sulfur vulcanization of styrene– butadiene rubber / M. Maciejewska, A. Sowinska, J. Kucharska // Polymers. – 2019. – N 11. – P.1723-1729.

3. Glebova, Y. Nitrogen-doped graphene as an alternative to ecotoxic zinc oxide in rubbers / Y. Glebova, N. Severin, J.P. Rabe, V. Shershnev // Journal of Applied Polymer Science. – 2018. – V. 135. – N 17. – P. 46116-46122.

4. Завражин, Д. О. Основы реологии полимеров и технологические методы переработки полимерных материалов : Учебное электронное издание / Д. О. Завражин, О. Г. Маликов, П. С. Беляев. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2017. – 108 с.

5. Кузнецов, А. С. Алгоритмическо-информационное обеспечение системного анализа автоматизированных химико-технологических процессов структурирования многокомпонентных эластомерных композитов : специальность 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузнецов Андрей Сергеевич, 2017. – 156 с.

6. Уральский, М.Л. Контроль и регулирование технологических свойств резиновых смесей. / М.Л. Уральский, Р.А. Горелик, А.М. Буканов // М.: Химия, 1983. – 128 с.

7. Сочнев, А. Н. Автоматизированная система управления вулканизационными характеристиками резиновой смеси в производстве резинотехнических изделий: автореф. дис. … канд. техн. наук. – Саратов, 2008. – 20 с.

8. Агаянц, И. М., Пять столетий каучука и резины. // М.: Модерн, 2002. – 432 с.

9. Востроκнутов Е. Г., Прозоровская Н. В., Кирилюк Л. В. // Производство шин, РТИ и АТИ. – 1971. – №6. – С.12-15.

10. ГОСТ 12535-84. Смеси резиновые. Метод определения вулканизационных характеристик на вулкаметре.

11. ASTM Standard 2084 – 93, Standard Test Method for Rubber Property – Vulcanization Using Oscillating Disk Cure Meter, Appendix X2, History of the Oscillating Disk Cure Meter, Section X2.6 and Table X2.1.

12. JS JSO 3417-78. Row Rubber Measurement of Cure Characteristics with the Oscillating Curometer.- 1981.

13. ISO 6502 Rubber – Measurement of vulcanization characteristics with rotorless curemetrs. Second edition, 1991.

14. Мак-Келви, Д. М. Переработка полимеров: Пер. с англ. – М.: Химия, 1968. – 496 с.

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИИ МАЛОГАБАРИТНОГО ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА С ЭЛЕКТРОСИЛОВЫМ ПРИВОДОМ

Беляков А.А.[1], Рыбакова С.М.[1], Станкевич Е.А.[1], Кожарина Т.В.[2]
[1-]Белорусский государственный технологический университет, Минск, Baa_333655140@mail.ru
[2-]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

В настоящее время, лесовосстановительное производство Республики Беларусь стремительными темпами развивается в направлении повышения размеров лесных питомников и их автоматизации. В связи с этим необходимо начать применение электрифицированной техники в лесном хозяйстве. Это связано, прежде всего, с необходимостью повышения производительности труда, снизить расходы без потерь, экологией, эргономикой тракторов, автоматизацией труда, недостатком рабочих в сельской местности и др. [1 – 9].

Вследствии изменения двигателя внутреннего сгорания на электрический, происходит и изменения в нагрузке на элементы трансмиссии. В частности, валы, передающие энергию от коробки передач на ведущие мосты и вал отбора мощности, будут испытывать более высокие нагрузки по сравнению с базовым трактором, у которого пиковый кутящий момент равен 24 Н м. Поэтому необходимо провести прочностные расчеты валов при пиковом крутящем моменте 60 Н м и частотой вращения 4500 об/мин., а для этого в первую очередь следует создать трехмерную модель. [10]

В качестве основной схемы трансмиссии малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом используется схема, с колесной формулой 4К4 [11]. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния производилось с использованием программного пакета конечно-элементного моделирования Ansys Workbench. Для чего были разработаны обьемные модели серийных элементов трансмиссии проектируемого электротрактора [12, 13].

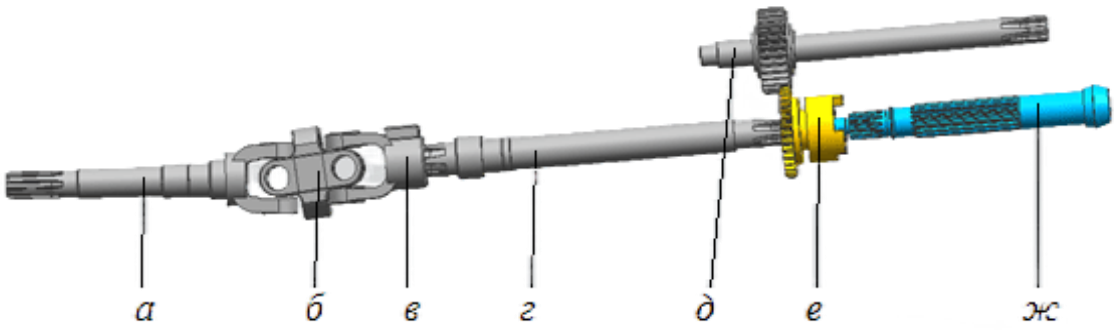
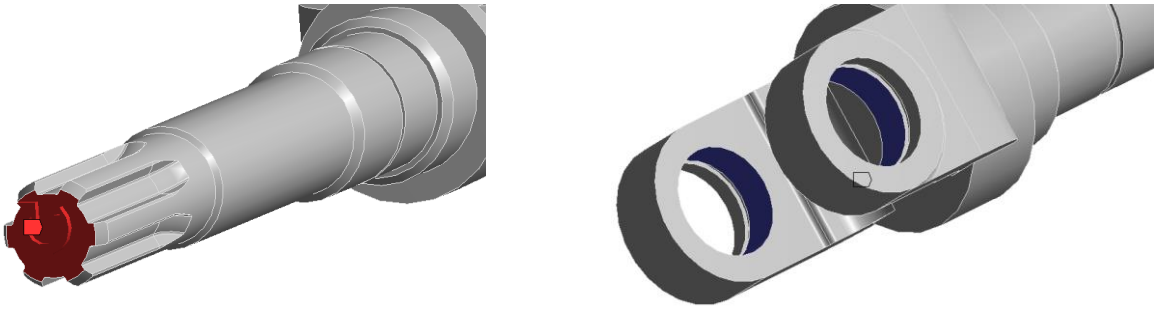


Рис. 1. Организация привода малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом:
а – карданный вал; б – крестовина; в – фланец; г – промежуточный вал;
д – вал отбора мощности; е – переходной фланец вала отбора мощности; ж – входной вал

Для повышения точности проводимых расчетов при формировании конечно-элементной сетки использованы тетраидальные элементы, средний размер грани которых составлял 0,001 м. В местах концентрации напряжений выполнено уменьшение сетки.

Карданный вал является составной частью трансмиссии многих транспортных средств. Он передает крутящий момент от коробки передач или раздаточной коробки к редукторам переднего или заднего моста. Пиковый крутящий момент, составленный путем компьютерного моделирования, был приложен равный 60 Н·м (рис. 2, *а*). При этом, для уменьшения времени расчета, жесткой заделкой выставляется органичение передвижения, в местах крепления карданной передачи и крестовины (рис. 2, *б)*.

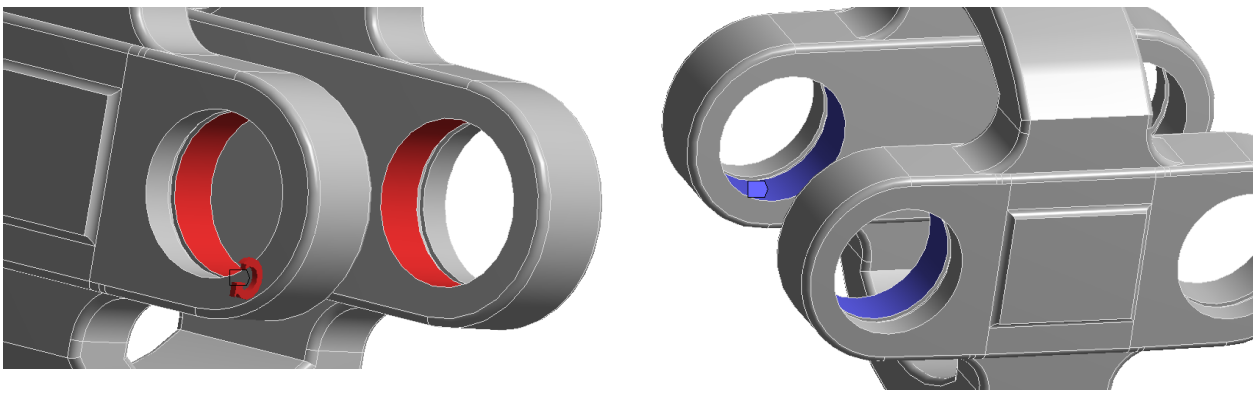


а – схема приложения силы *б* – моделирование опоры

Рис. 2. Карданный вал трансмиссии малогабаритного трактора с электросиловым приводом

Крестовина (рис. 3) дает возможность для двух сопряженных валов вращаться с изменяющимся углом друг относительно друга. Наивысший КПД достигается при угле 0°–20°. В том случае, когда данный показатель превышен, крестовина подвержена значительным перегрузкам, вал теряет сбалансированность и появляется вибрация.

Пиковый крутящий момент, составленный путем компьютерного моделирования, был приложен равный 60 Н·м (рис. 3, а). При этом, для уменьшения времени расчета, жесткой заделкой выставляется ограничение передвижения, в местах крепления крестовины и фланца (рис. 3, б).

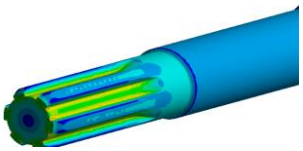
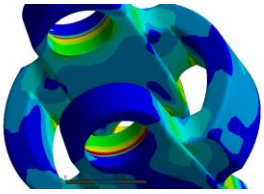
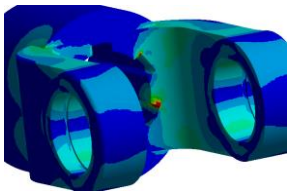
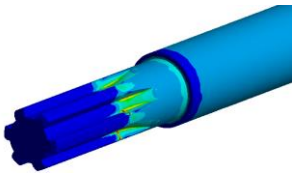
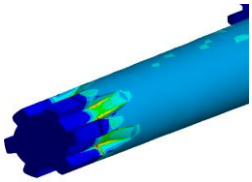
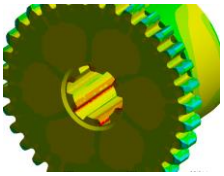
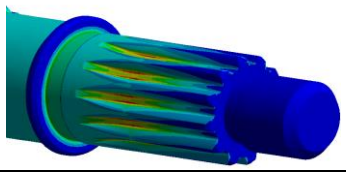


а – схема приложения силы *б* – моделирование опоры

Рис. 3. Крестовина малогабаритного трактора с электросиловым приводом

В карданной передаче фланец не просто выполняет функцию крепления, но и выступает частью основы карданного шарнира. Основными требованиями к данному элементу выступает прочность и геометрическое соответствие. Только при соблюдении двух этих параметров, можно добиться повышенного срока службы и правильной работы карданной передачи.

1. Эквивалентные напряжения на отдельных узлах и деталях трансмиссии малогабаритного лесохозяйственного трактора

1	2	3	4
Наименование	Общий вид напряженного состояния	Величина расчетных эквивалентных напряжений, МПа	Величина допустимых эквивалентных напряжений, МПа
карданный вал		107	380
крестовина		76	240
фланец		71	240
промежуточный вал		97	380
вал отбора мощности		82	380
переходной фланец		90	240
входной вал		98	380

При этом пиковый крутящий момент, составленный путем компьютерного моделирования, был приложен равный 60 Н·м. При этом, для уменьшения времени расчета, жесткой заделкой выставляется ограничение передвижения, в местах фланца и промежуточного вала.

Промежуточный вал служит для передачи крутящего момента с карданной передачи на входной вал, через переходной фланец и на вал отбора мощности. Данные расчеты проводились по аналогии с предыдущими.

С учетом особенностей сопряжения переходного фланца вала отбора мощности и вала отбора мощности, а именно их передаточного числа, равным 6, пиковый крутящий момент, действующий на вал отбора мощности будет равен 10 Н·м.

Моделирование напряженно-деформированного состояния деталей и сопряжений при указанных действиях нагрузки позволило установить следующие значения действующих в них максимальных эквивалентных напряжений (табл. 1).

Величина общего перемещения на отдельных узлах трансмиссии лесохозяйственного трактора не должно превышать конструктивных зазоров относительно рядом находящихся деталей.

Максимальное напряжение, которое возникает в элементах трансмиссии лесохозяйственного трактора под действием данных сил является ниже предельно допускаемых значений напряжений стали из которой сделаны детали. При этом полученное значение общего перемещения не превышают конструктивных зазоров относительно рядом находящихся деталей

Проведенный анализ прочности отдельных узлов и деталей трансмиссии, позволил подтвердить использование серийно выпускаемых элементов трансмиссии. Поэтому при конструировании подобного трактора с электросиловым приводом нет необходимости замены каких-либо узлов трансмиссии на более прочные, что в свою очередь экономит средства при создании малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом.

