

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XVI Международной научно-практической конференции

22–23 мая 2025 г.

Томск 2025

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

И66

И66 Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2025. – 182 с.

ISBN 978-5-4387-1239-8

Сборник содержит материалы XVI Международной научно-практической конференции по инновационным технологиям в машиностроении, металлургии, сварочном производстве, промышленной безопасности, информационным технологиям и автоматизации производства.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических специальностей.

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

Ответственный редактор

С.А. Солодский

Редакционная коллегия

Н.А. Сапрыкина

А.А. Сапрыкин

А.В. Проскоков

Д.П. Ильященко

М.А. Кузнецов

Е.В. Телипенко

С.В. Разумников

А.Г. Мальчик

П.В. Родионов

ISBN 978-5-4387-1239-8

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2025

Секция 1. Технологии получения и обработки материалов в машиностроении**НЕИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКИСЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ Ti-Al
ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА***Князева А.Г., Караулова А.Ю.* 7**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА НА ПОДЛОЖКЕ КОМПОЗИТОВ
ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УПРОЧНЯЮЩИХ ОКСИДНЫХ ЧАСТИЦ IN SITU***Князева А.Г.* 10**КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАГНИТА ТРАНСПОРТНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА***Корягин С.И., Шарков О.В., Великанов Н.Л.* 12**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИИ
ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ***Девойно О.Г., Луцко Н.И., Пилецкая Л.И.* 15**МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКАНИЯ РЕАКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПАКТОВ***Князева А.Г., Сафронова В.С.* 18**ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУ РАБОЧИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ
КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ НА ПРИВЕДЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ***Шарков О.В., Калинин А.В., Малиновский Д.* 22**ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Cu-Al-Fe НА ИХ СТРУКТУРУ
И СВОЙСТВА***Пань М., Клопотов А.А., Утьев О.М.* 24**СОПРЯЖЁННАЯ ЗАДАЧА ДИФФУЗИИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕИДЕАЛЬНОГО КОНТАКТА
МЕЖДУ МАТЕРИАЛАМИ***Повернов С.Е., Князева А.Г.* 28**СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА***Ильященко Д.П., Лаврова Е.В.* 32**ВЛИЯНИЕ РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОВ НА ДАВЛЕНИЕ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИОННОЙ
ВОЛНЫ В ПРОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ***Розный А.А., Собачкин А.В., Логинова М.В.* 35**ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОКРЫТИЙ ПОРОШКОВОЙ
ПРОВОЛОКОЙ С КАРБИДНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ***Прибытков Г.А., Михно А.Р., Барановский А.В., Фирсина И.А.* 38**ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ***Кузнецов М.А., Гуляев И.А., Кербес А.Д.* 41**АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА
ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕГО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ***Абабков Н.В., Смирнов А.Н., Пимонов М.В.* 43**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА
С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ***Гаспарова Л.Б., Якимов М.В., Устинов К.Д.* 47**ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ СКАНИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ
ИЗ СПЛАВА ALSiMG МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ***Сапрыкина Н.А., Сапрыкин А.А., Ибрагимов Е.А.* 51**РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ***Дмитриев А.И., Шилько Е.В.* 54**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛС
НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА Al15Sn5Pb***Акимов К.О., Никонов А.Ю., Дмитриев А.И.* 58**ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ***Григорьева Е.Г.* 61

КОМПОЗИТНЫЙ ПОРОШОК Al-Si-Mg ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ: СВОЙСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ <i>Сапрыкин А.А., Гусева Т.С.</i>	64
ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭФФЕКТ ПРЕРЫВИСТОЙ ТЕКУЧЕСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА <i>Баранникова С.А., Исхакова П.В.</i>	66
ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКА ИЗ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ <i>Коростелева Е.Н., Коржова В.В.</i>	68
ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ <i>Марцева М.К.</i>	71
АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЕФОРМАЦИИ ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ СОПРЯЖЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО НАГРУЖЕНИЯ <i>Никонов А.Ю., Дмитриев А.И.</i>	75
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПОЗИТОВ NiAl-TiC, ПОЛУЧЕННЫХ НАПЛАВКОЙ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ <i>Акимов К.О., Иванов К.В.</i>	78
СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВА Al-10Sn-10Pb <i>Скоренцев А.Л., Русин Н.М., Лихарев В.Е.</i>	81
Секция 2. Информационные технологии и автоматизация производственных процессов	
ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИМИ И ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ОБЯЗАННОСТЯМИ МЕНЕДЖЕРА <i>Захарова А.А., Буханцов В.В.</i>	87
АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАЧИ ЯЧЕЕК В СЕТЯХ АТМ <i>Батенков К.А.</i>	88
СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «СИМУЛЯЦИЯ УПРУГОГО УДАРА ШАРОВ» НА ЯЗЫКЕ C <i>Теслева Е.П., Ващенко И.И.</i>	91
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ ДОКУМЕНТОВ ТРЕБОВАНИЯМ ОФОРМЛЕНИЯ <i>Захарова А.А., Ведерникова С.Д., Козин К.Н.</i>	93
СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЫ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЮТИ ТПУ <i>Теслева Е.П., Забелина С.И.</i>	96
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ОСВОЕНИЯ СТУДЕНТАМИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ПРОФЕССИЯМ РЫНКА ТРУДА <i>Захарова А.А., Марченко А.С.</i>	98
ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИЕ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ <i>Ивушкина Н.В., Морозова М.В.</i>	102
ПРОГРАММА ДЛЯ ПОДБОРА УЧАСТНИКОВ СТУДЕНЧЕСКОЙ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА <i>Захарова А.А., Куминов П.А.</i>	105
НЕЙРОАССИСТЕНТЫ В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕСОМ <i>Полицинская Е.В., Сушко А.В.</i>	108
DATA MINING И РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ <i>Захарова А.А., Сарафанникова А.С.</i>	111
МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА <i>Телипенко Е.В.</i>	114

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «СИМУЛЯЦИЯ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА» НА С# WINFORMS	
<i>Теслева Е.П., Ткачев Е.А.</i>	118
ОЦЕНКИ УРОВНЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ	
<i>Фисоченко О.Н., Лизачев С.В.</i>	120
РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ДЛЯ РАСШИРЕННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ КАЛЕНДАРЯ В БИТРИКС24	
<i>Лукьянов А.К., Абрамова М.М.</i>	125
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ	
<i>Разумников С.В.</i>	126
СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	
<i>Проскоков А.В.</i>	128
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТЕОРИИ ИГР К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОНКУРЕНЦИИ МЕЖДУ УНИВЕРСИТЕТАМИ	
<i>Нестерук Д.Н.</i>	132
РАЗРАБОТКА VR-СИМУЛЯТОРА ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ В ЭКСТРЕННЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЛЬДУ ВОДОЁМА	
<i>Саклаков В.М., Овдин А.Е.</i>	135
Секция 3. Промышленная безопасность	
ОБЗОР НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ	
<i>Деменкова Л.Г., Костина А.С.</i>	140
ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СУБЪЕКТЕ ХМАО-ЮГРЕ	
<i>Ким В.А., Орлова К.Н.</i>	142
ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕПРОВОДОВ ПОСЛЕ ДИАГНОСТИКИ	
<i>Татаринцев В.А., Ламонов Д.А.</i>	146
АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Луговцова Н.Ю., Мазурин В.А.</i>	150
ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ	
<i>Мальчик А.Г., Набиуллина В.К.</i>	153
КОМПЛЕКТНОСТЬ, ПОРЯДОК ХРАНЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРУТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ	
<i>Родионов П.В., Асанов И.К.</i>	155
АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ	
<i>Родионов П.В., Кольчурин И.Н., Когтева Д.П.</i>	157
КОНТРОЛЬ МЕРОПРИЯТИЙ ОСОБОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО РЕЖИМА ОРГАНАМИ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ	
<i>Родионов П.В., Пенно А.А., Кольчурин И.Н.</i>	162
ПОРЯДОК РАБОТЫ РУКОВОДИТЕЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕВОДЕ С МИРНОГО НА ВОЕННОЕ ВРЕМЯ	
<i>Родионов П.В., Пимкина Н.А.</i>	167
ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
<i>Татаринцев В.А., Тишкин Г.Ю.</i>	170
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ КАСКАДНОГО ИМПАКТОРНОГО УСТРОЙСТВА	
<i>Балачков М.М., Шихов Д.С.</i>	174
ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫДАЧИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СОГЛАСНО ЕДИНЫМ ТИПОВЫМ НОРМАМ	
<i>Деменкова Л.Г., Костина А.С.</i>	176
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	181

Секция 1

**Технологии получения и обработки
материалов в машиностроении**

НЕИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОКИСЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ Ti-Al ИНТЕРМЕТАЛЛИДНОГО СПЛАВА

А.Г. Князева², д.ф-м.н., проф., А.Ю. Караулова¹, студент

¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ^aaka1009202@gmail.com

Аннотация: Представлена математическая модель неизо термического окисления поверхностного слоя интерметаллидных сплавов TiAl и Ti₃Al в кислородосодержащей среде. Модель описывает кинетику коррозионных процессов с учетом концентрации кислорода в окружающей среде и изменения температуры и состава сплава, которые влияют на скорость и механизмы коррозии. В отличие от существующих изотермических моделей, данная работа предлагает неизо термический подход, позволяющий более точно моделировать реальные условия эксплуатации. Модель не разделяет диффузию по границам и объему зерен, но учитывает набор химических реакций, происходящих в процессе окисления. Актуальность разработки обусловлена необходимостью прогнозирования кинетики коррозии для обеспечения надежности и долговечности инженерных конструкций, изготовленных из сплавов на основе TiAl.

Ключевые слова: интерметаллидный сплав, неизо термическая модель, диффузия.

Abstract: A mathematical model of non-isothermal oxidation of the surface layer of TiAl and Ti₃Al intermetallic alloys in an oxygen-containing environment is presented. The model describes the kinetics of corrosion processes, taking into account oxygen concentration in the environment and changes in temperature and alloy composition, which affect the rate and mechanisms of corrosion in contrast to existing isothermal models, this work proposes a non-isothermal approach that allows for a more accurate simulation of real-world operating conditions. The model does not separate diffusion along grain boundaries and within the grain volume, but it does consider a set of chemical reactions occurring during the oxidation process. The relevance of the development is due to the need to predict corrosion kinetics to ensure the reliability and durability of engineering structures made of TiAl-based alloys.

Keywords: intermetallic alloy, non-isothermal model, diffusion.

Введение

Коррозия, являясь физико-химическим взаимодействием материала и окружающей среды, приводит к изменению свойств, как самого материала, так и среды, в которой он находится [1]. Коррозионное повреждение негативно сказывается на функциональных характеристиках материала, в отличие от контролируемых процессов деградации. Эффективная борьба с коррозией требует понимания механизма разрушения, оценки внешних и внутренних факторов, и выбора адекватных методов защиты.

Коррозионные исследования включают физическое и математическое моделирование [2]. Физическое моделирование, несмотря на свою важность, сложно в экстраполяции данных на реальные конструкции. Математическое моделирование, основанное на построении уравнений, связывающих характеристики коррозии с различными факторами, является эффективным инструментом, особенно при использовании методов планирования эксперимента. Достоверность получаемых данных обеспечивается проведением параллельных опытов и учетом формы и размеров образцов, регламентируемых соответствующими стандартами.

Зависимость коррозионного процесса от свойств металла и среды обусловлена гетерогенной и многостадийной природой коррозии, протекающей на границе раздела фаз [3]. Внутренние и внешние факторы определяют термодинамическую вероятность и кинетику коррозии. Исследование коррозии требует индивидуального подхода и детального изучения механизма в каждом конкретном случае [4]. В исследованиях коррозии сплавов в кислородосодержащей среде важную роль играют диффузионные процессы [5–9]. Диффузия, как термоактивированный процесс перемещения атомов, обеспечивает транспорт реагентов (кислорода) и продуктов реакции (оксидов) к и от поверхности металла.

Целью работы является построение математической модели, описывающей кинетику коррозионных процессов, протекающих в сплавах TiAl и Ti₃Al в кислородосодержащих средах, а также исследование влияния концентрации кислорода, температуры и состава сплава на скорость и механизмы коррозии.

Математическая модель

Разработана неизо термическая математическая модель для описания окисления интерметаллидных сплавов TiAl и Ti₃Al в кислородосодержащей среде. Модель учитывает диффузию кислорода, формирующего оксидные слои на поверхности сплава, и химические реакции, протекающие в процессе окисления. Предложенная модель позволяет рассматривать процессы в неизо термических условиях. Обозначения компонентов и химические стадии приведены в таблице 1.

Таблица 1

Обозначения концентраций и химические стадии

Для Ti_3Al :	Для $TiAl$:
$[O]=C$ $[Ti_3Al] = C_1$ $[TiO] = C_2$ $[TiAl] = C_3$ $[Al_2O_3] = C_4$ $[TiO_2] = C_5$ $C_1=1-(C+C_2+C_3+C_4+C_5)$	$[O]=C$ $[Ti] = C_1$ $[TiO] = C_2$ $[Al] = C_3$ $[Al_2O_3] = C_4$ $[TiO_2] = C_5$ $[TiAl] = C_6$ $C_6=1-(C+C_1+C_2+C_3+C_4+C_5)$
1. $Ti_3Al+2O \rightarrow 2TiO+TiAl$ 2. $TiO+O=TiO_2$ 3. $2TiAl+5O=2TiO+Al_2O_3$	1. $TiAl=Ti+Al$ 2. $Ti+O=TiO$ 3. $2Al+3O=Al_2O_3$ 4. $TiO+O=TiO_2$ 5. $Ti+Al=TiAl$

Математическая модель включает одномерное уравнение теплопроводности, учитывающее тепловыделение в реакциях:

$$c\rho \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \sum Q_i \omega_i, \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость материала, ρ – плотность материала, T – температура, t – время, λ – коэффициент теплопроводности, Q_i – тепловые эффекты реакции, ω_i – скорости реакции.

Скорости реакций зависят от температуры по закону Аррениуса, а от концентраций в соответствии с законом действующих масс:

$$\omega_i = k_{i0} \varphi_i(C_k) \exp \left[-\frac{E_i}{RT} \right],$$

где k_{i0} – предэкспоненциальный коэффициент, $\varphi_i(C_k)$ – кинетическая функция, зависящая от концентрации, E_i – энергия активации, R – универсальная газовая постоянная.

Кинетические функции $\varphi_i(C_k)$ представлены в табл.2.

Изменение состава в процессе коррозии описываем системой кинетических уравнений

$$\frac{dC_k}{dt} = \varphi_i, \quad i=1 \div 4 \quad (2)$$

которые детально также представлены в табл. 2.

Уравнение диффузии для кислорода, поступающего с поверхности, имеет вид:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D(T, C) \frac{\partial C}{\partial x} \right) - W, \quad (3)$$

где W – это сток компонента за счет химических реакций (табл. 2).

$$D = D_0 \exp \left[-\frac{E}{RT} \right] f(C_k) -$$

коэффициент диффузии, $f(C_k)$ – функция концентрации.

Граничные условия имеют вид

$$x=0: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = q_0 F(t), \quad C=C_0, \quad (4)$$

где q_0 – плотность мощности излучения, $F(t)$ – некоторая функция времени, характеризующая внешнее воздействие.

$$x=H: -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T - T_e), \quad \frac{\partial C_k}{\partial x} = 0, \quad (5)$$

где α – коэффициент эффективных теплопотерь, T_e – температура окружающей среды.

$t=0: T=T_0, C_k=C_{k0}, i=1 \div 6$.

Таблица 2

Кинетические функции и уравнения

Для Ti ₃ Al:	Для TiAl:
$\varphi_1 = k_1 C_1 C^2$ $\varphi_2 = k_2 C_2 C$ $\varphi_3 = k_3 C_3^2 C^5$	$\varphi_1 = k_1 C_6$ $\varphi_1^* = k_1^* C_1 C_3$ $\varphi_2 = k_2 C_1 C$ $\varphi_3 = k_3 C_3^2 C^3$ $\varphi_4 = k_4 C_2 C$
$dC_2 / dt = 2\varphi_1 - \varphi_2 + 2\varphi_3$ $dC_3 / dt = \varphi_1 - 2\varphi_3$ $dC_4 / dt = \varphi_3$ $dC_5 / dt = \varphi_2$	$dC_1 / dt = \varphi_1 - \varphi_1^* - \varphi_2$ $dC_2 / dt = \varphi_2 - \varphi_4$ $dC_3 / dt = \varphi_1 - \varphi_1^* - 2\varphi_3$ $dC_4 / dt = \varphi_3$ $dC_5 / dt = \varphi_4$ $dC_6 / dt = -\varphi_1 + \varphi_1^*$
$W = 2\varphi_1 + \varphi_2 + 5\varphi_3$	$W = \varphi_2 + 3\varphi_3 + \varphi_4$

Задачу решаем численно, используя неявную разностную схему и метод прогонки.

Заключение

В данной работе разработана математическая модель неизотермического окисления интерметаллидных сплавов TiAl и Ti₃Al в кислородосодержащей среде. Предложенная модель, в отличие от существующих изотермических подходов, позволяет учитывать влияние изменения температуры на кинетику коррозионных процессов, что повышает ее адекватность при моделировании реальных условий эксплуатации. Модель описывает диффузию кислорода и химические реакции, приводящие к формированию оксидных слоев. Разработанный математический аппарат позволяет прогнозировать скорость и механизмы коррозии, что является важным шагом для обеспечения надежности и долговечности конструкций, изготовленных из сплавов на основе TiAl. Дальнейшие исследования могут быть направлены на валидацию модели с использованием экспериментальных данных.

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2022-0003.

Список использованных источников:

1. Россина Н.Г. Коррозия и защита металлов. В 2 ч. Ч. 1. Методы исследований коррозионных процессов: учебно-методическое пособие / Н.Г. Россина, Н.А. Попов, М.А. Жиликова, А.В. Корелин. – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 108 с.
2. Бокштейн Б.С. Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы в металлах и сплавах: учебник / Б.С. Бокштейн, Ю.В. Похвиснев. – Москва : Ru-science, 2020.
3. Малютина Ю.Н. Термодинамика фазовых превращений и диффузия в металлах и сплавах: учеб. пособие / Ю.Н. Малютина, И. А. Батаев, О.Г. Ленивецова, ДВ. Лазуренко. – Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. – 108 с.
4. Leronni A. Delamination growth of a sandwich layer by diffusion of a corrosive species / A. Leronni, N.A. Fleck // Journal of the Mechanics and Physics of Solids. – 2023. – Vol. 172. – 105179. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2022.105179>.
5. Chen X. Chemomechanical finite element analysis for surface oxidation of Aluminum alloy / X. Chen, F. Deng, S. Shen // Acta Mechanica. – 2023. – Vol. 234. – P. 1713–1732. – URL: <https://doi.org/10.1007/s00707-022-03463-5>.
6. Hauser T. Oxidation in wire arc additive manufacturing of aluminium alloys / T. Hauser, R.T. Reisch, P.P. Breese [et al.] // Additive Manufacturing. – 2021. – Vol. 41. – 101958. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.101958>.
7. Chepak-Gizbrekht M.V. Grain boundary diffusion effect on Ti3Al alloy oxidation / M.V. Chepak-Gizbrekht, A.G. Knyazeva // Russian Physics Journal. – 2022. – Vol. 65. – № 7. – DOI: 10.1007/s11182-022-02741-y.

8. Chepak-Gizbrekht M.V. Oxidation of TiAl alloy by oxygen grain boundary diffusion / M.V. Chepak-Gizbrekht, A.G. Knyazeva // Intermetallics. – 2023. – Vol. 162. – 107993 с. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.intermet.2023.107993>.

9. Чепак-Гизбрехт М.В. Двумерная модель зернограницной диффузии и окисления / М.В. Чепак-Гизбрехт, А.Г. Князева // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2022. – № 1. – С. 156–166. – DOI: 10.15593/perm.mech/2022.1.12.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТЕЗА НА ПОДЛОЖКЕ КОМПОЗИТОВ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ УПРОЧНЯЮЩИХ ОКСИДНЫХ ЧАСТИЦ IN SITU

А. Г. Князева, д.ф.-м.н., проф.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36*

*Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., Томск, пр. Академический, 2/4*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: anna-knyazeva@mail.ru*

Аннотация. Представлены разные варианты моделей управляемого синтеза композитов из смесей порошков, способных к экзотермическим превращениям. Основные реакции идут в области действия подвижного источника тепла. Упрочняющие оксидные частицы формируются вследствие металлотермических реакций. Двумерные термокинетические и двухуровневые модели реализованы численно. Результаты качественно согласуются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: синтез композитов, управление лазером, упрочняющие частицы, численный эксперимент.

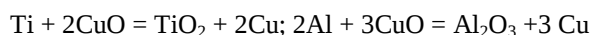
Abstract: Different variants of models of controlled synthesis of composites from powder mixtures capable of exothermic transformations are presented. The main reactions take place in the area of action of a mobile heat source. Strengthening oxide particles are formed due to metallothermic reactions. Two-dimensional thermokinetic and two-level models are realized numerically. The results are in qualitative agreement with experimental data.

Keywords: synthesis of composites, laser control, hardening particles, numerical experiment.

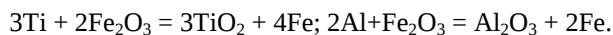
Синтез композитов и композитных покрытий в современных лазерных и электронно-лучевых технологиях – сложный многофакторный процесс. Гибридные технологии, сочетающие в себе, например, селективное лазерное плавление и синтез горением, – зависят от еще большего количества факторов, среди которых химические реакции (которые и приводят к изменению состава и формированию свойств) – наиболее сложны для интерпретации. Поэтому распространенные в литературе модели 3D-технологий, как правило, не учитывают деталей физико-химических превращений. Популярный в литературе метод фазового поля, претендующий на визуальное представление предполагаемых закономерностей, не позволяет моделировать реальные процессы, поскольку требует информации для новых материалов, которой нет в базах данных. Наиболее подходящим для моделирования эволюции состава многокомпонентных и многофазных систем в неравновесных условиях является макрокинетический подход, позволяющий выделить основные стадии и явления, создать иерархию редуцированных моделей, выработать критерии для оптимизации технологических процессов [1]. В настоящей работе этот подход используется для моделирования синтеза композитов из смесей порошков вида $\text{Al-Ti-Cr}_2\text{O}_3$, $\text{Al-Ni-Fe}_2\text{O}_3$, Ti-Al-CuO , $\text{Ti-Al-Fe}_2\text{O}_3$, расположенных на подложке.

В первых двух случаях в системе возможно протекание только по одной реакции восстановления хрома или железа алюминием [2, 3]. Весь комплекс реакций можно разделить на две группы – формирование упрочняющих частиц и формирование состав матрицы. Поскольку реакции протекают в неравновесных условиях с неоднородным полем температуры, в результате синтезированный композит содержит как исходные вещества, так и продукты реакций. Соответствующая термокинетическая модель включает уравнение теплопроводности с химическим тепловыделением и уравнения химической кинетики. Двухуровневая модель включает две подзадачи – тепловую и диффузионно-кинетическую. Предполагается, что химические реакции, скорость которых лимитируется диффузией, протекают на мезоуровне. В этом случае образование фаз описывается с помощью введения так называемой реакционной ячейки и моделируется в рамках теории реакционной диффузии. Подобные модели, как и термокинетические, имеют аналоги в макрокинетике [4].

В двух других системах принципиально возможны по две металлотермические реакции:



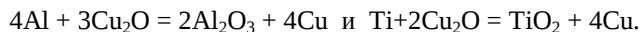
и



В этом случае оба типа моделей становятся более сложными. Так, в смеси Ti-Al-CuO возможно частичное разложение оксида меди, начинающееся еще в твердой фазе:



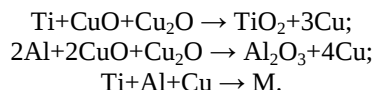
следствием чего будут еще две металлотермические реакции:



Кроме того, возможно формирование и других оксидов титана и алюминия.

В этой системе возможно большое разнообразие интерметаллидов и тройных соединений. Механизмы реакций недостаточно понятны, и учесть все реакции не представляется возможным.

На основе данных эксперимента в [5] была предложена редуцированная схема, включающая реакцию (1) и три суммарных стадии:



Последняя «реакция» дает сложный состав матрицы (М) и при желании может быть расписана более детально.

Двумерная математическая модель для этой системы включает уравнение теплопроводности, осредненное по толщинам подложки и порошкового слоя. Кинетически уравнения для компонентов учитывают их источники и стоки в реакциях. Скорости реакций зависят от температуры по закону Аррениуса, а от концентраций в соответствии с законом действующих масс. При описании плавления вводится интервал температур, в котором изменяется доля жидкой фазы, что позволяет определять положение ванны расплава, двухфазной зоны и твердого материала. Гидродинамика возможного расплава в этом приближении не учитывается. Одно из оснований для этого – малый размер ванны расплава по сравнению с размером всего образца.

Сформулированная модель реализована численно. Использованы расщепление по координатам и метод прогонки. Точность расчетов проверялась по закону сохранения массы и сохранению числа частиц.

Анализ результатов, полученных для разных начальных составов смеси и разных условий управления процессом с помощью лазера позволил выявить двухэтапный процесс синтеза композита.

Первый этап состоит в частичном разложении оксида меди, причем реакция опережает внешний источник тепла и быстро распространяется по предварительно нагретой поверхности. Затем идет постепенное образование оксидов и матрицы. Поскольку нагрев неоднородный, в результате формируется неоднородный состав в слое, зависящий от скорости перемещения лазерного луча, ширины сканирования и мощности лазерного излучения. В связи с изменением состава, изменяются и свойства (плотность, теплоемкость, теплопроводность). Вследствие неравновесности процесса, реакции не завершаются, и продукт содержит набор веществ CuO, Cu₂O, TiO₂, Al₂O₃, Ti, Al, M.

Заметим, что в моделях любого типа вследствие неоднородного температурного поля свойства (теплопроводность, плотность, теплоемкость) изменяются также неоднородно. Их расчет по данным о составе, изменяющемся в процессе синтеза, является дополнительным бонусом моделей. Однако, как показал вычислительный эксперимент, разброс эффективных свойств сравним или меньше того, который следует из экспериментальных исследований.

Получаемые численно результаты качественно согласуются с данными эксперимента [5] для тех же составов. Для получения более однородного состава композита управляющие параметры и состав порошковой смеси должны быть оптимизированы.

Работа выполнена по программе фундаментальных научных исследований ИФПМ СО РАН, проект FWRW-2022-0003.

Список использованных источников:

1. Рогачев А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетику / А.С. Рогачев, А.С. Мукасян. – Москва : изд-во Физматлит, 2013. – 400 с.
2. Knyazeva A.G. The synthesis of composites with reinforcing particles on a thin substrate / A.G. Knyazeva, O.N. Kryukova // Materials Physics and Mechanics. – 2021. – Vol. 47. – P. 254–265. – DOI: http://dx.doi.org/10.18149/MPM.4722021_8/
3. Kryukova O.N. Two level model controlled synthesis of a composite on a substrate / O.N. Kryukova, A.G. Knyazeva // Multiscale Science and Engineering. – 2023. – Vol. 5. – P. 10–22. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s42493-023-00091-6>.

4. Князева А.Г. Two-level models of composite synthesis: history and potential // Combustion, Explosion, and Shock Waves. – 2024. – Vol. 60. – № 1. – P. 42–55. – DOI: <https://doi.org/10.1134/S0010508224010052>.

5. Knyazeva A.G. Reaction initiation by laser in Ti-Al-CuO-powder mixture / A.G. Knyazeva, M.G. Krinitcyn // International Journal of Self-Propagating High-Temperature Synthesis. – 2025. – Vol. 32. – № 1. – P. 117–125. – DOI: 10.3103/S1061386224700365.

КРИТЕРИИ ВЫБОРА МАГНИТА ТРАНСПОРТНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА

*С.И. Корягин, д.т.н., проф., О.В. Шарков^а, д.т.н. проф., Н.Л. Великанов, д.т.н., проф.
Балтийский федеральный университет им. И. Канта
236014, г. Калининград, ул. А. Невского, 14
E-mail: ^аosharkov@kantiana.ru*

Аннотация: Магниты, применяемые в робототехнических транспортных устройствах, перемещающихся по ферромагнитным поверхностям, создают и поддерживают силы притяжения между поверхностью и устройством. Выбор параметров электромагнита зависит от типа и размера робототехнического устройства, условий его эксплуатации. Проведена экспериментальная оценка силы притяжения, создаваемой магнитами броневое типа и в виде колесной пары. Выполнено сравнение эффективности этих типов магнитов по критерию добротности.

Ключевые слова: ферромагнитная поверхность, рабочий зазор, добротность электромагнита.

Abstract. Magnets used in robotic transport devices that move on ferromagnetic surfaces create and maintain attractive forces between the surface and the device. The choice of electromagnet parameters depends on the type and size of the robotic device and its operating conditions. An experimental assessment of the attractive force created by armored type electromagnets and in the form of a wheel pair was carried out. The efficiency of these types of magnets was compared according to the quality factor criterion.

Keywords: ferromagnetic surface, working clearance, electromagnet quality factor.

Перспективным направлением в области ремонта и технического обслуживания инженерных конструкций, изготовленных из ферромагнитных материалов, является использование для перемещения инструментов транспортных робототехнических устройств магнитного типа, которые перемещаются непосредственно по рабочей поверхности [1–3].

При перемещении таких робототехнических устройств на них действуют силы, стремящиеся оторвать их от ферромагнитной поверхности: сила тяжести устройства; реакция со стороны рабочих инструментов; нормальная реакция со стороны опорной поверхности. Компенсация действия этих сил и удержание транспортного устройства на ферромагнитной поверхности осуществляется за счет силы притяжения, развиваемой электромагнитами [4].

Сила притяжения электромагнита к ферромагнитной поверхности является следствием его взаимодействия с намагниченной поверхностью и определяется производной от энергии магнитного поля по координате, которую сила стремится изменить:

$$F = dW / d\delta ,$$

где W – магнитная энергия; δ – зазор, между электромагнитом и ферромагнитной поверхностью.

Магнитная энергия в некотором объеме определяется по формуле:

$$W = \int_0^V \frac{\vec{B} \vec{H}}{2} dV ,$$

где $\vec{B}$ – вектор магнитной индукции; $\vec{H}$ – вектор напряженности магнитного поля; V – объем пространства, занятого полем.

Преимущество применяемых постоянных магнитов по сравнению с электромагнитами очевидно: они не требуют дополнительных мер страховки для робототехнического устройства в случае внезапного отключения электроэнергии в электромагнитах, не выделяют тепла и т. п.

В то же время, сила притяжения постоянных магнитов из бариевых ферритов и сплавов резко изменяется при изменении зазора между магнитом и поверхностью притяжения, а при зазорах свыше 10 мм эти магниты не обеспечивают достаточную силу электромагнитного притяжения.

Использование магнитов, изготовленных из редкоземельных металлов, обладающих высокой добротностью, представляется экономически нецелесообразным. В связи с этим постоянные магниты рекомендуется использовать в гусеничных транспортных устройствах посредством размещения магнитов в траках гусеницы,

так как они непосредственно контактируют с ферромагнитной поверхностью, либо в тех устройствах, в которых электроснабжение магнитов представляется сложным и нежелательным.

Применение в конструкции робототехнического устройства электромагнита позволяет решить как задачу стабилизации силы притяжения (путем выбора соответствующего числа ампер-витков), так и задачу получения большой силы притяжения при незначительной массе электромагнита.

Вторая задача решается обеспечением определенного числа ампер-витков, выбором оптимальной конфигурации магнитопровода, применением охлаждения и др.

При этом к конструкции электромагнита предъявляются следующие основные требования:

1. электромагнит должен обладать максимально возможной добротностью;
2. электромагнит должен обеспечивать требуемую силу нагружения от ведущих колес робототехнического устройства на опорную поверхность при минимуме расхода электроэнергии на создание магнитного поля в рабочем зазоре;
3. электромагнит не должен задевать за поверхность притяжения при перемещении робототехнического устройства по поверхности, которая имеет определенную кривизну и различные выступы.

Эти требования являются противоречивыми. Так, сила притяжения и добротность электромагнита тем выше, чем меньше зазор между электромагнитом и поверхностью притяжения. В то же время, зазор влияет на высоту преодолеваемых неровностей, так как уменьшение зазора приводит к уменьшению клиренса транспортного устройства.

Основной характеристикой электромагнитов, используемых для робототехнических устройств, является добротность [5], определяемая отношением силы притяжения $F_{\text{э}}$ электромагнита к его силе тяжести $F_{\text{г}}$ — $q = F_{\text{э}} / F_{\text{г}}$.

Сила притяжения электромагнита зависит от многих факторов: размеров магнитопровода; соотношений этих размеров; величины рабочего зазора; условий охлаждения и др. Чем больше размеры магнитопровода, тем больше намагничивающая масса, тем выше сила притяжения, но и больше масса электромагнита, т.е. добротность в этом случае изменяется незначительно.

В более широких пределах добротность изменяется при изменении соотношения размеров магнитопровода. Существует такое оптимальное соотношение размеров магнитопровода, которое соответствует максимуму добротности.

Существует метод выбора типа магнитопровода электромагнита по конструктивному фактору Γ [6].

Для электромагнитов постоянного тока конструктивный фактор определяется по формуле:

$$\Gamma = \sqrt{F_{\text{э}}} / \delta.$$

Для электромагнитов, устанавливаемых на робототехническом устройстве этот показатель должен быть возможно максимальным. Наиболее максимальным показателем $\Gamma = (30 \dots 140) \cdot 10^3 \text{ Н}^{1/2} / \text{м}$ обладает электромагнит броневого типа. Такой электромагнит располагается относительно поверхности притяжения на определенном зазоре, обусловленном кривизной и высотой неровностей этой поверхности.

С точки зрения преодоления неровностей также представляет интерес электромагнит, магнитопроводом которого является колесная пара. Магнитопровод (колесная пара) непосредственно катится по поверхности притяжения с минимальным зазором, при этом катушка возбуждения электромагнита остается неподвижной относительно колесной пары. Таким образом, колесная пара является как магнитопроводом электромагнита, так и колесом, которое имеет возможность перекачиваться через выступающие неровности поверхности.

Проведено исследование добротности электромагнитов двух типов — броневого типа и в виде колесной пары. Для определения величины силы притяжения электромагнитов разных типов разработан экспериментальный стенд, представленный на рис. 1 [7].

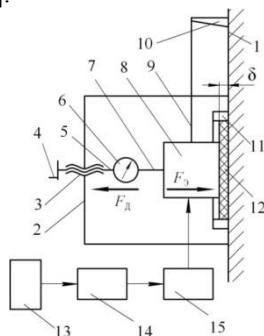


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Стенд для включает корпус, представляющий собой вертикально ориентированную опорную поверхность 1, представляющую собой ферромагнитный элемент в виде пластины, на которой жестко закреплена рама 2 с нагрузочным устройством, включающем винтовую пару 3, приводимую в движение маховиком 4 и нагрузочной штангой 5. На нагрузочной штанге 5 закреплено средство измерения силы притяжения в виде цифрового динамометра 6, связанного, в свою очередь, с помощью гибкой тяги 7 с испытываемым электромагнитом 8.

Испытываемый электромагнит 8 подвешен на гибком тросе 9, закрепленном на кронштейне 10, жестко соединенным с опорной поверхностью 1. Между электромагнитом 8 и опорной поверхностью 1 в специальном держателе 11 установлен набор 12 из немагнитного материала толщиной δ . Электромагнита 8 подключен к источнику электропитания 13, регулятору силы тока 14 и измерителю силы тока 15, с помощью которых происходит его нагружение.

При проведении эксперимента в держатель 11 устанавливали набор пластин 12 с заданной толщиной $\delta = 0, 2, 4, 6, 12, 18$ и 24 мм.

Испытываемый электромагнит 8 подвешивался на гибком тросе 9 и соединялся с помощью гибкой тяги 7 с динамометром 6. После этого на испытываемый электромагнит 8 с помощью источника питания 13, регулятора 14 и измерителя 15 подавалась заданная сила тока, в следствии чего возникала сила электромагнитного притяжения $F_{\text{э}}$, направленная в сторону ферромагнитной поверхности 1.

После того как электромагнит 8 через набор пластин 12 притягивался к ферромагнитной поверхности 1 за счет вращения маховика 4 с помощью винтовой пары 3 через нагрузочную штангу 5 создавалась сила $F_{\text{д}}$ (фиксируемая динамометром 6 и направленная противоположно силе притяжения $F_{\text{э}}$), действующая через гибкую тягу 7 на электромагнит 8, и стремящаяся оторвать последний от ферромагнитной поверхности 1.

В момент отрыва электромагнита 8 от набора пластин 12 и опорной поверхности 1 динамометром 6 фиксировалась сила $F_{\text{д}}$, которая равна силе притяжения, развиваемой электромагнитом – $F_{\text{э}} = | - F_{\text{д}} |$.

На основании результатов экспериментов построена зависимость добротности электромагнитов двух типов от величины рабочего зазора (рис. 2). Точки – экспериментальные результаты, кривые их аппроксимация пакетом MathCAD.

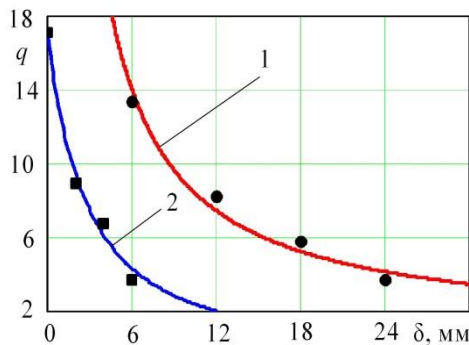


Рис. 2. Изменение добротности электромагнитов: 1 – броневого типа; 2 – в виде колесной пары

Как видно из полученных результатов, с увеличением зазора добротность электромагнита в виде колесной пары нелинейно снижается и при $\delta = 6$ мм составляет $q \approx 4,5$. Соответственно снижается масса полезного груза, перевозимого робототехническим устройством. Следовательно, электромагнит в виде колесной пары достаточно хорошо работает при величине зазора между магнитопроводом и ферромагнитной поверхностью не более 3 мм.

Электромагнит броневого типа целесообразно использовать для робототехнических устройств, применяющихся при рабочих зазорах вплоть до $12 \dots 18$ мм.

Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы на этапе проектирования робототехнических устройств магнитного типа.

Список использованных источников:

1. Мунасыпов Р.А. Телеуправляемая робототехническая система внутритрубной диагностики. Робототехника и техническая кибернетика / Р.А. Мунасыпов, Т.Р. Шахматьев, С.С. Москвичев. – 2014. – № 3. – С. 73–77.
2. Корягин С.И. Методика расчета грузоподъемности колесного транспортного устройства магнитного типа / С.И. Корягин, О.В. Шарков, Н.Л. Великанов // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов XV Международной научно-практической конференции, 23–25 Мая 2024 г., Юрга. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – С. 10–13.

3. Yanqiong F.E.I. Design and analysis of modular mobile robot with magnetic wheels / F.E.I. Yanqiong, S. Libo // Transactions on Applied and Theoretical Mechanics. – 2008. – Vol. 3 (12). – P. 902–911.
4. Корягин С.И. Анализ условий движения мобильных устройств магнитного типа по ферромагнитной рабочей поверхности / С.И. Корягин, О.В. Шарков, Н.Л. Великанов // Известия вузов. Машиностроение. – 2022. – № 10 (751). – С. 55–61. – DOI: 10.18698/0536-1044-2022-10-55-61.
5. Нейман В.Ю. К выбору основных геометрических размеров электромагнитного привода со сквозным осевым каналом / В.Ю. Нейман // Электротехника. – 2022. – № 5. – С. 8–12.
6. Сахаров П.В. Проектирование электрических аппаратов / П.В. Сахаров – Москва: Энергия, 1971. – 560 с.
7. Патент № 231328, РФ, МПК G01L 5/00 G01R 33/12 G01N 27/72. Устройство для определения силы притяжения электромагнита / С.И. Корягин, О.В. Шарков, Н.Л. Великанов. Опубликовано в бюллетене «Патенты и полезные модели». – М., 2025. – № 3.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ УРОВНЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИИ ИЗ СПЛАВА ПГ-12Н-01 ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ С ПОПЕРЕЧНЫМ СКАНИРОВАНИЕМ

*О.Г. Девойно, д.т.н., проф., Н.И. Луцко^а, науч. сотр., Л.И. Пилецкая, науч. сотр.
Белорусский национальный технический университет
220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, 65
E-mail: ^аnilucko@tut.by*

Аннотация: В статье показано изменение уровня остаточных напряжений в наплавленном лазером покрытии из сплава ПГ-12Н-01 при изменении режимов наплавки и количества полученной покрытием энергии. Установлено уменьшение уровня остаточных напряжений при увеличении скорости наплавки и шага наплавки валиков, а также немонотонный характер влияния на уровень остаточных напряжений площади пятна сканирования.