Список используемых источников

1. Жуков А.В. Лесные машины «Беларус». – Минск: БГТУ, 2001.– 479 с.

2. Федоренчик А.С., Герман А.А., Протас П.А. Лесные машины «Амкодор»: учеб. -метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2013. – 239 с.

3. Асмоловский М.К., Арико С.Е., Голякевич С.А. Механизация лесного хозяйства: учеб. пособие. – Минск: БГТУ, 2007.– 256 с.

4. Жуков А.В. Теория лесных машин: учеб. пособие. – Минск: БГТУ, 2001. – 640 с.

5. Лесотранспортные машины: учеб. пособие / под ред. Г. М. Анисимова. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 448 с.

6. Гороновский А.Р. Лесотранспортные машины: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2006. – 103 с.

7. Дулевич А.Ф. Детали машин. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2014. – 181с.

8. Валяжонков В.Д. Трансмиссии лесной автотракторной техники: учеб, пособие. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – 172 с.

9. Вахламов В.К. Автомобили: конструкция и элементы расчета. – М.: Академия, 2006. – 479 с.

10. Баженов С.П. Основы эксплуатации и ремонта автомобилей и тракторов. – М.: Академия, 2005. – 329 с.

11. Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Пищов С.Н. / Моделирование электросилового привода малогабаритного лесохозяйственного трактора // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов, Минск 31 января – 12 февраля 2022г. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 23 – 26.

12. Golyakevich S., Goronovsky A. Workload estimation of harvesters during the operations of work cycle // Transport. Issue 28 (3). Vilnus, 2013, pp. 323–330.

13. Анализ тенденций развития конструкций многооперационных лесозаготовительных машин / С. П. Мохов [и др.] // ТрудыБГТУ. 2012. No 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 18–20.

ПРОВЕРКА КАЧЕСТВА МОДЕЛИ SMD ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОЛЕОФИЛЬНО-ГИДРОФИЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ОРГАНИЧЕСКИХ ПИГМЕНТОВ

Тришина А.В., Здерева А.В., Ростова Д.П.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», koroleva_tambov@mail.ru

Поверхностные химические свойства органических пигментов играют важную роль в процессе создания лакокрасочных материалов и существенно влияют на их хранение и использование. Обычно для достижения необходимых свойств поверхности пигмента используют различные поверхностно-активные вещества, которые должны сорбироваться на поверхности пигмента и крепко держаться там. Прогнозирование олеофильных и гидрофильных свойств поверхности, а также влияния поверхностно-активных веществ на эти свойства, является важным аспектом при создании новых технологий получения лакокрасочных материалов или модификации существующих технологий.

ПАВ, выступая в роли олеофилизаторов и гидрофилизаторов, обладают исключительной эффективностью, которая может быть оценена таким показателем, как индекс липофильности (LogP).

В данной работе рассматривается возможность прогнозирования LogP различных классов соединений с использованием континуальной модели растворителя SMD.

С помощью модели SMD [1] можно рассчитать энергию взаимодействия растворителя с молекулой растворенного вещества. Для расчета logP требуется взять растворители 1-октанол, вода. Тогда logP будет рассчитываться по формуле:

$$LogP = \frac{G_{\text{вода}} - G_{1-\text{октанол}}}{2.303RT}$$

Изменение энергии Гиббса принималось равной изменению электронной энергии с учетом репульсационной и кавитационной поправок, зашитых в модель SMD. Изменением энергии нулевых колебаний, а также трансляционной и ротационной энтропии при переходе от октанола к воде пренебрегаем.

Расчет электронной энергии осуществлялся методом теории функционала плотности (DFT). В качестве функционалов принимались некоторые распространенные из основных семейств PBE (GGA), TPSS (Meta-GGA), B3LYP (гибридный GGA), ωB97x (пространственно-разделенный GGA).

И популярные комбинированные методы r2SCAN-3c и PBEh-3c.

В качестве базисного набора приняли двухэкспонциальный семейства Карлсруе с учетом диффузионных функций: def2-SVPD.

В качестве тестового набора принимался SAMPL6 [2], как один из популярных для сравнения методов расчета logP. Результаты расчета приведены в табл. 1.

1. Рассчитанные значения logP моделью SMD методом DFT с разными функционалами

ID в наборе SAMPL6	SMD						Exp. LogP [2]
	PBE	TPSS	B3LYP	ωB97x	r2SCAN-3c	PBEh-3c	
SM14	2.42	2.41	2.40	2.31	2.22	2.11	1.95
SM11	1.32	1.31	1.25	1.13	1.06	1.22	2.10
SM16	2.19	2.13	2.08	2.06	2.02	2.00	2.62
SM13	3.16	3.08	3.09	3.01	2.83	2.91	2.92
SM09	2.89	2.84	2.87	2.77	2.60	2.69	3.03
SM15	2.31	2.28	2.28	2.21	2.14	2.07	3.07
SM08	2.64	2.54	2.46	2.46	2.32	2.16	3.10
SM07	2.96	2.92	2.98	2.87	2.65	2.82	3.21
SM12	3.58	3.57	3.57	3.50	3.37	3.40	3.83
SM04	3.43	3.40	3.43	3.35	3.13	3.30	3.98
SM02	3.77	3.77	3.75	3.69	3.55	3.59	4.09
RMSE	0.47	0.49	0.51	0.55	0.66	0.62	-
MaxE	0.78	0.79	0.85	0.97	1.04	1.00	-

Из таблицы 1 видно, что погрешность расчета примерно одинакова для всех выбранных функционалов, комбинированные методы имеют немного более высокую ошибку. На основании этого для дальнейших расчетов был выбран B3LYP, т.к. он имеет несколько более высокую надежность при предсказании геометрии молекул.

В ходе дальнейшей проверки метода SMD рассмотрим его возможности применительно к различным классам соединений, фрагменты которых входят в состав органических пигментов. Результаты приведены в табл. 2.

Из таблицы 2 видно, что в результате расчетов при помощи модели SMD наименьшую ошибку имеем на углеводородах, кислородсодержащих соединениях и соединениях галогенов и серы.

Анализ молекулярной структуры соединений, на которых модель имеет наибольшие ошибки позволил выявить некоторые закономерности:

- модель плохо описывает соединения йода (йодбензол, максимальная ошибка – 1.85 в классе галогенов, без этого соединения средняя ошибка 0.34);
- модель показывает заниженное значение logP на эфирах и кислотах, возможно это связанно с тем, что они могут вступать в реакции этерификации

и переэтерификации с 1-октанолом из-за чего соединение выглядит в экспериментах более липофильным чем оно есть на самом деле;

2. Ошибки расчета различных классов соединений при помощи модели SMD

Класс	Max	Min	RMSD
Арены	0.28	-0.26	0.18
Кислородные соединения	0.98	-1.13	0.46
Соединения азота	1.39	-1.00	0.65
Соединения галогенов	0.75	-1.85	0.52
Соединения серы	0.62	-0.86	0.50
Многофункциональные соединения	0.59	-1.69	0.94

- дополнительную погрешность может вносить образование димеров молекул в растворе, так погрешность определения logP для 4-нитроанилина составляет – 0.99, если рассчитывать logP для димера, погрешность уменьшается до – 0.73.

Таким образом модель SMD пригодна для прогнозирования logP широкого набора органических соединений и является единственной, способной учитывать взаимное экранирование атомов.

Список используемых источников

1. Marenich, A.V. Universal solvation model based on solute electron density and on a continuum model of the solvent defined by the bulk dielectric constant and atomic surface tensions / A.V. Marenich, C.J. Cramer, D.G. Truhlar // J. Phys. Chem. B. – 2009. – Vol. 113. – P. 6378-6396. – DOI: 10.1021/jp810292n.

2. Guan, D. LogP prediction performance with the SMD solvation model and the M06 density functional family for SAMPL6 blind prediction challenge molecules / D. Guan, R. Lui, S. Matthews // Journal of Computer-Aided Molecular Design. – 2020. – Vol. 34, No. 5. – P. 511-522. – DOI 10.1007/s10822-020-00278-1.

ОЦЕНКА ЗНАЧЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЩЕЛИ В МАЛЫХ КЛАСТЕРАХ НАНОГРАФИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЧИСЛА СЛОЕВ

Бакунин Н.С., Дегтярев А.А., Ростова Д.П., Кровякова Е.И., Швец М.Е.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
fwxartez@yandex.ru

Нанографит представляет собой несколько графеновых слоев, имеющих гексагональную сетку атомов углерода. В настоящее время является активным объектом исследования вследствие уникальных свойств, делающих его перспективным материалом для модификации, например лакокрасочных изделий или сорбции ионов из растворов [1, 2].

Разница в энергии между высшей занятой молекулярной орбиталью (ВЗМО) и низшей вакантной молекулярной орбиталью (НВМО) представляет собой энергетическую щель ВЗМО-НВМО. Ее значение можно использовать для прогнозирования прочности и стабильности химического соединения, а также цвета, который они дают в растворе. Как правило, чем больше энергетическая щель между ВЗМО и НВМО соединения, тем стабильнее соединение. Также значения ВЗМО и НВМО часто используются для оценки соединений посредством индексов реакционной способности (ИРС).

Целью данной работы является исследование влияния количества графеновых слоев на значение энергетической щели ВЗМО-НВМО.

В качестве исследуемого объекта принимаются кластеры нанографита состоящие из одного, двух, трех и четырех графеновых слоев, терминированных по краям атомами водорода. Размер каждого слоя составляет 10 на 10 ячеек.

Моделирование кластеров нанографита проводилось на уровне теории сильно связанных электронов (ТВ), для расчетов и оптимизации геометрии был принят метод GFN2-xTB [3] так как он обладает малой вычислительной стоимостью и подходит для расчета больших структур. Расчеты проводились в растворителе (октанол). В качестве модели растворителя использовалась континуальная ALPB [4]. Все расчеты проводились в пакете ORCA 5 [5].

Полученные результаты расчета значения энергетической щели ВЗМО-НВМО представлены в табл. 1.

1. Зависимость значения энергетической щели от количества слоев

Количество слоев	1	2	3	4
Значение энергетической щели, эВ	0.00131	0.464	0.00142	0.364

Обобщая результаты, скажем, что значение энергетической щели ВЗМО-НВМО на два порядка отличается для четного и нечетного количества слоев.

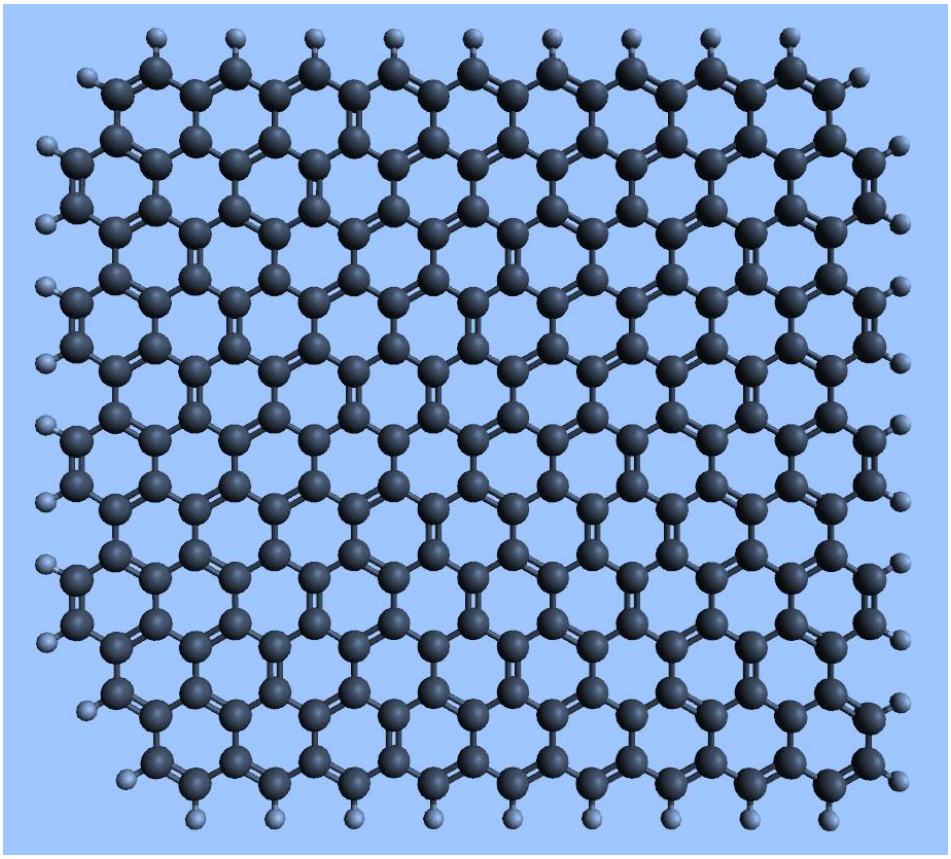


Рис. 1. Рассчитанная геометрия для одного слоя методом GFN2-xTB. Вид сверху

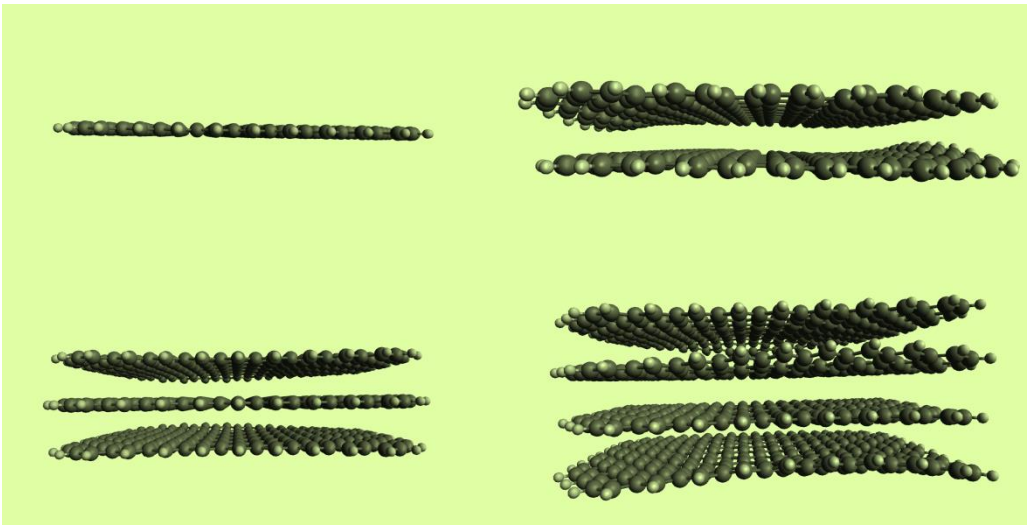


Рис. 2. Рассчитанная геометрия для кластеров нанографита методом GFN2-xTB. Вид сбоку

Список используемых источников

1. Mathematical modeling of alkyde resin paint modified by carbon nanotubes / A. Rukhov, S. Juboori, K. Brankin, E. Tugolukov // Journal of Physics: Conference Series: 4, Tambov, 15–17 ноября 2017 года. – Tambov, 2018. – P. 012003. – DOI: 10.1088/1742-6596/1084/1/012003.

2. Дисперсия графеновых наноструктур для эффективной сорбции ионов Pb(II) из водных растворов / А. Е. Кучерова, А. В. Герасимова, А. Е. Бураков [и др.] // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 439-444. – DOI: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.439-444.

3. Bannwarth, C. GFN2-xTB—An Accurate and Broadly Parametrized Self-Consistent Tight-Binding Quantum Chemical Method with Multipole Electrostatics and Density-Dependent Dispersion Contributions / C. Bannwarth, S. Ehlert, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2019. – Vol. 15, No 3. – P. 1652-1671. – DOI: 10.1021/acs.jctc.8b01176 .

4. Robust and efficient implicit solvation model for fast semiempirical methods / S. Ehlert, M. Stahn, S. Spicher, S. Grimme // Journal of Chemical Theory and Computation. – 2021. – Vol. 17, No. 7. – P. 4250-4261. – DOI: 10.1021/acs.jctc.1c00471.

5. The ORCA quantum chemistry program package / F. Neese, F. Wennmohs, U. Becker, C. Riplinger // . – 2020. – Vol. 152, No. 22. – P. 224108. – DOI: 10.1063/5.0004608.

ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Коршиков Д.А., Быковская Е.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», danila_korshikov@bk.ru

Ключевым направлением достижения экономического роста и повышения качества жизни населения в современном мире является постоянное поступательное развитие инновационной деятельности, создание и использование высокотехнологичной продукции. Что красноречиво демонстрируют события последнего времени. Необходимость перехода на новую ступень научно-технического развития общества требует усиления инновационной активности и концентрации внимания на нововведениях со стороны всех экономических систем мирового экономического пространства, и в большей степени промышленных предприятий.

Для смыслового разделения можно определить, что новшества формируют рынок новаций, за образование рынка капитала отвечают инвестиции, инновации же отвечают за образование конкурентоспособного рынка нововведений [1] (рис.1).

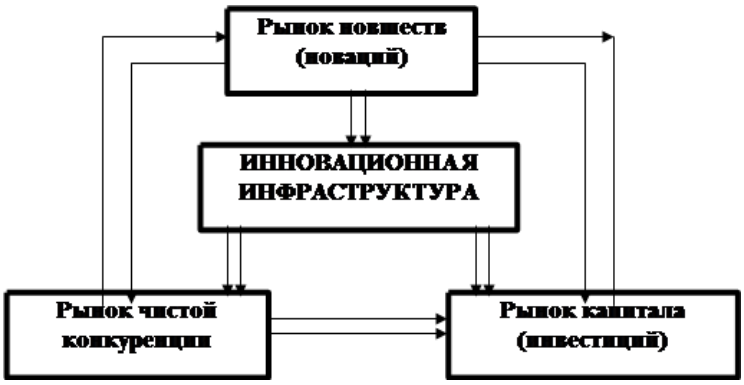


Рис. 1. Алгоритм инновационной деятельности

Инновации в широком смысле представляют собой новые технологии с различными характеристиками, применяемые во всех подразделениях хозяйствующих субъектов. Временные затраты, требуемые для воплощения новшества от момента задумки, до момента создания, коммерциализации и введения в оборот, принято считать жизненным циклом инноваций. Рассматривая содержание инновационного проекта можно выделить две идеи:

1) Совокупность определенных действий, методов, позволяющих предприятию достигать поставленных задач.

2) Система упорядоченных документов, подкрепленных правовыми нормами, с целью ведения текущей деятельности [2].

Существование любого инновационного проекта без финансирования на практике невозможно. Научно-технические программы частично проходят программу государственного финансирования, за счет получения грантов.

Создание и реализация инновационного проекта возможно при поддержке следующих этапов (рис.2).

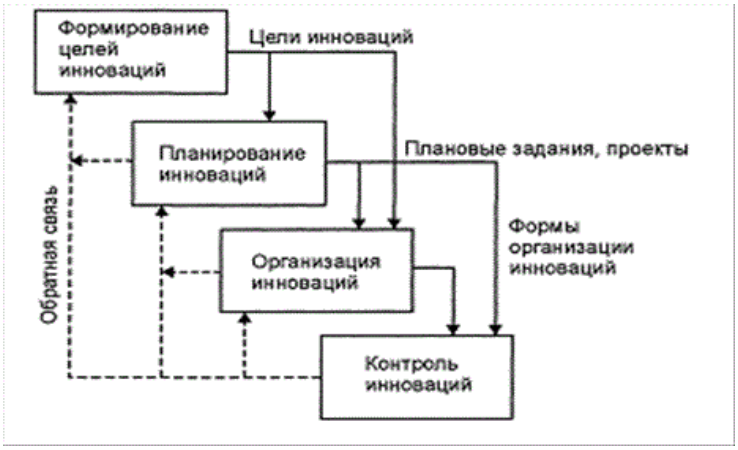


Рис. 2. Структурно-логическая схема стадий инновационной деятельности предприятия

К ряду причин, способствующих неудачам какого-либо проекта можно отнести неправильную организацию выполняемых действий внутри рабочей группы, а также разногласия внутри коллектива. Прохождение этапов любого проекта можно разделить на: определение, проектирование, разработку, реализацию и контроль [3, 4].

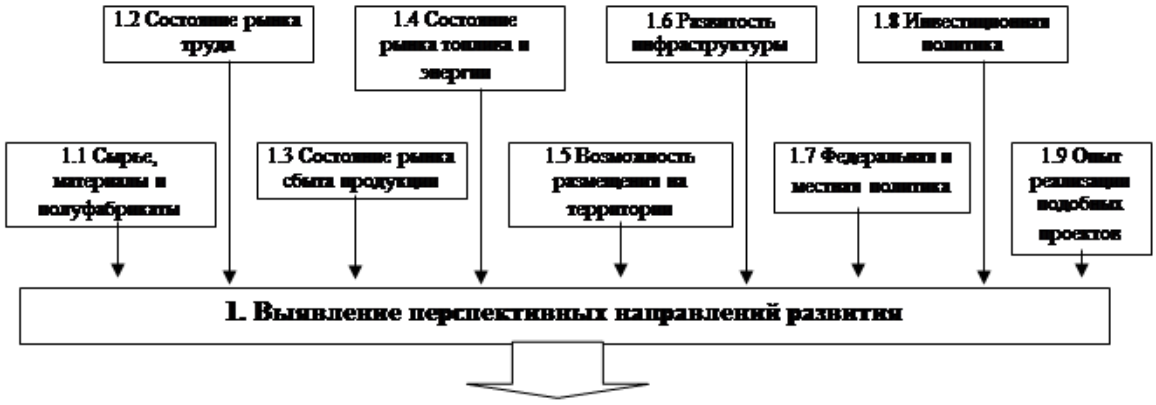


Рис. 3. Определение благоприятных условий развития инновационной деятельности предприятия

На основе организационных уровней предприятия структурирована организационно-функциональная блок-схема (рис. 4), которая отражает процессный и функциональный подходы к сущности стратегического управления инновационной деятельностью промышленного предприятия, конкретизирует последовательность и содержание его основных этапов на разных уровнях и определяет уровневую потенциальную результативность на каждого этапа стратегического управления инновационной деятельности промышленного предприятии [3].



Рис. 4. Организационно-функциональная блок-схема управления инновационной деятельностью промышленного предприятия

В стратегическом управлении инновационной деятельностью предприятия важное место занимает инновационный потенциал как основа формирования его инновационных стратегий. Понятие «инновационный потенциал предприятия» рассматривается чаще всего как совокупность

ресурсов, способностей и возможностей, имеющихся у предприятия и обеспечивающих его готовность к осуществлению инновационной деятельности в соответствии со стратегическими целями развития [6].

На наш взгляд, структуру инновационного потенциала следует рассматривать в разрезе ключевых аспектов функционирования предприятия. Инновационный потенциал, являясь частью каждого компонента структуры общего потенциала предприятия, определяет его возможности осуществлять различные виды инновационной деятельности. В связи с этим выделены шесть структурных компонентов, образующих инновационный потенциал промышленного предприятия: интеллектуальный, научно-исследовательский, производственно-технический, финансовый, маркетинговый и организационно-управленческий (рис. 5).

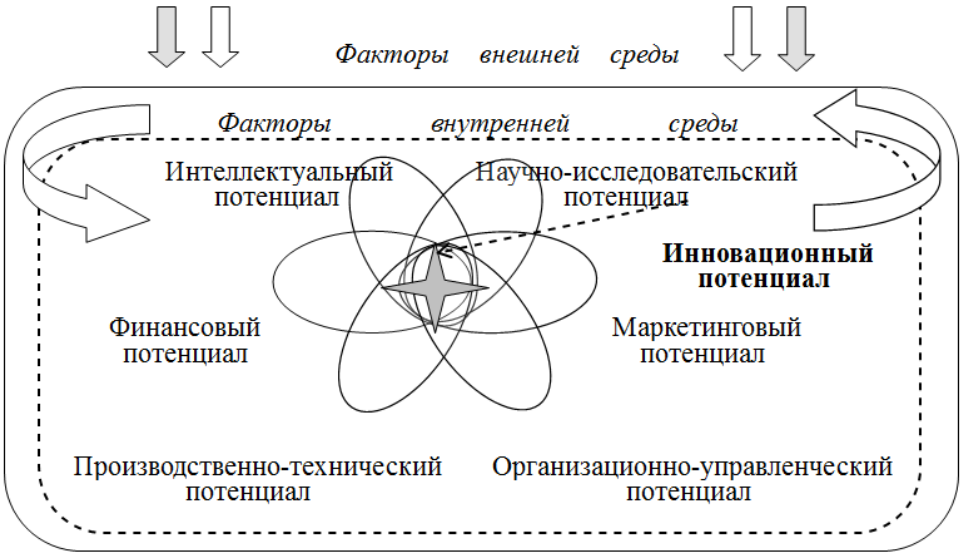


Рис. 5. Структура формирования инновационного потенциала промышленного предприятия

Ключевой характеристикой данного подхода можно считать эффект синергии, т.е. увеличение эффективности всей системы инновационного потенциала от взаимодействия его элементов. Стоит отметить, что при наличии системы эффективного управления инновационной деятельностью на предприятии, обеспечивающей возможности реализации его организационно-управленческого потенциала, наблюдается так называемый эффект «подтягивания» других составляющих инновационного потенциала предприятия на более высокий уровень. Для их реализации в виде новых продуктов и технологий необходимо повышение производственно-технического потенциала, а для того чтобы новшества были успешно восприняты рынком, должен усиливаться маркетинговый потенциал предприятия. Вышеизложенное позволяет говорить о дуальности природы инновационного потенциала предприятия: с одной стороны, его образуют различные виды ресурсов, существующие и потенциальные возможности организации, а с другой стороны, сам инновационный потенциал оказывает значительное влияние на состояние ресурсных составляющих, их структуру,

определяет возможность их комбинирования и интегрирования в целях обеспечения эффекта синергии. Эта двоственность должна учитываться и «использоваться» менеджментом промышленного предприятия в его инновационном развитии при формировании его общей конкурентоспособности.