Ключевые слова: Лазерная наплавка, поперечное сканирование, уровень остаточных напряжений, режимы наплавки

Abstract: The article shows the change in the level of residual stresses in the laser-deposited coating made of PG-12N-01 alloy with changes in the cladding modes and the amount of energy received by the coating. A decrease in the level of residual stresses with an increase in the surfacing speed and the step of the beads, as well as a non-monotonic nature of the effect of the scanning spot area on the level of residual stresses is established.

Keywords: Laser cladding, transverse scanning, level of residual stresses, cladding modes

В настоящее время лазерная наплавка является самой быстро развивающейся технологией нанесения покрытий. Широкому применению лазерной наплавки способствуют ее уникальные свойства, появление нового поколения твердотельных лазеров, особенно волоконных, а также появившиеся сравнительно недавно системы программно-управляемого сканирования лазерного пятна. Все это вместе взятое привело к увеличению производительности процесса лазерной наплавки, улучшению его стабильности, возможности гибкого изменения геометрии наплавленных валиков и дало возможность создавать покрытия из большого количества материалов, обладающих высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью, усталостной стойкостью и стойкостью к окислению [1, 2, 3, 4].

В Республике Беларусь мощные волоконные лазеры появились сравнительно недавно и используются в основном в процессах лазерной резки листовых материалов. Технология лазерной наплавки пока не нашла широкого применения. Поскольку в мире процессы лазерной наплавки активно развиваются и внедряются в промышленное производство, исследование свойств покрытий, получаемых лазерной наплавкой с поперечным сканированием представляет большой научный интерес.

При лазерной наплавке, как и при других способах нанесения покрытий, происходит сильное изменение поверхностного слоя деталей, поэтому представляет интерес исследовать уровень остаточных напряжений, возникающих при этом процессе и установить влияние на уровень остаточных напряжений параметров лазерной наплавки.

Несмотря на существование большого количества методик определения остаточных напряжений [5], их применение в случае с лазерной наплавкой с поперечным сканированием весьма проблематично из-за большой неоднородности физико-механических свойств наплавленного слоя и сложных полей остаточных напряжений. Все это усложняет вычисление истинного значения величины остаточных напряжений. Поэтому было принято решение о том, чтобы производить только оценочные эксперименты для выполнения качественного анализа влияния параметров процесса лазерной наплавки на знак и уровень технологических остаточных напряжений.

Знак и уровень остаточных напряжений оказывают сильное влияние на прочность и эксплуатационные свойства покрытий. Остаточные напряжения сжатия повышают прочность деталей, а остаточные напряжения

растяжения, наоборот, уменьшают их прочность, приводя к образованию трещин. Так как в покрытиях в большинстве случаев образуются остаточные напряжения растяжения, весьма важно иметь представление об уровне остаточных напряжений, возникающих при лазерной наплавке с поперечным сканированием при различных режимах наплавки.

Уровень остаточных напряжений определялся величиной прогиба призматических образцов из стали 45 размером 100x20x4 мм после наплавки на одну из их плоскостей покрытий, состоящих из трех последовательно нанесенных валиков. Величина прогиба определялась расчетным методом, описанным в [6] на основании замера прогибов призматических образцов с покрытием в трех точках продольного сечения.

При наплавке использовался боковой способ подачи порошка никелевого сплава ПГ-12Н-01, порошок при помощи дискового питателя подавался впереди пятна сканирования на поверхности образца. При наплавке применялось специальное щелевое сопло с водяным охлаждением. В качестве источника излучения использовался волоконный лазер типа YLR-1 с максимальной мощностью излучения 1000 Вт. Наплавка осуществлялась при помощи координатного стола с системой числового программного управления, обеспечивавшего необходимые перемещения наплавочной головки и оптической системы программируемого 2D сканера фирмы «Ситела» относительно наплавлявшегося образца. Наплавка производилась с шагами наплавки валиков 2, 3 и 4 мм, площадями пятна сканирования (площадями сканирования) были 4x0,1 мм, 4x0,3 мм и 4x0,5 мм, скорости наплавки составляли 80, 110 и 140 мм/мин, мощность лазерного излучения составляла 1000 Вт. Также производилась лазерная наплавка образцов при мощности излучения 800 Вт и наплавка образцов при мощности излучения 1000 Вт с предварительным подогревом образцов до 300 °С. В двух последних случаях площадь пятна сканирования составляла 4x0,1 мм. Обязательной операцией перед лазерной наплавкой покрытий являлась дробеструйная обработка поверхности образцов под наплавку.

На основании полученных данных о величинах прогиба образцов при различных режимах лазерной наплавки были построены графики зависимости прогибов образцов от скорости наплавки, шага наплавки валиков и площади сканирования лазерного пятна. Для образцов, наплавленных при мощности излучения 1000 Вт, такие графики представлены на рисунке 1.

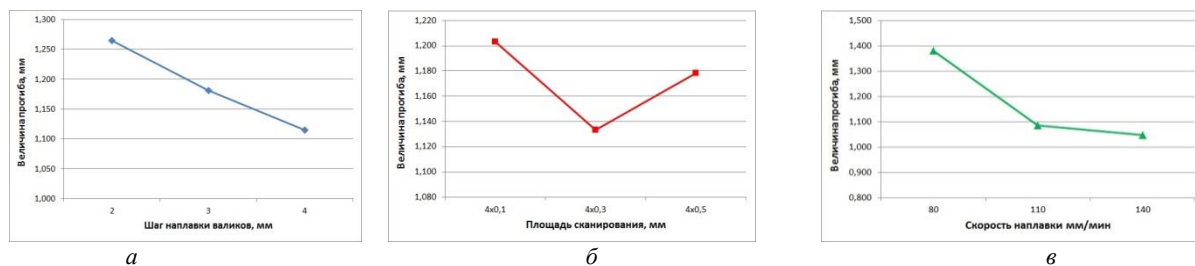


Рис. 1. Зависимости прогиба образцов при мощности лазерного излучения 1000 Вт от шага наплавки валиков (а), площади сканирования (б), скорости наплавки (в)

На рисунке 2 показаны графики зависимостей прогиба образцов от скорости наплавки и шага наплавки валиков при мощности излучения 800 Вт и площади пятна сканирования 4x0,1 мм.

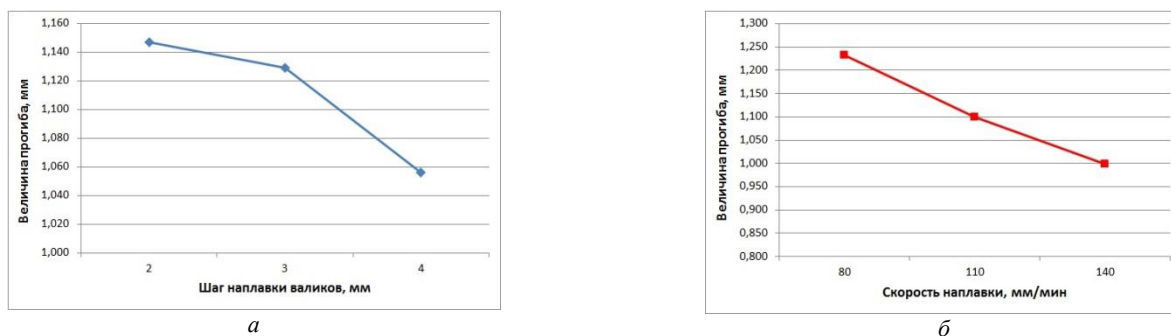


Рис. 2. Зависимости прогиба образцов при мощности лазерного излучения 800 Вт и площади сканирования 4x0,1 мм от шага наплавки валиков (а) и скорости наплавки (б)

Для случая использования мощности излучения 1000 Вт и предварительного подогрева образцов до температуры 300 °С аналогичные зависимости показаны на рисунке 3.

Из приведенных графиков видно, что при увеличении скорости наплавки и шага наплавки валиков величина прогиба образцов и, следовательно, уровень остаточных напряжений, в наплавленных образцах уменьша-

ется. Такое уменьшение уровня остаточных напряжений объясняется уменьшением поступления энергии в покрытие при увеличении этих факторов, что приводит к меньшим градиентам температуры, меньшему количеству фазовых превращений и более равномерному химическому составу покрытий. Зависимость величины прогиба образцов от площади сканирования носит немонотонный характер. Минимальная величина прогиба наблюдается при площади сканирования $4 \times 0,3$ мм. При площадях сканирования $4 \times 0,1$ мм и $4 \times 0,5$ мм, значения прогибов имеют большую величину. Такая зависимость связана со сложностью процессов плавления в пятне сканирования при этом способе наплавки.

Для получения наглядного представления о влиянии на уровень остаточных напряжений мощности лазерного излучения и предварительного подогрева основы были построены зависимости прогиба образцов от скорости наплавки и шага наплавки валиков, показанные на рисунке 4.

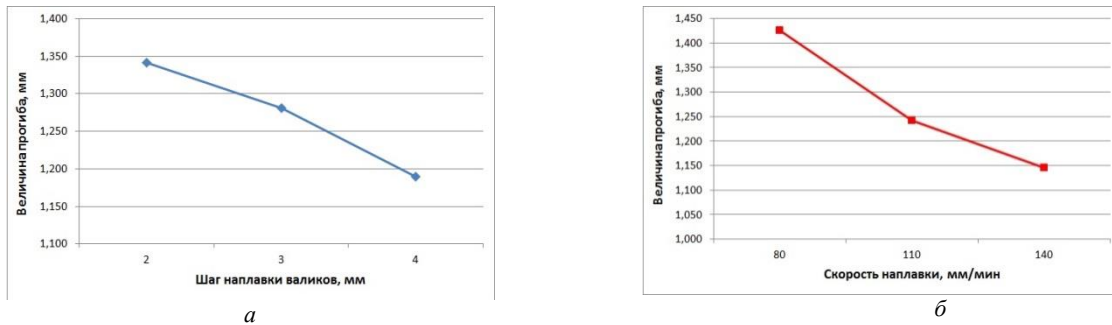


Рис. 3. Зависимости прогиба образцов при площади сканирования $4 \times 0,1$ мм, мощности лазерного излучения 1000 Вт и предварительном подогреве образцов до температуры 300°C от шага наплавки валиков (а) и скорости наплавки (б)

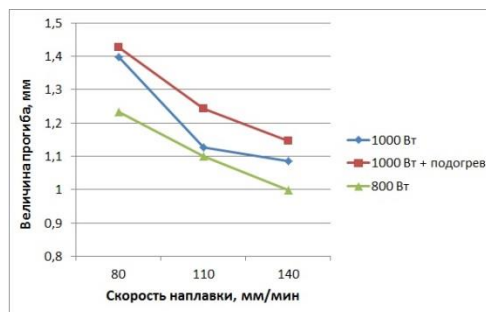


Рис. 4. Зависимости прогибов образцов от скорости наплавки для мощностей лазерного излучения 800 Вт и 1000 Вт, а также для мощности излучения 1000 Вт с предварительным подогревом основы до температуры 300°C

Из рисунка 4 понятно, что наименьшие величины прогибов (уровни остаточных напряжений) для всех режимов наплавки наблюдаются при мощности излучения 800 Вт. При мощности излучения 1000 Вт величина прогибов увеличивается примерно в 1,1 раза. При использовании предварительного подогрева основы величина прогибов образцов увеличивается по сравнению с прогибами при мощности 800 Вт уже в 1,15 раза. Очевидно, что уровень остаточных напряжений определяется количеством поглощенной покрытием энергии, которая минимальна при мощности излучения 800 Вт и максимальна при мощности излучения 1000 Вт с использованием предварительного подогрева основы.

Полученные результаты о напряженном состоянии в наплавленных лазером покрытиях при различных режимах наплавки позволяют в каждом конкретном случае разработки технологии лазерной наплавки подбирать режимы процесса, обеспечивающие минимальный уровень остаточных напряжений. В частности, использование низкой мощности лазерного излучения в сочетании с высокими скоростями наплавки и большими шагами наплавки при площади сканирования $4 \times 0,5$ мм обеспечивает низкий уровень остаточных напряжений в наплавленных слоях.

Список использованных источников:

1. Microstructure investigation of Inconel 625 coating, obtained by laser cladding and TIG cladding methods / M. Naghiyan Fesharki, R. Shoja-Razavi, H.A. Mansouri, H. Jamali // Surface & Coating Technology. – 2018. – V. 353. – P. 25–31. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2018.08.061>.
2. Подзей А.В. Технологические остаточные напряжения / А.В. Подзей, А.Н. Сумма, М.И. Евстигнеев / под. ред. А.В. Подзея. – М.: Машиностроение, 1973. – 216 с.

3. Farahmand P. An experimental-numerical investigation of heat distribution and stress field in single and multi-track laser cladding by a high power direct diode laser / P. Farahmand, R. Kovacevic // Optics & Laser Technology. – 2014. – V. 63. – P. 154–168.
4. Zhou C. Mitigation of pores generation at overlapping zone during laser cladding / C. Zhou, S. Zhao, Y. Wang, F. Liu, W. Gao, X. Lin // Journal of Materials Processing Technology. – 2015. – V. 216. – P. 369–374.
5. Palmer, T.A. Implementation of Laser Cladding for Virginia Class Submarine Main Propulsion Shaft Repair / T.A. Palmer // In book: Commercial Technologies for Maintenance Activities CTMA 2010 Symposium, Quantico, 2010: proceedings. Quantico: Pennsylvania State University, 2010. – P. 22–24.
6. Оценка уровня остаточных напряжений в 2D и 3D мультимодальных покрытиях, нанесенных лазерной наплавкой/ О.Г. Девоино, М.А. Кардаполова, Н.И. Луцко [и др.] // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов XXVII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 14–20 сентября 2020 г. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – 460 с. – С. 114–117.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКАНИЯ РЕАКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ КОМПАКТОВ

*А.Г. Князева, д.ф.-м.н, проф., В.С. Сафронова, студент, лаборант-исследователь
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: a19627826013@yandex.ru*

Аннотация: В работе исследована кинетика фазообразования для трех вариантов порошковых прессовок: Ti-CuO; Al-Fe₂O₃-Fe; Ti-Fe₂O₃-Fe-C. Описана модель, которая учитывает детальную кинетику химических реакций для каждой из систем, соответствующую процессу фазообразования, наблюдаемому в эксперименте. Решение задач осуществлялось численно; проверялось выполнение закона сохранения массы, а также дополнительно закона сохранения атомов. Исследована зависимость температуры и концентраций от сопутствующих явлений, приводящих к плавлению и изменению теплоемкости.

Ключевые слова: термокинетическая модель, вакуумное спекание, химические реакции.

Abstract: In this work, the kinetics of phase formation for three variants of powder pressings: Ti-CuO; Al-Fe₂O₃-Fe; Ti-Fe₂O₃-Fe-C are investigated. A model that accounts for the detailed chemical reaction kinetics for each of the systems corresponding to the phase formation process observed in the experiment is described. The problems were solved numerically; the fulfillment of the law of conservation of mass and additionally of the law of conservation of atoms was checked. The dependence of temperature and concentrations on the accompanying phenomena leading to melting and changes in heat capacity was investigated.

Keywords: thermokinetic model, vacuum sintering, chemical reactions.

Введение

Реакционное спекание привлекает внимание для получения в едином процессе металломатричных композиций, содержащих упрочняющие включения. Интерес к данным системам обусловлен широкой сферой их применения. Например, система Ti-CuO перспективна в медицинской сфере для получения пористых композиционных материалов, обладающих антибактериальными свойствами [1]. В последнее время все чаще встречаются исследования, посвященные синтезу материалов, демонстрирующих хорошие фильтрационные свойства, в которых система Ti-CuO показывает превосходные результаты [2, 3]. Системы Al-Fe₂O₃-Fe; Ti-Fe₂O₃-Fe-C наиболее интересны для создания конструкционных материалов, а также с точки зрения возможной переработки вторичного сырья (отходов металлургических и машиностроительных производств). Алюминий – самый легкий конструкционный металл, что позволяет использовать его как компонент к стальным конструкциям, облегчая их. Титан является достаточно тугоплавким материалом. То же относится к оксидам и карбидам: TiO₂, TiC и т. д. Переработка металлических отходов важна с экологической точки зрения, поскольку новые сплавы уменьшают парниковые эффекты по сравнению с первоначальными сплавами [4]. Однако это вызывает ряд проблем, связанных с наличием примесей, которые способны изменять технологические свойства сплава, приводя его в негодное состояние.

Область применения композиционных материалов постоянно расширяется. В различных исследованиях используются совершенно разные методы их получения, зачастую многоэтапные и времязатратные. Получение композита в едином цикле в условиях реакционного спекания представляется перспективным. Моделирование процесса синтеза материалов помогает лучше понять механизмы фазообразования и впоследствии предложить оптимальные параметры эксперимента и предсказать состав и свойства нового материала..

Таким образом, целью данной работы является построение математической модели, описывающей основные процессы, протекающие при спекании, а также анализ возможных расширений моделей для более детального описания процесса.

Математическая модель

В термокинетической модели учитывается изменение температуры образца вследствие регулируемого внешнего нагрева и тепловыделения вследствие химических реакций. Предполагается, что вследствие малости размеров образца распределением температуры по объему прессовки можно пренебречь. Оценки, подтверждающие такую возможность, даны в [5]. Уравнение баланса тепла имеет вид:

$$Vc\rho \frac{dT}{dt} = VW_{ch} + \sigma \varepsilon S(T_w^4 - T^4) - \alpha_p S(T - T_e), \quad (1)$$

где T – температура; t – время; V и S – объем и площадь поверхности прессовки; c и ρ – теплоемкость и плотность спрессованной смеси порошков; W_{ch} – суммарное химическое тепловыделение; σ – постоянная Стефана-Больцмана; ε – степень черноты поверхности прессовки; α_p – коэффициент теплообмена (в вакууме можно принять равным нулю). Температура стенок вакуумной камеры T_w , изменяющаяся по линейному закону:

$$T_w = T_0 + at, \text{ если } T < T_s, \text{ и } T_w = T_s, \text{ если } T \geq T_s \quad (2)$$

где a – скорость нагрева; T_s – температура спекания.

Полагаем, что в интервале температур T_{min} – T_{max} имеет место плавление, где доля жидкой фазы η_L изменяется от нуля до единицы:

$$\begin{aligned} \eta_L &= 0, T \leq T_{min} \\ \eta_L &= \left(\frac{T - T_{min}}{T_{max} - T_{min}} \right)^2, T_{min} < T \leq T_{max} \\ \eta_L &= 1, T > T_{max} \end{aligned} \quad (3)$$

В нашем случае T_{min} – соответствует минимальной из температур плавления реагентов и продуктов реакций, а T_{max} – максимальной из температур плавления выбранной системы. Изменение теплоемкости в интервале температур плавления соответствует закону.

$$c = \left[c_s + \frac{Q_{eff}}{m} \frac{\partial \eta}{\partial T} \right] (1 - \eta_L) + c_L \eta_L, \quad (4)$$

где c_s – теплоемкость смеси в твердой фазе, c_L – теплоемкость смеси в жидкой фазе; Q_{eff} – эффективная скрытая теплота плавления (Дж/моль); m – средняя молярная масса смеси реагентов и продуктов реакций.

Тепловыделение химических реакций находим по формуле:

$$W_{ch} = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot \Phi_i, \quad (5)$$

где n – количество реакций; Φ_i – скорости реакций; Q_i – тепловые эффекты реакций.

Для каждой системы в табл.1 приведены основные химические реакции

Таблица 1

Наборы реакций для изученных систем

Ti-CuO	Al-Fe ₂ O ₃ -Fe	Ti-Fe ₂ O ₃ -Fe-C
Ti+2CuO=TiO ₂ +2Cu, (I)	2Al+Fe ₂ O ₃ =Al ₂ O ₃ +2Fe(I)	3Ti+2Fe ₂ O ₃ =3TiO ₂ +4Fe, (I)
Ti+Cu=TiCu, (II)	FeO+Al ₂ O ₃ → FeAl ₂ O ₄ , (II)	Ti+Fe=TiFe, (II)
TiCu+Cu=TiCu ₂ , (III)	2Fe ₂ O ₃ → 4FeO + O ₂ ,	TiFe+Ti=Ti ₂ Fe, (III)
TiCu+Ti=Ti ₂ Cu, (IV)	4Al+3O ₂ =2Al ₂ O ₃	TiFe+Fe=TiFe ₂ , (IV)
2CuO=Cu ₂ O+O, (V)	Al+Fe=FeAl, (V)	Ti+C=TiC, (V)
Ti+O=TiO, (VI)	FeAl+Al=FeAl ₂ ,	2Fe ₂ O ₃ → 4FeO + O ₂ , (VI)
TiO+O=TiO ₂ , (VII)	FeAl+2Fe=Fe ₃ Al, (VII)	Ti+O ₂ =TiO ₂ , (VII)
TiCu+TiCu ₂ =Ti ₂ Cu ₃ (VIII)	FeAl ₂ +Al=FeAl ₃ ,	TiO ₂ +Ti ₂ Fe=Ti ₃ FeO ₂ , (VIII)
TiO ₂ +TiO=Ti ₂ O ₃ , (IX)	FeAl ₂ +FeAl ₃ =Fe ₂ Al ₅ , (IX)	
Ti+CuO=TiO+Cu, (X)		
Cu ₂ O+Ti=TiO+2Cu, (XI)		

Для каждой системы реакций записываем кинетические уравнения вида:

$$\frac{dC_i}{dt} = \sum_{k=1}^r \nu_{ik} \Phi_k, \quad (6)$$

где ν_{ik} – стехиометрические коэффициенты компонента i в реакции k ; r – число реакций. Далее полагаем, что скорости реакций зависят от температуры по закону Аррениуса, а от концентраций – в соответствии с законом действующих масс

$$\Phi_i = k_i(T) \prod_k C_k^{n_{ki}}, \quad (7)$$

где C_k – концентрации реагентов; n_{ki} – показатели степени, равные по абсолютной величине соответствующим стехиометрическим коэффициентам;

$$k_i = k_{i0} \exp \left(- \frac{E_i}{RT} \right), \quad (8)$$

где k_{i0} – предэкспоненциальные факторы; E_i – энергии активации реакций; R – универсальная газовая постоянная.

Результаты численного исследования

Формально-кинетические параметры реакций, необходимые для расчетов, оценивались в соответствии с теориями, подробно изложенными в [5]. Пример расчета представлен на рис. 1.

Расчеты показывают, что состав продуктов может значительно различаться для разных условий: разного начального состава порошковых смесей, разных скоростей нагрева и разных температур спекания. Например, после спекания порошковой прессовки Ti-CuO в продуктах присутствуют сложные оксиды Ti_2O_3 и интерметаллиды Ti_2Cu_3 и $TiCu$. В случае системы с алюминием в продуктах присутствуют интерметаллиды Fe_3Al и $FeAl_3$ с разным процентным содержанием, а также оксид алюминия. Наиболее быстрой является реакция восстановления железа; $FeAl$ в продуктах не обнаруживается. Двойной оксид появляется в продуктах только при условии наличия в исходной смеси оксидов Al_2O_3 , FeO и кислорода. В случае с титаном, если исходная смесь содержит малое количество оксида железа, роль которого в реакциях проявляется слабо, продукт синтеза содержит 70 % Ti_2Fe и 30 % Al_2O_3 . В условиях эксперимента продукт содержит 91 % твердого раствор α -титана+ Ti_2Fe и α -титана+ $TiFe$ [5–8]. Оксид Fe_2O_3 , в этом случае недостаточно для образования ощутимого количества TiO_2 , и он достаточно быстро тратится на образование двойного оксида.

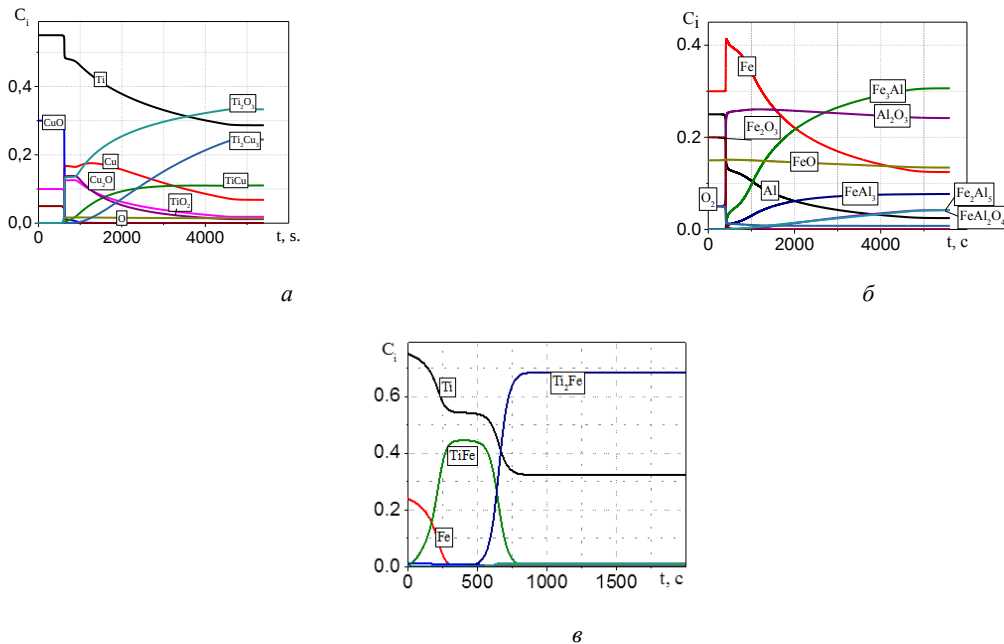


Рис. 1. Пример расчета: а – изменение концентраций при начальном составе $C[Ti]=0.5$, $C[TiO]=0.05$, $C[TiO_2]=0.1$, $C[CuO]$; б – $C[Al]=0.6$; $C[Fe_2O_3]=0.2$; $C[Fe]=0.2$; в – $C[Ti]=0.75$; $C[Fe_2O_3]=0.1$; $C[Fe]=0.239$; $C[C]=0.001$

Изменение температуры трех вариантов смесей и соответствующих им условий спекания показано на рис. 2.

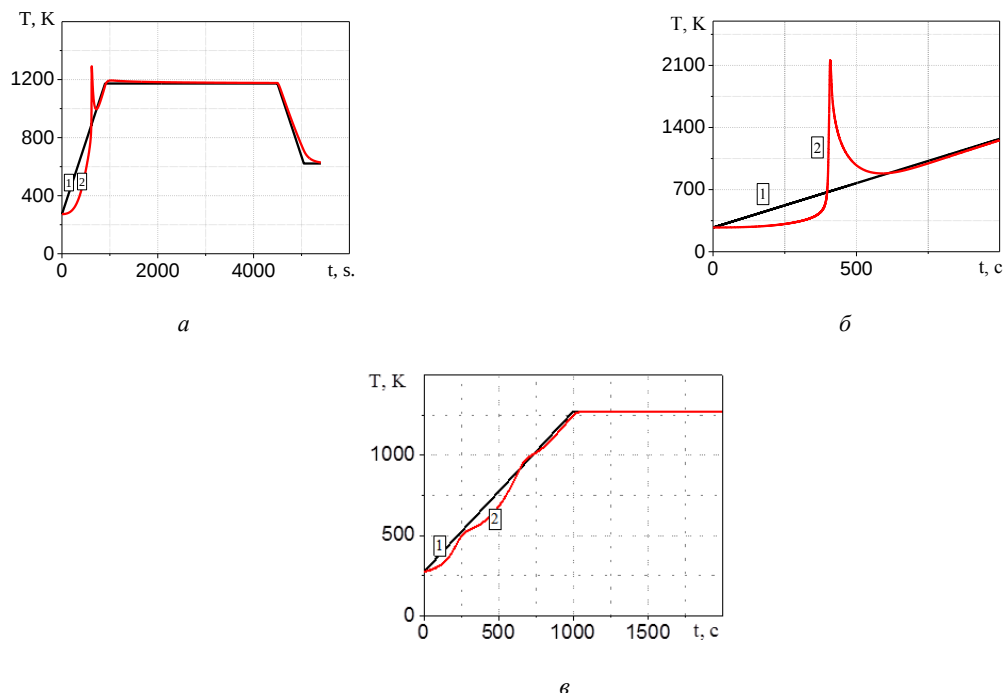


Рис. 2. Динамика температуры для разных систем: линия 1 – температура нагревателя; 2 – температура образца – Температура спекания $T_s = 1173\text{K}$ (а), $T_s = 1273\text{K}$ (б, в)

В первых двух системах наблюдается термический пик, что также наблюдалось в экспериментах [5–8] и вполне объяснимо термодинамическими характеристиками этих реакций. В третьей системе температура представляет собой волнообразную кривую, что связано с фазообразованием, поскольку в этой системе помимо экзотермических реакций протекают и эндотермические реакции.

Заключение

Представлены три варианта систем, которые используются в условиях реакционного спекания для синтеза композитов с оксидными включениями. Предложена модель процесса реакционного спекания, учитывающая детальную кинетику реакций, а также плавления и изменение теплоемкости. Модель позволяет прогнозировать состав композита после спекания. В дальнейшем модель может быть усовершенствована за счет учета распределения температуры и концентраций в объеме прессовки. Возможно использование и более детальной схемы реакций.

Список использованных источников:

1. Optimizing bio-functional properties of Ti–Cu bone implants through introducing hierarchical structure / Na He, Yumeng Du, Jianying Wang [et al.] // Journal of Materials Research and Technology. – 2024. – № 33. – С. 3672–3683.
2. Synergetic effects of multiple junction and surface hydroxyl in Cu/CuO/Cu₂O/TiO₂ heterostructures towards highly efficient photocatalysts for hydrogen generation / Riki Subagyo, Garcelina Rizky Anindika, Afif Akmal Aufkani [et al.] // Materials Science for Energy Technologies. – 2025. – № 8. – С. 131–142. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mset.2025.02.001>.
3. Photocatalytic degradation of xanthates under visible light using heterogeneous CuO/TiO₂/montmorillonite composites / Sikai Zhao, Hong Xiao, Yunshuang Chen [et al.] // Green and Smart Mining Engineering. – 2024. – № 1. – С. 67–75. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.003>.
4. High-throughput CALPHAD-guided design and experimental study on the development of a novel multi-component as-cast Al–Si–Cu–Zn–Fe–Mn–Mg based alloy through the direct melting of post-consumer scrap / Jon Mikel Sanchez, Haize Galarraga, Itziar Marquez [et al.] // Journal of Alloys and Compounds. – 2025. – № 1015. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2025.178888>.
5. Safronova V.S. A theoretical and experimental study of phase formation in Ti–CuO powder mixtures under reactive sintering conditions / V.S. Safronova, A.G. Knyazeva, E.N. Korosteleva. // New J. Chem. – 2025. – 49. – 893–909. – DOI: <https://doi.org/10.1039/d4nj03751k>.

6. Фазообразование в реакционных порошковых смесях (Al-Fe-Fe₂O₃) при наличии конкурирующих стадий / Е.Н. Коростелева, А. Г. Князева, В.В. Коржова, А.В. Барановский // Химическая физика и мезоскопия. – 2024. – № 26 (3). – С. 317–330. – DOI: <https://doi.org/10.62669/17270227.2024.3.27>.

7. Коростелева Е.Н. Синтез и эволюция структурно-фазового состояния порошковых материалов Al-Fe-Fe₂O₃ в условиях нагрева / Е.Н. Коростелева, И.О. Николаев, А.В. Барановский // Материалы XVII Минского международного форума по тепло- и массообмену (20–24 мая 2024 г.). – Минск: – 2024. – С.746–748.

8. Коростелева Е.Н. Особенности формирования структуры спеченных порошковых материалов с использованием отходов металлообработки стальных заготовок / Е.Н. Коростелева, И.О. Николаев, В.В. Коржова // Обработка металлов. – 2022. – № 4. – С. 192–205.

ВЛИЯНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ МЕЖДУ РАБОЧИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ НА ПРИВЕДЕННЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ

*О.В. Шарков^а, д.т.н., проф., А.В. Калинин, к.т.н., доц., Д. Малиновский, аспирант
Калининградский государственный технический университет
236022, г. Калининград, Советский пр-т, 14
E-mail: oleg.sharkov@klgtu.ru*

Аннотация: Колодочные тормоза являются одними из наиболее ответственных узлов приводов машин, определяющих их работоспособность. Выполнен теоретический анализ влияния характера распределения давления между рабочими элементами колодочного тормоза на реализующийся приведенный коэффициент трения. Показано, что для практических инженерных расчетов триботехнических характеристик колодочных тормозов целесообразно принимать наиболее простой, с точки зрения аналитического применения, характер распределения давления по закону синуса.

Ключевые слова: тормозная колодка, сила трения, эпюра давления.

Abstract. Shoe brakes are one of the most critical components of machine drives, determining their performance. A theoretical analysis of the influence of the nature of the pressure distribution between the working elements of the shoe brake on the realized reduced friction coefficient has been carried out. It is shown that for practical engineering calculations of the tribotechnical characteristics of shoe brakes, it is advisable to assume the simplest, from the point of view of analytical application, pressure distribution according to the sine law.

Keywords: brake pad, friction force, pressure diagram.

В современном подъемно-транспортном машиностроении преимущественно распространены колодочные тормоза с наружным расположением тормозных колодок относительно рабочей поверхности трения тормозного шкива [1, 2].

Закон распределения давления в контакте тормозной колодки и шкива (рис. 1) оказывает влияние на основные эксплуатационные характеристики колодочных тормозов – коэффициент трения, величину и характер износа, напряженно-деформированное состояние рабочих элементов.

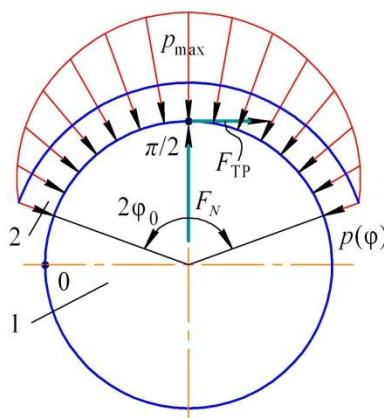


Рис. 1. Расчетная схема колодочного тормоза: 1 – тормозной шкив; 2 – тормозная колодка

При проектировании колодочных тормозов наиболее часто, для случая приработавшихся рабочих поверхностей, принимают распределение давления по закону синуса [1, 3–5]:

$$p(\varphi) = p_{\max} \sin \varphi, \quad (1)$$

где $p_{\max}$ – наибольшее давление на поверхности контакта; φ – угол, определяющий величину давления на поверхности контакта.

В тоже время, некоторые авторы [6], предлагают описывать распределение давления с помощью модифицированного закона синуса – $\sin^{1/2} \varphi$, $\sin^{2/3} \varphi$, $\sin^2 \varphi$ (табл. 1).

Представляет практический интерес оценить, как закон распределения давления влияет на величину приведенного коэффициента трения. Рассмотрим частный случай при угле обхвата тормозной колодки шкива равном $2\varphi_0 = 60^\circ$, который часто встречается в колодных тормозах типа ТКТ.

На рис. 2 представлены эпюры давлений для различных законов распределения. Как видно из полученных результатов для различных законов эпюры давлений имеют достаточно близкую форму, что позволяет сделать предположение о их малом влиянии на приведенный коэффициент трения. Однако для подтверждения такого вывода нужно выполнить уточняющие теоретические расчеты.

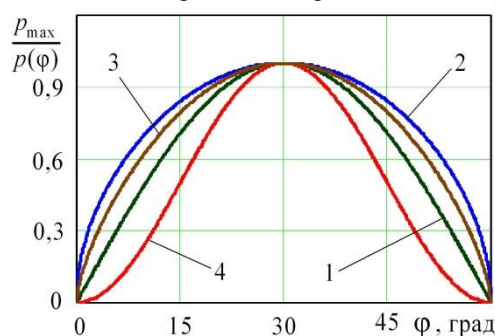


Рис. 2. Изменение давления для законов:

1 – $\sin \varphi$; 2 – $\sin^{1/2} \varphi$; 3 – $\sin^{2/3} \varphi$; 4 – $\sin^2 \varphi$

Величину приведенного коэффициента трения можно определить по формуле работы [3], которую для рассматриваемого случая запишем как

$$f_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{ТР}}}{F_N} = \frac{f \left[\int_{\frac{\pi}{2}-\varphi_0}^{\frac{\pi}{2}} p(\varphi) d\varphi \right]}{\int_{\frac{\pi}{2}-\varphi_0}^{\frac{\pi}{2}} p(\varphi) \sin \varphi d\varphi}, \quad (2)$$

где $F_{\text{ТР}}$, F_N – суммарные сила трения и нормального давления в контакте тормозной колодки и шкива; f – коэффициент трения пары материалов «тормозная колодка – тормозной шкив».

При проведении расчетов примем коэффициент трения $f = 0,5$, который соответствует материалу «Трибонит ТР9». В настоящее время данный фрикционный материал широко применяется для накладок тормозных колодок.

Результаты расчетов величины приведенного коэффициента трения по формуле (2) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение приведенного коэффициента трения

Закон распределения давления	Величина приведенного коэффициента трения $f_{\text{пр}}$
$p(\varphi) = p_{\max} \sin \varphi$	0,5227
$p(\varphi) = p_{\max} \sin^{1/2} \varphi$	0,5310
$p(\varphi) = p_{\max} \sin^{2/3} \varphi$	0,5230
$p(\varphi) = p_{\max} \sin^2 \varphi$	0,5218

Как видно из полученных результатов при использовании различных законов распределения давления расхождение между величинами приведенного коэффициента трения пренебрежимо мало и составляет 0,057...1,58 %. Это позволяет при расчетах колодочных тормозов принимать наиболее простой, с точки зрения аналитического описания, характер распределения давления по закону синуса – формула (1).

Список использованных источников:

1. Тормозные устройства: справочник / М.П. Александров, А.Г. Лысяков, В.Н. Федосеев, М.В. Новожилов. – Москва : Машиностроение, 1985. – 312 с.
2. Носко А.Л. Методика оценки изменения тормозного момента применительно к тормозам грузоподъемных машин / А.Л. Носко // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2017. – № 5 (686). – С. 37–44.
3. Шарков О.В. Определение приведенного коэффициента трения в контакте рабочих поверхностей барабанных тормозов / О.В. Шарков, С.И. Корягин // Автомобильная промышленность. – 2017. – № 8. – С. 14–17.
4. Сакович Н.Е. Расчет тормозов / Н.Е. Сакович, С.Н. Поцепай, Т.И. Васькина // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 6 (82). – С. 60–66.
5. Ogbeide S.O. Modelling of automobile brake pad wear / S.O. Ogbeide, A. Liberty // Iconic research and engineering journals. – 2019. – Vol. 3 (4). – P. 227–239.
6. Пыжев Л.М. Расчет фрикционных тормозов / Л.М. Пыжев – Москва : Машиностроение, 1964. – 228 с.