Список используемых источников

1. Пригожин, А. И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики) / А. И. Пригожин. – М. : Политиздат, 1989. – 270 с.

Клочкова, Е. Н. Экономика предприятия / Е. Н. Клочкова, В. И. Кузнецов, Т. Е. Платонова. – М. : Юрайт, 2014. – 448 с.

2. Бодрунов, С.Д. Россия на пороге революции // Российская газета. – Спецвыпуск №7228 (62). – Режим доступа: https://rg.ru/2017/03/23/rossii-predrekli-chetvertuiuindustrialnotehnologicheskuiu-revoliuciiu.html

3. Теоретические основы формирования промышленной политики / И.Б. Адова, Ю.И. Азимов, А.А. Алетдинова, А.А. Борисов, С.Н. Кузьмина, и др. // Санкт-Петербург, 2015.

4. Выход из кризиса: развитие экономики и промышленности / под ред. д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – Спб: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 558 с.

5. Быковская, Е.В. Стратегическое управление технологической конкурентоспособностью промышленных предприятий на основе мобилизации внутрихозяйственных резервов [Текст]: Дис. д-ра эконом. наук. Курск, 2019. – 301 с.

ИНСТРУМЕНТЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Андрющенко А.В., Королькова Е.М.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 15.05.02.al@gmail.com

Способность выполнять проекты в срок, в рамках бюджета и в соответствии с бизнес-целями является ключом к получению преимущества в сегодняшней высококонкурентной глобальной бизнес-среде. Вот почему важно, чтобы лицо, ответственное за проект, имело всестороннее представление об управлении проектами – от основ управления проектами до обширного опыта. У менеджеров проектов невероятно сложная задача, которая сочетает в себе организаторские способности, аналитический склад ума и отличные способности к межличностному общению.

Гибкие методологии управления проектами становятся все более популярными благодаря высококонкурентной бизнес-среде и инновациям.

Наиболее распространенной и используемой растущим числом компаний является методология Agile [1]. Многие компании с уверенностью принимают методологию Agile: это не только сфера технологий, но и сферы финансов, услуг, страхования, управления и другие.

В целом методологии Agile отдают предпочтение более коротким итеративным циклам и гибкости.

Цели проекта четко формулируются заказчиком (внутренним или внешним), а окончательный результат может меняться по ходу проекта. Команда проекта работает в итеративных циклах, всегда оценивая результаты в конце. В зависимости от результатов этих оценок окончательный результат может быть изменен, чтобы лучше соответствовать потребностям клиента. Непрерывное сотрудничество имеет ключевое значение как внутри команды проекта, так и с заинтересованными сторонами проекта.

Основное различие между инструментами Agile и другими инструментами управления проектами заключается в их способности работать с гибкими фреймворками, такими как Kanban и Scrum.

Большинство менеджеров проектов назвали бы Scrum самой популярной инфраструктурой Agile [2]. Как и другие Agile-фреймворки, Scrum предполагает итеративный подход к управлению проектами. Методология Scrum предписывает разбивать проект на спринты, которые обычно длятся от одной до четырех недель. Каждый спринт заканчивается завершением рабочей версии или черновика окончательного результата проекта.

Короткие итерации подхода Scrum позволяют команде постоянно выпускать рабочую версию конечного продукта.

Первоначально Scrum был разработан с использованием модели программного обеспечения, которая следует набору ролей, обязанностей и собраний. Он достаточно гибок, чтобы его можно было использовать для любого сложного проекта в любой отрасли, но лучше всего работает, когда результатом проекта является конкретный продукт, а не услуга.

Scrum считается легким и гибким, но сложным в освоении. В основу положены три идеи [2]:

- Прозрачность. Вы должны использовать общий язык и стандартные определения.

- Инспекция. «Артефакты» Scrum и продукты должны регулярно и тщательно проверяться для обеспечения качества.

- Приспособление. Всякий раз, когда инспекция обнаруживает качество ниже стандартного, команда должна как можно скорее внести коррективы или исправления.

Scrum в Agile требует определенных ролей и обязанностей, в том числе [2]:

- владелец продукта. Владелец продукта в проекте – это лицо, ответственное за представление интересов клиента. Этот человек имеет высшую власть над конечным продуктом. Задача владельца продукта состоит в том, чтобы обеспечить понимание и достижение требований к продукту, его функциональности и приоритетов.

- скрам-мастер. Скрам-мастер отвечает за организацию ежедневных совещаний, улучшение взаимодействия в команде и максимальное повышение производительности. Разница между менеджером проекта и скрам-мастером заключается в том, что последний фокусируется на том, чтобы быть лидером-слугой. Роли и обязанности Agile-менеджера проекта часто включают должность Scrum-мастера. Однако они могут делегировать это любому члену команды, который является экспертом по Scrum и сильным фасилитатором.

- команда разработчиков. Команда разработчиков – это ваша проектная команда Scrum. Как правило, это самоорганизующийся и кросс-функциональный. В эту команду входят все люди, необходимые для разработки, производства, тестирования и выпуска конечного продукта.

- скрам-команда. Структура Scrum-команды включает вашу команду разработчиков, Scrum-мастера и владельца продукта.

Scrum также имеет уникальную терминологию. Ниже приведены ключевые термины, обычно используемые в среде Scrum [2]:

1. Резерв продукта. Бэклог – это список задач и требований, которые вы должны включить в конечный продукт. Владелец продукта несет ответственность за создание невыполненной работы и управление ею.

2. Спринт. Спринт – это установленные временные рамки для выполнения каждого набора задач из бэклога. Каждый спринт должен быть одинаковой длины. Обычно две недели, но спринт может длиться от одной до четырех недель, в зависимости от команды и потребностей проекта.

3. Планирование отставания. Планирование невыполненных работ (иногда называемое Agile-планированием спринтов) относится к определению задач из списка невыполненных работ, которые вы будете включать в каждый спринт.

4. Бэклог спринта. Часть невыполненной работы, назначенная текущему спринту.

5. Ежедневный Скрам. Команда проекта Scrum встречается каждый день, чтобы обсудить любой прогресс за последние 24 часа, прогресс, ожидаемый в течение следующих 24 часов, и любые новые проблемы. Эти встречи обычно занимают около 15 минут и называются Daily Scrum или Daily Stand-Up.

6. Ретроспектива. Каждый спринт должен заканчиваться обзорной встречей, называемой ретроспективой. Команда анализирует свой прогресс и обсуждает, что можно улучшить в следующем спринте.

7. Скрам-доска. Scrum-доска помогает команде видеть и управлять невыполненными заданиями спринта. Это может быть физическая доска, например белая доска, или виртуальная доска в инструменте управления проектами. Доска обычно состоит из трех столбцов: «Сделать», «Выполняется» и «Готово». По мере выполнения элементов невыполненной работы вы перемещаете их из одного столбца в другой на доске. Таким образом, каждый может видеть, что ему нужно сделать в текущем спринте и как продвигается работа.

8.Артефакт. Бэклог продукта, бэклог спринта и инкремент продукта – это три артефакта Scrum в рамках проекта. Бэклог продукта и бэклог спринта представляют собой работу, которую еще предстоит сделать, а инкремент продукта – это часть продукта, которую команда уже завершила в течение текущего спринта.

Хотя Scrum является одним из самых популярных методов управления Agile-проектами, это, безусловно, не единственный вариант. Можно выбрать другие методологии Agile управления проектами.

Канбан – простое визуальное средство управления проектами. Первоначально разработанный как метод планирования, Канбан помогает командам выполнять производство точно в срок, позволяя всем видеть как ход проекта, так и то, что будет дальше [3].

Канбан фокусируется на визуализированном рабочем процессе, в котором задачи разбиты на мелкие части. Структура Kanban во многом похожа на Scrum. Канбан также использует доску для просмотра и отслеживания прогресса, сегментируя задачи в три основных столбца: «Сделать», «Выполняется» и «Готово». Однако, в отличие от Scrum, канбан-доска отслеживает всю работу над продуктом, не разделяя ее на спринты.

Канбан может помочь выявить узкие места и потери, а также сократить время ожидания.

Экстремальное программирование (XP) – это Agile-фреймворк, изначально разработанный для Agile-проектов разработки программного обеспечения. Как и Scrum, эта структура ориентирована на непрерывную разработку и доставку клиентам и использует интервалы или спринты.

Однако среда XP основана на инженерных принципах и включает вспомогательные процессы, обычные для разработки программного обеспечения [4].

Разработка, ориентированная на функции (FDD), – это еще одна гибкая структура, ориентированная на программное обеспечение. Эта структура нацелена на создание программных моделей каждые две недели. Он также

требует отдельного плана разработки и проектирования для каждой функции модели программного обеспечения, что делает его более объемным с точки зрения документации, чем другие фреймворки Agile. Из-за строгих требований к документации FDD лучше подходит для команд с продвинутыми способностями к проектированию и планированию [5].

Метод разработки динамических систем (DSDM) возник из-за потребности в общей отраслевой структуре для быстрой доставки программного обеспечения. Метод DSDM предполагает процедуру доработки, при этом любые возникающие изменения должны быть обратимыми [6]. Подобно Scrum, XP и FDD, инфраструктура DSDM разбивает проекты на более мелкие спринты.

Crystal – это семейство Agile-методологий, включая Crystal Clear, Crystal Yellow, Crystal Orange, Crystal Red и другие [7]. Каждая кристальная методология имеет уникальную структуру. Выбор зависит от нескольких факторов проекта, таких как размер команды, приоритеты проекта и критичность проекта.

Достаточно часто в списках гибких фреймворков фигурирует бережливое развитие (Lean) [8]. Тем не менее это совершенно отдельная методология. Lean и Agile часто группируются, потому что они имеют много общих ценностей. Например, и Lean, и Agile подчеркивают способность легко адаптироваться к изменениям.

При принятии решения о том, как внедрить Agile, важно понимать, что для разных проектов требуется немного отличающийся набор политик, практик и процессов, основанный на их уникальных характеристиках.

Ни один фреймворк не подойдет для всех проектов, поэтому важно оценивать потребности отдельных проектов и команд.

В заключении приведем несколько практик управления проектами, основанных на Модели зрелости организационного управления проектами (OPM3) Института управления проектами и Руководстве по внедрению организационного управления проектами [9].

1. Определите драйверы проекта. Очень важно понимать экономическое обоснование проекта и его ценность для организации. Какие преимущества это дает вашей компании?

2. Поймите ключевые цели клиента, ожидаемые результаты и приоритеты проекта.

3. Определите все движущие силы проекта, цели, результаты и приоритеты, на которые будут влиять различные методологии. Например, если ваша цель состоит в том, чтобы быть максимально рентабельным, методология бережливого производства может подойти лучше всего. Если заказчику требуется подробная документация по функциям, тогда FDD может быть правильным выбором.

4. Создайте список потенциальных методологий, которые могут подойти для вашего проекта, и ранжируйте их на основе критериев, изложенных в последнем шаге.

5. Какая бы структура ни поддерживала большинство движущих сил, целей, результатов и приоритетов, она должна быть выбрана вами. Если некоторые результаты более важны, чем другие, вы можете расставить приоритеты в своих оценках, чтобы гарантировать, что они не будут упущены из виду. Вам нужно выбрать структуру, которая обеспечивает наилучшие результаты с наименьшим риском.

6. Выбрав фреймворк, следите за тем, как он работает. Основная концепция Agile – гибкость и адаптируемость. Если выбранная вами методология проекта не дает желаемых результатов, вы можете заменить ее или изменить ее структуру.

Список используемых источников

1. Agile: что это такое и где используется, принципы методологии [Электронный ресурс]. Режим доступа: Методология Agile: что это, отличия гибкой методологии – преимущества и принципы системы Agile (yandex.ru) – Загл. с экрана.

2. Scrum – метод управления проектами [Электронный ресурс]. Режим доступа: Scrum метод управления проектами – Как работает скрам методология (getcompass.ru) – Загл. с экрана.

3. Методология Kanban [Электронный ресурс]. Режим доступа: Методология Kanban: доски, принципы и возможности управления - Загл. с экрана.

4. Методики и принципы экстремального программирования [Электронный ресурс]. Режим доступа: Методики и принципы экстремального программирования – Загл. с экрана.

5. Методологии Agile-разработки: основное руководство [Электронный ресурс]. Режим доступа: Методологии AGIL-разработки: основное руководство (businessyield.com) – Загл. с экрана.

6. Динамические системы метод разработки [Электронный ресурс]. Режим доступа: Динамические системы метод разработки (alphapedia.ru) – Загл. с экрана.

7. Кристаллические методы в гибкой разработке [Электронный ресурс]. Режим доступа: Crystal methods in Agile Development/Framework – GeeksforGeeks (turbopages.org) – Загл. с экрана.

8. О. Вершинин. Как помогает бережливое производство и для какого бизнеса подходит [Электронный ресурс]. Режим доступа: Бережливое производство – что это такое и что какая его цель | инструменты и принципы lean методологии (neiros.ru)- Загл. с экрана.

9. Организационное управление проектами и модель зрелости [Электронный ресурс]. Режим доступа: Организационное управление проектами и модель зрелости (pmjournal.ru) – Загл. с экрана.

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ КОНЦЕПЦИИ УПРАВЛЕНИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

Недбаев А.А., Быковская Е.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», snedbaev@gmail.com

Сегодня информация является не только товаром, который имеет повышенный спрос и предложение на рынке, но и выступает инструментом конкурентной борьбы, в зависимости от ситуации, – оборонительным или наступательным. Нестабильная экономико-политическая ситуация, а также резкое увеличение информационного потока совместно с возрастанием и изменением роли самой информации характеризуют специфику настоящего времени. Так, результаты анализа и систематизации статистических данных по развитию цифровой экономики в ЦФО, свидетельствуют о том, что в 2017 году цифровые технологии в социально-экономической деятельности регионов активно внедряются, но с разной степенью интенсивности:

– удельный вес организаций (в общем числе организаций предпринимательской деятельности), использующих широкополосный интернет, составил 85,6% (максимальный: Липецкая область – 89,5%, минимальный: Тверская – 71,1%);

– удельный вес организаций (в общем числе организаций предпринимательской деятельности), использующих «облачные сервисы», составил 23,2% (максимальный: Калужская область – 25,0%, минимальный: Костромская область – 11,6%);

– удельный вес населения, использующего интернет (в общей численности населения в возрасте 15-74 лет), составил 86,2% (максимальный: Московская область – 92,8%, минимальный: Белгородская область – 70,0%;

– удельный вес населения, использующего интернет (в общей численности населения в возрасте 15-74 лет для получения государственных и муниципальных услуг), составил 71,3% (максимальный: Московская область – 86,2%, минимальный: Костромская – 37,8%);

– место каждого субъекта ЦФО в рейтинге РФ по показателю: удельный вес населения, использующего интернет (в общей численности населения в возрасте 15 – 74 лет для получения государственных и муниципальных услуг в электронной форме), значительно дифференцировано. Например, Московская область – 1 место, Брянская область – 5 место, Тульская область – 8 место, г. Москва – 15 место, Белгородская область – 18 место, Орловская область – 74 место, Костромская область – 83 место [1, 2].

Наиболее значимыми причинами низкой результативности цифрового развития экономики на уровне регионов можно считать использование традиционных информационных систем различных классов для целей автоматизации отдельных бизнес-процессов. В настоящее время ключевые

участники цифровых трансформаций, к которым целесообразно отнести государственные и муниципальные органы власти, бизнес-сообщество, научные организации, образовательные учреждения, а также институты гражданского общества для получения необходимой доступной информации используются различные классы традиционных информационных систем, например, CRM ERP, HRM, ECM, CPM/BI и т.д. Более того, традиционные информационные системы не позволяют решать современные задачи в управлении цифровым контентом, нацеленным, прежде всего, на обмен информацией, представленной большими массивами данных в цифровой форме, а затем ее анализ и использование результатов анализа для достижения целей стратегического развития субъектов цифровизации.

В этой связи требуется значительная трансформация функционала традиционных информационных систем, чтобы они могли соответствовать новым реалиям управления цифровой трансформацией региональной экономики, для которой характерно следующее:

во-первых, это использование цифровых технологий, в основном, для достижения целей стратегических развития или обеспечения конкурентоспособности отдельных отраслей и сфер деятельности, что не позволяет принимать обоснованные управленческие решения органам государственной и муниципальной власти в интересах стратегического управления цифровой трансформацией региональной социально-экономической системы;

во-вторых, отсутствие нормативно-правовой базы, характеризующей необходимые институциональные и инфраструктурные преобразования в структуре и процессах управления экономикой региона в аспекте интеграции с процессами цифровых трансформаций в различных отраслях и видах деятельности[3].

Для обеспечения конструктивного взаимодействия субъектов управления цифровой трансформацией региона на основе обмена информацией, представленной большими массивами данных в цифровой форме, необходимо осуществить:

– выявление потенциала научных организаций и образовательных учреждений к эффективным формам интеграции для целей создания регионального научно-

образовательного комплекса;

– повышение потенциала сформированного регионального научно-образовательного комплекса к кооперации, прежде всего, с высокотехнологичными сферами социально-экономической деятельности в регионе;

– объединение усилий, а также привлечение всех видов экономических ресурсов, в том числе частных инвестиций для осуществления конструктивного взаимодействия, основанного на принципах кластерного подхода для достижения целей сотрудничества и партнерства таких цифровых субъектов, как: государственные и муниципальные органы власти и управления; бизнес-

сообщество; научно-образовательный комплекс: институты гражданского общества;

д) в-пятых, это низкий уровень использования в отраслях региональной экономике и социальной сферы сквозных цифровых технологий для обеспечения взаимодействия, а тем более на межрегиональном уровне, субъектов управления цифровой трансформацией;

Основополагающими принципами региональной политики в области разработки и реализации концепции управления цифровой трансформацией региональной социально-экономической системы являются:

– принцип добровольности участия различных субъектов региональной экономики в цифровой трансформации ее отраслей и сфер социально-экономической деятельности;

– принцип равноправия, предполагающий одинаковые права, обязанности и ответственность всех ключевых субъектов кластерной модели по взаимодействию в сфере цифровой трансформации в пределах их компетенции;

– принцип свободы и предоставления возможностей выбирать формы интеграции, кооперации, сотрудничества, партнерства и т.п. в различных отраслях и сферах социально-экономической деятельности, в том числе в сфере государственного и муниципального управления, науки, образования, бизнеса, а также в структурах гражданского общества;

– принцип открытости сферы науки, образования и бизнеса для целей обеспечения взаимовыгодных партнерских отношений в аспекте цифрового развития как на уровне региона, так и на уровне межрегиональных взаимодействий;

– принцип повышения ответственности субъектов управления цифровыми трансформациями за результаты своей деятельности и значимость полученных результатов для достижения целей цифрового развития региональной экономики [4].

Достижение поставленных целей разработки и реализации концепции управления цифровой трансформацией региональной социально-экономической системы требуется решения следующего комплекса задач, который целесообразно представить в виде пошаговой модели.

Первый шаг. Обоснование перечня субъектов управления цифровыми трансформациями в региональной социально-экономической системе, которые обладают следующими цифровыми компетенциями:

Второй шаг. Формируется кластер цифровых компетенций на основе интеграции потенциала и ресурсов сферы науки и образования с их дальнейшей кооперацией с потенциалом и ресурсами наиболее прогрессивной части бизнес-сообщества.

Третий шаг. Мониторинг тенденций и реализуемых цифровых преобразований в различных отраслях экономики и социальной сферы, в том числе в сфере государственного и муниципального управления.

Четвертый шаг. Разработка рекомендаций по созданию приоритетных (фокусных) и тематических направлений цифровой трансформации

в различных отраслях и сферах социально-экономической деятельности в регионе.

Пятый шаг. Реализация проекта по созданию региональной цифровой платформы, которая представляет собой цифровой ресурс, позволяющий выстраивать сквозные процессы передачи информации, в том числе межрегиональные, в целях формирования единого цифрового пространства.

Шестой шаг. Актуализация межрегионального конструктивного взаимодействия на основе использования интеллектуальных информационных систем нового поколения в рамках реализации концепции управления цифровой трансформацией региональной социально-экономической системы [5, 6].

Так, в сфере государственного и муниципального управления целесообразно выделить следующие тренды цифровой трансформации: повышение уровня цифровизации государственных услуг; создание региональной цифровой платформы; актуализация цифрового взаимодействия государственных и муниципальных органов власти и управления, бизнес-сообщества, научных организаций, образовательных учреждений и институтов гражданского общества.

В сфере цифровых трансформаций бизнес-сообщества, представленного наукоемкими и высокотехнологичными организациями, целесообразно выделить следующие тренды: повышение уровня автоматизации производства, роботизации, цифрового проектирования; синхронизация цифровых решений бизнес-партнеров на основе создания общих цифровых платформ; трансграничное бизнес-сотрудничество на межрегиональном и международном уровнях; создание агрегаторов конкретных товаров и услуг, B2B-маркетплейсов; обеспечение кибербезопасности и т.п. Сфера цифровых трансформаций в научно-исследовательских организациях и ведущих образовательных учреждениях представлена следующими трендами: создание научно-образовательной цифровой платформы; внедрение принципов цифрового образования в режиме онлайн-курсов на российских платформах; повышение уровня автоматизации и роботизации НИОКР; обеспечение кибербезопасности и т.п. [7].

Таким образом, реализация основных положений концепции управления цифровой трансформацией социально-экономической системы региона позволяет обеспечивать:

– адаптацию деятельность субъектов цифровизации к требованиям текущего момента и оперативного принятия управленческих решений в различных отраслях и сферах социально-экономической деятельности, в том числе сфере государственного и муниципального управления;

– повышение цифрового потенциала стратегического развития экономики и социальной сферы региона и его цифровых субъектов, снижение уровня социально-экономической дифференциации субъектов Федерации, сокращение межрегиональных различий в уровне и качестве жизни населения;

– повышение эффективности в области освоения новых знаний, внедрения инноваций, управления человеческим капиталом;

– разрешение проблем, связанных с формированием единого цифрового пространства в России и, как следствие, национальной безопасностью страны.

На основании вышеизложенного, можно сделать следующие выводы. Формируемая в настоящее время цифровая реальность открывает новые возможности и требует разработки концептуального подхода к развитию региональной социально-экономической системы в условиях цифровой трансформации как традиционных, так и перспективных отраслей экономики, а также социальной сферы и сферы государственного и муниципального управления. Для достижения поставленных целей в разработанной концепции управления цифровой трансформацией региональной социально-экономической системы необходимо реализовать комплекса задач и, прежде всего, по формированию кластера цифровых компетенций.

Список используемых источников

1. Развитие цифровой экономики в условиях деглобализации и рецессии / под ред. Д-ра экон. наук, проф. А. В. Бабкина. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2019. – 753 с.

2. Выход из кризиса: развитие экономики и промышленности / под ред. Д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – Спб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2016. – 558 с.

3. Дащенко Ю.Ю. Цифровая экономика как экономика будущего // Тенденции развития науки и образования. – 2018. – № 35-1. – С. 18-19.

4. Кислый С.А. Цифровая экономика и ее роль в экономике России // Актуальные проблемы и перспективы развития экономики. Труды XVI Международной научно-практической конференции. 2017. – С. 249250.

5. Кулик А.М., Коряков Д.П. Цифровая экономика: особенности и тенденции развития // Прорывные экономические реформы в условиях риска и неопределенности. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2018. – С. 189192.

6. Теоретические основы формирования промышленной политики / Адова И.Б., Азимов Ю.И., Алетдинова А.А., Борисов А.А., Кузьмина С.Н., и др. Санкт-Петербург, 2015.

7. Выход из кризиса: развитие экономики и промышленности / под ред. Д-ра экон. наук, проф. А.В. Бабкина. – Спб: Изд-во Политехн. Ун-та, 2016. – 558 с.

БИЗНЕС-ПРОЕКТ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ НАКЛАДОК ДЛЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Чуприкова А.А., Ермаков А.С., Фижбах Т.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Сельское хозяйство является одной из важнейших отраслей экономики многих стран, и эффективность ее работы напрямую зависит от качества используемой техники. Однако сельскохозяйственная техника часто подвергается износу и повреждениям, что приводит к необходимости ремонта или замены деталей. На сегодня проблема решается заменой стальных деталей в полевых условиях, длительным и долговременным восстановлением деталей в межсезонье.

Одним из решений этой проблемы может стать использование сверхвысокомолекулярного полиэтилена (СВМПЭ) для изготовления деталей сельскохозяйственной техники. СВМПЭ – это материал с высокой прочностью и износостойкостью, который обладает также химической стойкостью и устойчивостью к ультрафиолетовому излучению.

Идея данного проекта заключается в создании производства накладок из СВМПЭ (рис. 1) для почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники, которые позволят не заменять стальные рабочие органы агрегата, а только накладки на них.



Рис. 1. Прототипы специальных накладок для глубокорыхлителей, полученные методом твердофазной обработки СВМПЭ

Изделия из СВМПЭ имеют высокую прочность и износостойкость, что позволяет им долго сохранять свои свойства при использовании в условиях почвообработки. Они устойчивы к коррозии и агрессивным средам, что делает их идеальными для использования в различных условиях. Также, они имеют легкий вес и просты в обработке и монтаже. Они также обладают низкой

теплопроводностью, что позволяет им сохранять форму при высоких температурах. Эти изделия экологически безопасны и могут быть переработаны [1, 2].

Преимущества использования СВМПЭ для изготовления накладок для сельскохозяйственной техники очевидны. Во-первых, это повышение качества и долговечности техники, что приведет к увеличению производительности сельскохозяйственных предприятий. Во-вторых, это экономия на замене и ремонте деталей, так как СВМПЭ обладает высокой износостойкостью и не требует частой замены [1, 2].