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ СПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Cu-Al-Fe НА ИХ СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА

А.А. Клопотов², д.ф.-м.н., проф., О.М. Утьев¹, к.т.н., доц. М. Пань^{1,а}, аспирант

¹Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина 30

²Томский государственный архитектурно-строительный университет
634003, Томская обл., г. Томск, пл. Соляная 2
E-mail: ^аmenhua1@tpu.ru

Аннотация: В работе исследовано влияние методов сплавления (традиционное литьё, электронно-лучевая плавка и селективное лазерное плавление) на микроструктуру и свойства сплавов Cu-Al-Fe. Установлено, что традиционное литьё даёт низкие механические показатели (твёрдость 217±6 HV, предел прочности 422 МПа) из-за крупнозернистой структуры. Электронно-лучевая плавка улучшает свойства (твёрдость 335±10 HV, прочность 596 МПа) за счёт измельчения зерна и большого количества γ_2 -фазы, тогда как селективная лазерная плавка обеспечивает наивысшую твёрдость (344±16 HV) благодаря нанопреципитатам и мартенситу. Микроструктурный анализ выявил ключевые фазы (α , γ_2 , κ) и их зависимость от параметров процесса.

Ключевые слова: традиционное литьё, электронно-лучевая плавка, селективное лазерное плавление, сплав Cu-Al-Fe, микроструктура.

Abstract: This work studied the effect of alloying methods (traditional casting, electron beam melting and selective laser melting) on the microstructure and properties of Cu-Al-Fe alloys. It is found that traditional casting provides low mechanical properties (hardness 217±6 HV, tensile strength 422 MPa) due to the coarse-grained structure. Electron beam melting improves the properties (hardness 335±10 HV, strength 596 MPa) due to grain refinement and a large amount of γ_2 -phase, while selective laser melting provides the highest hardness (344±16 HV) due to nanoprecipitates and martensite. Microstructural analysis revealed the key phases (α , γ_2 , κ) and their dependence on the process parameters.

Keywords: traditional casting, electron beam melting, selective laser melting, Cu-Al-Fe alloy, microstructure

Введение

Эксплуатационные характеристики металлических материалов тесно связаны с их микроструктурой, а методы легирования, являясь основными средствами регулирования микроструктуры материалов, напрямую влияют на их механические, физические и химические свойства. Сплавы Cu-Al-Fe, как новый тип легкого металлического сплава с высокой прочностью и вязкостью, превосходной проводимостью и коррозионной стойкостью [1], в последние годы привлекают большое внимание в области судостроения [2], электронных устройств [3], высокотемпературных конструкционных деталей [4] и т. д. Однако полная реализация его характеристик зависит от точного контроля процесса легирования. Традиционная технология литья широко используется благодаря своей низкой стоимости и отработанности, однако присущие ей проблемы, такие как крупнозернистость и сегрегация компонентов, ограничивают улучшение характеристик материала. Быстрое развитие технологий аддитивного производства (таких как селективная лазерная плавка и электронно-лучевая плавка), эти процессы плавки высокоэнергетическим лучом благодаря их быстрому затвердеванию и характеристикам по-

слоистого формования, открывают новые идеи для получения высокопроизводительных сплавов Cu-Al-Fe. Однако механизм влияния различных процессов на структуру и свойства сплавов до конца не изучен, а взаимосвязь между параметрами процесса и свойствами материала еще требует систематического изучения.

Традиционное литье подразумевает получение сплавов посредством процесса плавления-заливки-затвердевания, который характеризуется медленной скоростью охлаждения и склонен к образованию грубых дендритов и макросегрегации элементов Al/Fe, что приводит к неравномерным механическим свойствам. Кроме того, медленное охлаждение может способствовать выделению хрупких интерметаллических соединений (таких как Cu_9Al_4 , FeAl), что снижает прочность материала. Однако этот метод является недорогим и подходит для подготовки больших объемов, а однородность структуры может быть частично улучшена путем последующей термической обработки.

Электронно-лучевая плавка (ЭЛП) использует электронный луч в вакуумной среде для плавления металлических порошков с высоким подводом тепла и сильным проникновением для достижения низкой пористости и однородной микроструктуры. Сплав Cu-Al-Fe может образовывать градиентную структуру из-за ступенчатого температурного поля в процессе ЭЛП, обладающую как высокой прочностью и вязкостью, так и высокой термостойкостью. Однако траектория сканирования электронного луча чувствительна к улетучиванию элементов Al/Fe, и плотность энергии необходимо точно контролировать, чтобы избежать отклонения состава.

Технология селективного лазерного плавления (СЛП), основанная на послойном наплавлении высокоэнергетическим лазером, имеет сверхвысокую скорость охлаждения, что позволяет подавлять диффузию элементов и формировать тонкие метастабильные микроструктуры (такие как нанопреципитаты или пересыщенные твердые растворы), значительно повышая прочность сплава (например, увеличение твердости на 20–40 %). Однако быстрое затвердевание может легко привести к появлению остаточных напряжений и микротрещин, поэтому такие параметры, как мощность лазера и стратегия сканирования, необходимо оптимизировать для достижения баланса между плотностью и производительностью.

Данная работа основана на результатах предыдущих исследований традиционных процессов литья и электронно-лучевой плавки (ЭЛП) сплава Cu-Al-Fe [5], дополнительно представляет технологию селективного лазерного плавления (СЛП). Целью является обсуждение влияния трех методов легирования (традиционное литье/ЭЛП/СЛП) на микроструктуру и свойства сплавов Cu-Al-Fe, выявление внутренней связи между параметрами процесса и свойствами материала, а также предоставление теоретической основы и технической поддержки для оптимизации процесса получения высокопроизводительных сплавов Cu-Al-Fe.

Методика исследований

Как было представлено в предыдущей работе [5], при традиционном литье расплавились металлические блочные материалы Cu, Al, Fe чистотой 99,9 %, диаметром 3 мм и длиной 10 мм с соотношением Cu-13Al-5Fe (мас. %) в графитовом тигле индукционной печи. Полученный расплав заливался в графитовую форму, после кристаллизации получался слиток сплава. При электронно-лучевой плавке металлические порошки Cu, Al и Fe чистотой 99,9 % со средним размером частиц 500 мкм расплавились в вакууме на электронно-лучевой установке (ООО «НПК ТЭТА» 6E250) с током луча 88 мА. В технологии селективного лазерного плавления в данной работе использовались ультрадисперсные металлические порошки Cu, Al, Fe со средним размером частиц 50 мкм и чистотой 99,9 %. Мощность сканирования оборудования составляет 58 Вт, скорость сканирования – 50 мм/с, толщина слоя – 100 мкм, в итоге на подложке ВТ1 получался отпечатанный образец размером 10*10*2 мм на самостоятельно собранном лазерном 3d-принтере в ТПУ.

Оборудование, используемое для анализа и испытаний, включало следующие приборы: для наблюдения микроструктуры использовался металлографический микроскоп (AXIO Observer Alm, Carl Zeiss, Германия); Испытание на микротвердость проводилось с использованием микротвердомера DuraScan-50 (EMCO-TEST, Австрия) для определения твердости материала по Виккерсу; Испытание на прочность на растяжение проводилось с использованием универсальной испытательной машины, самостоятельно разработанной Томским политехническим университетом.

Результаты

Испытания механических свойств показывают, что свойства образцов сплава Cu-Al-Fe, полученных разными методами легирования, существенно различаются. Сплав, полученный традиционным методом литья, имеет самые слабые комплексные механические свойства: средняя твердость по Виккерсу составляет 217 ± 6 HV, а предел прочности на растяжение – всего 422 МПа. Напротив, свойства сплава, полученного методом электронно-лучевой плавки, значительно улучшены: средняя твердость составляет 335 ± 10 HV, а предел прочности на разрыв – 596 МПа. Испытание на растяжение прочности образца, полученного методом селективного лазерного плавления, не проводилось из-за ограничений по размеру, но их средняя твердость по Виккерсу (344 ± 16 HV) оказалась самой высокой среди трех процессов, что указывает на лучший эффект микроупрочнения.

На рисунках 1–3 показаны микроструктурные характеристики сплавов Cu-Al-Fe, полученных методами традиционного литья, электронно-лучевой плавки (ЭЛП) и селективного лазерного плавления (СЛП) соответ-

ственно. Согласно данным предыдущих исследований [5], слиток, полученный методом электронно-лучевой плавки, и слиток, полученный методом традиционного литья, имеют в качестве основных характерных фаз α -фазу (Cu), γ_2 -фазу (Cu_9Al_4), κ -фазу (FeAl) и нераспавшуюся β -фазу (AlCu_3). Основное различие отражается в объемной доле каждой фазы и организационно-морфологических характеристиках. Стоит отметить, что образование α -фазы (твердый раствор на основе меди с ГЦК-структурой) и γ_2 -фазы (твердая и хрупкая фаза с кубической решеткой) происходит в результате эвтектидного превращения β -фазы при температуре 565 °С ($\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$). Этот процесс фазового превращения оказывает решающее влияние на механические свойства сплава.

Образец традиционного литья (рис. 1) имеет типичную крупнозернистую структуру матрицы α -фазы, а его высокая пластичность и относительно низкие характеристики твердости согласуются с присущим α -фазе механизмом упрочнения твердого раствора.

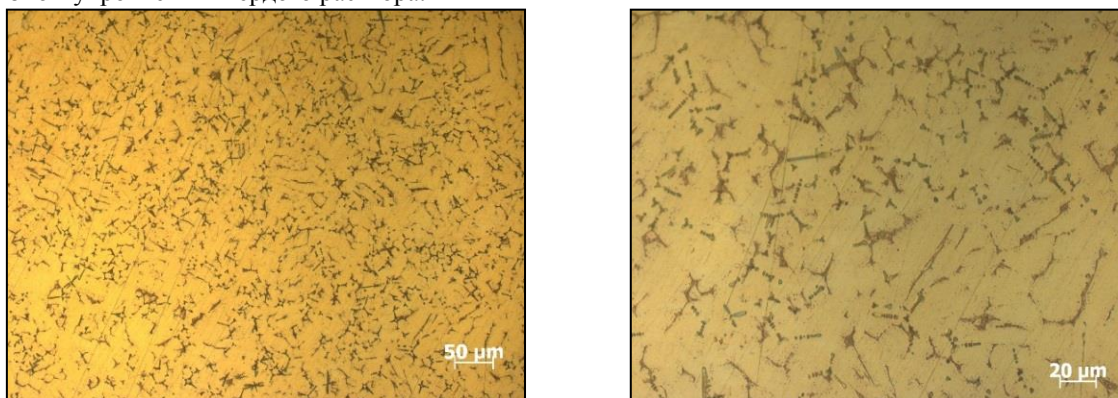


Рис. 1. Оптические изображения микроструктуры образца, полученного методом традиционного литья

По сравнению с традиционным литьём процесс электронно-лучевой плавки (рис. 2) демонстрирует значительный эффект измельчения зерна, который характеризуется: 1) размером матрицы α -фазы значительно уменьшен; 2) в области границ зерен появляется большое количество γ_2 -фазы; 3) κ -фаза равномерно распределена в матрице в виде наномасштабных черных сфер. Эту организационную эволюцию можно объяснить эффектом накопления тепла, вызванным послойным осаждением в процессе ЭЛП: когда энергия осаждения превышает критический порог, время поддержания расплавленной ванны увеличивается, что приводит к снижению скорости охлаждения, тем самым способствуя полному разложению β -фазы в эвтектидную структуру $\alpha + \gamma_2$. В то же время низкая растворимость Fe в системе Cu-Al обуславливает гетерогенное зародышеобразование κ -фазы (интерметаллическое соединение Fe-Al) на фронте затвердевания, что еще больше препятствует укрупнению зерен. Благодаря синергетическому эффекту высоких характеристик твердости γ_2 -фазы (HV 540) и мелкозернистого упрочнения κ -фазы образца, полученные методом ЭЛП, показали прочность на растяжение примерно на 29 % выше, чем у обычных литых образцов ($\sigma = 596$ МПа против 422 МПа).

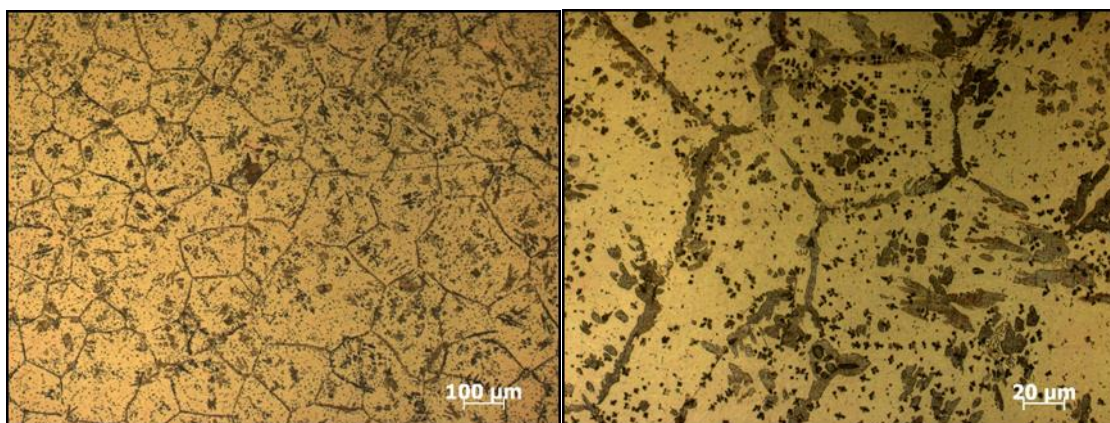


Рис. 2. Оптические изображения микроструктуры образца, полученного методом электронно-лучевой плавки

Из рисунка 3 видно, что образец сплава, полученный методом селективной лазерной плавки, обладает уникальными характеристиками неравновесной структуры затвердевания: 1) мелкая фаза нановыделения; 2) многоориентированный игольчатый термоупругий мартенсит. Образование этой сложной структуры можно объяснить характеристиками плавления высокоэнергетического пучка СЛП: 1. Высокая плотность входной

энергии приводит к локальным высоким температурам и экстремальным скоростям охлаждения, что значительно снижает коэффициенты диффузии элементов Al и Fe (особенно коэффициент диффузии Fe в Cu чрезвычайно низок, около 10^{-20} м²/с), что приводит к усилению сегрегации состава. 2. Быстрое затвердевание препятствует полному равновесию фаз, способствуя образованию наноразмерных интерметаллических соединений FeAl и CuAl₂, что повышает прочность, твердость и износостойкость материала. 3. Появление термоупругого мартенсита обусловлено снятием остаточного напряжения при быстром охлаждении, а температура его образования может быть дополнительно определена с помощью последующего анализа фазовых превращений (например, ДСК). Этот мартенсит придает сплаву память формы, но может снизить пластичность.

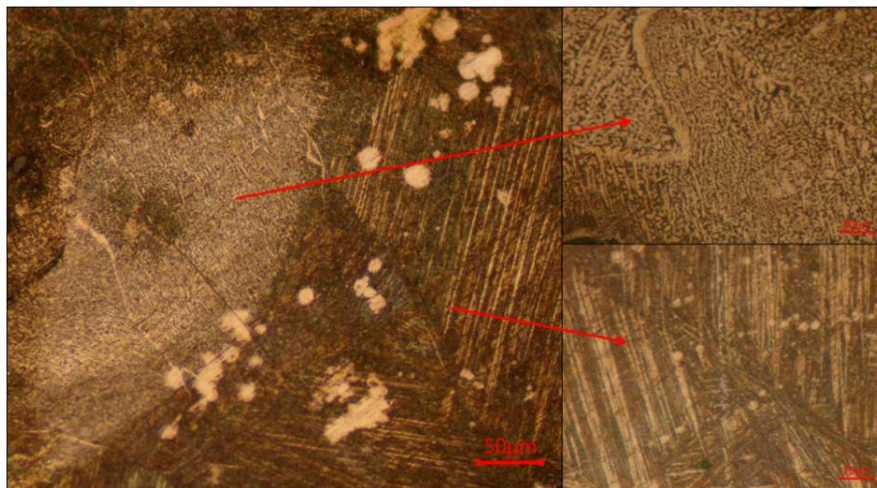


Рис. 3. Оптические изображения микроструктуры образца, полученного методом селективного лазерного плавления

Выводы

Синергетический эффект равномерного выделения γ_2 -фазы и измельчения зерна образца, полученного методом электронно-лучевой плавки, обеспечивает существенно более высокую прочность на растяжение (596 МПа) по сравнению с традиционным литьем образцом (422 МПа). Образец, полученный методом селективного лазерного плавления, имеет самую высокую твердость (344 HV) благодаря упрочняющему эффекту нанопреципитатов и мартенсита, однако испытание на растяжение не проводилось из-за ограничения размера образца. Стоит отметить, что низкая растворимость Fe в системе Cu-Al способствует выделению κ -фазы в матрице фазы, которая действует как гетерогенное ядро зародышеобразования для дальнейшего измельчения зерен, но может вызывать локальное охрупчивание. Микроструктурный анализ выявил ключевые фазы (α , γ_2 , κ) и их зависимость от параметров процесса. Результаты демонстрируют потенциал аддитивных технологий для оптимизации высокопроизводительных сплавов.

Список использованных источников:

1. A.M. Alfantazi Corrosion behavior of copper alloys in chloride media / Alfantazi A.M., Ahmed T.M., Tromans D. // Materials & Design. –2009. –Vol. 30. –P. 2425–2430. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.10.015>
2. C.D.S. Tuck, C.A. Powell J. Nuttall Corrosion of copper and its alloys / C.D.S. Tuck, C.A. Powell J. // Shreir's Corrosion. –2010. –Vol. 3. – P. 1937–1973. – DOI: 10.1016/B978-044452787-5.00094-9
3. Aldirmaz E. Effect of Nickel Addition on the Magnetic and Microstructural Properties of Cu-Al-Fe Alloy / E. Aldirmaz, M. Güler, E. Güler. // J Supercond Nov Magn. – 2020. – Vol. 33. – P. 755–759. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10948-019-05214-5>.
4. Raju T.N. Influence of aluminum and iron contents on the transformation temperatures of Cu-Al-Fe shape memory alloys / T.N. Raju, V. Sampath // Trans Indian Inst Met. – 2011. – Vol. 64. – P. 165–168. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s12666-011-0032-6>
5. Пань М. Изготовление сплавов с памятью формы Cu-Al-Fe методом традиционного сплавления и литья и методом электронно-лучевой плавки / М. Пань, А.А. Клопотов, О.М. Утьев, М.П. Моторин [и др.] // Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии: тезисы докладов Международной конференции. – Томск. – 2024. – С. 512–514.

СОПРЯЖЁННАЯ ЗАДАЧА ДИФФУЗИИ ПРИ НАЛИЧИИ НЕИДЕАЛЬНОГО КОНТАКТА МЕЖДУ МАТЕРИАЛАМИ

А.Г. Князева², д.ф.-м.н, проф., С.Е. Повернов^{1,2,а}, студент, лаборант-исследователь

*¹Национальный исследовательский Томский государственный университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 36*

*² Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ^а seryos_00@mail.ru*

Аннотация: Сформулирована диффузионная задача о перераспределении элементов между материалами при наличии неидеального контакта. Разработан и реализован на языке фортран алгоритм решения задачи. Проанализировано влияние начального распределения концентраций и наличие неидеального контакта на результаты.

Ключевые слова: многокомпонентная диффузия, неявная разностная схема, концентрации, неидеальный контакт.

Abstract: The diffusion problem on redistribution of elements between materials in the presence of non-ideal contact is formulated. An algorithm for solving the problem is developed and implemented in the Fortran language. The influence of initial concentration distribution and non-ideal contact on the results is analyzed.

Keywords: multicomponent diffusion, implicit difference scheme, concentrations, imperfect contact.

Введение

Композиционные материалы в последнее время все чаще используются при разработке современных технологий и конструкций. Это связано с возможностью получения материалов с уникальными свойствами. Огромное внимание привлекают материалы, которые называют металломатричными композитами, а также возможность и способы их получения. Важная роль во время синтеза композитов принадлежит процессу формирования переходных слоев между компонентами, участвующими в процессе. Основными движущими силами в этом процессе является диффузия и сопутствующие ей явления [1]. Известны различные способы синтеза новых материалов, такие как сварка, литье, спекание, синтез под давлением. Каждый из этих методов сталкивается с различными проблемами. Примером может стать возникновение неидеального контакта между компонентами (фазами разного элементного состава), участвующими в процессе. Это приводит к проблемам при формировании диффузионных переходных слоев, что в свою очередь может привести к ухудшению свойств итогового продукта, либо к получению композитного материала со свойствами, отличными от тех, которые ожидалось. Данные проблемы возникают и в технологиях сварки, пайки, нанесении различных покрытий и модификации поверхностей [2]. Их исследование требует к себе привлечение математического моделирования.

Современные металлические материалы часто состоят из нескольких компонентов, каждый из которых может оказывать существенное воздействие на общие свойства итогового сплава. К примеру, легирование стали с добавлением хрома, никеля или молибдена позволяет улучшить устойчивость к коррозии, прочность и вязкость [3]. Но для достижения необходимых результатов и свойств необходим точный контроль распределения легирующих элементов в материале, что зависит от процессов диффузии.

Моделирование многокомпонентной диффузии представляет собой нетривиальную задачу, связанную, к примеру, с недостатком данных по коэффициентам диффузии; неточной информацией о механизмах диффузии и участии в диффузии разных дефектов; связи диффузии с поверхностными явлениями и химическими реакциями, механизмы которых до сих пор недостаточно изучены. Многокомпонентная диффузия в металлах является ключевым процессом, который играет важную роль в различных аспектах материаловедения и металлургии. Этот процесс представляет собой перемещение атомов различных легирующих элементов и примесей в металлических матрицах, что существенно влияет на механические, физические и химические свойства материалов [4]. Понимание и моделирование многокомпонентной диффузии являются важным аспектом для разработки новых металлических сплавов, улучшения их характеристик и оптимизации технологических процессов, таких как термообработка и сварка.

Цель данной работы заключается в постановке сопряженной диффузионной задачи для многокомпонентных систем при наличии неидеального контакта между материалами, построении численного алгоритма решения данной задачи.

Постановка задачи

Рассматривается задача о перераспределении двух легирующих элементов между двумя материалами. Основу этих материалов составляют разные вещества, поэтому в разных материалах коэффициенты диффузии различны. Граница раздела двух материалов является плоской. Однако контакт между материалами является неидеальным. В системе трех элементов требуются по два уравнения для потоков в каждом материале и по два уравнения диффузии.

Математическая задача о перераспределении элементов в декартовой системе координат имеет следующий вид:

$$\frac{\partial Y_1^m}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(J_1^m); \quad \frac{\partial Y_2^m}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(J_2^m) \quad x > 0; \quad (1)$$

$$\frac{\partial Y_1^p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(J_1^p); \quad \frac{\partial Y_2^p}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(J_2^p) \quad x < 0; \quad (2)$$

$$x = 0: Y_1^p - Y_1^m = \frac{\delta}{D_{s1}} J_1^p; \quad Y_2^p - Y_2^m = \frac{\delta}{D_{s2}} J_2^p; \quad (3)$$

$$J_1^p = J_1^m; \quad J_2^p = J_2^m,$$

где $\frac{\delta}{D_{s1}}, \frac{\delta}{D_{s2}}$ - диффузионные сопротивления.

Вдали от границы раздела (при $x=-R$ и $x=H$) потоки равны нулю.

Здесь диффузионные потоки включают два слагаемых:

$$J_1^k = -D_{11}^k \frac{\partial Y_1^k}{\partial x} - D_{12}^k \frac{\partial Y_2^k}{\partial x}; \quad (4)$$

$$J_2^k = -D_{21}^k \frac{\partial Y_1^k}{\partial x} - D_{22}^k \frac{\partial Y_2^k}{\partial x}, \quad (5)$$

где $k = m, p$.

В начальный момент времени распределение концентраций в частице и матрице задано следующим образом: $Y_1^k = Y_{1,0}^k; Y_2^k = Y_{2,0}^k$. В сумме с третьим компонентом получаем 1 в каждой области.

Задача, сформулированная в декартовой системе координат, может быть использована и для частиц произвольной формы, поскольку размеры диффузионных зон намного меньше размеров частиц, так что кривизна границ раздела не будет существенным фактором.

При наличии большого числа элементов формулировка задачи аналогична.

Если для идеальных контактов решения сопряженных задач в литературе имеются, то при наличии неидеальных контактов аналитических решений не найдено. В [5] представлены примеры.

Численное решение задачи

Решение тестовой задачи было получено с использованием неявной разностной схемы второго порядка точности и представлено на рисунке 1 для различных вариантов начального распределения компонентов в материале. Для каждого из элементов коэффициенты диффузии одинаковые. Перекрестные коэффициенты диффузии приняты равными нулю.

В начальный момент времени диффузионной зоны нет. Она начинает формироваться с течением времени; состав итогового образца зависит от начальной концентрации добавок, вводимых в него, и в зависимости от их концентрации будет определяться скоростью диффузионного переноса. В любом из случаев наблюдается диффузия компонентов из области с наибольшей их концентрацией в область с меньшей.

Проанализировано влияние диффузионного сопротивления на распределение компонентов в материале (рисунок 2) на примере второго компонента. В этом случае на графиках 2а и 2б можно увидеть наличие разрыва концентраций на границе раздела, который со временем уменьшается и стремится к нулю. Имеется зависимость величины разрыва от величины диффузионного сопротивления. С уменьшением δ величина разрыва снижается, что приводит к ускорению перемещения компонентов через границу раздела. Это приводит к изменению распределения концентраций в малой окрестности границы раздела. В расчетах использованы следующие значения коэффициентов диффузии:

$$D_{11}^p = 5 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c}; \quad D_{11}^m = 5 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c}; \quad D_{22}^p = 5 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c}; \quad D_{22}^m = 5 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c};$$

$$D_{12}^p = 0; \quad D_{12}^m = 0; \quad D_{21}^p = 0; \quad D_{21}^m = 0; \quad D_{s1} = 1.6 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c}; \quad D_{s2} = 1.6 \cdot 10^{-3} \frac{cm^2}{c}.$$

Все это говорит о том, что наличие диффузионного сопротивления, которое может возникать из-за наличия неидеальности контакта, оказывает существенное влияние на процесс получения новых материалов.

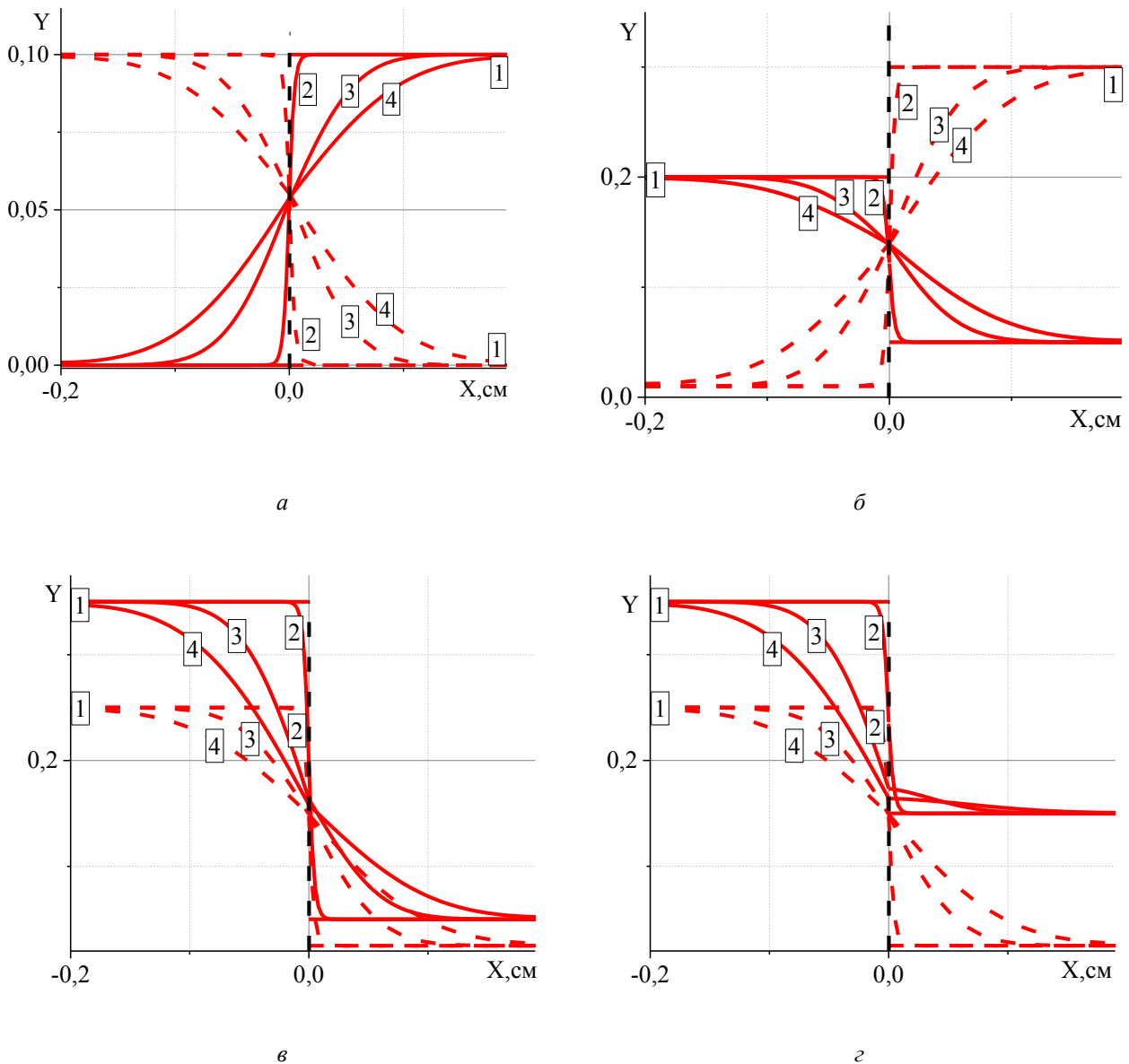


Рис. 1. Распределение концентраций в материале при различных начальных условиях в разные моменты времени:
1. $t = 0$ с; 2. $t = 1$ с; 3. $t = 20$ с; 4. $t = 39$ с

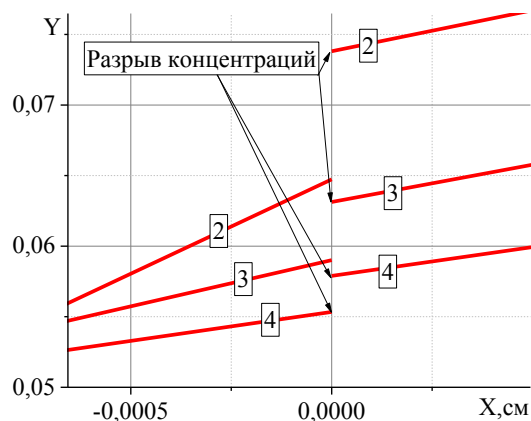
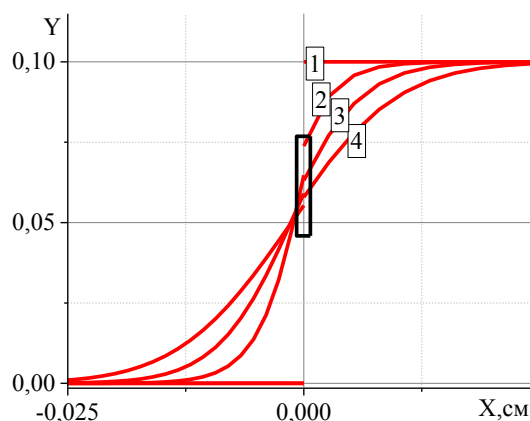
Первому элементу соответствуют пунктирные линии, второму элементу – сплошные линии;

а – $Y_{1,0}^p = 0.1$; $Y_{2,0}^p = 0$; $Y_{1,0}^m = 0$; $Y_{2,0}^m = 0.1$; б – $Y_{1,0}^p = 0.01$; $Y_{2,0}^p = 0.2$; $Y_{1,0}^m = 0.3$; $Y_{2,0}^m = 0.05$;

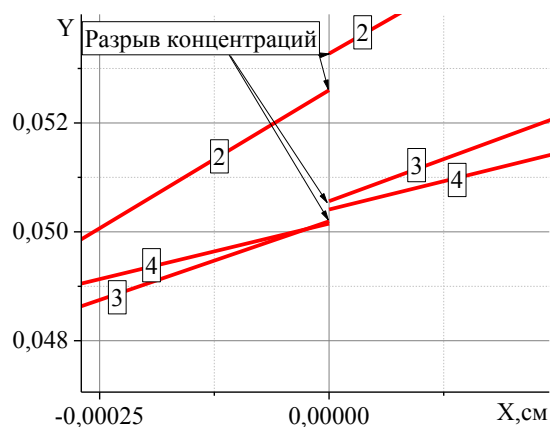
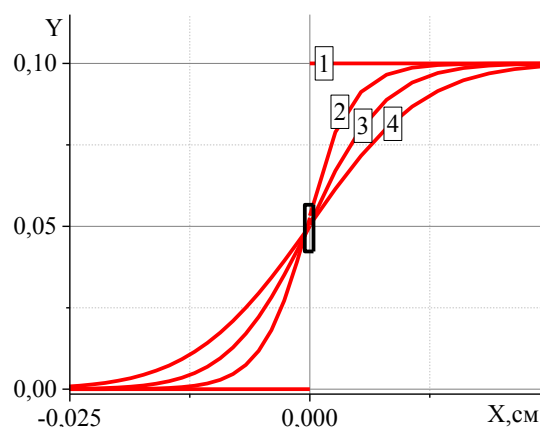
в – $Y_{1,0}^p = 0.25$; $Y_{2,0}^p = 0.35$; $Y_{1,0}^m = 0.025$; $Y_{2,0}^m = 0.05$; г – $Y_{1,0}^p = 0.25$; $Y_{2,0}^p = 0.35$; $Y_{1,0}^m = 0.025$; $Y_{2,0}^m = 0.15$;

Выводы

Таким образом, в ходе работы (1) сделана постановка задачи о перераспределении элементов между материалами при наличии неидеального контакта (2). Продемонстрирована важна роль неидеального контакта в формировании распределения концентраций в диффузионной зоне. В дальнейшем предполагается усовершенствовать модель за счет учета зависимостей коэффициентов диффузии от состава и разработать алгоритм решения задачи, основанный на матричной прогонке, что будет важно при переходе к реальным многокомпонентным системам.



а



б

Рис. 2. Распределение концентраций в материале при наличии неидеального контакта (различных значениях δ) в разные моменты времени: 1. $t = 0$ с; 2. $t = 1$ с; 3. $t = 2$ с; 4. $t = 3$ с

$$a - \delta = 2 \cdot 10^{-4}; \quad б - \delta = 2 \cdot 10^{-5}$$

Список использованных источников:

1. Бокштейн Б.С. Диффузия атомов и ионов в твердых телах : монография / Б.С. Бокштейн, А.Б. Ярославцев. – Москва : МИСИС, 2005. – 362 с. – ISBN 5-87623-130-4.
2. Нохрина Ю.Т. Легирование и модифицирование стали / Ю.Т. Нохрина. – Томск : Томский политехнический университет, 2025. – URL: https://portal.tpu.ru/files/departments/publish/Nohrina_YuTI_.pdf (дата обращения: 11.04.2025).
3. Жабин А.Н. Изготовление металломатричных композиционных материалов с применением аддитивных технологий (Обзор) / А.Н. Жабин, А.Н. Няфкин // Труды ВИАМ. – 2022. – № 2 (108). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izgotovlenie-metallomatrichnyh-kompozitsionnyh-materialov-s-primeneniem-additivnyh-tehnologiy-obzor> (дата обращения: 08.07.2024).
4. Попов А.В., Гриб А.В. Многокомпонентная диффузия в металлах и сплавах / А.В. Попов, А.В. Гриб. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2021. – 30 с. – URL: https://study.urfu.ru/Aid/Publication/2554/1/Popov_Grib.pdf (дата обращения: 20.10.2023).
5. Особенности спекания порошковых составов CuO-Al и TiO₂-Al в условиях регулируемого нагрева / М.А. Анисимова, А.Г. Князева, Е.Н. Коростелева, С.Е. Повернов // Химическая физика и мезоскопия. – 2024. – Т. 26. – № 4. – С. 457–470. – DOI 10.62669/17270227.2024.4.38.

СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВЛОЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РЕМОНТНЫХ РАБОТ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ЧУГУНА

Д.П. Ильященко ¹, к.т.н., доц., Е.В. Лаврова ², д.т.н., доц.

¹Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

²Приазовский государственный технический университет

287642, Донецкая Народная Республика, г. Мариуполь, ул. Университетская, 7

E-mail: mita8@tpu.ru

Аннотация: В работе представлены результаты энергетических характеристик источника питания дуговой сварки плавлением на тепловложение при проведении ремонтных работ изделий.

Ключевые слова: покрытые электроды, чугун, осциллограммы, источник питания.

Abstract: The paper presents the results of the energy characteristics of the fusion arc welding power source for heat input during product repair work.

Keywords: coated electrodes, cast iron, waveforms, power supply.

Сварка чугуна – процесс, сопряженный со значительными трудностями, обусловленными уникальными физико-химическими свойствами этого материала. В отличие от более податливых металлов, чугун демонстрирует высокую склонность к образованию напряжений, как тепловых, так и усадочных, что приводит к образованию хрупких закалочных структур и, как следствие, к появлению трещин в сварном шве. Эта проблема усугубляется плохой технологической свариваемостью чугуна, которая обусловлена его химическим составом и структурой. Высокое содержание углерода и кремния в чугуне способствует образованию ледебурита – эвтектической смеси цементита и аустенита, которая резко снижает пластичность и прочность сварного соединения.

Подбор присадочного материала для сварки чугуна представляет собой отдельную сложную задачу. Химический состав присадочного металла должен быть тщательно подобран с учетом химического состава основного металла, чтобы обеспечить минимальное различие в свойствах сварного шва и основного металла. Неправильный подбор присадочного материала может привести к образованию пористости, неметаллических включений и других дефектов [1–4], значительно снижающих прочность и долговечность сварного соединения. Более того, даже при правильном подборе присадочного материала, необходимо строго контролировать условия кристаллизации сварочной ванны и последующего охлаждения, чтобы предотвратить образование напряжений и трещин. Быстрое охлаждение может привести к образованию мартенсита – чрезвычайно хрупкой структуры, а слишком медленное – к образованию крупнокристаллической структуры, также снижающей прочность.

Для минимизации негативных эффектов, связанных с тепловым воздействием на чугун во время сварки, необходимо применять специальные технологии и режимы сварки, обеспечивающие минимальное тепловложение. Использование инверторных источников питания является одним из ключевых аспектов успешной сварки чугуна [5]. Инверторные источники позволяют более точно контролировать сварочный процесс, обеспечивая стабильную дугу и уменьшая размеры переносимых капель электродного металла. Меньшие капли означают меньшее количество выделяемого тепла, что, в свою очередь, снижает риск образования напряжений и трещин. Это особенно важно при ремонте крупных чугунных изделий, где локальное перегревание может привести к необратимым повреждениям.

Кроме использования инверторных источников, эффективным способом снижения тепловложения является модификация обмазки электродов. Введение в обмазку нанопорошков различных функциональных назначений позволяет оптимизировать процесс переноса металла [6], уменьшая размер капель и повышая стабильность дуги. Наночастицы, в зависимости от своего состава, могут влиять на поверхностное натяжение расплавленного металла, изменять скорость охлаждения сварочной ванны и способствовать образованию более мелкозернистой структуры сварного шва.