На рисунке 2 представлена бизнес-модель проекта, состоящая из девяти структурных блоков и разработанная на основе шаблона бизнес-модели Остервальдера и Пинье [3]. В этой модели описаны девять ключевых составляющих данного бизнес-проекта.

8.Ключевые партнеры	7.Ключевые виды деятельности	2.Ценностное предложение	4. Взаимоотношения с клиентами	1.Сегменты потребителей
ООО "РУСАГРО-ТАМБОВ" АО «АгроГард» ООО «Настюша» ОАО «Агрохолдинг»	НИР Производство Проектирование Сервис Доставка Маркетинг	Прочность Долговечность Износостойкость	Персональная поддержка Самообслуживание Автоматизированное обслуживание	Производители сельскохозяйственной техники, агрофирмы
	6. Ключевые ресурсы Оборудование для производства изделий, сырье (СВМПЭ), персонал, финансы		3. Каналы распространения Прямые Непрямые	
9. Структура расходов Затраты на производство, аренда помещения, зарплата персонала, маркетинговые и рекламные компании, налоги			5. Потоки доходов Продажа продукта Предоставление услуг по обработке СВМПЭ по индивидуальным заказам клиентов	

Рис. 2. Бизнес-модель проекта

После генерации самой идеи для проекта была проведена оценка изделий для почвообрабатывающей техники и были рассчитаны приблизительные показатели PAM, TAM, SAM, SOM, из расчета, что один проданный комплект накладок равен 2800 рублей (рис. 3) [4, 5].

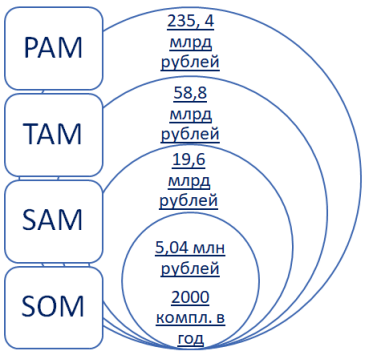


Рис. 3. Основные показатели оценки размера рынка



Рис. 4. Схема 4P

Помимо этого, была построена схема комплекса 4P, основанная на основных «координатах» маркетингового планирования: продукт, цена, каналы распространения и продвижение продукта (рис. 4) [6].

Кроме того, была рассчитана примерная «дорожная карта» создания продукта, в соответствии с которой начало продаж продукции запланировано на 2024 год (рис. 5).



Рис. 5. «Дорожная карта» создания продукта

Для того, чтобы продемонстрировать потенциальному инвестору привлекательность проекта, была проведена предварительная оценка денежных потоков, которые ожидаются в период с 2023 по 2026 год. Предполагаемый доход и затраты по проекту приведены в табл. 2.

2. Поток денежных средств в проекте

Денежные потоки проекта	**Периоды (годы) реализации проекта**			
	0 (2023)	1 (2024)	2 (2025)	3 (2026)
Чистый доход по проекту	-	5,04 млн	5,04 млн	5,04 млн
Инвестиционные затраты	-4 млн	-0,5 млн	-0,5 млн	-0,5 млн
Чистый денежный поток	-4 млн	540 тыс.	5,08 млн	9,62 млн

Далее были рассчитаны такие показатели как: NPV, PI, IRR, ROI, PBP и период реализации при ставке дисконтирования 25%. В результате расчетов были получены значения показателей равные:

1) NPV = 4,67 млн. рублей;

2) PI = 2,2%;
3) IRR = 70,6%
4) ROI = 104,4%;
5) PBP = 1,08 года (13 месяцев).

На основании проведенной оценки денежных потоков на период с 2023 по 2026 годы было составлено наилучшее предложение для потенциального инвестора, которое представлено на рис. 6.



Рис. 6. Предложение соинвестору

Техническая реализуемость данного проекта зависит от уровня квалификации персонала на производстве и профессионального оборудования,

На основании проведенного анализа рынка можно сделать вывод о том, что продукт имеет потенциал для успешной коммерциализации.

Как и у любого стартапа у данного проекта имеется ряд рисков, описание основных из них и пути их решения приведен на рис. 7.

Основные риски, краткое описание	Мероприятия и инструменты по снижению степени влияния рисков
Нарушение требований качества сырья, что может привести к ухудшению механических свойств изделий	Использование высококачественного сырья
Недостаточные эксплуатационные характеристики изделий из сверхвысокомолекулярного полиэтилена, что может привести к их разрушению в процессе эксплуатации	Проведение тщательного анализа условий эксплуатации изделий и тестирование изделий на эксплуатационные характеристики перед выпуском на рынок
Нехватка квалифицированных специалистов для производства изделий	Обучение и развитие персонала, чтобы убедиться, что у производства есть достаточное количество квалифицированных специалистов
Изменение цен на сырье и материалы, используемые для производства изделий	Диверсификация поставщиков сырья и материалов, чтобы уменьшить риск изменения цен на них
Изменение потребительского спроса на изделия, связанный с изменением экономической ситуации в стране или мире	Исследование и анализ потребительского спроса, чтобы понимать тенденции и изменения в поведении потребителей
Нарушение интеллектуальной собственности, связанный с возможностью копирования технологии производства изделий	Регистрация патентов и других форм интеллектуальной собственности, чтобы защитить технологию производства изделий от копирования

Рис. 7. Основные риски проекта

Однако, для каждого из выявленных рисков уже существует способ решения, что говорит о том, что риски проекта не являются значительными.

В результате проделанной работы был представлен бизнес-проект по изготовлению накладок для почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники.

Список используемых источников

1. Твердофазная обработка давлением полимерных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / К. В. Шапкин, С. А. Иванов, Д. О. Завражин [и др.] // Перспективные материалы. – 2011. – № 11. – С. 455-461.

2. Завражин, Д. О. Основы реологии полимеров и технологические методы переработки полимерных материалов : Учебное электронное издание / Д. О. Завражин, О. Г. Маликов, П. С. Беляев. – Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, 2017. – 108 с.

3. Остервальдер А., Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора / А. Остервальдер, И. Пинье. // М.: Альпина Паблишер, 2016. – 288 с.

4. Аакер Д., Маркетинговые исследования / Д. Аакер, В. Кумар, Дж. Дей. // СПб.: Питер, 2004. – 224 с.

5. Бланк С., Четыре шага к озарению. Стратегии создания успешных стартапов // М.: Альпина Паблишер, 2017. – 368 с.

6. Альварес С. Как создать продукт, который купят. Метод *Lean Customer Development* // М.: Альпина Паблишер, 2016. – 248 с.

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Шварц Е.Б.[1], Быковская Е.В.[2]
[1-]Муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение г. Ивантеевка городского округа Пушкинский Московской области «Образовательный центр № 7»,
[2-]ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»,
cb_shvarts@list.ru

В жизни россиян и, в частности, обучающихся различных форм и уровней образовательных учреждений, от школьного до высшего образования, происходят события, которые им приятны или неприятны, но они обязаны с ними считаться, ибо эти события – веление, данность времени и от них никуда не деться. Лучшей адаптации к новым условиям, по мнению многих экспертов, относится внедрение обучения, получившее распространенное название-понятие «функциональное образование».

Что же такое «функциональное образование»? Является ли оно альтернативой традиционному образованию или оно дополняет его?

Традиционное, так называемое дисциплинарное образование, например, инженерное, технико-техническое, с акцентом на высокую актуальную инновационность, наполняет обучающегося учебной информацией в определенной области знаний. При этом ученик изучает социологию, статистику, финансы и другие учебные дисциплины. Возможный результат-усвоение учебной информации по отдельным дисциплинам мешает студенту систематизировать ее в комплекс умений, необходимых для выполнения конкретных функций в фирме. Например, для выполнения функции маркетингового исследователя обучающийся должен уметь правильно формулировать цель исследования, разрабатывать инструментарии сбора информации о рынке конкретных товаров или услуг, собирать и систематизировать информацию, анализировать факторы, влияющие на сбыт данного товара или услуг на разных сегментах рынка и т.д. Готовность к выполнению указанной функции складывается из знаний различных учебных дисциплин: социологии, статистики, маркетинга, экономики в различном объеме и пропорциях. Студенту сложно, а порой невозможно осмыслить и грамотно совместить эти пропорции и объемы. Эту проблему решает за него функциональная технология обучения, которая систематизирует дисциплинарные знания и умения по функциям, для выполнения которых готовится студент, например, в качестве введенной в учебный процесс системы проектной деятельности.

Такая передача учебной информации, во-первых, делает каждое учебное занятие многодисциплинарным, во-вторых, позволяет отсечь значительный объем дисциплинарной учебной информации, которая не пригодится специалисту при выполнении его будущих функций. Поэтому студент

не изучает все проблемы социологии, статистики, финансов и других дисциплин, а только те, которые нужны для освоения конкретных деловых профессий. Время, высвободившееся за счет освобождения обучающего от ненужной ему информации, используется для углубления тех знаний и умений, без которых нельзя обойтись...

Что такое «функциональная грамотность»? Термин был введен ЮНЕСКО в 1957 году. Академик А. А. Леонтьев сформулировал его как «функционально грамотный человек — это человек, который способен использовать все постоянно приобретаемые в течение жизни знания, умения и навыки для решения максимально широкого диапазона жизненных задач в различных сферах человеческой деятельности, общения и социальных отношений» [1]. Сегодня базовые теоретические знания, полученные выпускниками учебных заведений, становятся далеко не главным содержанием образования, на первый план выходит проблема формирования у них функциональной грамотности, которая стала стратегической задачей российской системы образования. Институт стратегии развития образования Российской академии образования определяет такие основные направления формирования функциональной грамотности, как читательская грамотность, математическая грамотность, естественнонаучная грамотность, финансовая грамотность, глобальные компетенции, креативное мышление, иностранный язык.

Функциональная грамотность сегодня – базовое образование личности, которое позволяет выпускнику профессионального образования, выйдя из стен колледжа или высшего учебного заведения интегрироваться в общество, строить социальные отношения, уметь решать различные жизненные задачи, плодотворно трудиться и самореализовываться. Это залог успешной деятельности в сегодняшнем быстроменяющемся мире, где необходим высокий уровень знаний и умений для полноправного и эффективного участия в экономической, политической, гражданской, общественной и культурной жизни общества и страны. Формирование функционально грамотных людей – важнейший показатель уровня социального развития общества. Объективной исторической закономерностью в информационном обществе в настоящее время является закономерное повышение требований к уровню образованности человека [2].

В связи с новыми требованиями ФГОС в системе высшего и среднего профессионального образования в корне меняются технологии обучения создаются инновационные образовательные программы, высокоэффективные конкурентоспособные системы подготовки технических кадров [3]. Под инновационными методами в профессиональном образовании подразумеваются методы, которые основаны на использовании современных достижений науки и информационных технологий. Они направлены на повышение качества подготовки будущих специалистов путем развития у студентов творческих способностей и создания 4 условий для их самореализации. На занятиях студенты учатся работать с информацией, обрабатывать ее, т.е. переходят на деятельностный процесс обучения, становясь субъектом учебного процесса. Такая инновационная деятельность способствует развитию у них творческого

мышления, усвоению информации, активности на занятиях, взаимодействию с преподавателем.

В современном обучении применяются такие инновационные методы, как активные и интерактивные. Активные методы предполагают использование на занятиях индивидуальных учебников, компьютеров, они направлены на раскрытие творческого потенциала студента, его коммуникативных способностей, формирование своего мнения. Интерактивные методы способствуют усвоению знаний посредством взаимодействия студентов друг с другом на коллективных занятиях. Преподаватель выступает здесь как координатор процесса, который разрабатывает интерактивные задания, консультирует и контролирует выполнение заданий. Такие инновационные методы позволяют студентам проявлять активность на занятиях, выражать свое мнение и вступать в дискуссию с преподавателем, и это, делает процесс обучения более продуктивным.

Благодаря современным технологиям, цифровизации образования, внедрению интернета, студенты имеют доступ к любой информации, а реальная жизнь ждет от вчерашних выпускников не только теоретических знаний, но и практических навыков. Эти два факта требуют существенной перестройки образовательного процесса. Так, возрастает роль самостоятельной работы студентов, когда они сами ищут нужную информацию, изучают ее и делают свои выводы. Преподаватель все меньше тратит время на объяснения, а больше организовывает групповую активность и проектную работу. В его функции теперь входят такие задачи, как заинтересовать студента в обучении, поддержать его мотивацию, разработать интерактивные проекты, а главное – научить студента логически и творчески мыслить, критически воспринимать информацию, искать доказательства ее достоверности.

Бурное развитие новых технологий и наступление информационной эпохи, повлекшие кардинальные перемены в обществе, также преобразовали мышление человека, его интеллектуальный потенциал. Закономерным стало возрастание спроса на высоко образованных профессионалов, которые готовы работать в новых реалиях с использованием инновационных практик, критически мыслящей и функционально грамотной личности, способной к непрерывному обновлению своих знаний и смене области их применения в быстроменяющемся мире.

За последние десятилетия внедряются инновационные образовательные программы, которые позволяют обучающимся с детства, от школьной до студенческой скамьи, привить интерес к учебе и будущей профессии, развить его личностный потенциал. Глобализация, разработка новых технологий и переход всех сфер жизни в цифровое пространство определили развитие современных трендов в системе формирования функциональной грамотности выпускников профессионального образования, таких как:

1. Тотальная цифровизация (total digitalization)

Важный тренд современного образования, это не только переход на дистанционное обучение, но также увеличение роли мобильных технологий и создание цифровой среды для обучающихся.

2. Массовые открытые онлайн-курсы (МООК)

Такое глобальное изменение в системе образования дает возможность получить образование большому количеству людей независимо от их местонахождения и делает получение знаний открытым и интерактивным.

3. Технологии VR и AR (виртуальная реальность и расширенная реальность)

На первый план выходит решение кейсов, проблемных задач, разработка учебного проекта, студенты получают живой опыт, учатся критически мыслить, на практике отрабатывают полученные знания и навыки, лучше усваивают информацию, учатся коммуницировать и сотрудничать с другими, поддерживают высокий уровень мотивации к учебе.

4. Изменение роли преподавателя

Важная тенденция изменения системы образования: преподаватель перестает быть единственным источником знаний, а становится координатором, который создает и курирует образовательный процесс.

5. Непрерывное образование (lifelong learning)

Предполагает рост потенциала личности в течение всей жизни, от школьной подготовки до профессиональной, в соответствии с потребностями личности и общества. Сегодня как никогда помимо базового образования (общеобразовательной подготовки) особую актуальность приобретает непрерывное образование в связи с интенсивным внедрением инновационных технологий, быстрым устареванием знаний, исчезновением некоторых профессий, трансформацией рынка труда. В современном мире для достижения успеха на профессиональном поприще необходимо постоянно совершенствоваться и личностно, и профессионально (следить за новыми технологиями и разработками, расширять знания, обновлять навыки), т.е. формирование функциональной грамотности – неизбежная часть профессиональной карьеры.

Основная задача формирования функциональной грамотности выпускника – научить решать жизненные задачи в различных сферах деятельности на основе прикладных знаний, полученных в профессиональных образовательных учреждениях – колледжах, техникумах. Качество образования выпускника профессионального образования сегодня оценивается через его функциональную грамотность. По мнению исследователей, функциональная грамотность предполагает развитие таких качеств личности, необходимых в XXI веке, как критическое мышление, аналитические способности, коммуникативность, системное мышление, работа в команде.

Главными функциональными качествами личности также являются инициативность, способность творчески мыслить и находить нестандартные решения, умение выбирать профессиональный путь, готовность обучаться в течение всей жизни. Проблема формирования функциональной грамотности у студентов профессионального образования в последние годы была предметом исследований многих российских и зарубежных ученых. Одни рассматривают функциональную грамотность как часть культуры информационного общества,

другие полагают, что знание иностранных языков влияет на овладение функциональной грамотностью.

В 2019 году НИИ профессионального образования разработана в соответствии с ФГОС «Концепция формирования функциональной грамотности студентов среднего и высшего профессионального образования», внедрение которой будет способствовать повышению качества среднего профессионального образования, эффективности трудоустройства выпускников, осваивающих образовательные программы СПО, повышению общего уровня образованности молодых рабочих и специалистов среднего звена [4, 5].

Качество образования выпускника как общеобразовательного учреждения, профессионального, так и ВУЗа сегодня определяется уровнем его функциональной грамотности, что становится основой его жизненной и профессиональной успешности.

Список используемых источников

1. ФГОС среднего профессионального образования [Текст]: утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 17 октября 2014 г. / Министерство образования и науки Российской Федерации. – Москва, 2014.

2. Новый экономический словарь / под. ред. А. Н. Азриляна. – М. : Ин-т новой экономики, 2010. – 1088 с.

3. Экономическая энциклопедия / гл. ред. Л. И. Абалкин. – М. : Экономика, 1999. – 1055 с.

4. Фролова П. И. Формирование функциональной грамотности как основа развития учебно-познавательной компетентности студентов технического вуза в процессе изучения гуманитарных дисциплин: монография. Омск: Изд-во СибАДИ, 2012. 196 с.5. Блинов В. И., Рыкова Е. А., Сергеев И. С. Концепция формирования функциональной грамотности студентов среднего профессионального образования // Профессиональное образование и рынок труда. 2019. № 4. С. 4–21.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА КРОВЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ПОЛИМЕР-ПЕСЧАНОГО КОМПОЗИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВТОРИЧНЫХ ПЛАСТМАСС

Ермаков А.С., Фижбах Т.В., Чуприкова А.А.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

В настоящее время рынок кровельных материалов постоянно расширяется. Наряду с применением новых технологий возрастает и потребность в увеличении объемов производства кровельных материалов в связи с ростом объемов индивидуального строительства.

Применение новых видов кровельных материалов и методов переработки полимеров позволит удовлетворить потребности значительного количества индивидуальных застройщиков, тем самым сэкономив его время и упростив ему жизнь [1].

Идея данного проекта заключается в разработке полимер-песчаной черепицы как современного вида кровельного покрытия, который совмещает в себе высокое качество и доступную цену. Полимер-песчаная черепица сочетает в себе лучшие качества натурального материала.

Главными преимуществами черепицы являются:

- долговечность и водонепроницаемость материала;
- устойчивость в УФ-лучам;
- высокая шумоизоляция;
- быстрый и легкий монтаж;
- материал не поддается коррозии;
- незначительный вес материала;
- большая цветовая палитра.

На рисунке 1 представлена бизнес-модель проекта, состоящая из девяти структурных блоков и разработанная на основе шаблона бизнес-модели А. Остервальдера и И. Пинье. В этой модели можно увидеть описание девяти ключевых составляющих данного бизнес-проекта [2].

После генерации самой идеи для проекта была проведена оценка рынка доставки продуктов и были рассчитаны приблизительные показатели *PAM*, *TAM*, *SAM*, *SOM*, из расчета, что стоимость одного кв. метра черепицы составляет 750 рублей (рис. 2) [3, 4].

Помимо этого, была построена схема комплекса 4*P*, основанная на основных «координатах» маркетингового планирования: продукт, цена, каналы распространения и продвижение продукта (рис. 3) [5].

Исходя из рисунка 3 можно заметить, что оптовая покупка одного кв. метра черепицы обойдется покупателю в 750 рублей [6]. На данном этапе организация розничной продажи черепицы нецелесообразна.

8.Ключевые партнеры	7.Ключевые виды деятельности	2.Ценностное предложение	4. Взаимоотношения с клиентами	1.Сегменты потребителей
Строительно-отделочные базы, магазины Поставщики вторсырья (пластмасс)	НИР Производство Проектирование Сервис Доставка Маркетинг	Прочность Долговечность Износостойкость	Персональная поддержка Самообслуживание Автоматизированное обслуживание	Строительно-отделочный сегмент рынка
	6. Ключевые ресурсы Оборудование для производства изделий, сырье (СВМПЭ), персонал, финансы		3. Каналы распространения Прямые Непрямые	
9. Структура расходов Затраты на производство, аренда помещения, зарплата персонала, маркетинговые и рекламные компании, налоги			5. Потоки доходов Продажа продукта Предоставление услуг по изготовлению изделий по индивидуальным заказам клиентов	

Рис. 1. Бизнес-модель проекта

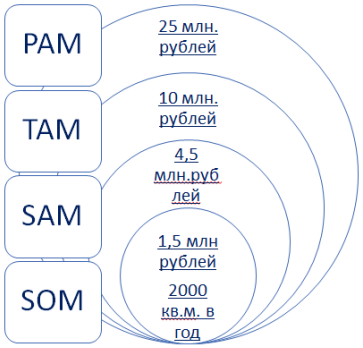


Рис. 2. Основные показатели оценки размера рынка



Рис. 3. Схема 4*P*

Традиционные аналоги: металлочерепица, профлист, шифер, гибкая черепица, шифер, мягкие кровельные материалы. Для каждого вида можно отметить свои особенности монтажа и эксплуатации. Самые важные среди них:

- Нагрузка на фундамент и несущие конструкции.
- Суммарная нагрузка на кровлю.
- Конфигурация крыши.
- Эксплуатационные характеристики.
- Назначение строения и крыши.
- Стоимость.
- Внешний вид.

Как и любой другой новый продукт, данную разработку необходимо представить публике и в дальнейшем вывести ее на рынок. Сначала на региональный, затем на федеральный, а позже и на мировой. В связи с этим должен быть организован ряд мероприятий по выводу продукции на рынок [7].

Описание и стоимость основных мероприятий до начала продаж продукции представлено в табл. 1.

1. Стоимость мероприятий

Мероприятия по выводу продукта на рынок	Стоимость мероприятий, руб.
Знакомство с клиентом	*50 тыс.*
Разработка продукта	*600 тыс.*
Альфа и бета -тесты	*150 тыс.*
Сертификация продукции	*300 тыс.*
Запуск производства	*1,3 млн.*
Маркетинг и начало продаж	*300 тыс.*

Кроме того, была рассчитана примерная «дорожная карта» создания продукта, изображенная на рис. 4.

Исходя из данной карты, можно сделать вывод, что при удачном стечении обстоятельств и выполнении всех шагов в установленные сроки, организация продаж продукции стартует в конце 2023 года.

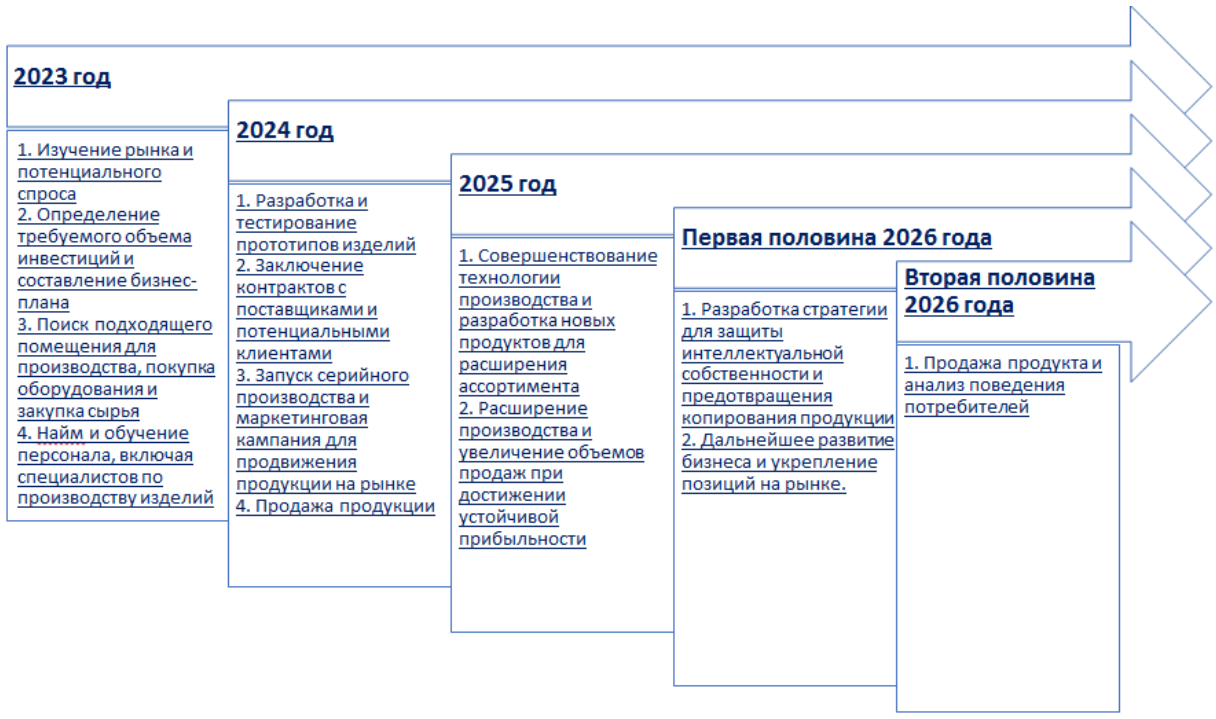


Рис. 4. «Дорожная карта» создания

Для того чтобы раскрыть будущему инвестору привлекательность проекта была проведена предварительная оценка денежных потоков проекта в период с 2021 по 2024 год. Предполагаемый доход и затраты по проекту приведены в табл. 2.

2. Поток денежных средств в проекте

Денежные потоки проекта	*Периоды (годы) реализации проекта*			
	2022	2023	2024	2025
Чистый доход	0,2 млн. руб.	0,6 млн. руб.	2,8 млн. руб.	8,8 млн. руб.
Инвестиционные затраты	2,3 млн. руб.	0,15 млн. руб.	0,05 млн. руб.	-
Собственные затраты	0,4 млн. руб.	-	-	-

Далее были рассчитаны такие показатели как: *NPV*, *PI*, *ROI* и период реализации при дисконтной ставке в 25%. В результате расчетов были получены значения показателей равные:

6) *NPV* = 5,2 млн. рублей;
7) *PI* = 4,12;
8) *ROI* = 5,1%;
9) Период реализации бизнес-плана = 4 года.