Научные исследования, посвященные совершенствованию технологий сварки чугуна, активно ведутся. Например, авторы одной из работ [7] анализируют современные тенденции в оборудовании для дуговой сварки плавлением и их влияние на стабильность сварочного процесса. Они подчеркивают важность использования современных инверторных источников с усовершенствованными системами управления для достижения оптимального качества сварного шва. Другие исследователи [8] сосредотачиваются на совершенствовании процесса сварки с коротким замыканием дуги, разрабатывая специальные алгоритмы управления работой инверторных источников, позволяющие снизить тепловложение и повысить качество сварного соединения. Эти исследования свидетельствуют о постоянном поиске новых решений, направленных на повышение эффективности и надежности сварки чугуна, что является важной задачей в различных отраслях промышленности, где используется этот прочный, но сложный в обработке материал. В целом, успешная сварка чугуна требует комплексного

подхода, включающего тщательный подбор материалов, оптимизацию параметров сварочного процесса и использование современных технологий, что обеспечивает получение прочного и надежного сварного соединения.

Цель работы – выявить способы уменьшения тепло вложения при сварке чугунных изделий, за счет снижения переносимых капель электродного металла, что можно реализовать, используя современные источники питания.

Оценку стабильности процесса сварки (рисунок 1, 2) осуществляли с помощью статистической обработки осциллограмм сварочного тока и напряжения от источников питания, имеющих различные динамические характеристики. В качестве основных источников питания были выбраны: источник питания, изготовленный по классической схеме сварочного выпрямителя – типа ВДУ-506Э, далее «Источник 1» и 2 источника питания инверторного типа «Источник 2». Изучение динамических характеристик производилось на основе сравнения осциллограмм тока и напряжения, полученных с использованием: цифрового запоминающего осциллографа «Rigol»; дифференциального пробника «DC-1 МГц»; съемника «current probe PR 1030».

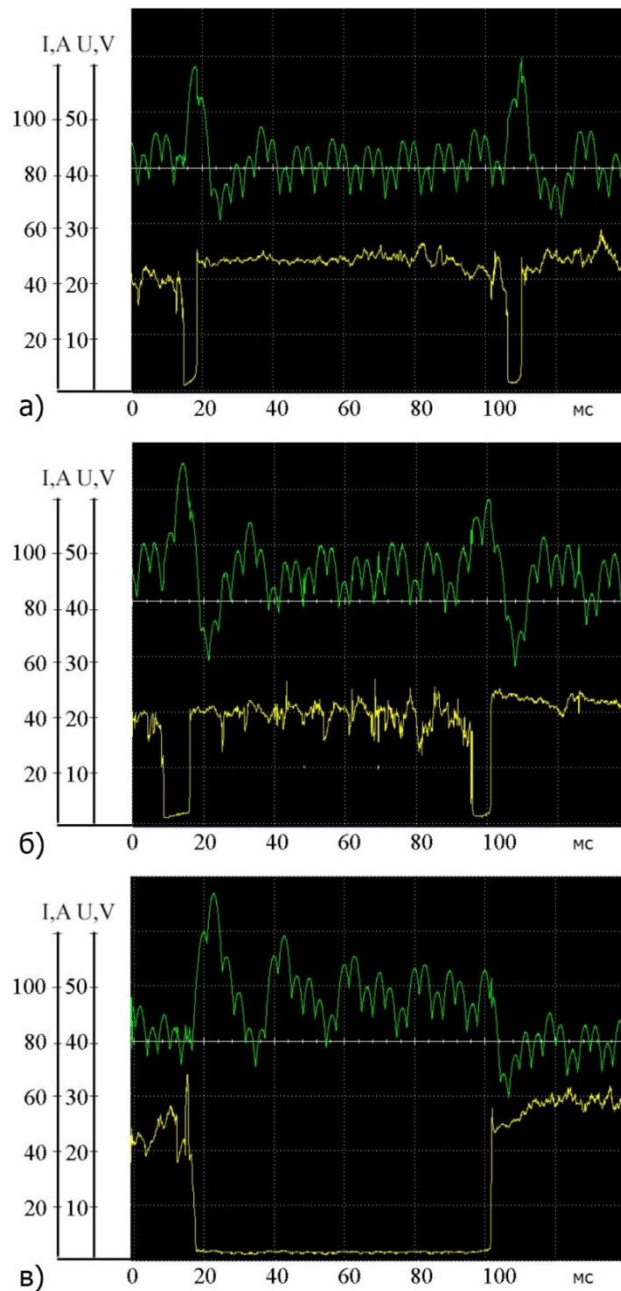


Рис. 1. Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (источник питания 1):
а – электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм; б – электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм;
в – электроды марки ОЗЧ-4 диаметром 3 мм

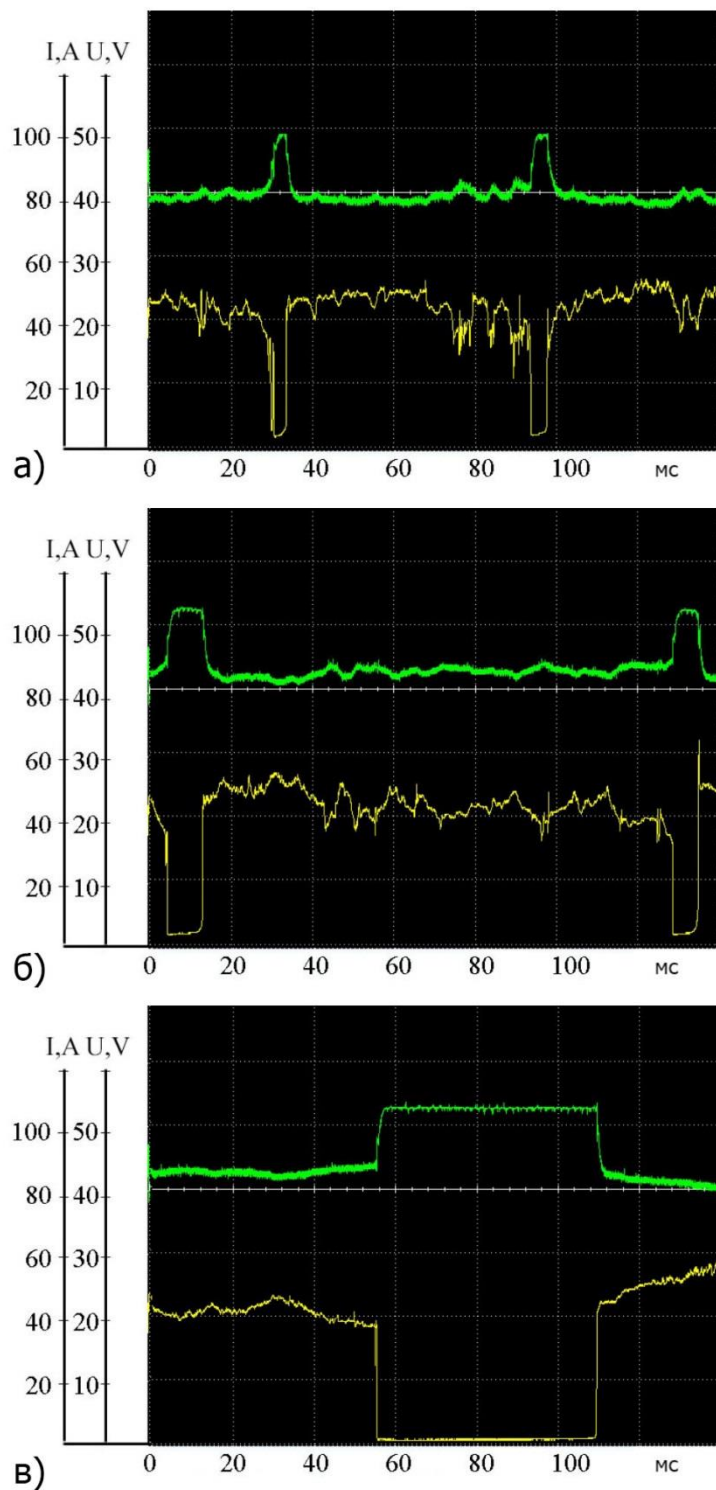


Рис. 2. Осциллограммы тока в сварочной цепи и напряжения между электродом и изделием (источник питания 2):
а – электроды марки LB-52U диаметром 3,2 мм; б – электроды марки УОНИ-13/55 диаметром 3 мм;
в – электроды марки ОЗЧ-4 диаметром 3 мм

В результате исследований было установлено (рисунок 1, 2), что характеристики тепломассопереноса существенно изменяются в зависимости от динамических характеристик, применяемых источников питания, что особенно важно при учёте технологических операций, выполняемых в процессе ремонта конструкций ответственного назначения чугунного исполнения.

Список использованных источников:

1. Cárcel-Carrasco, F.-J.; Pérez-Puig, M.-A.; Pascual-Guillamón, M.; Pascual-Martínez, R. An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6 % Nickel for the Filler Welds. *Metals* 2016, 6, 283. – URL: <https://doi.org/10.3390/met6110283> (дата обращения: 15.02.2025).
2. Influence of thermo-deformational cycle of hardfacing on the structure and properties of railway wheels at their reconditioning / A.A. Gajvoronsky, V.D. Poznyakov, V.A. Sarzhevsky. – *Paton Weld. Sci. Tech.* – 2010. – 5. – P. 15–18.
3. Леонтьев Л.Б. Сварка ответственных деталей из серого чугуна / Л.Б. Леонтьев, А.В. Погодаев, С.П. Кобыляков, Е.Д. Доценников // *Вестник ИШ ДВФУ.* – 2015. – № 4 (25). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svarka-otvetstvennyh-detaley-iz-serogo-chuguna> (дата обращения: 09.03.2025).
4. Cárcel-Carrasco F.-J.; Pérez-Puig M.-A.; Pascual-Guillamón M.; Pascual-Martínez R. An Analysis of the Weldability of Ductile Cast Iron Using Inconel 625 for the Root Weld and Electrodes Coated in 97.6% Nickel for the Filler Welds. *Metals.* – 2016. – 6. – 283 с. – URL: <https://doi.org/10.3390/met6110283> (дата обращения: 15.02.2025).
5. Influence of thermo-deformational cycle of hardfacing on the structure and properties of railway wheels at their reconditioning / A.A. Gajvoronsky, V.D. Poznyakov, V.A. Sarzhevsky [and it.]. – *Paton Weld. – Sci. Tech.* – 2010. – 5. – С. 15–18.
6. Il'yashchenko D.P. The Effect of Energy Parameters of Power Sources on the Structure and Properties of Permanent Joints at Manual Arc Welding / D.P. Il'yashchenko, D.A. Chinakhov, E.V. Lavrova. – *Metals.* – 2024. – 14. – 759 с. – URL: <https://doi.org/10.3390/met14070759> (дата обращения: 15.02.2025).
7. Il'yashchenko D.P. Production of Electrodes for Manual Arc Welding with Using the Complex Modifiers: Pt. IV: Producing of Nanostructured Material and Investigations of Their Properties / D.P. Ilyashchenko, S.V. Makarov // Режим доступа: по договору с организацией-держателем ресурса. – URL: <http://www.appleacademicpress.com/applied-nanotechnology-materials-and-applications/9781771883504> (дата обращения: 15.02.2025).
8. Milyutin V.S. Testing the welding properties of arc welding equipment / V.S. Milyutin. – Ekaterinburg, 2019. – 466 p.

**ВЛИЯНИЕ РЕАГИРУЮЩИХ ГАЗОВ НА ДАВЛЕНИЕ ВО ФРОНТЕ ДЕТОНАЦИОННОЙ ВОЛНЫ
В ПРОТОЧНОМ РЕАКТОРЕ ИМПУЛЬСНОГО ДЕЙСТВИЯ**

*А.А. Розный^а, инж.-исслед., А.В. Собачкин, к.т.н., ст. науч. сотр., М.В. Логинова, к.т.н., ст. науч. сотр.
Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
E-mail: ^а alex.rozny@mail.ru*

Аннотация: В работе исследовалось влияния соотношения компонентов реагирующих газов, а также состава газовой смеси на давление во фронте детонационной волны. Для каждого случая были получены профили давления во фронте детонационной волны. Определены основные параметры для профилей давления. Результаты работы показывают, что при использовании пропан-бутан-кислородной смеси максимальные значения амплитуды давления практически не меняются при изменении соотношения газов. Давления при ударно-волновом нагреве в камере высокого давления для ацетиленокислородной смеси увеличивается с увеличением доли объема кислорода в смеси.

Ключевые слова: газовая детонация, детонационный поток, детонационно-газовый реактор.

Abstract: The work investigated the influence of the ratio of the components of the reacting gases, as well as the composition of the gas mixture on the pressure in the front of the detonation wave. For each case, the pressure profiles in the front of the detonation wave were obtained. The main parameters for the pressure profiles were determined. The results of the work show that using a propane-butane-oxygen mixture, the maximum values of the pressure amplitude practically do not change with a change in the gas ratio. The pressure during shock-wave heating in a high-pressure chamber for an acetylene-oxygen mixture increases with an increase in the proportion of oxygen in the mixture.

Keyword: gas detonation, detonation flow, detonation-gas reactor.

Введение

На данный момент газовая детонация приобрела широкое применение в различных областях науки и техники. Сверхзвуковой импульсный поток, формирующийся при детонации газовой смеси, является основой для некоторых технологических процессов обработки и получения материалов. Одним из таких процессов является детонационно-газовое напыление, позволяющее получать покрытия различной толщины и необходимыми физико-механическими свойствами [1]. Метод детонационного газового напыления взят за основу процесса, в котором гетерогенный синтез сочетается со сверхбыстрым нагревом [2].

Достаточно перспективным применением газовой детонации также можно назвать использование её для синтеза композиционных порошковых материалов. Ударно-волновой нагрев порошковых прекурсоров с после-

дующим охлаждением создаёт необходимые условия для протекания физико-химических процессов синтеза с образованием нанокристаллических структур. Данные материалы обладают большим потенциалом для применения в самых различных отраслях промышленности [3]. При этом существует ряд факторов, определяющих возможность управления процессами структурообразования [4], одним из которых является давление во фронте детонационной волны.

Целью работы является исследование влияния соотношения компонентов реагирующих газов, а также состава газовой смеси на давление во фронте детонационной волны в проточном реакторе импульсного действия.

Объекты и методы исследований

Экспериментальные исследования влияния реагирующих газов на давление во фронте детонационной волны проводились на разработанном и созданном проточном газо-детонационном реакторе импульсного действия, подробное описание в [5]. Профили давления регистрировались с помощью датчика ПД100-ДИ6,0-111-0,5. Для фиксации сигнала с датчика использовался цифровой запоминающий осциллограф Rigol MSO1104Z.

В качестве рабочих газов использовали ацетиленовую и пропан-бутановую смеси в разном соотношении с кислородом. Соотношение реагирующих газов в смесях приведено в таблице 1 (доля объема смеси от объема ствола во всех случаях составляла 0,5/0,5).

Таблица 1

Соотношение реагирующих газов в смеси	
Газовая смесь	Соотношение компонентов
C_2H_2/O_2	1 / 1
	1 / 3
C_3H_8/O_2	1 / 2
	1 / 3

В результате проведенной серии экспериментов были построены профили давления во фронте детонационной волны для различных газовых смесей и при различном соотношении реагирующих газов.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1 представлена характерная осциллограмма регистрации давления для ацетиленокислородной смеси с выделением основных участков профиля давления.

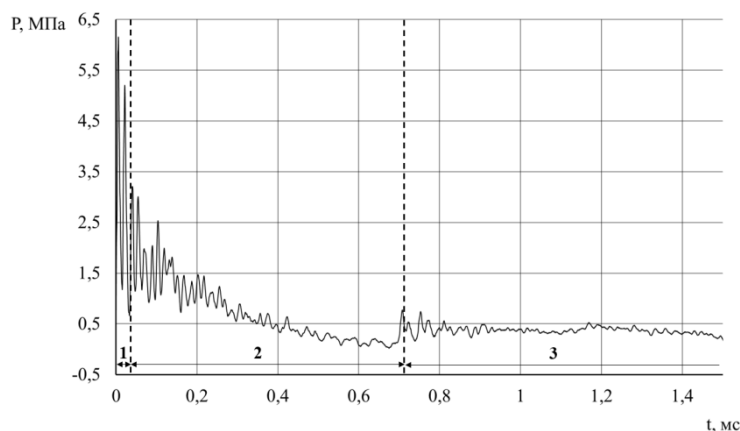


Рис. 1. Осциллограммы регистрации изменения давления во фронте детонационной волны для ацетиленокислородной смеси (соотношение газов 1/1)

На рисунке 2 представлена характерная осциллограмма изменения давления для пропан-бутан-кислородной смеси и участки профиля давления, выделенные при растяжении осциллограммы по оси времени.

При анализе осциллограмм (рисунки 1, 2) можно выделить характерные участки соответствующих процессов, происходящих в камере проточного реактора импульсного действия и определить основные параметры профиля давления:

- участок 1 – формирование фронта ударной волны газовой детонации (отмечается резким подъемом давления). На этом участке фиксируется максимальная амплитуда давления, свидетельствующая о прохождении детонационной волны.

- участок 2 – область разряжения. Участок, следующий за детонационной волной, где происходит спад сигнала, возникающего вследствие движения детонационной волны.

- участок 3 – затухание сигнала, связанное с истечением продуктов детонации из камеры проточного реактора.

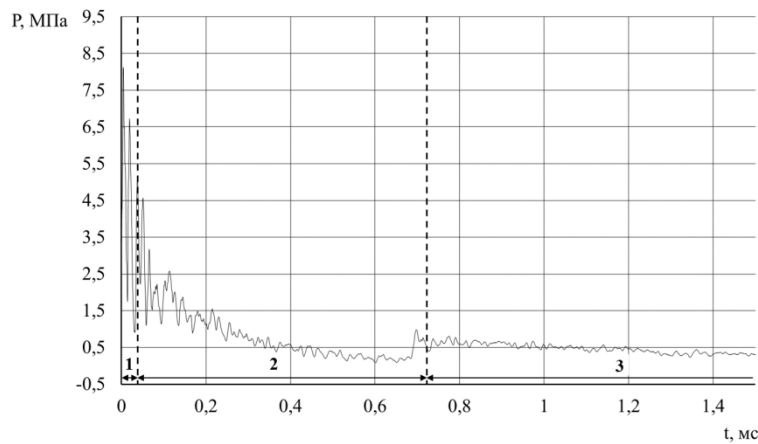


Рис. 2. Осциллограммы регистрации изменения давления во фронте детонационной волны для пропан-бутан-кислородной смеси при соотношении газов (соотношение газов 1/2)

Наблюдаемые на участках 2 и 3 пульсации пиков давления, возникают в результате отражения вторичных ударных волн от поверхности камеры. Отрицательные фазы давления наблюдаются при увеличении доли кислорода в объеме газовых смесей, что свидетельствует о реакции горючих материалов с воздухом.

Основные параметры профилей давлений для различных смесей газов сведены в гистограммы, представленные на рисунке 3: максимальное значение амплитуды давления при прохождении детонационной волны ($P_{\max}$), время подъема давления до максимального значения пика ($t_{\max}$), ширина максимального пика давления ($t_{\text{волн}}$).

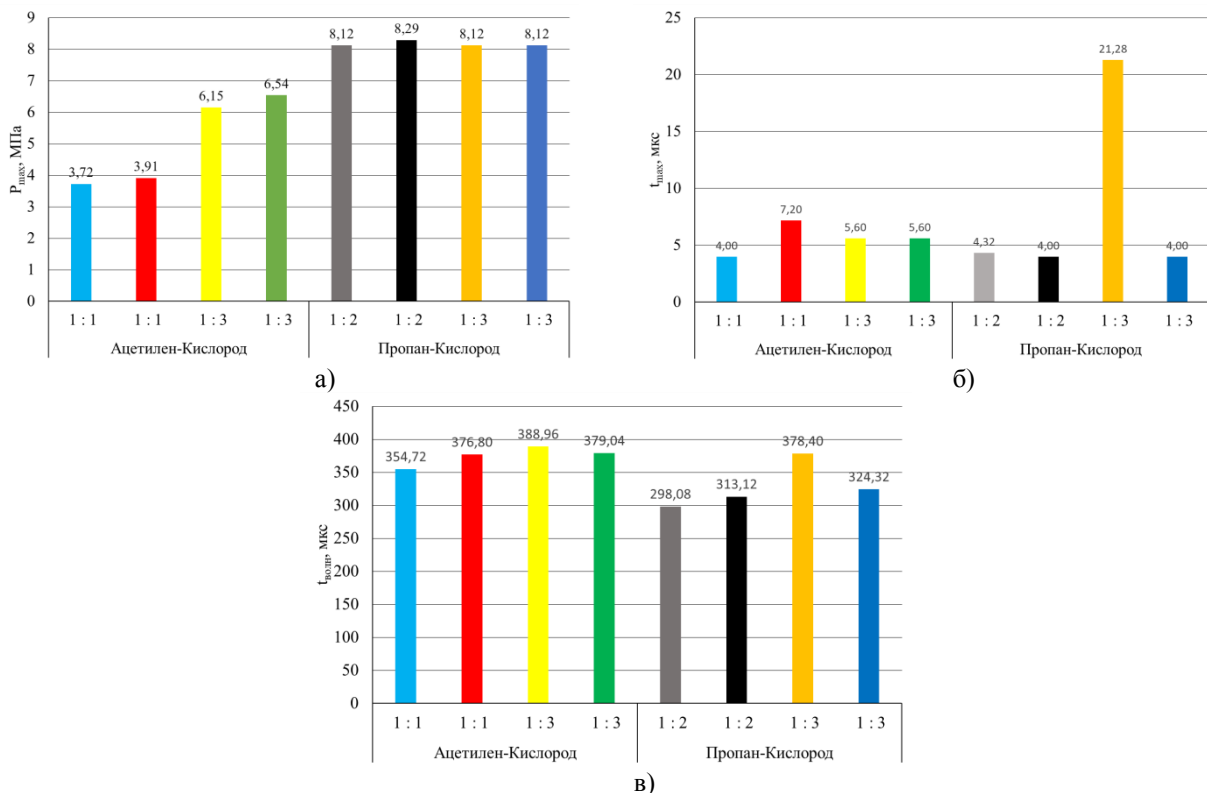


Рис. 3. Основные параметры профилей давления для различных смесей газов: а) $P_{\max}$; б) $t_{\max}$; в) $t_{\text{волн}}$

Выводы

Для ацетиленокислородной смеси при увеличении содержания кислорода, регистрируется повышение максимальной амплитуды всплеска давления и незначительное увеличение ширины основного пика давления. При использовании пропан-бутан-кислородной смеси максимальные значения амплитуды давления практиче-

ски не меняются при изменении соотношения газов. Время выхода на максимум пика давления меньше при соотношении 1/2. Ширина основного пика давления увеличивается с увеличением количества кислорода в реагирующей пропан-бутан-кислородной смеси.

Установлено, что значение давления при ударно-волновом нагреве в камере высокого давления для ацетиленокислородной смеси состава 1/1 соответствует 3,72...3,91 МПа, для соотношения 1/3: 6,15...6,54 МПа. Для пропан-бутан-кислородной смеси для двух соотношений максимальное давление составляет около 8,12 МПа.

Работа выполнялась в рамках государственного Задания FZMM-2023-0003.

Список использованных источников:

1. Wu Y.N. High temperature properties of thermal barrier coatings obtained by detonation spraying / Y.N. Wu, P.L. Ke, Q.M. Wang [et al.]. – DOI: 10.1016/j.corsci.2004.04.003 // Corrosion Science. – 2004. – Vol. 46, № 12. – P. 2925–2935.
2. Шоршоров М.Х. Физико-химические основы детонационно-газового напыления покрытий / М.Х. Шоршоров, Ю.А. Харламов. – Москва : Наука, 1978. – 224 с.
3. Глезер А.М. Аморфно-нанокристаллические сплавы / А.М. Глезер, Н.А. Шурыгина. – Москва : Физматлит, 2013. – 452 с.
4. Кулик А.Я. Газотермическое напыление композиционных покрытий / А.Я. Кулик. – Ленинград : Машиностроение, 1985. – 199 с.
5. Loginova M.V. Phase state of reaction products of a mechanically activated Ti+ Al mixture synthesized during detonation of a gaseous mixture / M.V. Loginova, A.V. Sobachkina, A.A. Sitnikov [et al.] // Fizika Goreniya i Vzryva. – 2024. – Vol. 60, № 5. – P. 86–97. – DOI: 10.15372/FGV2023.9323

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ ПОКРЫТИЙ ПОРОШКОВОЙ ПРОВОЛОКОЙ С КАРБИДНЫМ НАПОЛНЕНИЕМ

Г.А. Прибытков^{1а}, д.т.н, доц., А.Р. Мухно², директор НПП «СПиТ»
А.В. Барановский¹, к.т.н., И.А. Фирсина¹, к.т.н.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4
Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская обл., г. Новокузнецк, Центральный район, ул. Кирова, 42
E-mail: ^agapribytk@mail.ru

Аннотация: Описана и обсуждена структура и фазовый состав дуговых покрытий, наплавленных порошковой проволокой с наполнением из композиционного порошка «карбид титана – связка из легированного феррита». Композиционный порошок был получен способом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) в механоактивированных порошковых смесях ферротитана марки ФТi35C с углеродом (сажей). Наплавленное покрытие имеет в 6 раз более высокую твердость по сравнению с твердостью подложки из стали 09Г2С. Между подложкой и наплавкой при многопроходной наплавке формируется переходная зона с переменной твердостью, как результат структурных превращений в условиях термоциклирования.

Ключевые слова: дуговая наплавка, порошковая проволока, карбидное наполнение, структура покрытий.

Abstract: Structure and phase composition of the claddings deposited by electric arc melting of the powder wire with composite powder filler were studied and discussed. The «titanium carbide – alloyed ferrite matrix» composite powder has been produced by self-propagating high temperature synthesis (SHS) in mechanoactivated powder mixtures of FT35C ferrotitanium with carbon black. Hardness of the claddings is 6 times higher than that of 09Г2С steel base. A transitional zone between steel base and cladding is formed. The transitional zone with a variable hardness resulted from structural transformations under thermocycling conditions.

Keywords: arc welding, powder wire, carbide filling, coating structure.

Нанесение износостойких покрытий на ответственные детали машин и механизмов, позволяеткратно увеличить ресурс работы и межремонтный период современной техники. Для сельскохозяйственной, строительно-дорожной и горнодобывающей техники и оборудования широко применяется дуговая наплавка. Для механизированной дуговой наплавки износостойких покрытий обычно применяется лента или проволока из специальных сплавов на основе железа. Так как износостойкие наплавочные сплавы (стеллит, релит, высокохромистый чугун и др.) имеют высокую твердость и хрупкость, изготовить из них проволоку или ленту невозможно. Поэтому применяют порошковую проволоку, представляющую собой тонкостенную стальную трубку, наполненную порошковой смесью. Состав смеси подобран таким образом, чтобы при ее расплавлении, смешивании со стальной оболочкой и последующей кристаллизации формировалось износостойкое покрытие. В качестве

наполнения для порошковой проволоки обычно применяют порошки тугоплавких соединений: боридов [1], оксидов [2], карбидов или их смесей [3], а также композиционные порошки со структурой металлматричного композита в которой дисперсные частицы карбида титана однородно распределены в металлической матрице [4, 5]. Композиционные порошки получают самораспространяющимся высокотемпературным синтезом (СВС) в реакционных порошковых смесях титана, углерода и порошка металла – связки [6].

В настоящей работе приведены результаты исследования электродуговых покрытий, наплавленных порошковой проволокой диаметром 4,5 мм с оболочкой из стали 08Ю толщиной 0,4 мм, заполненной СВС композиционным порошком. Композиционный порошок был синтезирован из механоактивированной порошковой смеси ферротитана марки ФТи35С с углеродом (сажей). Применение ферротитана вместо титанового порошка кратно уменьшает стоимость порошковой проволоки. Согласно результатам рентгеноструктурного анализа (рис. 1а) порошок содержит карбид титана (около 40 вес. %) и α -Fe. На оптических изображениях травленных металлографических шлифов с композиционного порошка, залитого в смолу (рис. 1 б) светлые включения карбида титана выделяются на сером фоне стальной связки. Большинство карбидных частиц имеет микронные размеры, и только немногочисленные из них достигают 25 мкм.

На рисунке 2 показана микроструктура поперечного сечения наплавки на подложке из стали 09Г2С толщиной 20 мм. На обзорном снимке (рис. 2 а) выделяются 3 зоны: подложка (сверху), переходная зона и наплавка. Подложка (рис. 2 б) имеет типичную микроструктуру доэвтектоидной стали и состоит из перлита и феррита. Переходная зона между наплавкой и подложкой хорошо определяется на травленном шлифе и имеет толщину более 2 мм (рисунок 2 а). Согласно рис. 2 в переходная зона обогащена перлитом, который выпадает из диффузионно насыщенного углеродом твердого раствора углерода в аустените. Аустенит образуется в приграничном слое подложки из малоуглеродистой стали за счет его нагрева теплом от расплава наплавочной ванны. Твердофазная диффузия углерода в подложку происходит из жидкого раствора наплавочной ванны, которая обогащена углеродом и титаном в результате растворения карбида титана в металлическом расплаве. Травленная структура наплавки (рис. 2 г) состоит из серого фона (матрицы), на котором выделяются хаотически ориентированные тонкие иглы и немногочисленные светлые ограненные частицы, твердость которых выше, чем у матрицы. Судя по морфологии, можно предполагать, что светлые частицы – это частицы карбида титана, выпавшие из расплава Fe-Ti-C, образовавшегося при расплавлении присадочной проволоки электрической дугой.

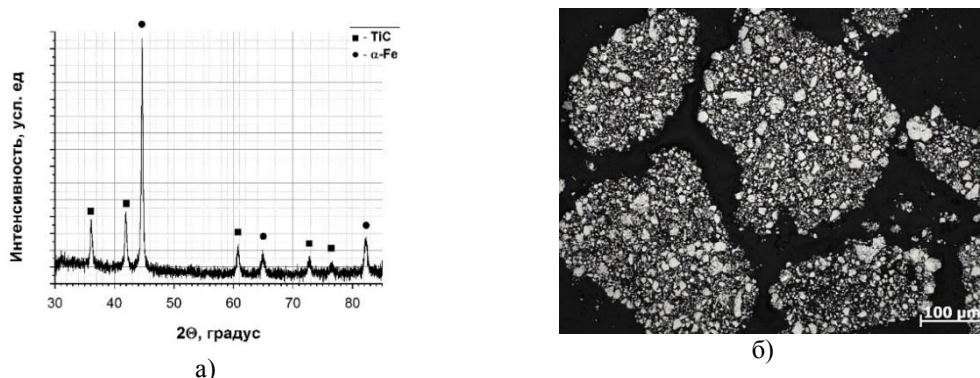


Рис. 1. Рентгенограмма (а) и микроструктура (б) композиционного порошка, синтезированного из механоактивированной смеси ферротитана ФТи35С с сажей

Объемная доля карбидных частиц в наплавке оказывается многократно меньше ожидаемой. Согласно нашей оценке, исходное содержание карбида титана в наплавляемом порошке (40 вес %) должно уменьшиться только до 25 вес % в наплавке за счет разбавления расплавленной оболочкой из малоуглеродистой стали. Расхождение результатов оценки с фактическим содержанием карбида в наплавке объясняется полным растворением в наплавочной ванне карбида титана, содержащегося в композиционном порошке. При кристаллизации наплавки только небольшая часть углерода и титана образует карбидные частицы, а остальное уходит с стальную связку. Одинаковый размер и ограненная форма светлых включений в наплавке (рис. 2 г), подтверждает наше предположение о природе и механизме образования этих включений. Дополнительные суждения о формировании структуры при наплавке были получены из результатов измерения микротвердости (рис. 3). Твердость наплавки (6600 МПа) примерно в 6 раз больше, чем твердость подложки. Причиной такого повышения твердости не могут быть немногочисленные карбидные частицы в структуре наплавки. Наиболее вероятной причиной высокой твердости наплавки можно считать образование мартенсита. Доводом в пользу этого предположения могут быть светлые игольчатые выделения в микроструктуре наплавки (рис. 2 г). Однако для проверки нашего предположения необходимы дополнительные исследования. Немонотонное изменение твердости (рис. 3 а) по толщине переходного слоя (пиковый подъем на границе переходного слоя с подложкой с последующим падени-

ем по мере удаления от подложки) можно объяснить влиянием скорости охлаждения на фазовый состав в условиях многопроходной наплавки. Во время каждого очередного прохода происходит нагрев приграничного слоя подложки с переходом ее в аустенитное состояние по реакции $\alpha\text{-Fe} + \text{П} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$. Одновременно происходит диффузия углерода в подложку и обогащение приграничного слоя подложки углеродом. При охлаждении после очередного прохода происходит обратная реакция распада аустенита. При этом, после наплавки первого слоя на холодную подложку при охлаждении возможна частичная или полная закалка на мартенсит, что и может быть причиной максимальной твердости переходной зоны на границе с подложкой. При последующих проходах источник нагрева (наплавочная ванна) удаляется от подложки, и температура нагрева переходной зоны уменьшается. Падение твердости в переходной зоне по мере приближения к границе с наплавкой можно объяснить отпуском мартенсита, образовавшегося в подложке при первых проходах, когда скорость охлаждения была достаточной для мартенситного превращения в приграничной области подложки.

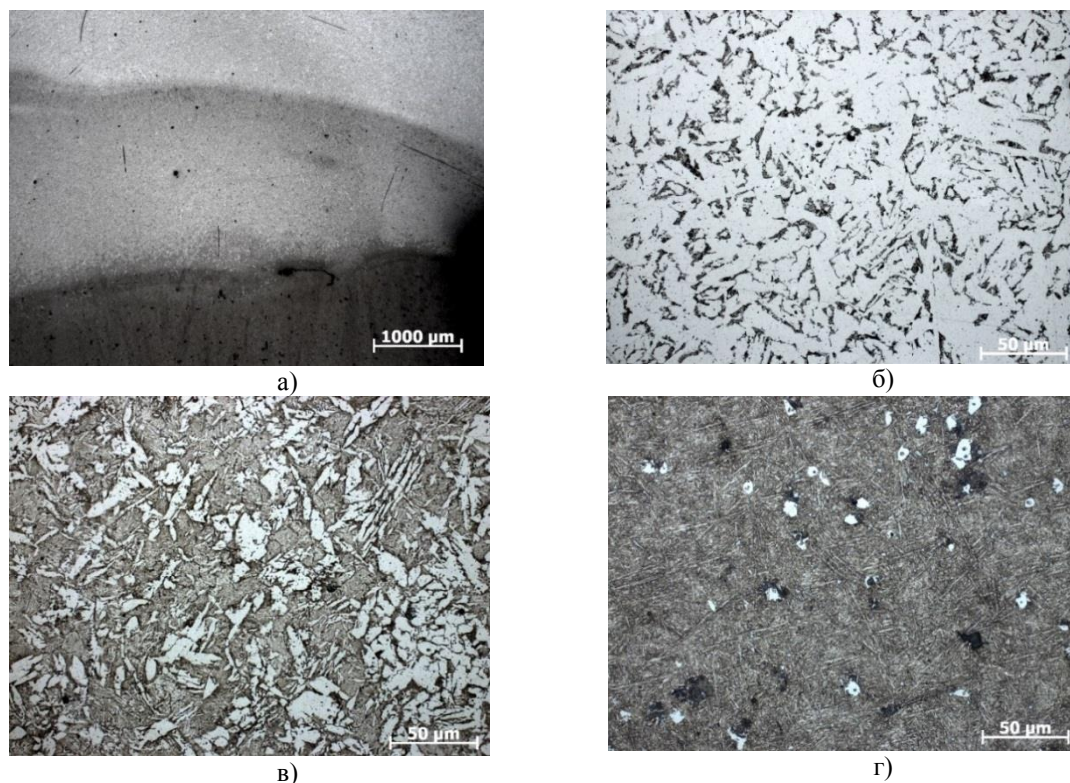


Рис. 2. Микроструктура покрытия, наплавленного порошковой (TiC+50 вес % Fe) проволокой с оболочкой из стали 08Ю на подложку из стали 09Г2С. (Травление 4 % раствором азотной кислоты в этаноле).

а) – общий вид; б) – подложка; в) – переходная зона наплавка – подложка; г) – наплавка.

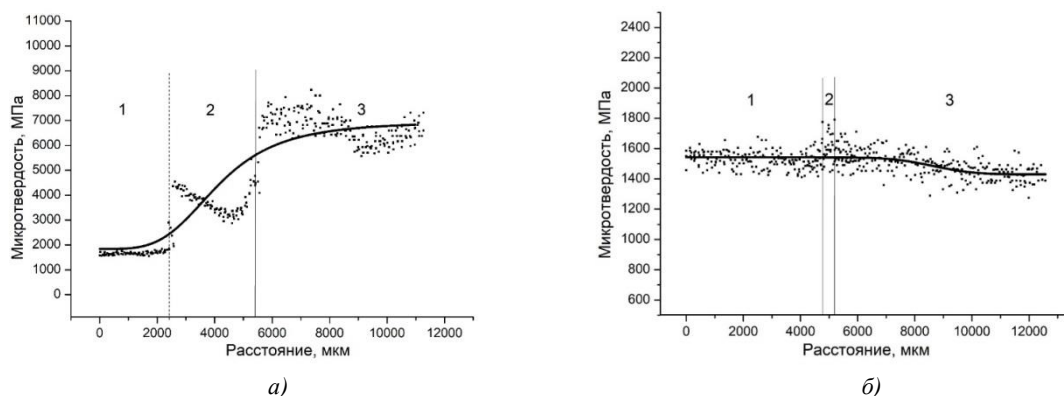


Рис. 3. Профили микротвердости в покрытиях, наплавленных порошковой проволокой (а) и трубчатой оболочкой из стали 08Ю (б). Обозначения: 1 – подложка (сталь 09Г2С); 2 – переходная зона подложка – наплавка; 3 – наплавка

Для сравнения на рис. 3 б приведена кривая изменения микротвердости от подложки 09Г2С в направлении в наплавку проволокой 08Ю без наполнителя. Кривая имеет гладкий вид, с постепенным небольшим понижением твердости до постоянного значения на удалении около 5 мм от границы с подложкой.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021- 0005

Список использованных источников:

1. Формирование композиционной структуры износостойкого наплавленного металла с боридным упрочнением / А.А. Артемьев, Г.Н. Соколов, Ю.Н. Дубцов, В.И. Лысак // Известия Вузов: ПМиФП. – 2011. – № 2. – С. 44–48.
2. Винокуров Г.Г., Стручков Н.Ф., Попов О.Н. Взаимосвязь характеристик заполнения порошковой проволоки и структуры износостойкого покрытия с тугоплавкими добавками / Г.Г. Винокуров, Н.Ф. Стручков, О.Н. Попов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2013. – № 10. – С. 3–7.
3. Особенности формирования структуры и свойств наплавленных сплавов под влиянием наночастиц тугоплавких соединений / Г.Н. Соколов, И.В. Зорин, А.А. Артемьев [и др.]. // Физика и химия обработки материалов. – 2015. – № 2. – С. 38–47.
4. Нанесение защитных покрытий электродуговой наплавкой СВС-электродами / А.М. Столин, П.М. Бажин, М.В. Михеев [и др.] // Сварочное производство. – 2014. – № 8. – С. 52–56.
5. Структура и свойства наплавленных электродуговых покрытий из порошков механоактивированных СВС-композиций / А.А. Ситников, В.И. Яковлев, М.Н. Сейдуров [и др.] // Обработка металлов. – 2011. – № 3 (52). – С. 51–54.
6. Рогачев А.С. Горение для синтеза материалов: введение в структурную макрокинетическую / А.С. Рогачев, А.С. Мукасян. – М. : Физматлит, 2013. – 399 с. – ISBN 978-5-9221-1441-7.

ОПТИМАЛЬНЫЕ РЕЖИМЫ ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПОСЛОЙНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

*М.А. Кузнецов, к.т.н., доц., И.А. Гуляев^а, студент гр. 10А42, А.Д. Кербес, студент гр. 10А42
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аgag.1804@mail.ru*

Аннотация: В работе представлены результаты влияния режимов электродугового послойного выращивания на геометрические параметры выращенного валика, показаны результаты определения оптимальных режимов электродугового послойного выращивания.

Ключевые слова: электродуговое послойное выращивание, оптимальные режимы.

Abstract: The paper presents the results of the influence of the electric arc layer-growing regimes on the geometric parameters of the grown roller, the results of determining the optimal electric arc layer-by-layer growth modes.

Keywords: electric arc layer-by-layer cultivation, optimal modes

При многофакторном оптимальном планировании экспериментов математические методы используются на всех стадиях научного исследования, в том числе при постановке задачи и построении плана выполнения совокупности экспериментов [1].

Одним из достоинств математического планирования многофакторных экспериментов является достаточно четкое последовательное распределение выполняемых операций [2].

При планировании по схеме многофакторного эксперимента реализуется все возможные комбинации факторов на всех выбранных для исследований уровнях [2].

Задача данного исследования – определение оптимального режима электродугового послойного выращивания.

Для процесса электродугового послойного выращивания факторами, влияющими на геометрические параметры выращиваемого валика, являются:

- сила сварочного тока, А;
- напряжение на дуге, В;
- скорость выращивания, мм/мин.

Оптимизация режима электродугового послойного выращивания была проведена по следующим параметрам:

1. Высота усиления валика g (мм)
2. Ширина валика e (мм)

При проведении экспериментальных исследований по определению оптимального режима электродугового послойного выращивания была произведена MIG-наплавка в среде углекислого газа проволокой Св-08Г2С диаметром 0,8 мм. Для этого к разработанному 3-d принтеру в качестве источника питания и подающего механизма было подключено стандартное сварочное оборудование.

Внешний вид поперечного шлифа выращенного валика представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Поперечный шлифы выращенного валика

Определение геометрических параметров выращенного валика производилась измерением ширины валика и высоты усиления валика, по методике, представленной на рисунке 2.

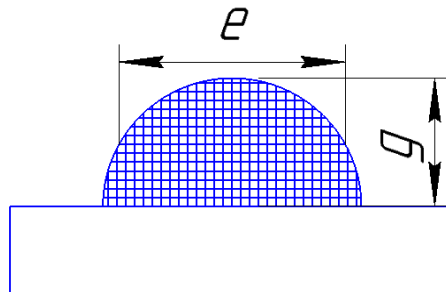


Рис. 2. Схема проведения замеров

В качестве компьютерного продукта выбрана программа «Компас 3D» фирмы «АСКОН», так как это постоянно совершенствующая система автоматизированного проектирования, максимально настроенная под российские стандарты.

Для нахождения оптимального режима электродугового послойного выращивания определяли функцию f из выражения:

$$f = \frac{g}{e} \quad (1)$$

Для обеспечения качественного выращенного валика функция f должна стремиться к 1 при условии, что параметр e должен стремиться к минимуму.

Следовательно, оптимальным режимом электродугового выращивания будет такой при, которых функция f будет ≈ 1 (рис. 3).

$$f = \frac{g}{e} \approx 1 \quad (2)$$



Рис. 3. График отношения высоты усиления валика к ширине валика

На основе проведенного многофакторного эксперимента было выявлено значение функции f составило 0,77. Оптимальные режимы электродугового послыного выращивания представлены в таблице 1.

Таблица 1

Оптимальный режим электродугового послыного выращивания

Сила сварочного тока, А	Напряжение на дуге, В	Скорость выращивания, мм/мин.
70–80	20–23	300

Выводы:

1. По результатам многофакторного эксперимента установлено, что оптимальным режимом электродугового послыного выращивания являются следующие параметры: сила сварочного тока 70–80 А; напряжение дуги: 20–23 В, скорость выращивания: 300 мм/мин.

2. Определено, что при электродуговом послыном выращивание на оптимальном режиме выполняется первое условие, т. е. $f = g/e$ максимально приближена к 1 и равняется 0,77.

3. Установлено, что при электродуговом послыном выращивание на оптимальном режиме выполняется второе условие, т. е. e имеет самое минимальное значение 4 мм.

Список использованных источников:

1. Березовский Б.М. Математические модели дуговой сварки: в 7 т. Том 1. Математическое моделирование и информационные технологии, модели сварочной дуги и формирования шва. / Б.М. Березовский. – Челябинск : Из-во ЮУрГУ, 2002. – 85 с.

2. Modeling impulse wire feed welding in controlled gas shielding / N.V. Pavlov, A.V. Kryukov, E.A. Zernin [and et.] // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 379. – P. 183–187.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЛИТЕЛЬНО РАБОТАЮЩЕГО ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Н.В. Абабков^а, к.т.н., доц., А.Н. Смирнов, д.т.н., проф., М.В. Пимонов, к.т.н.
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
650000, Кемеровская обл., г. Кемерово, ул. Весенняя, 28
E-mail: ^аababkovnv@kuzstu.ru*

Аннотация: В статье приведен анализ процесса прогнозирования и оценки остаточного ресурса сталей для уточнения срока эксплуатации длительно работающего теплоэнергетического оборудования. Процессы, как применяемый в настоящее время, так и предлагаемый, представлен в виде блок-схем. Показано, что при проведении технического освидетельствования в настоящее время основными определяемыми показателями являются трещины, утонение стенок меньше допустимого значения, браковочная структура металла и высокой пористостью, недопустимая остаточная деформация и др. В работе предлагается значительно расширить перечень анализируемой информации, а именно добавить к учету информацию о результатах предшествующих технических освидетельствований и об исходном состоянии металла оборудования, и, соответственно, расширить перечень проверяемых условий. Дополнительным проверяемым условием предлагается к расчету структурно-механический критерий локализованной деформации, который будет учитывать, как результаты исследований структурного и субструктурного состояния металла оборудования, в том числе в зонах локализации деформаций, так и результаты неразрушающих испытаний.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, процесс прогнозирования, остаточный ресурс, длительная эксплуатация, структурно-фазовое состояние, сталь.

Abstract: The article presents an analysis of the process of forecasting and assessing the residual life of steels to clarify the service life of long-term thermal power equipment. The processes, both currently used and proposed, are presented in the form of block diagrams. It is shown that when conducting a technical inspection at present, the main indicators to be determined are cracks, wall thinning less than the permissible value, rejection structure of metal and high porosity, unacceptable residual deformation, etc. The work proposes to significantly expand the list of analyzed information, namely, to add to the accounting information on the results of previous technical inspections and the initial state of the equipment metal, and, accordingly, to expand the list of verified conditions. An additional verified condition is proposed for calculation of the structural-mechanical criterion of localized deformation, which will take into account both the results of studies of the structural and substructural state of the equipment metal, including in the zones of deformation localization, and the results of non-destructive tests.

Keyword: non-destructive testing, forecasting process, residual resource, long-term operation, structural-phase state, steel.

Введение

В процессе длительной эксплуатации под действием тяжелых условий в металле происходят сложные физико-химические процессы, которые приводят к изменению структурно-фазового состояния, зарождению и накоплению микродефектов, которые затем приводят к разрушению элементов оборудования. В связи с этим, обеспечение защищенности жизненно важных интересов личности и общества от аварий на опасных производственных объектах является одной из главных задач промышленности, достичь которую можно при помощи надежной диагностики оборудования и точной оценки остаточного ресурса металла [1].

Прогнозирование как предельного состояния конструкций, так и места будущего разрушения является важной задачей современной промышленности. Ранее в работах [2–4] авторами рассмотрены достоинства и недостатки различных подходов к решению данной проблемы [5–7]. Цель настоящей работы заключается в совершенствовании процесса прогнозирования и оценки остаточного ресурса длительно работающего теплоэнергетического оборудования за счет расчета структурно-механического критерия.

Основная часть

В рамках действующей системы экспертизы промышленной безопасности процесс оценки текущего состояния и прогнозирования работоспособности длительно работающего теплоэнергетического оборудования можно представить блок-схемами, представленными на рис. 1 и 2.

Основным критерием планирования технического освидетельствования и, соответственно, ремонта длительно-работающего оборудования является наработка от начала эксплуатации (рис. 1) и которая выражается в тысячах часов. Также широко используется понятие «паркового ресурса».

При проведении технического освидетельствования основными определяемыми показателями являются трещины, утонение стенок меньше допустимого значения, браковочная структура металла и высокой пористостью, недопустимая остаточная деформация и др. Данные показатели оцениваются методами неразрушающих (визуально-измерительный метод, ультразвуковой метод, капиллярный метод и т. д.) и разрушающих (металлография, метод реплик, механические испытания и т. д.) испытаний.

При положительных результатах испытаний (определяемые показатели либо не обнаружены, либо находятся в пределах допустимых значений) принимается решение о расчете (прогнозирование) работоспособности и оценке остаточного ресурса. При отрицательных результатах испытаний принимается решение о проведении ремонтных работ.

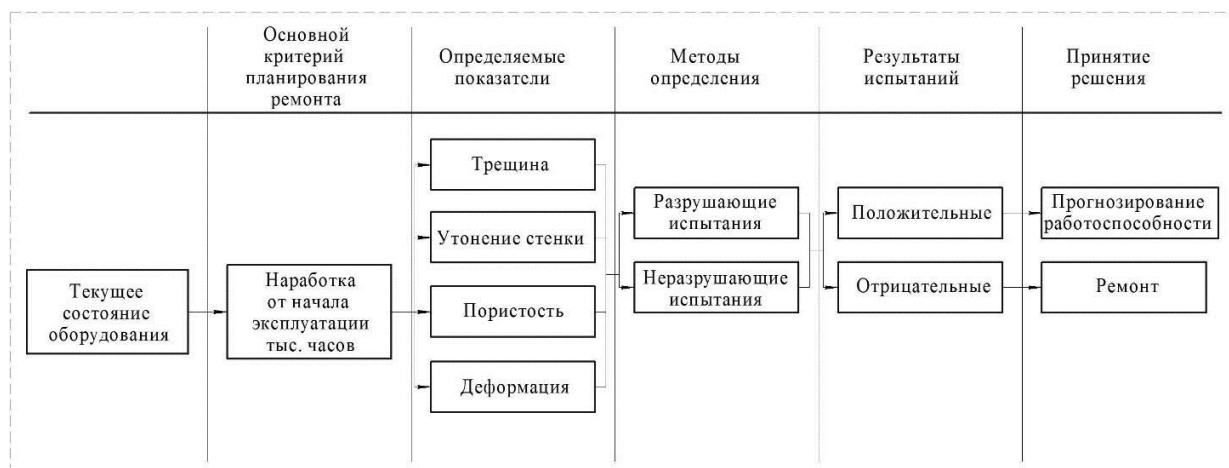


Рис. 1. Блок-схема процесса оценки текущего состояния оборудования, применяемого в настоящее время

Процесс прогнозирования работоспособности оборудования в настоящее время заключается в анализе определенной информации – это результаты испытаний разрушающими и неразрушающими методами исследований, условия эксплуатации объекта и отклонение от них, наработка объекта от начала эксплуатации. А также в расчете ряда критериев: накопленной поврежденности и допустимой длины трещины, или критического (предельного) значения ресурса через критические (разрушающие) величины – число циклов N_c , время τ_c или уровень воздействия среды Φ_c .

По положительным результатам проверки условий принимается решение о продлении работоспособности на определенных срок, по отрицательным результатам проверки условий принимается решение о проведе-

нии ремонтных работ или о продлении работоспособности на меньший срок, чем при положительных результатах проверки условий.



Рис. 2. Блок-схема процесса прогнозирования работоспособности оборудования, применяемого в настоящее время

В настоящей работе предлагается значительно расширить перечень анализируемой информации, а именно добавить к учету информацию о результатах предшествующих технических освидетельствований и об исходном состоянии металла оборудования, и, соответственно, расширить перечень проверяемых условий (рис. 3). Дополнительным проверяемым условием предлагается к расчету структурно-механический критерий локализованной деформации, который будет учитывать, как результаты исследований структурного и субструктурного состояния металла оборудования, в том числе в зонах локализации деформаций, так и результаты неразрушающих испытаний.



*В том числе учет результатов испытаний спектрально-акустическим методом и данных по устойчивой локализации деформаций;
** Информация об исходном состоянии металла оборудования и результаты предшествующих испытаний хранятся в базе данных.

Рис. 3. Блок-схема процесса прогнозирования работоспособности оборудования, предлагаемого для применения

Расчет данного критерия позволит более точно оценивать и прогнозировать работоспособность и остаточный ресурс длительно работающего энергооборудования.

Текущее состояние металла оборудования в момент диагностирования характеризуется показателем K_T , который можно представить, как

$$K_T = f(K_{стр}, K_{реж}, K_{деф}, K_{мех}), \quad (1)$$

где $K_{стр}$ – параметры структуры металла в текущем состоянии, определяемые при помощи металлографии; $K_{реж}$ – режимы эксплуатации (температура, давление (нагрузка), цикличность, среда), $K_{деф}$ – наличие дефектов изготовления, монтажа и ремонта, выявляемых физическими методами неразрушающих испытаний; $K_{мех}$ – характеристики металла, полученные разрушающими испытаниями.

В связи с тем, что ранее предложенные комплексные критерии степени поврежденности металла в относительных единицах и основанные на применении времени задержки поверхностной акустической волны (R , нс) не могут применяться, когда металл находится в области пластических деформаций ($\sigma_{0,2} < \sigma < \sigma_b$), то предлагается ввести в эту систему (2) структурно-механический критерий локализованной деформации металла в текущем состоянии ($K_{с-м}$), включающий параметры, определяемые методом просвечивающей электронной микроскопии и учитывающий деформационные показатели, а также степень достижения устойчивой зоны локализации деформации (3):

$$K_T \rightarrow f(K_{с-м} \cdot K_{реж} \cdot K_{деф}), \quad (2)$$

$$K_{с-м} = f(\sigma_d, \sigma_{\pm}, \rho, a_1, a_2, \sigma_{0,2}/\delta) \leq [K_{с-м}], \quad (3)$$

где σ_d – амплитуда полей внутренних напряжений, МПа; $\sigma_{\pm}$ – касательные напряжения, МПа; ρ – избыточная плотность дислокаций, см^{-2} ; ρ – скалярная плотность дислокаций, см^{-2} ; a_1 и a_2 – деформационные показатели, отражающие степень достижения устойчивой зоны локализации деформации, $\sigma_{0,2}/\delta$ – отношение предела текучести к относительному удлинению (определяются при комнатной температуре) [8–10].

Для изученных конструкционной и хромомолибденованадиевых сталей предложен структурно-механический критерий, который был отработан на металле длительно работающего энергетического оборудования на всех стадиях жизненного цикла (от исходного состояния без эксплуатации до достижения предельного состояния и разрушения) и который имеет следующий вид:

$$K_{с-м} = \left(\frac{\sigma_d}{\sigma_l} \times \frac{a_2 - a_1}{a_2 + a_1} \right) \times K^{кр} \leq [K_{с-м}], \quad (4)$$

где $K^{кр}$ – коэффициент кратковременной сопротивляемости разрушению сталей с учетом длительной эксплуатации при повышенных температурах и давлении – $K^{кр} = \ln \frac{\sigma_{0,2}^{20}}{\delta^{20}}$.

При расчетах установлены значения структурно-механического критерия, соответствующие моменту устойчивой локализации деформации: для стали 20 при значениях $K_{с-м} \geq 0,75$, проверяемый узел оборудования рекомендуется подвергать замене в связи с исчерпанием ресурса работоспособности; для сталей 12Х1МФ и 15Х1М1Ф проверяемый узел оборудования рекомендуется подвергать замене в связи с исчерпанием ресурса работоспособности при значениях $K_{с-м} \geq 0,78$.

Выводы

1. Анализ процесса оценки текущего состояния, прогнозирования работоспособности и оценки остаточного ресурса металла длительно работающего энергетического оборудования на основе блок-схем показал, что используется не весь объем информации о состоянии длительно работающего металла энергооборудования. Использование результатов исследований металла для надежного прогнозирования его работоспособности в ряде случаев затруднено из-за большого объема информации, а также отсутствия количественных взаимосвязей между определяемыми параметрами.

2. Для повышения достоверности прогнозирования работоспособности и оценки остаточного ресурса металла длительно работающего металла энергооборудования расширен перечень анализируемой информации, а именно добавлена к учету информация о результатах предшествующих технических освидетельствований и об исходном состоянии металла оборудования. Дополнительным проверяемым условием является расчет структурно-механического критерия локализованной деформации, который учитывает, как результаты исследований структурного состояния металла оборудования, в том числе в зонах локализации деформаций, так и результаты неразрушающих испытаний.

3. Представлены результаты расчета структурно-механического критерия, соответствующие моменту устойчивой локализации деформации для сталей марок 20, 12Х1МФ и 15Х1М1Ф при которых проверяемый узел оборудования рекомендуется подвергать замене в связи с исчерпанием ресурса работоспособности.

Список использованных источников:

1. Ключев В.В. Деграция диагностики безопасности / В.В. Ключев. – Москва: Издательский дом «Спектр». 2012. – 128 с.
2. Прогнозирование и оценка остаточного ресурса энергетического оборудования / Н.В. Абабков, А.Н. Смирнов, В.И. Данилов [и др.]. – Кемерово: Сибирская издательская группа, 2024. – 375 с. – ISBN 978-5-904496-51-7.
3. Акустические и физико-механические показатели теплоустойчивой стали в окрестности трещины / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, А.С. Глинка, А. Б. Логов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 10 (82). – С. 40–44.
4. Оценка ресурса длительно работающего металла оборудования топливно-энергетического комплекса на основе структурных критериев / А.Н. Смирнов, Н.В. Абабков, Н.Ф. Ощепков [и др.] // Сварка и диагностика. – 2015. – № 5. – С. 9–12.
5. Абабков Н.В. Оценка работоспособности и ресурса металла потенциально-опасного оборудования ТЭС после длительной эксплуатации спектрально-акустическим методом / Н.В. Абабков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (110). – С. 53–60.
6. Muravev V.V. In-Production Nondestructive Testing of Internal Stresses in Rails Using Acoustoelasticity Method / V.V. Muravev, S.V. Lenkov, K.A. Tapkov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2019. – Vol. 55. – № 1. – С. 8–14. – DOI 10.1134/S1061830919010078.
7. Структурно-фазовые состояния перспективных металлических материалов : Коллективная монография: под ред. В.Е. Громова. Новокузнецк : Изд-во НПК, 2009. – 613 с.
8. Бугай Н.В. Об использовании кратковременных механических характеристик для оценки длительных прочностных свойств стали 12Х1МФ / Н.В. Бугай, В.В. Кривенюк, Д.С. Авраменко // Проблемы прочности. – 1980. – № 3. – С. 54–56.
9. Ковпак В.И. К вопросу о прогнозировании остаточной долговечности металлических материалов / В.И. Ковпак // Проблемы прочности. – 1981. – № 10. – С. 95–99.
10. Березина Т.Г. Диагностирование и прогнозирование долговечности металла теплоэнергетических установок / Т.Г. Березина, Н.В. Бугай, И.И. Трунин. – Киев : Техника, 1991. – 120 с.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИВОДА ГЛАВНОГО ДВИЖЕНИЯ СТАНКА С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

*Л.Б. Гаспарова^a, к.п.н., доц., М.В. Якимов, к.т.н. доц., К.Д. Устинов, студент
Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244
E-mail: ^agasparova@mail.ru*

Аннотация; Перечислены основные критерии, использование которых позволяет решить задачу выбора оптимальной конструкции привода главного движения станка с числовым программным управлением (ЧПУ) при его проектировании. Предложено несколько вариантов компоновок приводов главного движения токарных станков с ЧПУ. Проанализированы варианты конструкций приводов главного движения по ряду критериев (компоновочный, массовый, геометрический).

Ключевые слова: оптимальная конструкция металлорежущего станка, привод станка, металлоемкость, динамический критерий, габаритные размеры

Abstract: The main criteria are listed, the use of which makes it possible to solve the problem of choosing the optimal design of the main motion drive of a metal-cutting machine during its design. Several options for the layout of the drives of the main movement of lathes are proposed. The design variants of the main motion drives are analyzed according to a number of criteria (layout, mass, geometric, dynamic).

Keyword: optimal design of a metal cutting machine, machine drive, metal consumption, dynamic criterion, overall dimensions.

Привод главного движения (ПГД) металлорежущего станка является основным источником энергии, необходимой для осуществления процесса резания металлов при механической обработке. Элементы ПГД воспринимают наибольшие нагрузки при резании. В связи с этим, для обеспечения надежности станка привод должен обладать высокой прочностью, а также высокой статической и динамической жесткостью [1].

В основном ПГД станков представляют собой совокупность электродвигателя, коробки скоростей и шпиндельной группы и могут иметь различные структурно-компоновочные схемы.

Приводы главного движения токарных станков с ЧПУ могут иметь компоновку шпиндельной группы в виде шпиндельной бабки со встроенными в общий корпус шпиндельным узлом и коробкой скоростей, которая обычно соединяется с приводным электродвигателем с помощью ременной передачи (рис. 1). Кроме того, для токарных станков с ЧПУ главный привод может быть с автономной шпиндельной группой в виде отдельной шпиндельной бабки и с автономной коробкой скоростей, соединенными между собой ременной передачей.

Рассмотрим несколько различных компоновок привода главного движения:

- компоновка № 1: АДЧР (асинхронный двигатель частотного регулирования) – ременная передача – коробка скоростей – ременная передача – шпиндель;
- компоновка № 2: АДЧР – муфта – коробка скоростей – ременная передача – шпиндель;
- компоновка № 3: АДЧР – муфта – коробка скоростей – зубчатая передача – шпиндель;
- компоновка № 4: АДЧР (асинхронный двигатель частотного регулирования) – ременная передача – шпиндель.

При проектировании ПГД можно использовать ряд критериев (компоновочные, массовые, геометрические, динамические и т. д.) с целью выбора наиболее целесообразного варианта [2]. Задачу выбора решают при проведении технико-экономического анализа в процессе создания привода. Известно, что все критерии одновременно не могут принять экстремальные, т. е. наилучшие значения. Поэтому при решении многокритериальной задачи находят только оптимальное решение. Задача оптимизации направлена на определение наилучшего (рационального) решения путем последовательного сужения множества эффективных решений в соответствии с допустимыми ограничениями и принятыми критериями.

При выборе из нескольких вариантов ПГД рационального варианта рассмотрим использование следующих критериев:

- 1) габаритные размеры ПГД (минимальные габариты определяют из сравнения габаритных чертежей);
- 2) металлоемкость ПГД (уменьшение числа комплектующих изделий приводит к снижению металлоемкости и стоимости, повышению надежности и коэффициента полезного действия привода).

Проектирование вариантов конструкций приводов главного движения (рис. 1) для последующей оптимизации будем производить для следующих исходных данных: токарный станок с наибольшим диаметром заготовки 320 мм, диапазон частот вращения шпинделя 40-4000 об/мин, мощность электродвигателя главного движения 12 кВт.

Первый критерий оптимизации – габаритные размеры, они влияют на габаритные размеры станка в целом и, как следствие, на рациональное использование производственных площадей, так как с увеличением занимаемой станком площади растут эксплуатационные расходы.

Габаритные размеры вариантов различных компоновок ПГД представлены на рис. 1–4.

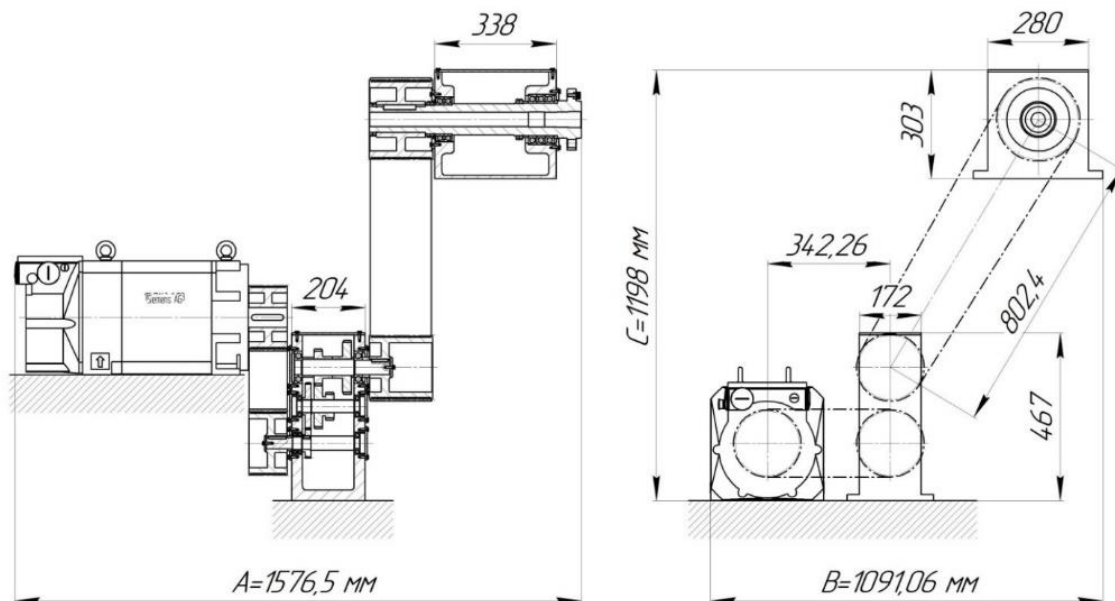


Рис. 1. Габаритные размеры привода главного движения варианта компоновки № 1

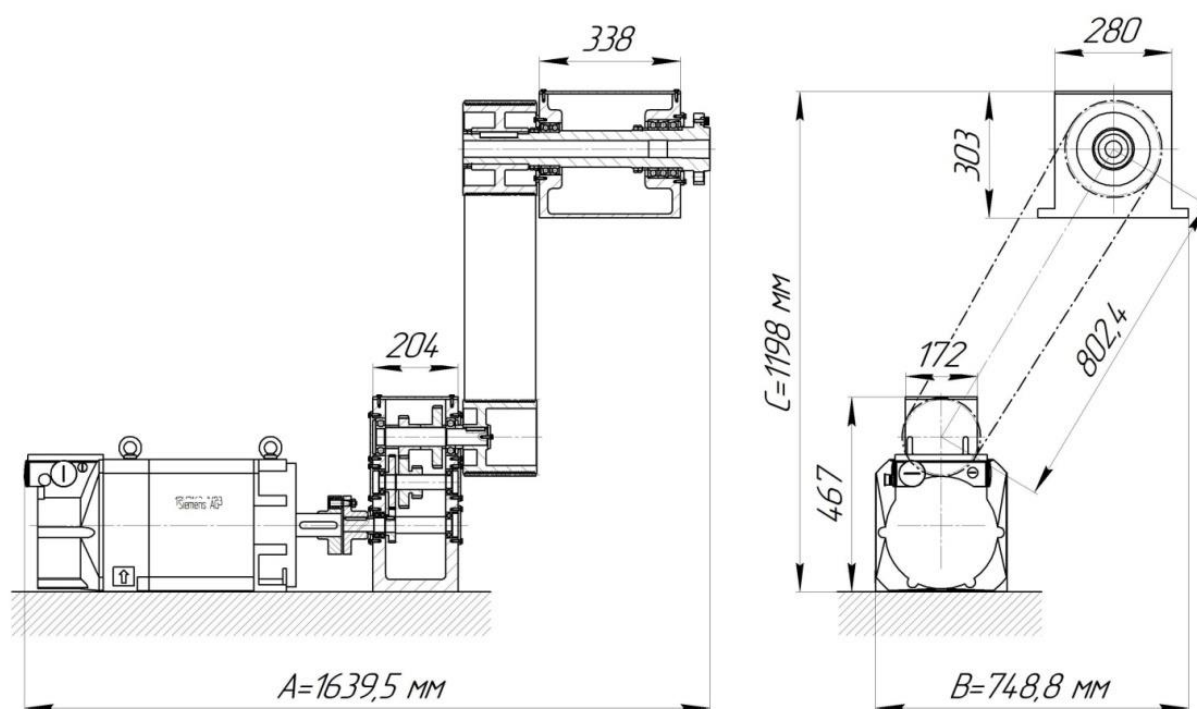


Рис. 2. Габаритные размеры привода главного движения варианта компоновки № 2

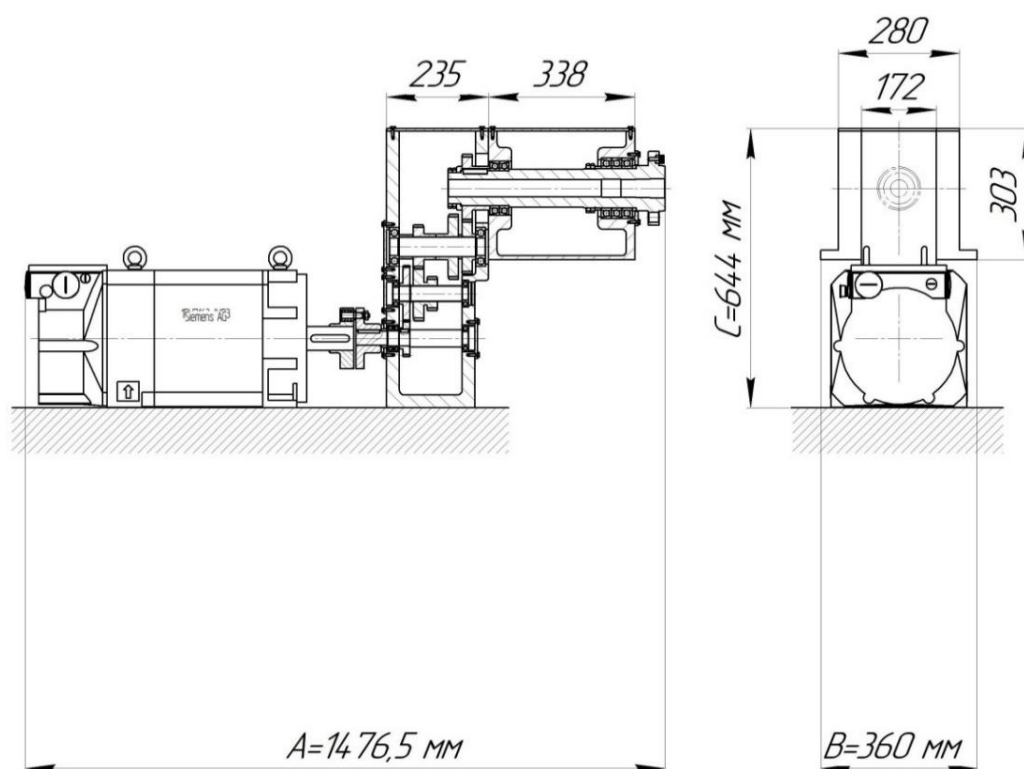


Рис. 3. Габаритные размеры ПГД варианта компоновки № 3

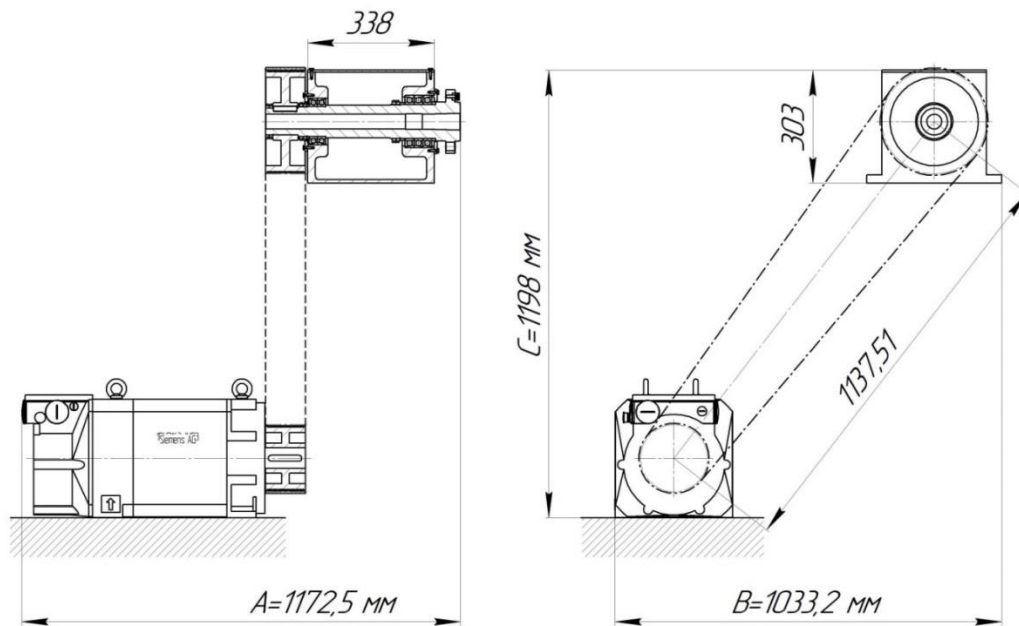


Рис. 4. Габаритные размеры ПГД варианта компоновки № 4

Вычислив объем занимаемого пространства, получаем сравнительную диаграмму вариантов конструкций ПГД по объему занимаемого пространства (рис. 6).

Из диаграммы, представленной на рис. 5, можно сделать следующие выводы, что компоновка № 3 (рис. 3) обладает наименьшими габаритами, компоновка № 1 (рис. 1) обладает наибольшими габаритами.

Необходимость сравнения компоновок приводов станков по материалоемкости вытекает из задачи экономии металлов и влияния, которое оказывает компоновка на массу станка в целом. Проведем анализ четырех вариантов разработанных конструкций ПГД на предмет материалоемкости. Для анализа конструкций приводов на материалоемкость были предварительно разработаны 3D-модели узлов приводов в среде проектирования Компас-3D.

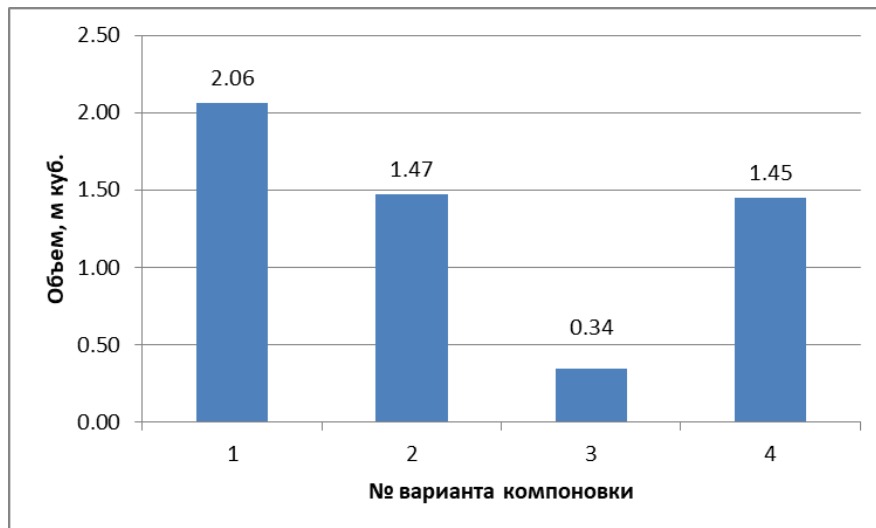


Рис. 5. Сравнительная диаграмма вариантов конструкций ПГД по объему занимаемого пространства

Параметры материалоемкости (объем и масса материала) для вариантов конструкций приводов главного движения представлены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры материалоемкости для вариантов конструкций ПГД

Параметры	Значения для варианта компоновки			
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Масса материала коробки скоростей, кг	89,136	82,774	82,284	-
Масса материала шпиндельной бабки, кг	108,637	108,637	85,915	103,720
Объем материала коробки скоростей, мм ³	11276522	10462942	10390815	-
Объем материала шпиндельной бабки, мм ³	13514395	13514395	10602097	12885566
Итого масса материала, кг	197,773	191,411	168,199	103,720
Итого объем материала, мм ³	24790917	23977337	20992912	12885566

Сравнительная диаграмма четырех вариантов конструкций ПГД по массе материала представлена на рис. 6.

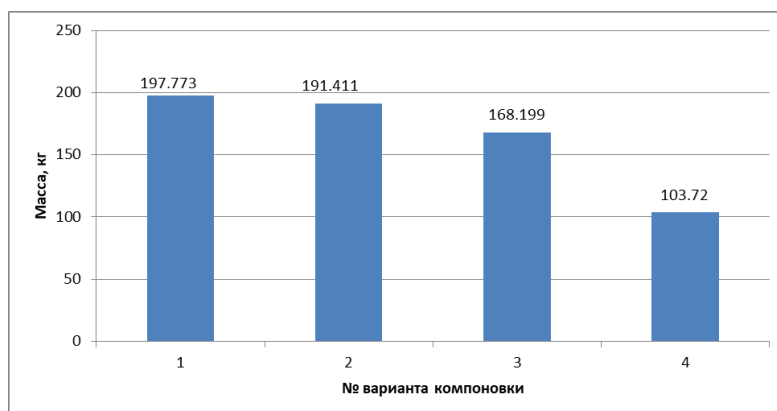


Рис. 6. Сравнительная диаграмма вариантов конструкций ПГД по массе материала

Из диаграммы, представленной на рис. 6 можно сделать следующие выводы: компоновка № 4 обладает наименьшей, а компоновки № 1 и № 2 наибольшей металлоемкостью.

Предварительно, оптимальной с точки зрения габаритов и металлоемкости можно считать ПГД с компоновкой № 3 (АДЧР – муфта – коробка скоростей – зубчатая передача – шпиндель).

Список использованных источников:

1. Денисенко А.Ф. Проектирование и расчет шпиндельных узлов металлорежущих станков на опорах качения: учебн. пособ. / А.Ф. Денисенко, Л.Б. Гаспарова. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т., 2005. – 101 с.
2. Блинов Н.С. Оценка оптимальности конструкции ЭМП по различным критериям / Н.С. Блинов, А.В. Мешков // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2012. – № 3 (4). – С. 125–131.

ВЛИЯНИЕ СТРАТЕГИИ СКАНИРОВАНИЯ НА СВОЙСТВА ОБРАЗЦОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ СПЛАВА ALSIMG МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ

Н.А. Сапрыкина^а, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Е.А. Ибрагимов, к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^аsaprikina@tpu.ru

Аннотация: Аддитивные технологии стремительно развиваются, став важнейшим направлением современной промышленной революции. Одним из ключевых направлений развития этих технологий является разработка новых порошковых материалов и изучение влияния различных параметров процесса селективного лазерного плавления (Selective Laser Melting, SLM) на стабильность качества получаемых изделий. В работе представлены исследования по изучению влияния различных стратегий сканирования лазерного луча на конечные свойства формируемых изделий, полученных из алюминиевого сплава на пористость и плотность. Изго-

товлены четыре серии образцов с различными стратегиями сканирования. Показано, что выбор схемы перемещения лазерного луча оказывает значительное влияние на итоговые механические характеристики изделия.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (СЛП); аддитивное производство; пористость, стратегия сканирования, режимы селективного лазерного плавления, микротвердость, энерговыход, сплав системы алюминий-кремний-магний.

Abstract: Additive technologies are rapidly developing, becoming the most important direction of the modern industrial revolution. One of the key areas of development of these technologies is the development of new powder materials and the study of the influence of various parameters of the Selective Laser Melting (SLM) process on the stability of the quality of the products obtained. The paper presents studies on the effect of various laser beam scanning strategies on the final properties of molded aluminum alloy products on porosity and density. Four series of samples with different scanning strategies were produced. It is shown that the choice of the laser beam displacement scheme has a significant impact on the final mechanical characteristics of the product.

Keywords: selective laser melting (SLM); additive manufacturing; porosity, scanning strategy, selective laser melting modes, microhardness, energy storage, aluminum-silicon-magnesium alloy system.

Селективное лазерное плавление (СЛП) представляет собой одну из прогрессивных технологий аддитивного производства, основанную на послойном плавлении металлического порошка с использованием высокоточного лазерного луча. Этот метод позволяет создавать изделия сложной геометрии с высокой точностью и эффективностью, сокращая сроки производственного цикла и снижая затраты на разработку и изготовление опытных образцов. Развитие технологии направлено на разработку новых порошковых композиций и изучение воздействия различных параметров на качество, и устойчивость производимых изделий [1].