Исходя из расчетов, было вычислено оптимальное предложение соинвестору, изображенное на рис. 5.



Рис. 5. Предложение соинвестору

В результате проделанной работы был представлен бизнес-проект по организации производства нового вида кровельных материалов из полимер-песчаного композита с использованием вторичных пластмасс.

Список используемых источников

1. Твердофазная обработка давлением полимерных композитов на основе сверхвысокомолекулярного полиэтилена / К. В. Шапкин, С. А. Иванов, Д. О. Завражин [и др.] // Перспективные материалы. – 2011. – № 11. – С. 455-461.

2. Остервальдер А., Построение бизнес-моделей. Настольная книга стратега и новатора / А. Остервальдер, И. Пинье. // М.: Альпина Паблишер, 2016. – 288 с.

3. Аакер Д., Маркетинговые исследования / Д. Аакер, В. Кумар, Дж. Дей. // СПб.: Питер, 2004. – 224 с.

4. Бланк С. Четыре шага к озарению. Стратегии создания успешных стартапов // М.: Альпина Паблишер, 2017. – 368 с.

5. Альварес С. Как создать продукт, который купят. Метод *Lean Customer Development* // М.: Альпина Паблишер, 2016. – 248 с.

6. Интеллектуальная собственность для бизнеса. – Всемирная организация интеллектуальной собственности [Электронный ресурс]. *URL*: *www.wipo.int/sme/ru/ip_business/*

7. Экономика инноваций: учебное пособие. – М.: Экон. ф-т МГУ им. М.В. Ломоносова, 2016. – 310 с. [Электронный ресурс]. *URL*: *http://istina.msu.ru/media/publications/book/d7d/1fb/27544149/13_Ekonomika_innovatsij_ITOG.pdf*.

ВОЗМОЖНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МОБИЛИЗАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ: АСПЕКТЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО РОСТА КАК ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СУВЕРЕНИТЕТА

Крюков А.В., Быковская Е.В.
ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Сегодня для России актуальны пересмотр стратегических приоритетов и переоценка своей промышленной политики при осознании новых технологических вызовов с целью преодоления нарастающего санкционного давления, так как ее современное экономическое пространство пребывает в состоянии высокой неопределенности перспектив дальнейшего развития. Рост неопределенности во внешней среде вынуждает осуществлять поиск эффективных инструментов управления ею. Российская экономика, унаследовавшая многие хозяйственные и управленческие институты СССР, имеет предрасположенность к внедрению модели мобилизационной экономики для формирования технологического суверенитета. Мобилизационная экономика – это экономика, ресурсы которой сосредоточены и используются для противодействия угрозам существования страны и этноса как целостной системы [1].

Говоря об истории понятия и его трансформации, стоит отметить, что в научный оборот понятие мобилизационной экономики ввел известный американский экономист, представитель кейнсианства Сеймур Харрис в работе «Инфляция и антиинфляционная политика американских штатов» [1]. Безусловно, этот термин широко и активно использовался и в СССР. Понятие «мобилизационной экономики» вошло в научный лексикон в конце 1950-х годов и получил развитие после развала Советского Союза, когда ученые начали исследовать феномены советской и русской хозяйственной системы и объяснять ее экстенсивным (мобилизационным) типом развития страны, в противоположность интенсивному (инновационному), утверждая, что постоянное воспроизводство компонентов мобилизационной системы обусловлено доминированием приоритетов государства и компенсационной системы, как выработанного многими поколениями инструментария «перенастройки» социума к чрезвычайным условиям жизнедеятельности.

Мобилизационная экономическая модель – это модель, в которой происходит концентрация всех ресурсов, людских, сырьевых, финансовых, политических, государственных для максимально эффективного достижения поставленной цели [1]. Мобилизационная экономика – это экономика, средства которой сконцентрированы в государственных институтах власти, и применяются с целью противодействия угрозам жизни государства и этноса равно как целостной системы – Глазьев С.Ю. [2] Мобилизационная

экономика – это такая система регулирования экономической деятельности, которая позволяет обеспечить максимально полное использование имеющихся производственных ресурсов Иванов О.Б., Бухвальд Е.М. [3].

Принципами реализации мобилизационной экономики государства, по мнению многих экспертов-экономистов, являются: 1. Принцип главного звена. Он предполагает концентрацию ресурсов в том звене экономической системы, от которой зависит успех противодействия нависшей над системой угрозе, в том числе за счет их изъятия из других менее важных, с точки зрения достижения поставленной цели, звеньев экономики. 2. Принцип достижения цели любой ценой и преимущественное использование в этой связи неэкономических методов воздействия на тех, от кого зависит достижение цели. 3. Принцип командности. Он предполагает то, что все субъекты экономики представляют собой единую команду, совместно решающую общую задачу. 4. Принцип дискретности. Мобилизационность не может быть постоянно существующим явлением. Если достижение поставленной цели затянулось во времени, то неизбежно ослабление мобилизационности, в силу возникновения у вовлеченных в нее людей определенной усталости. 5. Принцип сознательности. Необходимость мобилизационности и связанных с ней жертв ради противодействия нависшей над системой угрозе должна осознаваться вовлеченными в нее субъектами. В этом случае данный принцип способен противодействовать предыдущему, и мобилизационность в обществе может поддерживаться относительно долго [4].



Рис. 1. Производственные возможности, определяющие потенциал экономического роста в стране

Экономический рост является одной из важнейших экономических целей каждой страны. Расширенное воспроизводство обеспечивает экономический рост и постоянное увеличение возможностей экономики удовлетворять растущие потребности. До 60 – 70-х гг. XX в. преобладал экстенсивный рост. Поскольку экономический рост обеспечивается за счет дополнительных

капиталовложений, часть национального дохода отвлекается от текущего потребления на расширение производства, т.е. ради будущего потребления. Поэтому проблемой воспроизводства является проблема выбора между накоплением и потреблением (между сегодняшним и завтрашним потреблением) [5].

В этом контексте обратимся к классификации уровней богатства (производственных возможностей) национальной экономики:

– нулевой уровень – потребление чужих товаров и услуг (импорт). Отсутствие производства в стране. Доход от перепродажи импорта.

– первый уровень – производство товаров на чужом оборудовании. Импортозависимость от производителя.

– второй уровень – производство собственного оборудования для производства различных товаров (сборочный уровень). Импортозависимость от производителей станков, сборочных линий, другого воспроизводственного оборудования, необходимого в производстве, от уровня доступных инноваций.

– третий уровень – производство оборудования для производства оборудования [5].

Эти 3 уровня производства формируют Производственную систему в стране, которая включает большое количество взаимосвязей участников, и которой для своего существования и развития необходим развитый сектор Услуг или Система дистрибуции. В общем смысле, экономическая система состоит из производственной системы в стране, сферы услуг и взаимоотношений (кооперационных связей) между ними.



Источник: J'son & Partners Consulting

Рис. 2. Экономическая система

Производственный сектор производит физическую продукцию, воспроизводственный сектор обеспечивает научно-технологические совершенствования и рост производительности по всем отраслям, а система

распределения (дистрибуции) – торговля, финансы, различные посредники – обеспечивают распределение продукции и превращение ее в деньги. Для роста экономики, таким образом, нужно обязательное присутствие и непрерывное развитие всех трех компонент: производство товаров, развитая сфера услуг и кооперационных связей, непрерывная система воспроизводства, обеспечивающая рост производительности во всех отраслях. При этом ни один из элементов экономической системы не является более важным, чем другие. Для любой страны производственный сектор и поддержка собственного воспроизводственного уровня является стратегически важной национальной задачей для развития экономики, сферы услуг (как мы рассмотрим далее) и обеспечения роста доходов и национального благосостояния. Та страна получит преимущества в результате технологических и цифровых инноваций, в которой развиваются, взаимодействуют, совершенствуются и растут все составляющие экономики. Это так называемое воспроизводственное оборудование (производство средств производства для производства средств производства – например, станки) – особый, главный вид машиностроения (рис.3) [6]. Развитый воспроизводственный уровень в стране способен обеспечить быстрый рост промышленности по всем уровням, а также экономическую независимость и информационную безопасность. Воспроизводственное оборудование формирует условия для расширенного воспроизводства, которое обеспечивает условия для богатства национальной экономики.



Виды воспроизводства

Рис. 3. Виды воспроизводства

Простое воспроизводство – непрерывно повторяющийся процесс производства экономических благ в неизменных размерах. Характерно для доиндустриального хозяйства, где преобладало сельскохозяйственное и ремесленное производство, основанное на использовании ручного труда. При простом воспроизводстве весь прибавочный продукт идет наличное потребление. Простое воспроизводство является основой для расширенного воспроизводства. Расширенное воспроизводство – непрерывно повторяющийся процесс производства экономических благ в увеличенных размерах. При расширенном воспроизводстве возмещается не только израсходованный капитал (использованные сырье и материалы, изношенное оборудование), но и приобретаются дополнительно более совершенные и эффективные средства производства, постоянно повышается квалификация работников, а также появляется источник средств на развитие социальной сферы и охрану

(воспроизводство) окружающей среды. Расширенное воспроизводство возможно только при непрерывном внедрении новейших достижений научно-технического прогресса в индустриальном производстве и применении более эффективных средств производства.

Расширенное производство бывает двух типов: 1) Если национальный продукт увеличивается за счет вовлечения в производство дополнительных факторов – земли, труда, капитала – при их неизменной совокупной эффективности, то такой экономический рост называют экстенсивным. Примеры экстенсивного экономического роста – строительство нового завода, разработка новых источников полезных ископаемых, освоение новых сельскохозяйственных земель (освоение целины, осушение болот и др.). При экстенсивном воспроизводстве масштабы производства увеличиваются за счет привлечения дополнительных трудовых и материально-вещественных факторов производства на прежней технической основе и при том же уровне квалификации работников, т.е. весь прирост товаров и услуг обеспечивается увеличением расходов. Экономика носит затратный характер, а воспроизводство становится фондоемким (техника используется все менее эффективно) и ресурсоемким. Для продолжительного периода воспроизводства такого типа свойственны технический застой, затратный характер роста производства и в итоге – дефицит всех ресурсов.

2) Если объем производства увеличивается при неизменном или уменьшающемся количестве факторов производства, то такой экономический рост называют интенсивным. Интенсивный тип воспроизводства предполагает увеличение реальных производства товаров и услуг за счет качественного совершенствования всех факторов производства – более эффективного использования ресурсов, улучшения способов (технологий) их использования, повышения качества, совершенствования организации производства, труда и управления. В результате достигается повышение производительности труда, отдачи основных фондов, изобретаются и внедряются новые технологии. В современных условиях теории воспроизводства развиваются как теории экономического роста, в которых центральными проблемами являются: 1) поиск факторов, от которых зависит устойчивый экономический рост; 2) разработка экономической политики, регулирование экономического роста.

В связи с этим, воспроизводственный уровень сложно достижим. Однако, если в стране развиты все производственные уровни, то страна, во-первых, сама обеспечивает себя современной продукцией и оборудованием, а, во-вторых, все производства в комплексе и каждое по отдельности создают эффект возрастающей отдачи, когда, чем больше производится продукции – тем ниже ее удельная себестоимость и больше прибыль, что приводит к росту доходов компаний, богатству страны и росту благосостояния граждан.

Список используемых источников

1. Новый экономический словарь / под. ред. А. Н. Азриляна. – М. : Ин-т новой экономики, 2010. – 1088 с.

2. Бодрунов С. Д. Россия на пороге революции // Российская газета. – Спецвыпуск №7228 (62). – Режим доступа: https://rg.ru/2017/03/23/rossii-predrekli-chetvertuiu-industrialnotehnologicheskuiu-revoliuciiu.html

3. Быковская Е.В. Стратегическое управление технологической конкурентоспособностью промышленных предприятий на основе мобилизации внутрихозяйственных резервов [Текст]: Дис. д-ра эконом. наук. Курск, 2019. – 301

4. Всемирный банк [Vsemirnyi bank]. – Режим доступа: http://www.vsemirnyjbank.org

5. Горфинкель В.Я., Швандер, В.А. Экономика предприятия [Текст]: учебник / В.Я. Горфинкель, В.А. Швандер. // М. : ЮНИТИ. Москва, 2002. – С. 302.

6. Иванов В.В. Глобальная гуманитарно-технологическая революция: предпосылки и перспективы [Текст] / В.В. Иванов // Инновации, 2017. – №6 (224). – С. 11 – 16.

Научное электронное издание

СОВРЕМЕННЫЕ ТВЕРДОФАЗНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ТЕОРИЯ, ПРАКТИКА И ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

Материалы XV Международной научно-инновационной молодежной конференции

Редактирование: И. В. Калистратова, Л. В. Комбарова, Е. С. Мордасова
Графические и мультимедийные дизайнеры: Т. Ю. Зотова, Н. И. Кужильная
Обложка, упаковка, тиражирование Т. Ю. Зотовой, Н. И. Кужильной

ISBN 978-5-8265-2667-5



Подписано к использованию 13.12.2023.
Тираж 100 шт. Заказ № 173

Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.
Тел. 8(4752) 63-81-08.
E-mail: izdatelstvo@.tstu.ru