Алюминиевые порошки остаются одними из самых популярных материалов в машиностроении и авиации, а их адаптация к технологиям аддитивного производства открывает новые горизонты для индустриальной индустрии [2]. Этот метод не только ускоряет процесс проектирования и изготовления, но и позволяет получить уникальный сплав с особой структурой благодаря быстрому расплавлению и последующему остыванию металлического порошка [3].

Цель настоящей работы заключается в исследовании того, как выбранная стратегия сканирования влияет на пористость и плотность образцов, изготовленных методом селективного лазерного плавления из предварительно подготовленных порошков алюмосиликатного состава (алюминия – 91 % по массе, кремния – 8 %, магния – 1 %). Такая специальная предварительная обработка была подробно описана в предыдущей публикации [4], и целью настоящего исследования является установление оптимальных условий проведения селективного лазерного плавления.

Экспериментальные исследования проводились на специализированном оборудовании – 3D-принтере ВАРИСКАФ-100МВС, разработанном сотрудниками Юргинского технологического института Томского политехнического университета. Аппарат оснащен иттербиевым волоконным лазером с выходной мощностью 100 Вт и рабочей длиной волны 1070 нм. Ранее в публикациях [4, 5] детально описан процесс формирования и методика исследования порошковой смеси $AlSiMg$, полученной смешиванием порошков алюминия, кремния и магния. Чтобы изучить влияние стратегии сканирования на микроструктуру, химический состав, пористость и плотность образцов, авторы провели серию поисковых экспериментов, основываясь на результатах которых были установлены соответствующие режимы. Размеры образцов составляли $10 \times 10 \times 3$ мм, и они были получены при следующих условиях: скорость сканирования $V = 225$ мм/с, шаг сканирования $S = 0,08$ мм, мощность лазера $P = 90$ Вт, толщина слоя порошка $h = 0,025$ мм. Начальная температура платформы поддерживалась на уровне $+25$ °С, а сам процесс велся в атмосфере аргона, защищающей поверхность от окислительных реакций. Выбранная плотность энергии (200 Дж/мм³) обеспечила достаточную температуру для плавления порошка и эффективного плавления предыдущего слоя, гарантируя качественное соединение соседних дорожек расплава. Далее образцы были обработаны: верхние слои толщиной около 400 мкм удалялись посредством шлифовки и полировки алмазными пастами. Затем измерялась средняя пористость образцов по результатам анализа девяти изображений микроскопических срезов.

Для детального изучения влияния выбранной стратегии сканирования на микроархитектуру и пористость образцов были использованы четыре разные схемы перемещения лазерного луча.

Первая схема ($\angle 90$): при каждой смене слоя направление лазерного луча изменяется на угол 90° , что обеспечивает перпендикулярное изменение направления сканирования.

Вторая схема ($\angle 45$): здесь направление движения лазера меняется на угол 45° при переходе от одного слоя к другому, что создаёт диагональную траекторию сканирования.

Третья схема ($\angle 90S/2$): движение лазера осуществляется с изменением угла на 90° на каждом нечётном слое (n , $n+2$ и далее), тогда как чётные слои ($n+1$, $n+3$ и последующие) сканируются параллельно направлению предыдущего слоя, однако с небольшим сдвигом трека на половину шага $S/2$.

Четвёртая схема ($\angle 90$ п.п.): данная стратегия предполагает двойное прохождение лазерного луча по каждому слою, причём второй проход выполняется с перемещением трассы на половину шага $S/2$, а угол поворота направления луча составляет 90° при переходе от слоя к слою.

В результате повторного переплава на поверхности слоя образовались большие капли расплава диаметром от 0,2 до 0,5 мм, что нарушило равномерность укладки следующего слоя порошка и вызвало наличие непроплавленных участков. Вследствие этого не удалось завершить выращивание образца нужной толщины, и оценку пористости для данного экземпляра не проводили ввиду отсутствия смысла.

График зависимости средней величины пористости от использованной стратегии сканирования наглядно демонстрирует, что минимальное значение пористости, составляющее всего 0,03 %, характерно для образца, полученного с применением третьей стратегии сканирования (рисунок 1).

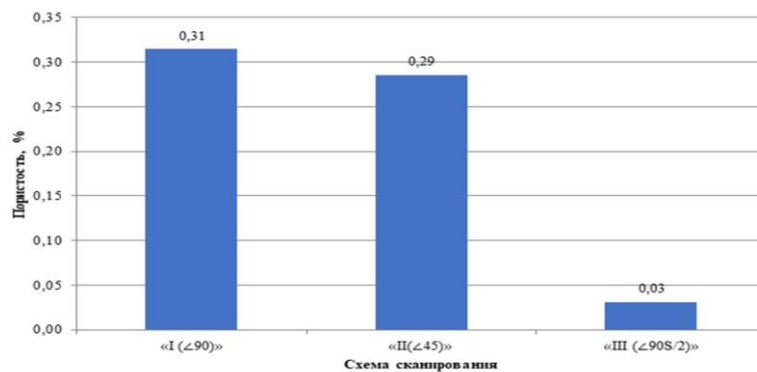


Рис. 1. Зависимость среднего значения пористости образца от стратегии сканирования

Плотность является ключевым критерием оценки качества изделий. Габаритные размеры образцов, измеренные штангенциркулем, составили $10 \times 10 \times 3$ мм (длина $\times$ ширина $\times$ высота). Массу образцов определили с помощью аналитических весов ВСТ-600/10, получив следующее значение: первый и второй образцы имели массу 0,748 г, третий образец – 0,75 г. Расчеты показали, что плотность первых двух образцов равна $2,49 \text{ г/см}^3$, а образец, созданный с использованием третьей схемы сканирования, достиг плотности $2,5 \text{ г/см}^3$, что сопоставимо с плотностью традиционного силумина.

В ходе проведенных исследований рассмотрено влияние различных стратегий сканирования на пористость и относительную плотность образцов. Образец из порошковой композиции AlSi8Mg с высокой относительной плотностью (99,97 %) был получен методом селективного лазерного плавления. Качество поверхности оказалось чувствительным к величине плотности энергии. Среди рассмотренных вариантов лучшими условиями оказались плотность энергии 200 Дж/мм^3 и третья схема сканирования (III): направление движения лазерного луча изменяли на угол 90° при обработке каждого нечётного слоя (n , $n+2$ и т.д.), а в чётных слоях ($n+1$, $n+3$ и т.д.) луч двигался параллельно предыдущему слою, при этом линия прохождения («трек») сдвигалась на половину шага $S/2$ (обозначаемая как $\angle 90S/2$). Именно эта комбинация позволила достичь наивысшей относительной плотности. Экспериментально подтверждено, что плотность получаемого сплава AlSiMg определяется выбранной стратегией сканирования. Рассчитанная плотность образца составила $2,49 \text{ г/см}^3$ для первой и второй партии образцов и достигла $2,5 \text{ г/см}^3$ для образца, выполненного по третьему варианту сканирования (III), что совпадает с плотностью силумина.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-29-01491, <https://rscf.ru/project/22-29-01491>

Список использованных источников:

1. Oliveira J.P. Processing parameters in laser powder bed fusion metal additive manufacturing / J.P. Oliveira, A.D. LaLonde, J. Ma // Materials and Design. – 2020. – Vol. 193. – 108762. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.108762>.
2. Fabrication of titanium alloy frameworks for complete dentures by selective laser melting / M. Kanazawa, M. Iwaki, S. Minakuchi, N. Naoyuki // Journal of Prosthetic Dentistry. – 2014. – Vol. 112 (6). – 1441-7. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2014.06.017>.
3. A review of laser powder bed fusion additive manufacturing of aluminium alloys: Microstructure and properties / H.R. Kotadia, G. Gibbons, A. Das, P.D. Howes // Additive Manufacturing. – 2021. – Vol. 46. – 102155. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102155>.

4. Synthesis of a three-component aluminum-based alloy by selective laser melting / N. Saprykina, V. Chebodaeva, A. Saprykin [and et.] // Obrabotka Metallov. – 2022. – 24 (4). – P. 151–164. – DOI: 10.17212/1994-6309-2022-24.4-151-164.

5. Optimization of selective laser melting modes of powder composition of the AlSiMg system / N. Saprykina, V. Chebodaeva, A. Saprykin [and et.] // Obrabotka metallov (tehnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science. – 2024. – 26 (1). – P. 22–37. – DOI: 10.17212/1994-6309-2024-26.1-22-37.

РАЗРАБОТКА ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОРИСТОЙ КЕРАМИКИ

А.И. Дмитриев^а, д.ф.-м.н., г.н.с., Е.В. Шилько, д.ф.-м.н., г.н.с.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mails: ^аdmitr@ispms.ru

Аннотация: В работе на основе комплекса экспериментальных данных разработана компьютерная модель огнеупорного материала, синтезированного из порошка диоксида кремния. Модель базируется на представлении огнеупора как дисперсно-упрочненного композита и учитывает две составляющие внутренней структуры: мелкозернистые области («матрица»), с которыми связана пористость материала, и упрочняющие крупные зерна («включения»). Результаты испытаний показывают хорошее согласие с экспериментальными данными.

Ключевые слова: огнеупор SiO_2 , пористая структура, компьютерное моделирование.

Abstract: In this paper, a computer model of a refractory material synthesized from SiO_2 powder was developed. The model is based on the representation of the refractory as a dispersion-hardened composite and takes into account two components of the internal structure: fine-grained areas («matrix»), which are associated with the porosity of the material, and strengthening large grains («inclusions»). The test results show good agreement with the experimental data.

Keywords: SiO_2 -based refractory, porous structure, computer simulation.

Введение. Керамические материалы широко применяются в современной промышленности благодаря уникальному сочетанию свойств: высокой термостойкости (до 2000°C), химической инертности, износостойкости и прочности при сохранении низкой теплопроводности. Они незаменимы в металлургии (футеровка печей), энергетике (теплоизоляция), машиностроении (износостойкие детали) и электронике (диэлектрики). Особое значение имеют огнеупорные керамики на основе SiO_2 , Al_2O_3 и MgO , способные выдерживать экстремальные термические и механические нагрузки в агрессивных средах, что делает их критически незаменимыми для высокотемпературных производственных процессов. В ходе эксплуатации такие материалы подвергаются интенсивным термическим нагрузкам, которые приводят к высоким деформациям, напряжениям и их градиентам в объеме изделий. Кроме того, поскольку огнеупорные изделия футеровочных слоев находятся в механически стесненных условиях, то термическое расширение может приводить к формированию сжимающих, растягивающих или касательных напряжений, а также их комбинаций. Огнеупорные изделия также могут подвергаться эпизодическим механическим воздействиям при перемещениях или поворотах агрегатов (например, ковшей), загрузке лома, сервисном обслуживании т. д. Поэтому современные огнеупорные керамические материалы должны обладать не только теплозащитными свойствами, но и высокими значениями механических характеристик.

К ключевым механическим характеристикам керамик обычно относят прочность на сжатие, асимметрию прочности (отношение прочности на сжатие к прочности на растяжение) и вязкость разрушения (комплексный параметр, связанный с работой разрушения и способностью материала тормозить рост внутренних трещин и разрушаться квазихрупко). Данные характеристики определяются не только фазовым составом материала, но и в значительной степени особенностями внутренней структуры. Действительно, даже однофазные огнеупоры имеют сложную и многомасштабную структуру, которая к тому же претерпевает изменения в процессе эксплуатации [1]. Ее ключевыми элементами являются: зерна (керамические частицы, из которых спекается огнеупор), межзеренные интерфейсы, поры, а также плоскостные несплошности (термические микротрещины, возникшие на стадии охлаждения спеченного изделия, зазоры субмикронной или наномасштабной апертуры между неплотно прилегающими зернами и т. д.). Особое влияние на механические свойства оказывает поровая структура, которая варьируется в зависимости от размера, формы и распределения пор. Даже при одинаковой общей пористости изменение этих параметров может качественно и количественно менять поведение материала.

Для осознанного управления структурой в огнеупорном материале необходимо понимание влияния каждого из перечисленных факторов на механические свойства, а также их возможного взаимовлияния. Эффективным подходом к проведению такого анализа является компьютерное моделирование с применением низкоуров-

невых моделей, учитывающих ключевые особенности зеренной, поровой и трещиноватой структуры огнеупора [2–5]. Для изучения этих эффектов в работе была предложена двухмасштабная дискретно-элементная модель, учитывающая явно мезопоры и крупные зерна, а также эффективно – микропоры и микротрещины через гетерогенность локальных свойств. Таким образом, **целью настоящей работы** было построение численной модели, позволяющей анализировать влияние ключевых структурных факторов на упругие и прочностные характеристики керамического огнеупора, что важно для оптимизации его свойств.

Структура и механические свойства огнеупорного материала. Огнеупоры на основе керамики SiO_2 производятся путем спекания частиц диоксида кремния, гранулометрический состав которых характеризуется наличием множества различных по размеру фракций (от нескольких микрометров до нескольких миллиметров). Краткий обзор гранулометрического состава и механических свойств такого огнеупора приведен в табл.1. Спеченные изделия характеризуются относительно высокими значениями пористости (22–23 %), которая является преимущественно связанной и имеет значительное различие по размерам и форме. Поры имеют регулярную компактную, нерегулярную компактную, либо вытянутую форму, поверхности пор сглажены (рис. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав промышленного огнеупора SiO_2

Размер зерен (мкм)	1000–2000	500–1000	100–500	<100
Массовая доля (%)	2	13	29	56

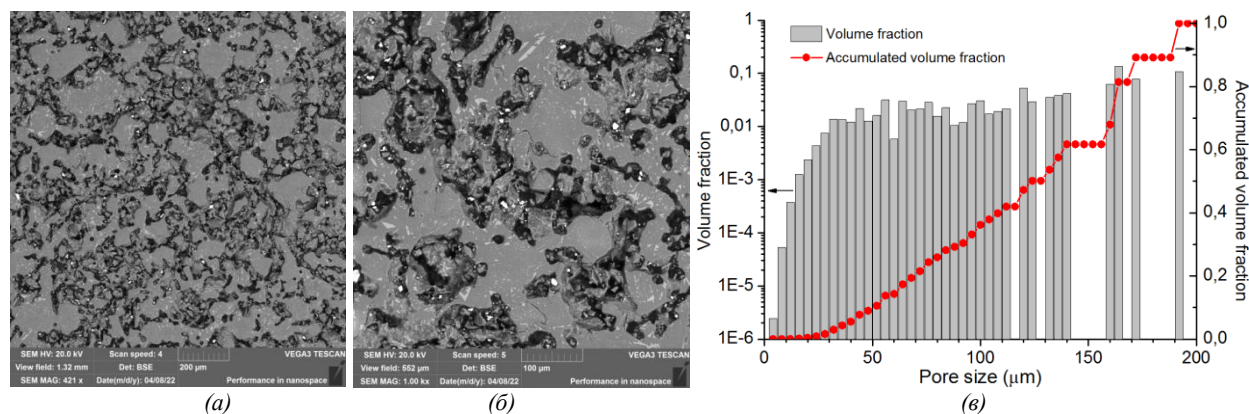


Рис. 1. (а) и (б) – SEM изображения огнеупора SiO_2 с разным увеличением, (в) – оценка вклада пор различного размера в общую пористость огнеупора

Компьютерная модель. Моделирование механического поведения огнеупорного материала проводилось с использованием метода подвижных клеточных автоматов, являющегося разновидностью метода частиц. В компьютерной модели каждый из мезоструктурных элементов огнеупора (крупные зерна и скелет мелкозернистой «матрицы») представлялся набором связанных частиц. В соответствии с выбранной границей между мезоскопическим и микроскопическим масштабами структуры огнеупора (минимальный размер учитываемых явно пор составляет 35 мкм) размер дискретного элемента (автомата) полагался равным $d = 35$ мкм. Общий алгоритм создания мезомасштабной структуры представительного образца огнеупора состоял из двух этапов. На первом этапе производилось задание «композиционной» мезомасштабной структуры, состоящей из матрицы и включений (зерен крупных фракций). При этом сама поровая структура матрицы не задавалась (рис. 2 а). На втором этапе задавалась поровая структура «матрицы» путем удаления дискретных элементов из исходной структуры, полученной на первом этапе (рис. 2 б). Общая пористость представительного объема соответствовала общей пористости огнеупора (22–23 %). Более детально формализм численного метода представлен в работах [6–8].

Для генерации поровой структуры реальное распределение аппроксимировалось дискретным, где спектр размеров разбивался на шесть интервалов с шагом, равным эффективному диаметру дискретного элемента $d = 35$ мкм. Поры различных фракций размещались в матрице последовательно в порядке убывания размера. Связанность поровой структуры матрицы варьировалась ограничениями на размещение пор. Использовались два типа ограничения: «изолированные» поры и поры, которые могли соприкасаться друг с другом. Таким образом, увеличение доли связывающих пор приводит к увеличению степени связанности поровой структуры.

Каркас мелкозернистой пористой матрицы и крупные зерна моделировались как изотропные упруго-хрупкие беспористые материалы. Описание упругого механического отклика данных компонентов мезоскопической структуры осуществлялось на основе обобщенного закона Гука [2]. Для компонентов огнеупора применялся комбинированный критерий, включающий двухпараметрический критерий Друкера-Прагера (разрушении

ем срезом), дополненный критерием Ранкина (разрушение отрывом) [9]. Значения упругих модулей дискретных элементов, моделирующих крупные зерна, соответствовали экспериментальным оценкам: $G = E/(2(1+\nu)) \approx 27.1$ ГПа, $K = E/(1-2\nu) \approx 108.3$ ГПа. Значения параметров критерия прочности для крупных зерен определялись как: $\sigma_c = 700$ МПа, $\sigma_t = 235$ МПа ($\sigma_c/\sigma_t = 3$). Средние значения аналогичных механических характеристик для дискретных элементов, моделирующих матрицу, полагались равными характеристикам элементов, моделирующих зерна.

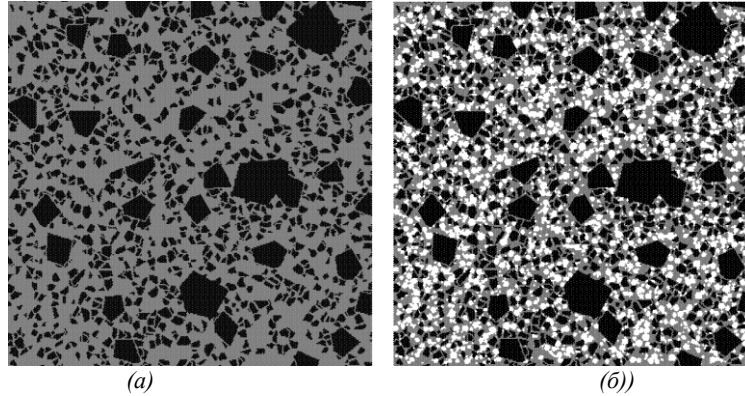


Рис. 2. Пример двумерной модели представительного объема огнеупора (длина стороны 10 мм):
(а) – без учета поровой структуры и (б) – с учетом поровой структуры «матрицы»

Моделировались одноосное сжатие и растяжение представительных 2D образцов с малой постоянной скоростью (10^{-1} s^{-1}). Исследование проводилось в приближении плосконапряженного состояния ($\sigma_{zz} = \sigma_{xz} = \sigma_{yz} = 0$, где XY – рассматриваемая плоскость образцов). Измерялись величина силы сопротивления образца F_y , а также его осевая и поперечная деформации.

Результаты исследований. Интегральные (эффективные) механические характеристики четырех образцов, характеризующихся увеличением связности поровой структуры при одинаковой величине общей пористости ($\sim 22.5\%$), приведены в Табл. 2. Можно видеть, что характерные значения модуля Юнга (E) модельных образцов (16–22 ГПа) в 2–3 раза выше характерных значений квазистатического модуля Юнга реальных образцов и в 1.3–1.8 раз выше значения динамического модуля Юнга. Коэффициенты Пуассона (ν) модельных образцов соответствуют характерным значениям для реальных образцов. Прочность на сжатие (σ_c) модельных образцов лежит в интервале 35–50 МПа, что близко к характерным значениям для реальных образцов промышленного огнеупора SiO_2 (40–60 МПа). Величина прочности модельных образцов на растяжение (σ_t) находится вблизи верхней границы или несколько превышает характерные экспериментальные значения (8–12 МПа). Соотношения прочностей σ_c/σ_t для модельных образцов лежат в пределах 2.5–3.5, что соответствует нижней границе интервала значений σ_c/σ_t для реальных макроскопических образцов промышленного огнеупора SiO_2 .

Таблица 2

Механические характеристики модельных образцов огнеупора на основе SiO_2

Образец	E , ГПа	ν	σ_c , МПа	σ_t , МПа	σ_c/σ_t
1	21,5	0,264	50	14,4	3,5
2	15,7	0,246	34	10,8	3,2
3	18,1	0,238	37	13,0	2,9
4	17,2	0,222	35	14,5	2,4

Представленные данные свидетельствуют, что увеличение степени связности поровой структуры приводит к снижению коэффициента Пуассона образцов. Анализ структуры показал, что величина ν контролируется долей наиболее протяженных пор. Увеличение доли длинных пор канального типа способствует уменьшению интегральной поперечной деформации образцов. Модуль Юнга и значения прочности образцов с ростом связности также в целом снижаются, хотя их зависимость от приведенных параметров поровой структуры не является однозначной. Из полученных данных следует, что изменение фракционного состава пор (уменьшение характерного размера пор) при сохранении неизменными значений степени неравноосности пор и их связанности обеспечивает существенное снижение, как величины коэффициента Пуассона, так и модуля Юнга образцов. В целом результаты моделирования показывают, что увеличение доли более мелких пор и увеличение связанности поровой структуры способны приводить к существенному снижению величины поперечной деформации (характеризуемой величиной коэффициента Пуассона) и модуля Юнга представительных объемов огнеупора.

Режим разрушения рассматриваемых модельных образцов при сжатии является промежуточным между упруго-хрупким и квазихрупким. При уровне напряжений, составляющем 60–70 % величины прочности на сжатие, в образцах начинают возникать мезоскопические повреждения (рис. 3, а). Эти повреждения возникают, как правило, в наиболее тонких стенках каркаса пористого матрицы. Уровень напряжений, при котором начинают возникать мезоскопические повреждения, обычно тем ниже, чем меньше величина модуля Юнга (и чем более связанной является пористость). При приближении к предельному напряжению в образцах возникают более крупные дефекты – внутренние трещины (они проявляются в виде «спадов» уровня напряжений на диаграммах). Мелкие повреждения и мезотрещины формируют своеобразные «кластеры» дефектов. Разрушение образцов, как правило, связано с быстрым ростом магистральных трещин через такие «кластеры». Схожие выводы справедливы и для разрушения при одноосном растяжении. Разрушение при растяжении, как правило, носит предельно локализованный характер – формируется одна поперечная магистральная трещина (рис. 3, б) с извилистым профилем. Описанные закономерности в целом согласуются с экспериментально наблюдаемыми картинами разрушения макроскопических образцов огнеупора (сечением 50х50 мм и более) и хорошо соответствуют закономерностям разрушения мезомасштабных образцов с сечением 10х10 мм (рис. 3, в и рис. 3, г).

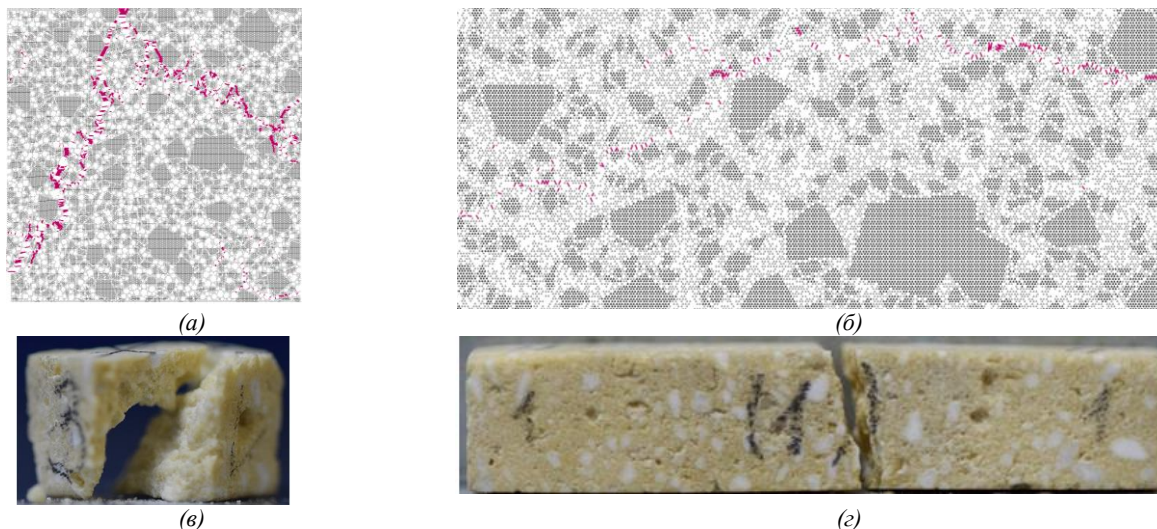


Рис. 3. Разрушение модельных образцов при одноосном сжатии (а) и растяжении (б).

Примеры разрушенных керамических образцов при испытании на одноосное сжатие (в) и трехточечный изгиб (г)

Результаты исследований также показали, что даже при достаточно высокой степени поврежденности матрицы (концентрация мезотрещин 20 %) керамический образец сохраняет приемлемые значения жесткости и прочности. В частности, величина прочности образца на сжатие лишь немного ниже экспериментально определенного интервала для макроскопических огнеупорных образцов, а величина прочности на растяжение лежит в середине экспериментально определенного интервала значений. В то же время исходные мезоповреждения не оказывают значимого влияния на такую важную характеристику огнеупора как хрупкость разрушения. В частности, вызванное накоплением повреждений изменение жесткости образца в процессе нагружения является незначительным и наблюдается только при высоких значениях приложенных напряжений, составляющих более 80 % величины прочности.

Выводы. С использованием экспериментальных данных была разработана двухмасштабная модель огнеупорного материала на основе SiO_2 и проведено изучение влияния основных составляющих дефектной структуры огнеупора (мезопористость, мезотрещины и микромасштабные несплошности) на его эффективные механические свойства. Установлено, что можно выделить два параметра пористости, которые контролируют эффективные упругие и прочностные характеристики материала, а именно характерный размер фракции пор, вносящий основной вклад в общую пористость и степень связанности поровой структуры. Оба параметра оказывают влияние одного порядка величины на эффективные свойства пористого огнеупорного материала.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0005.

Список использованных источников:

1. Evaluation of the morphology and pore characteristics of silica refractory using X-ray computed tomography J. Fan [et al.] // Ceram. Int. – 2021. – V.47 (13). – P. 18084–18093.
2. Analysis of the quasi-static and dynamic fracture of the silica refractory using the mesoscale discrete element modelling / A.S. Grigoriev, [et al.] // Materials. – 2021. – V.14. – 7376.

3. Du W. Discrete element modelling of cold crushing tests considering various interface property distributions in ordinary refractory ceramics / Du W., Jin S. // *Materials*. – 2022. – V. 15 (21) – 7650.
4. Jiang S. [et al.] Discrete element simulation of SiC ceramic with pre-existing random flaws under uniaxial compression / Jiang S. [et al.] // *Ceram. Int.* – 2017. – V. 43 (16). – P. 13717–13728.
5. She W. [et al.] Numerical study on the effect of pore shapes on the thermal behaviors of cellular concrete / She W. [et al.] // *Constr. Build. Mater.* – 2018. – V. 163. – P. 113–121.
6. Movable Cellular Automata method for simulating materials with mesostructure / S.G. Psakhie [et al.] // *Theor. Appl. Fract. Mech.*, 2001. – V. 37 (1–3). – P. 311–334.
7. Mesoscale modeling of the mechanical and tribological behavior of a polymer matrix composite based on epoxy and 6 vol. % silica nanoparticles / A.I. Dmitriev [et al.] // *Comput. Mater. Sci.* – 2015. – V. 110. – P. 204–214.
8. Моделирование поведения сложных сред на основе совместного использования дискретного и континуального подходов / С.Г. Псахье [и др.] // *Письма в ЖТФ*. – 2004. – Т. 30. – № 17. – С. 7–13.
9. Drucker D.C. Soil mechanics and plastic analysis for limit design / D.C. Drucker, W. Prager // *Quarterly of Appl. Math.* 1952. – Vol. 10 (2). – P. 157–165.

ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СЛС НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ СПЛАВА Al15Sn5Pb

К.О. Акимов^а, к.т.н., А.Ю. Никонов, к.ф.-м.н., А.И. Дмитриев, д.ф.-м.н.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: ^аakimov_ko@ispms.ru

Аннотация: Исследовано формирование структуры сплава Al15Sn5Pb при СЛС из смеси элементарных порошков. Изучено влияние времени перемешивания на однородность получаемой для СЛС порошковой смеси и объемной плотности энергии на структуру и пористость полученного в результате СЛС сплава. Показано, что перемешивание ≥ 120 мин. минимизирует агломерацию Sn/Pb. Увеличение плотности энергии от 22 до 60 Дж/см³ снижает пористость Al15Sn5Pb до ~0.3 % что приводит к увеличению прочностных свойств сплава в 5 раз.

Ключевые слова: Селективное лазерное сплавление, алюминиевые сплавы, Al15Sn5Pb, перемешивание порошков, пористость, прочностные свойства

Abstract: The formation of the Al15Sn5Pb alloy structure during SLS from a mixture of elemental powders was investigated. The effect of mixing time on the homogeneity of the powder mixture obtained for SLS and the effect of volumetric energy density on the structure and porosity of the alloy obtained as a result of SLS were studied. Increasing the energy density from 22 to 60 J/cm³ reduces the porosity of Al15Sn5Pb to ~0.3 %, which leads to an increase in the strength properties of the alloy by 5 times.

Keywords: Selective laser melting, aluminum alloys, Al15Sn5Pb, powder mixing, porosity, strength properties

Введение

В последнее десятилетие аддитивные технологии, в частности селективное лазерное сплавление (СЛС), получили широкое распространение в производстве металлических изделий с заданными свойствами и сложной внутренней структурой [1]. СЛС позволяет создавать детали с высокой точностью и минимальными отходами, что особенно актуально для авиационной, космической и транспортной промышленности [2]. Алюминиевые сплавы, благодаря низкой плотности, высокой коррозионной стойкости и хорошим механическим характеристикам, занимают особое место среди материалов для аддитивного производства. Введение легкоплавких компонентов, таких как олово и свинец, позволяет получать сплавы системы Al-Sn-Pb, обладающие выраженными антифрикционными свойствами и применяемые для изготовления подшипников скольжения и других узлов, работающих в условиях высоких нагрузок [3].

Однако применение СЛС для многокомпонентных алюминиевых сплавов сопряжено с рядом технологических трудностей. Существенная разница в температурах плавления компонентов может приводить к неравномерному распределению фаз, испарению легкоплавких элементов и образованию дефектов, таких как поры и агломераты мягких фаз [4]. Для повышения качества изделий особое значение приобретает тщательная подготовка порошковой смеси, включающая обеспечение равномерного распределения компонентов и минимизацию агломерации частиц Sn и Pb. Использование смесей элементарных порошков требует оптимизации времени перемешивания и контроля однородности материала.

Кроме того, параметры лазерной обработки, такие как мощность, скорость сканирования и определяемая ими объемная плотность энергии, оказывают существенное влияние на формирование микроструктуры, распределение фаз и пористость в конечном изделии. Комплексное исследование взаимосвязи между характери-

стиками исходной порошковой смеси, режимами СЛС и структурой получаемого сплава Al15Sn5Pb необходимо для совершенствования технологии и получения изделий с требуемыми эксплуатационными свойствами.

Целью работы являлось определение оптимальных параметров подготовки смеси Al15Sn5Pb и закономерностей влияния параметров СЛС на формирование структуры и свойства сплава

Материалы и методики

В качестве исходных материалов использовали коммерческие порошки алюминия (АСД-1), олова (ПО 2) и свинца (ПС 2) с размером частиц 25–50 мкм. Порошки предварительно высушивали в вакуумном шкафу при 120 °С в течение 8 часов. Смесь Al, Sn и Pb в объёмном соотношении 80:15:5 перемешивали в смесителе типа Турбула. Время перемешивания варьировали от 10 до 240 минут для исследования распределения исходных компонентов. Процесс перемешивания моделировали методом дискретных элементов (МДЭ) с использованием модели Герца-Миндлина (JKR) в программном комплексе Altair EDEM.

Селективное лазерное сплавление осуществляли на 3D-принтере ONSINT AM150 при мощности лазера 70–130 Вт, скорости сканирования 800–1200 мм/с, толщине слоя 30 мкм и межтрековом расстоянии 90 мкм. Объёмную плотность энергии (E) рассчитывали по формуле $E = P/vsh$, где P – мощность лазера, v – скорость сканирования, h – толщина слоя, s – диаметр пятна лазера.

Для анализа структуры и состава образцов использовали растровую электронную микроскопию (РЭМ, Zeiss LEO EVO 50) с микрорентгеноспектральным анализом (МРСА). Обработку изображений и количественную оценку пористости проводили с помощью программы ImageJ.

Результаты и обсуждение

Моделирование процесса перемешивания порошков методом дискретных элементов (МДЭ) показало, что на ранних стадиях (10–30 минут) частицы Sn и Pb склонны к агломерации и смещаются к верхним и нижним зонам бункера смесителя, формируя временные скопления за счет высокой адгезии и пластичности. При перемешивании до 60 минут наблюдается частичное разрушение агломератов, однако разброс содержания Sn и Pb по объёму смеси остается значительным (до 8–10 %). Только при увеличении времени перемешивания до 120 минут и более достигается практически равномерное распределение компонентов, а разброс концентраций снижается до 4–5 %. Несмотря на то, что полностью устранить агрегацию мягких фаз не удастся, смеси после 120–240 минут перемешивания характеризуются высокой гомогенностью и минимальным размером агломератов, что подтверждается микроструктурным анализом (рис. 1).

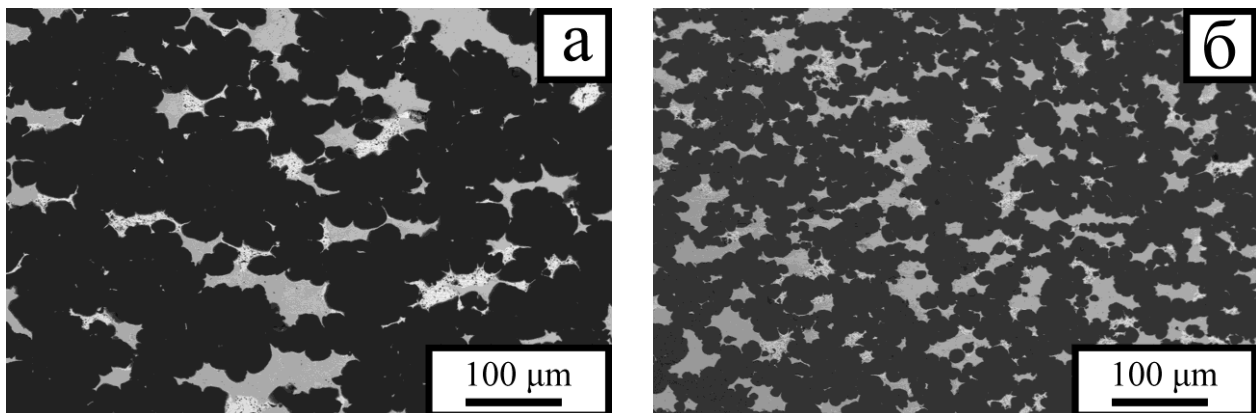


Рис. 1. РЭМ снимки поперечных срезов порошковых компактов после 10 (а) и после 120 (б) минут перемешивания

РЭМ снимки поперечных сечений компактов, полученных после 10 минут перемешивания (рис. 1, а), показывают наличие крупных агломератов светлых фаз (Sn и Pb). Такие включения достигают размеров до 300 мкм и формируют цепочки и скопления, что свидетельствует о недостаточной гомогенизации смеси на ранних этапах перемешивания. В компактах, изготовленных после 120 минут перемешивания (рис. 1, б), структура существенно меняется: светлые фазы Sn и Pb распределяются равномерно и дисперсно по всему объёму, а крупные агломераты практически отсутствуют, что указывает на достижение высокой степени гомогенности смеси и применимость смеси такого качества для селективного лазерного сплавления.

В результате СЛС сплава Al15Sn5Pb выявлено, что структура и пористость образцов существенно зависят от величины объемной плотности энергии. При $E = 22$ Дж/см³ (рис. 2, а) формируется выраженный дефектный слой у подложки толщиной до 1 мм, характеризующийся высокой пористостью и наличием крупных пор. С увеличением E до 60 Дж/см³ (рис. 2, б) толщина этого слоя уменьшается в 5 раз, а пористость снижается за счёт более глубокого проплавления и замедленного охлаждения в придонной области. Это способствует схлопыванию усадочных пор до завершения кристаллизации и формированию более плотной структуры. Общая пористость Al15Sn5Pb снижается от 5 % при $E = 22$ Дж/см³ до 0.3 % при $E = 60$ Дж/см³.

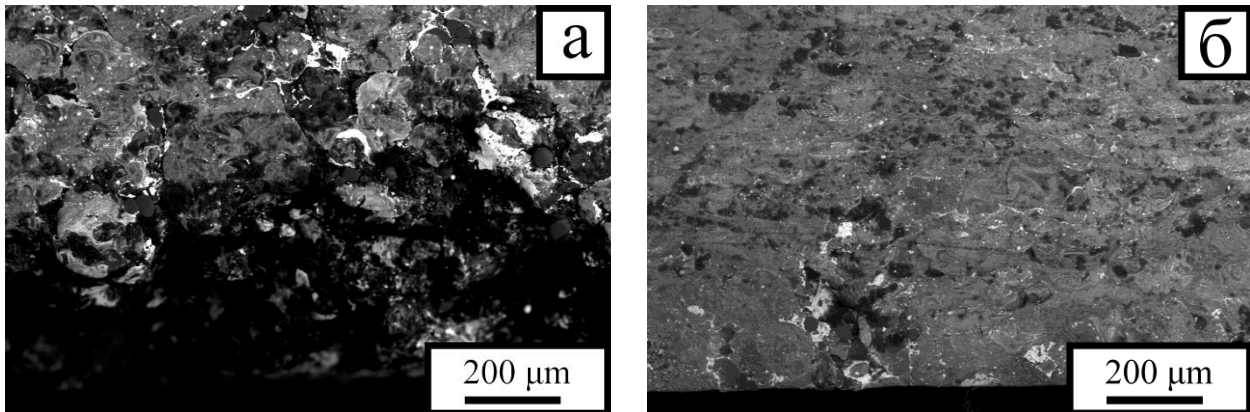


Рис. 2. РЭМ снимки срезов образцов по направлению роста, полученных при значениях E : 22 Дж/см³ (а) и 60 Дж/см³ (б)

Анализ РЭМ-снимков поперечных сечений образцов после СЛС показал, что размер и количество пор увеличиваются от центра к периферии и особенно к нижней границе. Причиной этого является более быстрое охлаждение внешних слоёв, что приводит к повышению вязкости расплава и препятствует схлопыванию пустот, а также возникновение термических напряжений на границе с подложкой из-за разницы коэффициентов теплового расширения. В результате в нижней части образцов наблюдается максимальная концентрация пор, что негативно влияет на механические свойства изделий.

Механические испытания образцов, полученных при различных значениях объемной плотности энергии (E), показали выраженную зависимость характеристик прочности и пластичности от параметров СЛС (рис. 3). При низких значениях E (21,6–27,8 Дж/см³) предел текучести ($\sigma_{0,2}$) составляет 18–40 МПа, предел прочности (σ_B) – 21–56 МПа, а величина деформации до разрушения (ϵ) не превышает 10 %. Это связано с высокой пористостью и наличием дефектов в структуре.

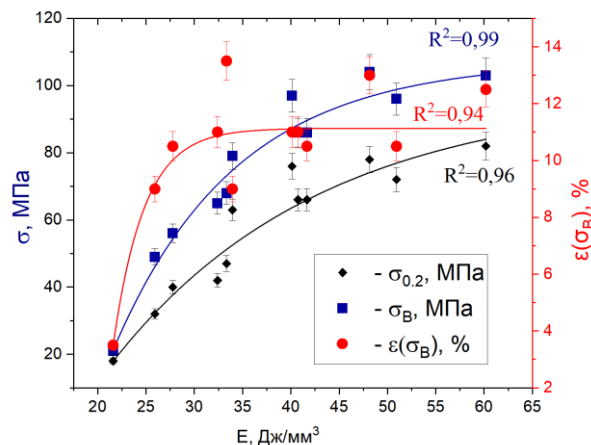


Рис. 3. Зависимости прочностных свойств образцов сплава $Al15Sn5Pb$, полученных при различном значении E

С увеличением E до 33–41 Дж/см³ наблюдается значительный рост прочностных характеристик: $\sigma_{0,2}$ достигает 66–76 МПа, σ_B – 86–97 МПа, а ϵ увеличивается до ~13 %. Максимальные значения прочностных характеристик ($\sigma_{0,2} = 82$ МПа, $\sigma_B = 103$ МПа) и пластичности ($\epsilon \sim 13$ %) достигаются при $E = 60,2$ Дж/см³, что соответствует минимальной пористости и наиболее однородной структуре. Таким образом, оптимизация параметров СЛС позволяет существенно повысить эксплуатационные свойства сплава $Al15Sn5Pb$, обеспечивая сочетание высокой прочности и пластичности. Полученные данные свидетельствуют о необходимости комплексной оптимизации как этапа подготовки порошковой смеси, так и параметров СЛС для получения изделий из сплава $Al15Sn5Pb$ с высоким уровнем эксплуатационных свойств.

Выводы

Результаты комплексного теоретико-экспериментального анализа показали, что для получения однородной порошковой смеси $Al15Sn5Pb$ требуется не менее 120 минут перемешивания, что обеспечивает равномерное распределение Sn и Pb и минимизацию агломератов.

Показано, что увеличение объемной плотности энергии при СЛС с 22 до 60 Дж/см³ приводит к значительному снижению пористости и толщины дефектного слоя у подложки, а также к формированию более плотной и однородной структуры сплава.

В результате проведённых механических испытаний установлено, что оптимизация параметров подготовки смеси и режимов СЛС позволяет существенно повысить прочностные свойства сплава Al15Sn5Pb, делая его перспективным материалом для применения в условиях высоких нагрузок и трения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда [грант № 24-79-10099], <https://ias.rscf.ru/user/doc/a.w.p.2024.98.legacy/182272>.

Список использованных источников:

1. Confalonieri C. Al-Sn Miscibility Gap Alloy produced by Power Bed Laser Melting for application as Phase Change Material / C. Confalonieri, E. Gariboldi // Journal of Alloys and Compounds. – 2021. – Vol. 881. – article number 160596. – DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.160596.
2. Selective Laser Melting of Aluminum and Its Alloys / Z. Wang, R. Ummethala, N. Singh [and et.] // Materials. – 2020. – Vol. 13. – article number 4564. – DOI: 10.3390/ma13204564.
3. Influence of laser power during laser powder bed fusion on the structure and properties of Al-40Sn alloy prepared from a mixture of elemental powders / N.M. Rusin, K.O. Akimov, A.L. Skorentsev, A.I. Dmitriev // Journal of Alloys and Compounds. – 2025. – Vol. 1013. – article number 178647. – DOI: 10.1016/j.jallcom.2025.178648.
4. A Review of the Vaporization Behavior of Some Metal Elements in the LPBF Process / G. Shi, R. Zhang, Y. Cao, G. Yang // Micromachines. – 2024. – Vol. 15. – article number 846. – DOI: 10.3390/mi15070846.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ

*Е.Г. Григорьева, ст. преподаватель
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: Sedasch@tpu.ru*

Аннотация: В данной статье рассматриваются высокоэнтропийные сплавы (ВЭС), обсуждаются особенности их микроструктуры, включая возможность формирования однородных нанозерен, а также влияние технологии производства на их характеристики. Основное внимание уделяется инновационным методам, включая порошковую металлургию и аддитивные технологии. Особое внимание уделяется актуальным тенденциям в прогнозировании фазообразования с использованием машинного обучения, что открывает новые горизонты для разработки и оптимизации состава ВЭС.

Ключевые слова: высокоэнтропийные сплавы, микроструктура, порошковая металлургия, аддитивные технологии, механические свойства, термостойкость, коррозионная стойкость, биомедицина, фазообразование, машинное обучение.

Abstract: This paper explores high-entropy alloys, highlighting the unique aspects of their microstructures, such as the potential for creating uniform nano-grains. It also examines how production technologies impact their properties. The discussion emphasizes cutting-edge techniques, including powder metallurgy and additive manufacturing. Additionally, it focuses on contemporary trends in utilizing machine learning to predict phase formation, which paves the way for advancements and optimization in the composition of wind farms.

Keywords: high-entropy alloys, microstructure, powder metallurgy, additive technologies, mechanical properties, heat resistance, corrosion resistance, biomedicine, phase formation, machine learning.

В последние годы наблюдается рост интереса к разработке и производству ВЭС, что обусловлено стремлением к созданию новых материалов с заданными свойствами.

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) представляют собой инновационные материалы, которые находят применение в различных областях благодаря своим уникальным свойствам. Эти сплавы состоят из нескольких металлов в равных или почти равных пропорциях, что придает им высокую энтропию смешивания и, как следствие, уникальные физические и механические характеристики. [1].

Сплавы с алюминием занимают особое место среди ВЭСов, так как такие составы обладают относительно низкими значениями удельного веса, что расширяет возможности их практического применения в промышленности.

Некоторые свойства ВЭСов:

- высокая прочность и твердость;
- высокая стойкость к истиранию;
- высокая термостойкость;
- высокое удельное сопротивление;

– устойчивость к высокотемпературному окислению и высокотемпературному размягчению.

Пример состава высокоэнтروпийного сплава: алюминий ($35,67 \pm 1,34 \%$), никель ($33,79 \pm 0,46 \%$), железо ($17,28 \pm 1,83 \%$), хром ($8,28 \pm 0,15 \%$), кобальт ($4,99 \pm 0,09 \%$).

ВЭС системы Al – Co – Cr – Fe – Ni могут иметь различный фазовый состав в зависимости от концентрации элементов. По мере увеличения концентрации алюминия их структура трансформируется из ГЦК через смешанную ГЦК + ОЦК в ОЦК [1].

В различных промышленных секторах активно внедряются сплавы с высокой энтропией:

– биомедицина: ценит эти материалы за их совместимость с биологическими тканями, превосходную адгезию, стойкость к износу и коррозии в биологических средах, а также исключительные механические характеристики защитных покрытий;

– рефрижераторные устройства: ВЭС на основе редкоземельных обладают магнитокалорическим эффектом, имеют температуру Кюри, близкую к комнатной, и могут быть использованы в таких устройствах;

– химическое машиностроение и кораблестроение: ВЭС обладают отличной коррозионной стойкостью, что позволяет использовать их в устойчивых к коррозии химических сосудах высокого давления и высокопрочных коррозионно-стойких деталях на кораблях;

– изготовление лопаток турбины: технология производства значительно упрощается благодаря хорошей пластичности этих сплавов. Долговечная и надежная работа лопаток обеспечивается комплексом преимуществ, отличной стойкостью к износу и коррозии, способностью к быстрому упрочнению и превосходной термостойкостью;

– электронные устройства и поле связи: ВЭС обладают мягким магнетизмом и высоким удельным сопротивлением, поэтому они имеют большой потенциал применения в устройствах высокочастотной связи;

– системы хранения водорода: некоторые ВЭС, например TiZrCrMnFeNi, демонстрируют быстрое и обратимое накопление водорода при комнатной температуре с хорошей ёмкостью для коммерческого применения.

Также ВЭС могут использоваться в качестве покрытий деталей судов, эксплуатирующихся в морской воде, разнородных сварных соединений, деталей ядерных реакторов [2].

Рассмотрим существующие современные технологии, которые применяются в работе с высокоэнтропийными сплавами.

Метод циклической штамповки в замкнутом объёме. Деформация металла прессом разбивает его структуру до наноразмеров. Обработка способствует образованию однородных нанозерен, богатых хромом, молибденом и железом, и их эффективному распределению в матрице сплава.

Использование порошковых смесей недорогих металлов. Например, в составе ВЭС примерно 30 % занимает железо, что делает порошок более доступным и снижает стоимость по сравнению с материалами типа NiCr или TaN.

Применение аддитивных технологий. В частности, послойное выращивание готового изделия из исходного порошкового материала.

Использование метода магнетронного напыления. Мишени для синтеза тонких плёнок ВЭС изготавливают из смеси элементарных порошков компонентов ВЭС, консолидированных методом горячего прессования.

Исключение этапа предварительного сплавления и нанесения защитного покрытия. ВЭС сами по себе обладают высокой коррозионной стойкостью, поэтому новая технология позволяет сократить количество технологических операций и уменьшить энергозатраты [3].

Наиболее перспективной технологией является использования порошковых смесей в высокоэнтропийных сплавах, т. к. позволяет получить:

– расширение технологических возможностей. Методы порошковой металлургии позволяют производить ВЭС с широким диапазоном химических составов;

– дисперсно-упрочненных оксидами порошковых компактов. Это обеспечивает дополнительное упрочнение при повышенных температурах;

– сокращение длительности технологического цикла получения материала. Например, при получении ВЭС путём смешивания порошков компонентов исключается такая трудоёмкая операция, как механическое легирование;

– компактов высокой плотности с заданной микроструктурой. Изменение параметров процесса спекания под давлением с воздействием искровой плазмы позволяет влиять на рост зерна и протекание диффузии;

– Однофазные и однородные по химическому составу материалы. Это достигается за счёт предварительного перемешивания металлов на атомарном уровне [4].

Более подробно рассмотрим процесс спекания под давлением, т. к. это очень выгодный метод получения современных материалов с превосходными свойствами.

Спекания под давлением включает несколько этапов:

1. Приготовление компактной пудры. Порошкообразные материалы смешивают со связующими веществами для обеспечения однородности. Затем порошок прессуют желаемую форму с помощью специальных инструментов. Этот шаг нужен для достижения первоначальной формы и плотности материала перед спеканием.

2. Нагрев и консолидация. Уплотнённый порошок нагревают до температуры чуть ниже точки плавления. Эта температура тщательно контролируется, чтобы активировать процесс спекания, не вызывая полного плавления. Во время нагрева связующее вещество (часто воск или полимер) испаряется или сгорает, в результате чего первичные частицы начинают плавиться на своих поверхностях.

3. Применение внешнего давления. В процессе нагрева к материалу прикладывают внешнее давление. Оно способствует уменьшению пористости и ускорению уплотнения. Давление можно прикладывать различными способами, например, с помощью механических прессов или гидравлических систем [5].

4. Слияние частиц и уплотнение. По мере повышения температуры частицы начинают сливаться на своих поверхностях – процесс, известный как твердофазное спекание. Этот процесс можно ещё больше ускорить за счёт присутствия жидкой фазы, известной как жидкофазное спекание (LPS).

5. Охлаждение и затвердевание. После завершения процесса спекания материал постепенно охлаждают до комнатной температуры. Скорость охлаждения тщательно контролируется, чтобы предотвратить тепловой удар, который мог бы привести к разрушению материала.

6. Последующая обработка. Материал подвергается процессам последующей обработки, таким как механическая обработка или отделка поверхности, для достижения окончательных желаемых свойств и размеров.

Спекание под давлением часто проводят в вакууме или инертной атмосфере, чтобы предотвратить окисление и загрязнение материала [5].

Разработкой новых типов высокоэнтропийных сплавов занимаются для создания материалов с улучшенными механическими свойствами, такими как высокая твёрдость, износостойкость, высокотемпературная прочность, коррозионная стойкость, хорошая низкотемпературная пластичность и сверхпластичные свойства

Разработка новых типов ВЭСов включает несколько этапов:

1. Подбор элементов. При этом используется параметрический подход, который включает химические и топологические параметры. Основным химическим параметром является энтальпия смешения элементов, основным топологическим параметром – атомный радиус.

2. Прогнозирование фазообразования. Для этого широко используются химические и топологические параметры.

3. Контроль структуры и микроструктуры. Основная задача разработки ВЭСов – достичь взаимосвязи состав-структура-микроструктура-свойство, точно контролируя электронную и кристаллическую структуру, а также микроструктуру.

4. Синтез наноразмерных ВЭСов. Это перспективное направление, которое позволяет расширить области применения ВЭСов, связанные с энергетикой (катализ, хранение энергии и другие).

Микроструктура высокоэнтропийных сплавов влияет на их свойства следующим образом:

Искажение кристаллической решётки. Возникает из-за разности размеров атомов, входящих в кристаллическую решётку мультикомпонентного твёрдого раствора. Искажения решётки в значительной степени определяют уровень прочностных свойств ВЭС.

Замедленная диффузия возникает из-за неоднородности атомов, которые обладают различной потенциальной энергией. Низкая скорость диффузии способствует повышению термической и химической стабильности ВЭС [6].

Формирование фаз зависит от состава, методов получения и обработки сплава, что может привести к образованию как упорядоченных, так и неупорядоченных фаз. На свойства конечного сплава влияют как атомы отдельных элементов, так и образующиеся фазы, что называется эффектом перемешивания [7].

Влияние решётки. ВЭС с ОЦК-решёткой имеют преимущественно высокую прочность и низкую пластичность, тогда как у материалов с ГЦК-решёткой низкая прочность и высокая пластичность.

Таким образом, характеристики ВЭС определяются их структурными особенностями и элементарным составом.

Один из новых методов прогнозирования фазообразования в высокоэнтропийных сплавах – использование машинного обучения.

Авторы работ [8] использовали набор данных из 544 конфигураций высокоэнтропийных сплавов для прогнозирования фаз. Для дополнения существующих данных применяли генеративную состязательную сеть (GAN).

Результаты исследования показали, что средняя точность модели при использовании десяти случайных начальных значений составила 94,77 %. Проверка на независимом наборе данных подтвердила надёжность модели и её применимость в реальном мире, обеспечив 100 %-ную точность прогнозирования.

Кроме того, учёные прогнозировали фазы ГЦК и ОЦК для высокоэнтропийных сплавов на основе элементного состава, достигнув максимальной точности 98 %.

Также для прогнозирования физического состояния высокоэнтропийных карбидов используют методы моделирования кристаллических решёток: метод специальных квазислучайных структур (SQS) и метод упорядоченных структурных составляющих (AFLOW).

Высокоэнтропийные сплавы демонстрируют выдающиеся механические свойства, включая высокую прочность и термостойкость, что делает их перспективными для применения в различных отраслях, таких как биомедицина и химическое машиностроение. Разработка современных методов производства и исследования в области фазообразования открывают новые горизонты для улучшения их характеристик. Успешное применение ВЭС может значительно повысить эффективность и надёжность технологий, использующих эти материалы.

Список использованных источников:

1. Рогачев А.С. Структура, стабильность и свойства высокоэнтропийных сплавов / А.С. Рогачев // Физика металлов и металловедение. – 2020. – Т. 121. – № 8. – С. 807–841.
2. Формирование улучшенных механических свойств высокоэнтропийного сплава Cantor / В.Е. Громов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 8. – С. 599–605.
3. Высокоэнтропийные сплавы: структура, механические свойства, механизмы деформации и применение / Осинцев К.А. [и др.] // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2021. – Т. 64. – № 4. – С. 249–258.
4. Иванников А.Ю. Новые достижения в области порошковой металлургии высокоэнтропийных сплавов для высокотемпературных приложений. Краткий обзор / А.Ю. Иванников, В.С. Юсупов // Известия высших учебных заведений. Черная Металлургия. – 2024. – Т. 67. – № 5. – С. 509–519.
5. Получение тугоплавких высокоэнтропийных сплавов методом детонационного спекания / Т.Т. Zhou [et al.] // Физика горения и взрыва. – 2024. – Т. 60. – № 5. – С. 134–143.
6. Пути модифицирования свойств и применения высокоэнтропийных канторовских сплавов: 10.25712/ASTU. 1811-1416.2024. 04.002 / В.Е. Громов [и др.] // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2024. – Т. 21. – № 4. – С. 422–427.
7. Оценка возможности формирования легкоплавких высокоэнтропийных сплавов / С.А. Лелюх [и др.] // Физика. Технологии. Инновации. Тезисы докладов (ФТИ-2024). – Екатеринбург, 2024. – С. 512–513.
8. Phys. Chem. Chem. Phys. – 2025. – 27. – Р. 717–729.

КОМПОЗИТНЫЙ ПОРОШОК Al-Si-Mg ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ: СВОЙСТВА, ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

*А.А. Сапрыкин, к.т.н., доц., Т.С. Гусева^а, ассистент
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аtsh2@tpu.ru*

Аннотация: В данной статье рассматривается композитный порошок на основе алюминия, кремния и магния (AlSiMg), используемый в технологии селективного лазерного плавления (СЛП). Обсуждаются механические свойства, коррозионная стойкость и легкость данного материала, а также его преимущества в различных отраслях, включая аэрокосмическую, автомобильную, медицинскую и электронную. Особое внимание уделяется роли каждого компонента в смеси: алюминий обеспечивает легкость и коррозионную стойкость, кремний улучшает прочность и текучесть, а магний повышает прочностные характеристики и устойчивость к агрессивным средам. Описываются ключевые этапы производства композитного порошка, включая выбор компонентов, механическую обработку, просеивание и проверку качества, что обеспечивает однородность и высокие характеристики конечного продукта. А также подчеркивается потенциал AlSiMg для аддитивного производства и необходимость дальнейших исследований для оптимизации его свойств и применения.

Ключевые слова: Селективное лазерное плавление, алюминий, порошок, Al-Si-Mg, свойства порошка, механическая обработка.

Abstract: This article discusses an aluminum, silicon and magnesium (AlSiMg) based composite powder used in selective laser melting (SLM) technology. The mechanical properties, corrosion resistance, and lightness of this material are discussed, as well as its advantages in various industries including aerospace, automotive, medical, and electronics. Particular attention is paid to the role of each component in the blend: aluminum provides lightness and corrosion resistance, silicon improves strength and flowability, and magnesium enhances strength properties and resistance to corrosive environments. Key steps in the production of composite powder are described, including component selection,

machining, sieving and quality control to ensure uniformity and high performance of the final product. And the potential of AlSiMg for additive manufacturing and the need for further research to optimize its properties and applications are highlighted

Keyword: Selective laser melting, aluminum, powder, Al-Si-Mg, powder properties, machining.

Селективное лазерное плавление (СЛП) является одной из самых перспективных технологий аддитивного производства, позволяющей создавать сложные металлические изделия с высокой точностью и минимальными отходами [1]. Одним из ключевых компонентов, определяющих качество и характеристики конечного продукта, является порошковый материал. В последние годы композитные порошки на основе AlSiMg привлекают внимание исследователей и производителей благодаря своим уникальным свойствам и широкому спектру применения.

Порошки AlSiMg обладают высокой прочностью и жесткостью, что делает их идеальными для создания деталей, требующих высокой механической нагрузки. Добавление кремния и магния улучшает текучесть порошка, что способствует более равномерному распределению материала в процессе печати и повышает качество получаемых изделий [2].

Алюминиевые сплавы, в частности AlSiMg, известны своей высокой коррозионной стойкостью. Это свойство делает их подходящими для использования в условиях, где детали подвергаются воздействию агрессивных сред, таких как морская вода или химические вещества. Помимо этого, алюминий является одним из самых легких металлов, и использование композитного порошка AlSiMg позволяет создавать легкие конструкции без ущерба для прочности [3].

Каждый компонент играет важную роль для сплава AlSiMg, например алюминий является основным элементом в смеси композитного порошка и отвечает за следующие свойства:

- **Легкость:** Алюминий – один из самых легких металлов, что способствует снижению веса конечных изделий.
- **Пластичность:** Обеспечивает хорошую обрабатываемость и возможность формирования сложных геометрий.
- **Коррозионная стойкость:** Образует защитную оксидную пленку, что делает изделия из алюминия устойчивыми к коррозии.
- **Теплопроводность:** Высокая теплопроводность алюминия позволяет эффективно рассеивать тепло, что важно в некоторых применениях.

Кремний добавляется в сплав для улучшения его характеристик: повышает прочность сплава, особенно при высоких температурах; способствует улучшению текучести порошка, что важно для процесса аддитивного производства, позволяя порошку легче заполнять форму и обеспечивать равномерное распределение; а также помогает уменьшить усадку при охлаждении, что снижает риск образования трещин и деформаций в процессе печати. В составе композита Mg может улучшать общую энергоемкость материала и повышать его ударопрочность.

Процесс производства композитного порошка AlSiMg для СЛП включает несколько ключевых этапов, среди которых предварительная механическая обработка порошка играет важную роль.

На первом этапе выбираются высококачественные порошки алюминия, кремния и магния. Определяются оптимальные пропорции для достижения необходимых механических свойств и коррозионной стойкости. Следующим этапом является механическая обработка порошка: исходные порошки загружаются в механическую мельницу, где они подвергаются интенсивному смешиванию. Этот процесс позволяет достичь однородной смеси и предотвратить агломерацию частиц. Используются шаровые или вибрационные мельницы, которые обеспечивают равномерное распределение компонентов.

После смешивания порошок проходит процесс просеивания для удаления крупных частиц и агломератов. Это критически важно для получения порошка с однородным размером частиц, что влияет на качество печати. Для просеивания могут использоваться сита с различными размерами ячеек.

Полученный порошок может подвергаться дополнительной обработке, такой как сушка, для удаления остаточной влаги. Затем порошок упаковывается в герметичные контейнеры для предотвращения окисления и загрязнения.

Перед использованием порошка в процессе СЛП проводится его проверка на соответствие требованиям, включая анализ размеров частиц и текучести. Порошок загружается в камеру 3D-принтера, где будет использован для создания изделия. На этапе СЛП порошок равномерно распределяется по рабочей платформе, и лазерный луч плавит его в соответствии с заданной 3D-моделью. Процесс повторяется слой за слоем, что позволяет создать сложные геометрические формы с высокой точностью [4].

Сплавы из композитного порошка AlSiMg, полученные с использованием технологии СЛП, находят широкое применение в различных отраслях благодаря своим уникальным свойствам, например в аэрокосмической промышленности используются для производства легких и прочных компонентов, таких как: структурные элементы (крылья, фюзеляжи и другие элементы конструкции самолетов и космических аппаратов, где критически

важны соотношение прочности и веса), детали двигателей (компоненты, которые требуют высокой термостойкости и устойчивости к коррозии, такие как корпуса и элементы систем охлаждения); в автомобильной промышленности для создания кузовных элементов (легкие и прочные детали, такие как двери, капоты и крыши, которые помогают снизить общий вес автомобиля и, соответственно, расход топлива), компоненты подвески (детали, требующие высокой прочности и устойчивости к механическим нагрузкам, такие как рычаги и амортизаторы); в электронике используются для производства корпусов (легкие и теплопроводные корпуса для различных электронных устройств, таких как компьютеры, мобильные телефоны и бытовая техника), теплоотводов (элементы, которые обеспечивают эффективное рассеивание тепла, что критично для работы высокопроизводительных электронных компонентов); в медицинской технике находят применение в индивидуализированных имплантатах (протезы и имплантаты, которые требуют высокой точности и биосовместимости, могут быть изготовлены с использованием СЛП, что позволяет создавать сложные геометрические формы, идеально подходящие для конкретного пациента), оборудовании для хирургии (легкие и прочные инструменты и устройства, которые облегчают работу хирургов и повышают эффективность операций) и т. д.

Композитный порошок AlSiMg представляет собой перспективный материал для селективного лазерного плавления, обладая уникальными свойствами, которые делают его идеальным для различных промышленных применений. Роль каждого компонента в смеси – алюминия, кремния и магния – критически важна для достижения необходимых характеристик конечного продукта. Совершенствование технологий производства и дальнейшие исследования в этой области могут привести к новым возможностям и улучшению качества аддитивного производства.

Список использованных источников:

1. Ильичбекова А.А. Аддитивные технологии в машиностроении / А.А. Ильичбекова, А.И. Горбатенко // Физика и современные технологии в АПК. – 2020. – С. 209–212.
2. A tailored AlSiMg alloy for laser powder bed fusion / D. Knoop [et al.] // Metals. – 2020. – Т. 10. – № 4. – 514 с.
3. Mechanical properties of AlSiMg alloy specifically designed for selective laser melting / Y.Geng [et al.] // Acta Metall Sin. – 2020. – Т. 56. – № 6. – С. 821–830.
4. Аль-Сандыкачи М.Х. Селективное лазерное плавление / М.Х. Аль-Сандыкачи // Точная наука. – 2016. – № 2. – С. 3–7.
5. Титов Г.А. Материалы для аддитивных технологий в строительстве / Г.А. Титов // Инженерные исследования. – 2022. – № 3. – 8 с.
6. Голоднов А.И. Технологии и оборудование аддитивного производства : учебное пособие / А.И. Голоднов, С.Н. Злыгостев, И.Е. Фурман. – 2022.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭФФЕКТ ПРЕРЫВИСТОЙ ТЕКУЧЕСТИ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА

*С.А. Баранникова, д.ф.-м.н, проф., П.В. Исхакова^а, аспирант
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., Томск, пр. Академический, 2/4
E-mail: ^аiskhakova@ispms.ru*

Аннотация: В работе исследованы механические свойства и эффект прерывистой текучести в температурных условиях от 220 до 300 К алюминий-магниевого сплава, изготовленного аддитивным способом. Замена традиционных конструкционных металлов легкими алюминиевыми сплавами становится решающим фактором в аддитивном производстве легких изделий для авиационной и морской техники. Показано влияние температуры испытаний на величину спадов напряжений течения при скачкообразной деформации алюминиевого сплава АМг5 с целью отработки технологических режимов.

Ключевые слова: алюминиевый сплав, аддитивные технологии, прочность, прерывистая текучесть.

Abstract: The work is devoted to the study of mechanical properties and the effect of jerky flow in temperature conditions from 220 to 300 K during tension of aluminum-magnesium alloy manufactured by additive method. Replacement of traditional structural metals with light aluminum alloys is becoming a decisive factor in the additive production of lightweight products for aviation and marine equipment. The effect of test temperature on the magnitude of flow stress drops during jerky flow of aluminum alloy AMg5 is shown in order to develop technological modes.

Keywords: aluminum alloy, additive technologies, strength, jerky flow.

Введение

Алюминиевые сплавы широко применяют для нужд авиационной и морской техники в силу преимуществ их технологических, прочностных и коррозионных свойств. Относительное потребление алюминиевых

сплавов в криогенике непрерывно возрастает и достигает на сегодняшний день 45 % потребления всех металлов в области температур ниже 120 К [1]. Проблема появления прерывистой текучести или эффекта Портевена–Ле Шателье (ПЛШ) имеет большое практическое значение, поскольку эффект ПЛШ играет отрицательную роль при обработке сплавов системы Al-Mg, ухудшая механические свойства изделий и пластичность материалов [2, 3].

Конкурентоспособность в отечественной авиационной и морской технике во многом определяется качеством применяемых материалов, в связи с этим производители проявляют повышенный интерес к применению аддитивных технологий (АТ). Аддитивные методы производства материалов [4] обладают преимуществами перед традиционными методами изготовления за счет экономии сырья и возможности изготовления изделий со сложной геометрией. Изучение поведения низкотемпературной деформации алюминиевых сплавов, полученных аддитивным способом, представляют огромный интерес и целью работы являлось исследование влияния температуры на механические свойства и эффект прерывистой текучести сплава АМг5, изготовленного аддитивным способом.

Материалы и методы исследований

Выращивание заготовок сплава АМг5 осуществлялось проволочным электронно-лучевым аддитивным методом [4]. Для наплавки была использована проволока толщиной 1,2 мм. Ускоряющее напряжение электронного пучка равнялось 30 кВ, ток пучка варьировался в диапазоне 16–26 мА, постепенно снижаясь по мере увеличения количества нанесенных слоев. Микроструктура материала при таких параметрах нанесения представляла собой сферические зерна и зерна вытянутой формы твердого раствора размерами 50–150 мкм [4].

Для проведения механических испытаний были изготовлены образцы в форме двусторонней лопатки с размерами рабочей части 1,3х10х40 мм в продольном направлении к печати. Подготовленные образцы растягивались с постоянной скоростью движения подвижного захвата 0,2 мм/мин на испытательной машине Walter+Bai AG серии LFM-125 в интервале температур от 220 до 300 К.

Результаты и обсуждение

Диаграммы растяжения σ (ϵ) образцов аддитивно изготовленного сплава АМг5 в исследуемом температурном интервале, в определенном диапазоне пластических деформаций, демонстрируют скачкообразный характер падений напряжений (рис. 1 а), являющихся проявлением эффекта прерывистой текучести [2, 3]. На диаграммах растяжения σ (ϵ) выявлены стадии линейного и параболического деформационного упрочнения. Пластичность увеличивается с понижением температуры, в то время как прочность аддитивно изготовленного сплава АМг5 уменьшается с понижением температуры. Величина зубцов, соответствующих падению напряжений $\Delta\sigma$, уменьшается с понижением температуры (рис. 1 б), и наконец, исчезает при $T = 220$ К. Падение напряжения составляет $\Delta\sigma \approx 18$ МПа при комнатной температуре, тогда как, $\Delta\sigma \approx 0$ при $T = 220$ К, что указывает на температурно-зависимый эффект Портевена–Ле Шателье.

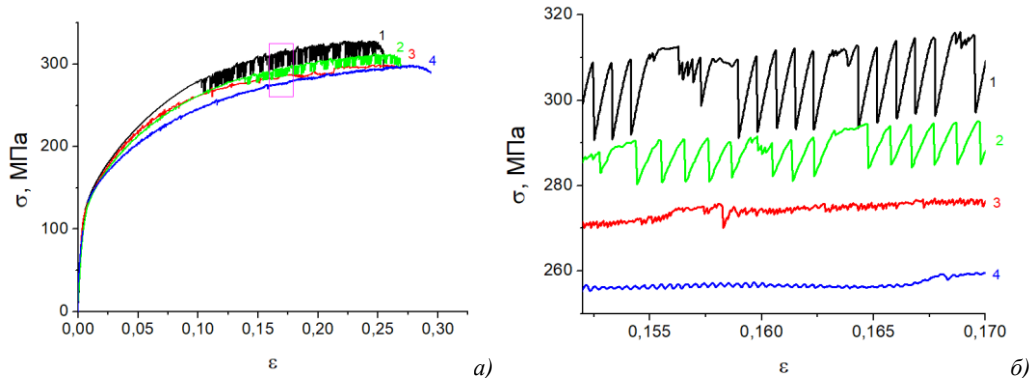


Рис. 1. а) диаграммы растяжения образцов алюминий-магниевого сплава, изготовленного аддитивным способом; б) изменение прироста напряжений с тоном деформации (для выделенной области на рис. 1а): $T = 300$ К (1); $T = 256$ К (2); $T = 232$ К (3); $T = 214$ К (4)

Заключение

Выполнен анализ влияния низких температур на эффект прерывистой текучести алюминиевого сплава АМг5, изготовленного по электронно-лучевой проволочной технологии. При исследовании эффекта Портевена–Ле Шателье на поверхности плоских образцов сплава возникают полосы сдвига, представляющие собой области локализованной деформации, что в конечном итоге приводит к разрушению. Снижение величины скачков напряжений в определенных интервалах деформаций при снижении температуры испытаний от 220 до 300 К соответствует увеличению пластичности исследуемого материала. Данный результат может быть использован для разработки криомеханической обработки аддитивно изготовленных алюминиевых сплавов Al-Mg.

Финансирование

Работа проведена в рамках проекта государственного задания ИФПМ СО РАН (FWRW-2022-0011).

Благодарности

Авторы благодарны сотрудникам Лаборатории локальной металлургии в аддитивных технологиях ИФПМ СО РАН за помощь в изготовлении материала исследований.

Список использованных источников:

1. Фридляндер И.Н. Аллюминиевые деформируемые конструкционные сплавы / И.Н. Фридляндер. – М. : Металлургия, 1979. – 208 с.
2. Scaling in the Local Strain-Rate Field during Jerky Flow in an Al-3%Mg Alloy / M. Lebyodkin, Y. Bougherira, T. Lebedkina, D. Entemeyer // *Metals*. – 2020. – Vol. 10. – Is. 1. – 134 p.
3. Горбатенко В.В. Неустойчивость пластического течения: полосы Чернова–Людерса и эффект Портевена-Ле Шателье / В.В. Горбатенко, В.И. Данилов, Л.Б. Зуев // *Журнал технической физики*. – 2017. – Т. 87. – № 3. – Р. 372–377.
4. Characterization of AA7075/AA5356 gradient transition zone in an electron beam wire-feed additive manufactured sample / V. Utyaganova, A. Filippov, S. Tarasov [et al.] // *Materials Characterization*. – 2021. – Vol. 172. – 110867 (12) p.

ПОЛУЧЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОРОШКА ИЗ СТАЛЬНОЙ СТРУЖКИ

Е.Н. Коростелева^{1,2,a}, к.т.н, доц., В.В. Коржова¹, к.т.н.

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, 634055, г. Томск, пр-т Академический, 2/4

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, 634050, г. Томск, пр-т Ленина, 30

E-mail: ^aelenak@ispms.ru

Аннотация: Переработка отходов промышленного производства позволяет решать не только экологические проблемы, но и повторное использование материальных ресурсов. Чаще всего возвращаемые в производство материальные ресурсы стараются использовать в той же технологической нише, где формировались сами отходы через их переплавку или добавление в шихту. В данной работе предлагается альтернативный подход, позволяющий при утилизации стальной стружки получать функциональный порошковый продукт, который можно в дальнейшем использовать при создании порошковых металлматричных композитов. Стружка стали 45 после токарной обработки имеет сложный морфологический вид с неоднородным распределением кислорода и углерода. Дополнительное окисление с последующим измельчением в вибромельнице трансформирует структуру стальной стружки, повышая объемную долю оксидных фаз. Результаты проведенных исследований показали, что полученный порошок из такой переработанной стальной стружки представляет собой фактически металлматричный композитный материал с оксидными включениями на основе железной матрицы, который можно использовать в дальнейшем в разных порошковых технологиях.

Ключевые слова: стальная стружка, измельчение, окисление, структура, оксиды железа, композиционные порошки, спекание.

Abstract: Recycling industrial waste allows us to solve not only environmental problems, but also reuse material resources. Most often, the returned material resources are tried to be used in the same technological niche where the waste itself was formed through their remelting or addition to the charge. This work proposes an alternative approach which allows us to obtain a functional powder product from steel swarf during recycling process, that can be further used in the creation of powder metal matrix composites. Steel 45 shavings after turning have a complex morphological appearance with a non-uniform distribution of oxygen and carbon. Additional oxidation followed by grinding in a vibrating mill transforms the structure of steel swarf, increasing the volume fraction of oxide phases. The results of the studies have shown that the resulting powder from such recycled steel swarf was actually a metal matrix composite with oxide inclusions based on an iron matrix that can be used in the future in various powder technologies.

Keywords: steel swarf, grinding, oxidation, structure, iron oxides, composite powders, sintering.

Введение

В рамках стратегии ресурсоэффективности и утилизации отходов производства предпочтительно использовать технологии порошковой металлургии. Наиболее наглядно это представлено при переработке металлических отходов в машиностроительной отрасли [1, 2]. Значительный вклад в совокупный объем отходов производственных цепочек в машиностроении дает металлообработка на различных станках. Независимо от вида обработки, используемого инструмента, при изготовлении любой детали всегда образуется металлическая стружка. Чаще всего эта стружка утилизируется как металлический лом в металлургических процессах [2, 3]. Отходы металлообработки традиционно рассматривались как ресурсы для повторного использования в процессе либо переплавки, либо как шихта для объемных порошковых заготовок и нанесения покрытий. С другой сто-

роны, «вредные» примеси и загрязнения можно рассмотреть в качестве источников дополнительных элементов для формирования функциональной многокомпонентной структуры в перерабатываемых отходах с их последующим переходом в порошкообразный вид.

Методика исследований

Исходным материалом для исследования были отходы металлообработки стальных заготовок из углеродистой стали 45 как наиболее распространенного сплава в машиностроительных производствах. Стальная стружка была получена на машиностроительном предприятии после операции торцевания без использования СОЖ. Общий вид исследуемой стружки и ее фрагментов, фазовый состав и характерная структура ее поверхности после станочной обработки представлены на рис.1. Стоит отметить, что результаты рентгенофазового анализа (РФА) стружки из стали 45 не выявили линий оксидных фаз и показали практически стандартный набор фаз, характерный для этого сорта стали. Размер фрагментов стружки после обработки стальной заготовки на станке составлял 3–7 мм в ширину и 10–30 мм в длину, поэтому для уменьшения их размеров потребовалось измельчение с использованием вибромельницы. Измельчение проводили в воздушной среде в течение 10 часов в присутствии стальных шаров с диаметром 15 мм при соотношении веса стружки к весу шаров 1:30.

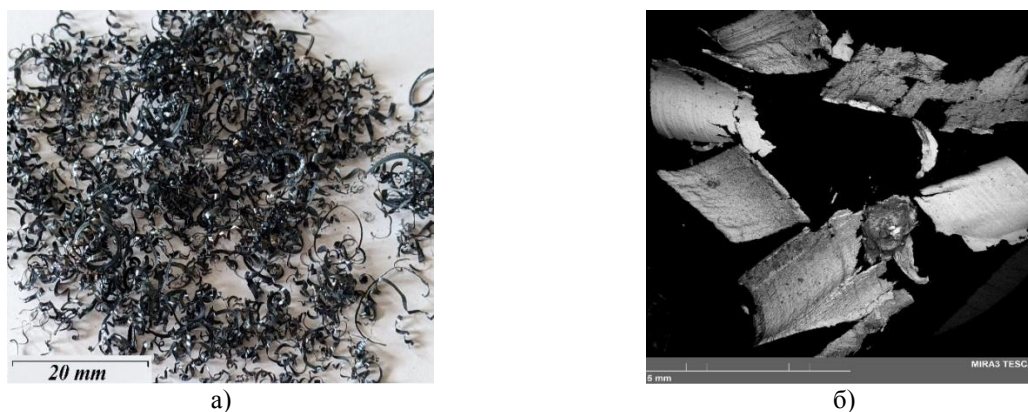


Рис. 1. Общий вид стружки из стали 45 и ее фрагментов (а, б)

Несмотря на условия металлообработки и связанные с этим процессы температурных колебаний, насыщения кислородом и наклепом, стружка оставалась пластичной, что затрудняло процесс дробления. Дополнительное окисление фрагментов стружки повысило их хрупкость и позволило получить порошкообразный материал с широким диапазоном дисперсности частиц от 50 до 350 мкм. Для оценки прессуемости и спекаемости полученного порошка из переработанной стружки стали 45 были спрессованы цилиндрические образцы высотой 10–13 мм с диаметром 10 мм, которые спекали в вакуумной печи в диапазоне температур от 800 до 1200 °С с выдержкой 60 мин.

Исследования исходной стружки и спеченных образцов были проведены с использованием рентгенофазового анализа (РФА), растровой электронной микроскопии (РЭМ) на оборудовании Центра коллективного пользования ИФПМ СО РАН (ДРОН-8, сканирующий электронный микроскоп TESCAN MIRA 3LMU).

Результаты и их обсуждение

Анализ стальной стружки показал, что после металлообработки без использования СОЖ на ее поверхности формируется высокодефектная структура, где элементный анализ показал наличие дополнительного количества кислорода и углерода, но проведенный РФА не зафиксировал оксидные фазы. Можно предположить, что при первичной металлообработке сопутствующие окислительные процессы преимущественно способствуют формированию аморфных оксидных пленок, невидимых для РФА, и не позволяют сформировать кристаллиты оксидов железа в заметном количестве. Поскольку стальная стружка после токарной обработки оставалась пластичной, а содержание оксидных фаз оказалось незначительным, то было принято решение дополнительно окислить фрагменты стружки с целью не только увеличения содержания оксидов железа, но и для повышения хрупкости стружки. Таким образом, процесс окисления позволял решить сразу две задачи – добиться эффективного измельчения стружки и повысить объемное содержание оксидов железа. Вариант окисления связан с наиболее простым и доступным способом выдержки в воде не менее 48 часов. Смачивание водой с последующей сушкой на воздухе при комнатной температуре фрагментов стальной стружки уже через 48 часов позволили зафиксировать методом РФА до 30–40 об. % оксидов железа.

Параллельно рассмотрен вариант получения порошкообразных фрагментов из отходов стружки путем осаждения взвеси продуктов размола стружки стали 45 из воды после ее испарения. После высушивания водяного раствора был получен мелкий порошок, фазовый состав которого показал сложную конфигурацию дигидроксокарбоната железа $\text{Fe}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$ в присутствии оксидов железа. Поскольку такой порошковый продукт

имел очень сложный состав, требовал отдельного изучения и его продуктивность была существенно ниже, чем при использовании обычного смачивания в воде, сушки и последующего измельчения, то для дальнейших исследований ограничились отсеянным порошком из измельченной стружки после выдержки в воде. Структурно-фазовый и элементный анализ доокисленной и измельченной стружки показал, что фактически в процессе выбранной комплексной обработки с окислением в воде и интенсивным механическим дроблением фрагменты стальной стружки из стали 45 трансформируются в композитный металломатричный порошковый материал, частицы которого состоят из матрицы на основе α -Fe, а включениями являются оксиды железа Fe_2O_3 или Fe_3O_4 . Стружка при дроблении фрагментировалась на частицы в широком диапазоне размеров – от крупных фрагментов 300–350 мкм, до мелких 20–50 мкм. Присутствие заметного количества оксидов (не менее 30 об. %) может вызвать затруднения при компактировании полученного порошка, поэтому для проверки были спрессованы образцы с использованием небольшого давления прессования (до 0,03 МПа) без добавления каких-либо пластификаторов. Остаточная пористость полученных образцов составляла около 40 %.

Последующее вакуумное спекание спрессованных образцов приводит к снижению доли пор на фоне усадки образцов. Структурно-фазовое состояние спеченной при 1000°C прессовки из порошка переработанной стальной стружки представлено на рис. 2. РФА прессовок из порошка стружки после спекания показал, что сформированная после обработки группа оксидов железа $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Fe}_2\text{O}_3$ переходит в монооксид FeO, а основной фазой является α -Fe (рис. 2, а). Зона межчастичных контактов в большей степени наполнена оксидными компонентами, тогда как основная область частиц практически свободна от кислорода (рис. 2, в, г). Такая конфигурация элементов структуры сдерживает спекание фрагментированных частиц стальной стружки за счет препятствия в виде оксидсодержащей периферии. Протяженные области, насыщенные кислородом, в частицах порошка из переработанной стальной стружки являются открытыми зонами для контактного взаимодействия с другими порошковыми компонентами, например, алюминием или титаном [4–6], и могут участвовать в сопутствующих реакциях восстановления или синтеза интерметаллидов, что является отдельной темой исследований. Стоит отметить, что сформированное структурно-фазовое состояние переработанной до порошкообразного вида стальной стружки может быть интересно в контексте других перспектив использования [7], где актуально присутствие оксидов железа.

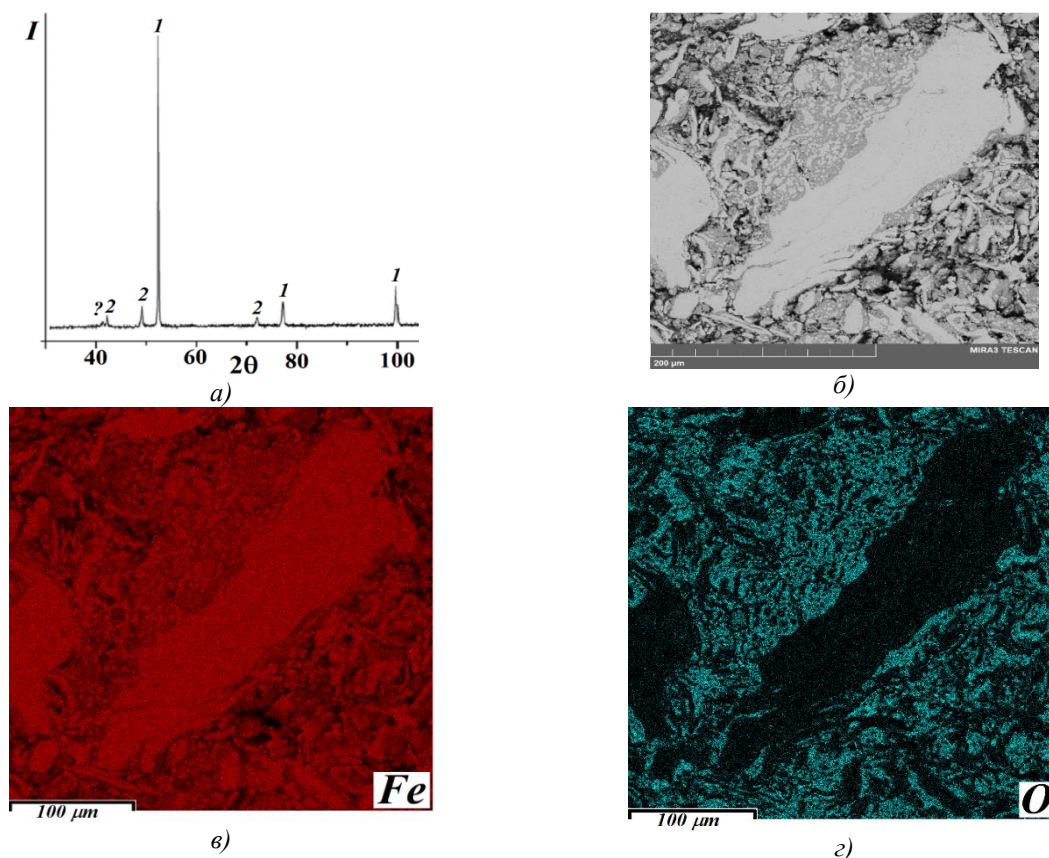


Рис. 2. Фазовый состав (а, 1 – α -Fe; 2 – FeO), микроструктура (б) и распределение элементов (в, Fe) и (г, O) в спеченной при 1000 °C прессовке из порошка переработанной стальной стружки

Заключение

Стальная стружка после токарной обработки заготовок из стали 45 претерпевает специфические структурные изменения вследствие деформационных и физико-химических процессов, которые обуславливают повышение содержания углерода и кислорода в стальной основе. Привнесенное в процессе металлообработки дополнительное количество кислорода, является недостаточным, чтобы сформировать протяженные области оксидов железа, заметные для РФА. Дополнительное окисление отходов металлообработки в воде способствует повышению содержания оксидной фазы и облегчает процесс измельчения стружки в вибромельнице до получения частиц с размером 50–350 мкм. Анализ полученных порошков из измельченной и обработанной стружки стали 45 показал, что частицы порошка представляют собой металломатричный порошковый продукт с оксидными включениями, который несмотря на присутствие оксидов железа не менее 30 об. %, хорошо прессуется и спекается, демонстрируя объемную усадку и сокращение пористости. Формируемые на поверхности измельченных фрагментов стружки, протяженные области оксидных фаз являются активными структурными включениями, которые могут взаимодействовать с дополнительными порошковыми компонентами, содержащими другие элементы, например, алюминий или титан. Таким образом исследуемый порошок из стальной стружки можно рассматривать, как потенциальный прекурсор или оксид-содержащий компонент для получения многокомпонентных металломатричных композитов с оксидной фазой с использованием отходов машиностроительного производства.

Исследования выполнены в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0005.

Список использованных источников:

1. Ровин С.Л. Возвращение дисперсных металлоотходов в производство / С.Л. Ровин, А.С. Калиниченко, Л.Е. Ровин // Литье и металлургия. – 2019. – № 1. – С. 45–48. – DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-45-48.
2. Novel approach to recycling of steel swarf using hydrometallurgy / T. Ottink, N. Viecei, M.R.StJ. Foreman, M. Petranikova // Resources, Conservation and Recycling. – 2022. – Vol. 185. – P. 106450. – DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106450.
3. Hankel J. Development of a recycling strategy for grinding sludge using supersolidus liquid phase sintering / J. Hankel, S. Jager, S. Weber // Journal of Cleaner Production. – 2020. – Vol. 263. – P. 121501. – DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.121501.
4. Коростелева Е.Н. Особенности формирования структуры спеченных порошковых материалов с использованием отходов металлообработки стальных заготовок / Е.Н. Коростелева, И.О. Николаев, В.В. Коржова // Обработка металлов. – 2022. – Т. 24. – № 4. – P. 192–205. – DOI: 10.17212/1994-6309-2022-24.4-192-205.
5. Фазообразование в реакционных порошковых смесях (Al-Fe-Fe₂O₃) при наличии конкурирующих стадий / Е.Н. Коростелева, А.Г. Князева, В.В. Коржова [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. – 2024. – Т. 26. – № 3. – С. 317–330. – DOI: <https://doi.org/10.62669/17270227.2024.3.27>.
6. Коростелева Е.Н. Синтез и эволюция структурно-фазового состояния порошковых материалов Al-Fe-Fe₂O₃ в условиях нагрева / Е.Н. Коростелева, И.О. Николаев, А.В. Барановский // Материалы XVII Минского международного форума по тепло- и массообмену. – 2024. – С. 746–749. – URL: <https://www.itmo.by/conferences/abstracts/mif-17/mif17-proceedings.pdf> (дата обращения: 15.03.2025).
7. Ильин А.А. Получение оксида железа из металлических порошков / А.А. Ильин // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2019. – № 62 (5). – С. 62–70.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СОЗДАНИЯ МЕТАЛЛОМАТРИЧНЫХ КОМПОЗИТОВ

М.К. Марцева, ассистент

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: mkm3@tpu.ru

Аннотация: В данной статье рассмотрены основные свойства и структура металломатричных композитов, технологические методы и перспективы их получения.

Ключевые слова: Металломатричные композиты, механоактивация, механолегирование, механохимический синтез, порошковая металлургия.

Abstract: This article discusses the basic properties and structure of metal matrix composites, technological methods and prospects for their production.

Keyword: Metal matrix composites, mechanical activation, mechanical alloying, mechanochemical synthesis, powder metallurgy.

В современном материаловедении особое внимание уделяется разработке высокотехнологичных материалов с уникальными свойствами. Металломатричные композиционные материалы (МКМ) представляют собой одно из наиболее перспективных направлений в этой области.

МКМ – это многофазные конструкционные материалы нового поколения, характеризующиеся четкими границами раздела между составляющими их компонентами. Структура этих инновационных материалов включает металлическую основу, обладающую пластичностью, и армирующие элементы с высокими показателями прочности и модуля упругости.

Основу металломатричных композитов формирует металлическая матрица, которая обеспечивает пластичность и вязкость материала. В роли наполнителей выступают высокомодульные компоненты, придающие композиту повышенную жесткость и прочность. Именно такое сочетание разнородных фаз позволяет получать материалы с уникальным комплексом свойств.

По структурным особенностям металломатричные композиты классифицируются на несколько типов. Одним из основных видов являются дисперсно-упрочненные МКМ, в которых мелкодисперсные частицы второго вещества равномерно распределены в объеме металлической матрицы. Такая структура обеспечивает значительное повышение механических характеристик материала [1].

На данный момент особое внимание уделяется разработке композиционных материалов с улучшенными механическими характеристиками. Структурная организация этих материалов играет ключевую роль в определении их свойств.

Распределение нагрузки в композитах с дисперсным наполнением происходит особым образом: основную механическую нагрузку принимает на себя матричный материал, в то время как диспергированные частицы второй фазы формируют структурный каркас, эффективно противодействующий пластическим деформациям. Существует обратная зависимость между размером частиц наполнителя и прочностными характеристиками материала – уменьшение размера частиц и сокращение межчастичных расстояний значительно повышает прочность металлокомпозитных материалов (МКМ).

Совершенно иной принцип упрочнения реализуется в волокнистых композитах. В этой категории материалов пластичная матрица усиливается высокопрочными элементами – волокнами, металлической проволокой или нитевидными кристаллами. Эти армирующие компоненты, в отличие от дисперсных наполнителей, непосредственно воспринимают основную долю приложенной нагрузки, определяя тем самым жесткость и прочность всего композита.

Армирование волокнистых композитов может выполняться по различным пространственным схемам: одноосной (однонаправленное расположение волокон), двухосной (волокна ориентированы в двух направлениях) или трехосной (объемное армирование). Выбор схемы армирования зависит от предполагаемых условий эксплуатации и требуемых характеристик материала [2].

Современная инженерия материалов предлагает множество интересных решений для создания конструкций с улучшенными характеристиками. Особое место среди них занимают слоистые композиционные материалы, которые представляют собой сложные структуры с уникальными свойствами.

Слоистые композиты характеризуются многоуровневой организацией, где последовательно чередуются различные материалы. Эта архитектура включает слои наполнителя, разделенные матричным материалом, что обеспечивает особые механические свойства готового изделия.

Ориентация слоев наполнителя может варьироваться в зависимости от требуемых характеристик конечного продукта. Инженеры часто используют комбинированный подход, включая в конструкцию слои наполнителя из различных материалов, каждый из которых обладает своими уникальными механическими свойствами. Такое поочередное использование разнородных материалов позволяет достичь оптимального баланса между прочностью, весом и другими важными параметрами.

При разработке конструкционных элементов матричным компонентом обычно выступают легкие металлы. Алюминий, магний и титан являются предпочтительными материалами благодаря их относительно низкой плотности при сохранении достаточной прочности. Это делает слоистые композиты идеальными для применения в авиационной и автомобильной промышленности, где вес конструкции имеет критическое значение.

Для высокотемпературных применений, например в двигателестроении или космической технике, специалисты отдают предпочтение матрицам на основе кобальта или кобальт-никелевых сплавов. Эти материалы демонстрируют исключительную термостойкость и сохраняют свои механические характеристики даже при экстремальных температурах [3].

Уникальный комплекс физико-механических свойств делает МКМ незаменимыми в высокотехнологичных отраслях промышленности. Их отличительными характеристиками являются исключительная износостойкость, превосходная электро- и теплопроводность, а также впечатляющие показатели удельной жесткости и

прочности. Вязкость разрушения этих материалов также находится на высоком уровне, что обеспечивает их надёжность в экстремальных условиях эксплуатации.

Технологический прорыв в получении МКМ связан с развитием методов порошковой металлургии. Особенно перспективными считаются подходы, основанные на механохимическом синтезе, механоактивации и механолегировании. Эти методы открывают широкие возможности для создания порошковых материалов с разнообразным химическим составом, что значительно расширяет спектр достижимых свойств конечного продукта [4].

Применение указанных методов позволяет формировать неравновесные фазы в материале, которые невозможно получить традиционными способами. Более того, инновационные технологии механической обработки способствуют формированию наноструктуры и даже аморфного состояния вещества, что открывает совершенно новые горизонты для применения МКМ в передовых технологиях будущего. Таким образом, симбиоз металлической матрицы с различными армирующими элементами и применение прогрессивных методов синтеза и обработки создают фундамент для разработки материалов нового поколения с беспрецедентным комплексом свойств.

Механоактивация, механолегирование и механохимический синтез представляют собой передовые технологические решения, позволяющие формировать материалы с неравновесной структурой. Эти методы обеспечивают возможность получения как аморфных состояний, так и наноструктурированных композиций различного химического состава.

Одним из ключевых преимуществ данных подходов является возможность деформационного смешивания компонентов на атомарном уровне. Этот феномен реализуется при низких гомологических температурах, что кардинально отличает механохимические методы от традиционных технологий.

Температурный режим процессов имеет критическое значение, поскольку при пониженных температурах диффузионные и релаксационные процессы существенно замедлены. Данное обстоятельство создает благоприятные условия для стабилизации метастабильных фаз, которые обычно недостижимы при использовании классических методов синтеза.

Особенно впечатляющим результатом применения механохимических технологий является получение пересыщенных твердых растворов. Такие материалы обладают исключительными функциональными характеристиками, открывающими новые перспективы для промышленного применения.

Наноразмерные частицы, формируемые в процессе механохимической обработки, представляют особый интерес для современной науки и технологии. Их уникальные свойства обусловлены высоким отношением поверхности к объему и специфической структурой, что делает их незаменимыми в различных высокотехнологичных областях.

Одним из таких перспективных направлений является процесс механоактивации порошковых субстанций. Данный метод представляет собой уникальный способ трансформации материалов, выводящий их из состояния термодинамического равновесия, что открывает доступ к принципиально новым физико-химическим характеристикам.

Нарушение равновесного состояния при механоактивации приводит к существенному расширению параметрического пространства системы. Чем дальше система удаляется от равновесия под воздействием механических сил, тем более сложным становится математическое описание её состояния. Это явление обуславливает формирование многообразных структурных конфигураций в обрабатываемом материале, что непосредственно отражается на спектре его функциональных возможностей.

Технология механолегирования, являющаяся логическим продолжением концепции механоактивации, предоставляет исследователям инструментарий для синтеза как полностью аморфизированных порошковых композиций, так и материалов с упорядоченной нанокристаллической архитектоникой. Контролируемое формирование наноструктур в процессе механического сплавления компонентов представляет значительный интерес для создания материалов с программируемыми свойствами [3].

Несмотря на кажущуюся технологическую доступность и относительную простоту реализации, методы механолегирования до сих пор не заняли доминирующих позиций в промышленном производстве наноматериалов. Фундаментальные аспекты взаимодействия металлических и неметаллических компонентов в условиях интенсивного механического воздействия остаются недостаточно изученными, что препятствует широкому практическому внедрению данной технологии [1].

Дополнительным барьером на пути промышленного освоения механолегирования является комплекс технологических проблем, связанных с последующей консолидацией полученных нанопорошковых систем. Процессы компактирования таких материалов требуют разработки специальных методик, позволяющих сохранить уникальную наноструктуру при формировании объемных изделий с требуемыми эксплуатационными характеристиками.

Решение указанных фундаментальных и технологических проблем открывает перспективы для создания нового поколения конструкционных и функциональных материалов с беспрецедентным сочетанием свойств, недостижимых при использовании традиционных методов металлургии и порошковой технологии.

Разработка эффективных технологий получения высокочистых порошковых материалов представляет собой одно из наиболее перспективных направлений развития композитной индустрии. Особенно важным является создание мелкодисперсных и наноразмерных структур на основе тугоплавких соединений – карбидов, боридов, оксидов, а также нитридов и силицидов.

Инженерная наука находится в постоянном поиске материалов с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Научные исследования последних десятилетий убедительно демонстрируют значительный потенциал металломатричных композиционных материалов (ММК) для революционных преобразований в ключевых отраслях промышленности [5].

Комбинация металлической основы и керамических включений создает уникальный симбиоз свойств, недостижимый для традиционных материалов. Многочисленные научные публикации подтверждают исключительные функциональные параметры таких композитов, что открывает широкие перспективы их практического применения.

Структура металломатричных композитов, наполненных сверхтвёрдыми боридными металлами, включает двухфазную матрицу, в которой хаотично распределены боридные частицы. Матрица состоит из α и β фаз, при этом объёмная доля β -фазы не превышает 4 %. Частицы боридов имеют игольчатую форму.

Свойства таких композитов:

Увеличение прочности на 15–35 % без видимого снижения пластичности. Например, композит с 0,7 вес. % TiB₂ показал значения предела текучести – 920 МПа, пиковой прочности – 1620 МПа и пластичности 17 %.

Высокотемпературная деформация композитов: после начального кратковременного упрочнения – непрерывное упрочнение при 400 и 600 °С или установившееся течение при более высоких температурах – 800–950 °С.

Жаростойкость композитов, например, до 800 °С [6].

Такие композиты обладают высокой прочностью, коррозионной стойкостью и износостойкостью в условиях высоких нагрузок и интенсивного трения при высокой температуре.

Бориды переходных металлов заслуживают особого внимания среди высокотвёрдых материалов благодаря уникальному сочетанию физико-химических и механических свойств. Тем не менее, материалы, созданные на основе простых бинарных систем (включая Ti–B, Cr–B, W–B и другие), часто демонстрируют ограниченные возможности для практического применения из-за недостаточной комплексности свойств.

Для преодоления этих ограничений исследователи активно разрабатывают многокомпонентные системы с улучшенными характеристиками, используя передовые технологии синтеза и инновационные методы структурного анализа. Эти усилия открывают новые горизонты для создания материалов следующего поколения с оптимизированными свойствами для конкретных областей применения [7].

Исследования демонстрируют, что некоторые композиты обладают серьезными технологическими недостатками. В частности, материалы данной категории характеризуются значительной степенью хрупкости при механических воздействиях. Эта проблема усугубляется их низкой способностью к агломерации в процессе термической обработки.

Повышенная ломкость и недостаточная пластичность существенно сужают спектр промышленного применения этих соединений. Трудности, возникающие при спекании таких материалов, создают дополнительные барьеры для их интеграции в производственные циклы. Несмотря на некоторые ценные свойства, эти ограничения препятствуют массовому внедрению данных материалов в различных отраслях промышленности.

Для преодоления указанных недостатков требуется разработка инновационных методов модификации структуры и свойств этих перспективных, но пока проблемных материалов.

Список использованных источников:

1. Кулик В.И. Композиционные материалы с металлической матрицей: учебное пособие / В.И. Кулик, А.С. Нилов. – Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2020. – 69 с.
2. Нуждин Г.А. Структура сверхтвёрдых композитов. Справочник / Г.А. Нуждин // Инженерный журнал. – 2001. – № 4. – С. 9–10.
3. Формирование структуры металломатричного композита АМГ6-В4С-В методом искрового плазменного спекания / В.Д. Пайгин, А.О. Хасанов, М.С. Петюкевич, Э.С. Двилис // Материалы и технологии новых поколений в современном материаловедении : сборник трудов Международной конференции с элементами научной школы для молодежи. – Томск : Изд-во ТПУ, 2015. – С. 190–194.
4. Капустин А.И. Получение и свойства сверхтвёрдых композитов: учебное пособие / А.И. Капустин, Г.А. Нуждин. – Москва : Машиностроение, 1999. – 96 с.

5. Царевская О.О. Сверхтвёрдые композиты. Зависимость физико-механических свойств от выбранного химического состава / О.О. Царевская, М.А. Вартамяна, А.С. Анохин // Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева : труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т. 9. – № 2–2. – С. 779–782.

6. Исследование структуры и свойств металломатричных композиционных материалов, полученных методом прямого лазерного выращивания / В.В. Промахов, А.Е. Матвеев, Н.А. Шульц [и др.] // Вестник Томского государственного университета. Математика и механика. – 2022. – № 77. – С. 125–139. – DOI: 10.17223/19988621/77/10.

7. Mechanical behavior and microstructure evolution of Ti-6.5 Al-2Zr-1Mo-1V/TiB metal-matrix composites during deformation Materials Research Proceedings / В.Н. Санин, Д.Е. Андреев, Н.В. Сачкова, В.И. Юхвид. – 2023. – Vol. 32. – P. 280–286.

АТОМИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ДЕФОРМАЦИИ ВБЛИЗИ ОБЛАСТИ СОПРЯЖЕНИЯ РАЗНОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В УСЛОВИЯХ ОДНООСНОГО НАГРУЖЕНИЯ

*А.Ю. Никонов, к.ф.-м.н., н.с., А.И. Дмитриев, д.ф.-м.н., г.н.с.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН
634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4
E-mails: anickonoff@ispms.ru; dmitr@ispms.ru*

Аннотация: Представлены результаты моделирования механизмов пластической деформации на границах раздела между металлами с ОЦК и ГЦК решётками при одноосном нагружении. Показано, что деформация зарождается в кристалле с меньшим пределом упругости, и на неё существенно влияет кристаллографическая ориентация относительно оси нагружения. Исследование даёт представление о механике межфазных границ и позволяет получить диаграммы «напряжение-деформация», ценные для многомасштабного моделирования.

Ключевые слова: биметалл, межфазная граница, пластическая деформация, молекулярная динамика.

Abstract: The paper presents the results of modeling the mechanisms of plastic deformation at the interfaces between metals with bcc and fcc lattices under uniaxial loading. It is shown that deformation initiates in the crystal with the lower elastic limit, influenced significantly by crystallographic orientation relative to the loading axis. This study provides insights into interfacial mechanics and generates stress-strain data valuable for multiscale modeling.

Keywords: bimetal, interface, plastic deformation, molecular dynamics.

Введение. Развитие технологии электро-лучевого аддитивного производства (АП), когда одновременно возможно использовать несколько металлических филаментов при 3D печати, позволяет создавать изделия не только заданной геометрии и формы, но и производить полиметаллические соединения с управляемыми переходами от одного металла к другому [1]. Достоинства такой технологии очевидны, поскольку в напечатанном изделии можно направленным образом менять механические свойства отдельных участков за счёт использования для печати материала с требуемыми характеристиками. В зависимости от параметров технологии АП и требований к изделиям переход от одного материала к другому может быть резким, реализовываться через промежуточный слой из третьего материала, может быть выполнен в виде градиентного перехода, либо путём формирования многофазного слоя [2, 3].

Понимание поведения межфазных границ имеет решающее значение для прогнозирования общих свойств полиметаллических материалов, особенно в условиях трибологического нагружения, где явления происходят на разных масштабных уровнях. Использование экспериментальных методов исследования для решения подобных задач, часто сталкивается с вполне понятными трудностями, связанными, в первую очередь, с малыми пространственными масштабами изучаемых объектов (область интерфейса), а также сложностями наблюдения таких процессов в динамике. В настоящее время дополнительно к эксперименту становится широко распространённым исследование материалов с применением методов моделирования на различных масштабах [4]. Модели, построенные на мезо- и макро-масштабах, явным образом учитывают структуру и геометрию исследуемых изделий и могут предсказать их механические свойства. Недостатком компьютерных моделей на таких масштабах является необходимость корректно описывать параметры взаимодействия между различными материалами вблизи переходного слоя (интерфейса). Одним из возможных способов подбора параметров взаимодействия является расчёт с применением методов моделирования на масштабе отдельных атомов, когда свойства интерфейса определяются прямым моделированием и не требуют использования каких-либо подгоночных коэффициентов. В качестве такого метода широко используется метод молекулярной динамики, который является мощным инструментом для исследования атомистических механизмов, управляющих поведением межфазных границ, без использования эмпирических подгоночных параметров. Кроме того, данный подход позволяет исследовать закономерности развития пластической деформации в объёме материала и вблизи границ раздела, в том числе между материалами, отличающимися кристаллической структурой.

Целью настоящей работы было исследование на основе компьютерного моделирования методом молекулярной динамики закономерностей развития процесса пластического деформирования вблизи границ сопряжения металлов, отличающихся типом кристаллической решётки, а именно, пар ОЦК/ГЦК. Данные исследования также дают необходимую информацию для корректного описания взаимодействия между отдельными элементами среды композиционного материала в компьютерных моделях большего масштаба. Для получения более полной картины закономерностей взаимодействия таких пар рассматривались четыре комбинации бикристаллов, в которых, помимо типа решётки, варьировались так же сами металлы, отличающиеся механическими и энергетическими характеристиками.

Материалы и методика эксперимента. Моделирование процессов деформации на атомном масштабе проводилось с применением программного пакета LAMMPS. Модельная система представляла собой бикристалл, созданных путём идеального сопряжения монокристаллов ОЦК (α -Fe, V) и ГЦК (Ni, Pt). Размеры каждого кристалла составляли $11 \times 11 \times 11$ нм, таким образом, размер всего образца составлял $11 \times 11 \times 22$ нм (вдоль осей X, Y и Z соответственно). Были изучены четыре пары металлов: α -Fe-Ni, α -Fe-Pt, V-Ni и V-Pt. Одноосное нагружение (сжатие или растяжение) задавалось вдоль оси Z (перпендикулярно границе раздела), путём движения с постоянной скоростью $V=10$ м/с вдоль оси Z атомов, расположенных в слоях толщиной 3 междуплоскостных расстояния на торцах образца. Вдоль направлений X и Y задавались свободные граничные условия, что означает отсутствие каких-либо внешних воздействий. Схематические изображения образцов и схема нагружения приведены на рисунке 1. Для исследования анизотропии для каждой пары рассматривались три кристаллографические ориентации относительно оси нагружения. Рассматривались следующие ориентации: [100], [010] и [001] (ориентация 1); [101], [010] и $[1\bar{0}1]$ (ориентация 2) и $[2\bar{1}\bar{1}]$, $[01\bar{1}]$ и $[111]$ (ориентация 3) вдоль осей X, Y и Z, соответственно.

Межатомные взаимодействия описывались с помощью потенциалов модифицированного метода погруженного атома (MEAM), специфичных для каждой пары [5–8]. Критерием выбора потенциалов указанного метода была необходимость идентичного описания чистых металлов в рассматриваемых парах. Выбор самих пар металлов был обусловлен отношением их энергетических характеристик, таким образом, что в паре более тугоплавким мог быть как кристалл с ОЦК структурой, так и с ГЦК. Структурный анализ, включая идентификацию дефектов (РТМ [9], DXA [10]) и визуализацию, проводился с использованием OVITO. Деформация в описании результатов моделирования соответствует изменению $\varepsilon = dl/l_0$ где l_0 – начальный размер кристаллита вдоль оси Z, dl – суммарный путь, пройденный двумя нагружаемыми слоями. Напряжения при деформации рассчитывались по формуле $\sigma = F/S$, где F – сила, действующая на атомы нагружаемых слоёв, S – площадь контакта нагружаемых слоёв и образцов.

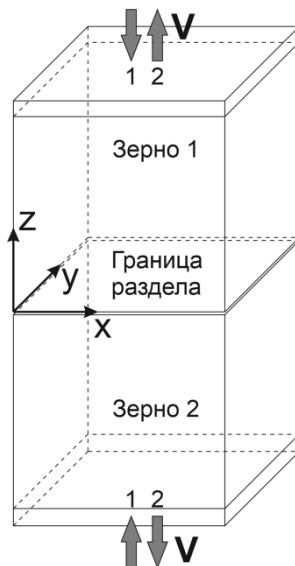


Рис. 1. Схематическое изображение моделируемого образца и условий нагружения:
1 – одноосное сжатие, 2 – одноосное растяжение

Результаты и их обсуждение. Согласно полученным результатам, при сжатии пластическая деформация обычно начинается в том кристалле, который имеет меньший предел упругости для данной ориентации нагружения. Например, в паре α -Fe-Ni деформация начинается в α -Fe из-за его более низкой прочности по сравнению с Ni для большинства ориентаций. Механизмы деформации сильно зависят от кристаллографической ориентации. Для α -Fe при сжатии вдоль [001] мы наблюдали превращение ОЦК-ГПУ-ОЦК, приводящее к двойникованию, тогда как при нагружении вдоль [111] преобладало скольжение дислокаций. В Ni деформация реализуется

за счёт движения частичных дислокаций Шокли и образования дефектов упаковки, а при более высоких деформациях возможно формирование двойников. Аналогичное зависящее от ориентации поведение, включая двойникование и дислокационную активность, наблюдалось и в других парах (α -Fe-Pt, V-Ni, V-Pt), иногда деформация зарождалась одновременно в обоих кристаллах, если их пределы упругости для данной ориентации были сопоставимы (например, V-Ni при сжатии вдоль [001]). На рисунке 2 а показаны типичные структуры деформации.

При растяжении тип и место разрушения также сильно зависят от ориентации. Для пар α -Fe-Ni и α -Fe-Pt деформация и последующее разрушение происходили преимущественно в кристалле α -Fe при растяжении вдоль [001] и [011], включая такие процессы, как двойникование и скольжение дислокаций. Однако при растяжении вдоль [111] разрушение происходило вблизи или на границе раздела, иногда сопровождаясь дислокационной активностью в ГЦК кристалле (Ni или Pt). В парах V-Ni и V-Pt деформация при растяжении в основном локализовалась в кристалле V. Примечательно, что при растяжении вдоль [001] в бикристаллах, содержащих V, интенсивное двойникование приводило к переориентации зерна (рекристаллизации) в кристалле V перед окончательным разрушением. Разрушение по границе раздела было характерно для растяжения вдоль [111] для всех пар, часто оставляя тонкий слой ОЦК металла на поверхности ГЦК кристалла. Рисунок 2 б иллюстрирует деформацию при растяжении.

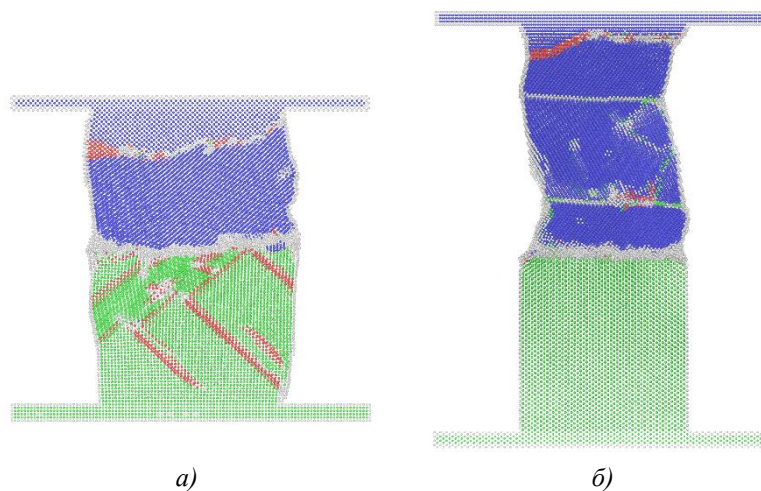


Рис. 2. Репрезентативные снимки структур бикристаллов после деформации ($\epsilon = 0,2$). Атомы окрашены в соответствии с локальной структурой (синим – ОЦК, зелёным – ГЦК, красным – ГПУ, серым – остальные (неидентифицируемые). [001] (а), Сжатие α -Fe-Pt вдоль, [011] (б), растяжение α -Fe-Pt вдоль

Результаты моделирования последовательно показывают, что начало пластичности в бикристаллах ОЦК/ГЦК определяется компонентом с более низким пределом упругости, зависящим от ориентации. Это подчёркивает критическую роль кристаллографической текстуры в определении прочности границы раздела и путей деформации. Наблюдаемые механизмы – двойникование через фазовое превращение в ОЦК металлах (особенно Fe при сжатии и растяжении) и скольжение дислокаций (частичных/полных) в ГЦК металлах – согласуются с известным поведением монокристаллов, но здесь они активируются в условиях ограничений, налагаемых границей раздела и соседним кристаллом. Тот факт, что разрушение при растяжении вдоль [111] часто происходит вблизи границы раздела, предполагает, что эта ориентация может представлять собой слабое звено для межфазной когезии при растягивающем напряжении, хотя разрушение все ещё происходило преимущественно внутри ОЦК компонента. Результаты анализа процессов зарождения и развития деформации не выявили прямой корреляции с температурой плавления входящих в состав бикристаллов металлов.

Выводы. Проведено систематическое МД-исследование механической реакции границ раздела ОЦК/ГЦК (α -Fe-Ni, α -Fe-Pt, V-Ni, V-Pt) при одноосном сжатии и растяжении. Согласно полученным результатам, можно сделать следующие выводы. Пластическая деформация зарождается в кристалле с меньшим пределом упругости, который сильно зависит от кристаллографической ориентации. В зависимости от материала, направления нагружения и ориентации активируются различные механизмы деформации, включая двойникование, скольжение дислокаций и фазовые превращения. Типы разрушения при растяжении значительно варьируются в зависимости от ориентации, от пластичного образования шейки в одном кристалле до разрушения вблизи границы раздела.

Это исследование расширяет фундаментальное понимание процессов деформации на границах раздела разнородных металлов. Полученные зависимости «напряжение-деформация» [165] служат ценными входными параметрами для уточнения определяющих соотношений, используемых в моделях большого масштаба

(например, методе конечных элементов или методе фазового поля) для композиционных материалов и трибологических контактов.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.

Список использованных источников:

1. Bandyopadhyay A. Additive manufacturing of multi-material structures / A. Bandyopadhyay, B. Heer // Materials Science and Engineering R. – 2018. – Vol. 129. – P. 1–16. – DOI: 10.1016/j.mser.2018.04.001.
2. Gasper A.N.D. In-situ synthesis of titanium aluminides by direct metal deposition / A.N.D. Gasper, S. Catchpole-Smith, A.T. Clare // Journal of Materials Processing Technology. – 2017. – Vol. 239. – P. 230–239. – DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2016.08.031.
3. Microstructural study of MMC layers produced by combining wire and coaxial WC powder feeding in laser direct metal deposition / Li F. [et al.] // Optics and Laser Technology. – 2016. – Vol. 77. – P. 134–143. – DOI: 10.1016/j.optlastec.2015.09.018.
4. Multi-physics modelling of molten pool development and track formation in multi-track, multi-layer and multi-material selective laser melting / Gu H. [et al.] // International Journal of Heat and Mass Transfer. – 2020. – Vol. 151. – P. 119458.
5. Wu C. Modified embedded-atom method interatomic potential for Fe-Ni, Cr-Ni and Fe-Cr-Ni systems / C. Wu, B.-J. Lee, X. Su // CALPHAD. – 2017. – Vol. 57. – P. 98–106. – DOI: 10.1016/j.calphad.2017.03.007/
6. Kim J. Modified embedded-atom method interatomic potential for the Fe-Pt alloy system / J. Kim, Y. Koo, B.J. Lee // Journal of Materials Research. 2006. Vol. 21(1). P. 199–208. DOI: 10.1557/jmr.2006.0008/
7. Prediction of hydrogen permeability in V-Al and V-Ni alloys / J.-H. Shim [et al.] // Journal of Membrane Science. – 2013. – Vol. 430. – P. 234–241. – DOI: 10.1016/j.memsci.2012.12.019.
8. Second nearest-neighbor modified embedded-atom method interatomic potentials for the Pt-M (M=Al, Co, Cu, Mo, Ni, Ti, V) binary systems / Kim J. [et al.] // Calphad. – 2017. – Vol. 59. – P. 131–141. – DOI: 10.1016/j.calphad.2017.09.005.
9. Larsen P.M. Robust Structural identification via polyhedral template matching / P.M. Larsen, S. Schmidt, J. Schiøtz // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 24. – P. 055007. – DOI: 10.1088/0965-0393/24/5/055007/
10. Stukowski A. Automated identification and indexing of dislocations in crystal interfaces / A. Stukowski, V.V. Bulatov, A. Arsenlis // Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering. – 2012. – Vol. 20. – № 8. – P. 085007. – DOI: 10.1088/0965-0393/20/8/085007/

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ КОМПОЗИТОВ NiAl–TiC, ПОЛУЧЕННЫХ НАПЛАВКОЙ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ СИЛЬНОТОЧНЫМ ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

К.О. Акимов^a, к.т.н., К.В. Иванов, д.ф.-м.н.

Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4

E-mail: ^aakimov_ko@ispms.ru

Аннотация: Исследованы особенности формирования композитных слоев NiAl–TiC на NiAl путем нанесения TiC и обработки низкоэнергетическим сильноточным электронным пучком (НСЭП). Обработка НСЭП формирует наноструктурный слой толщиной ~4 мкм и содержанием TiC до 22 % вес. Сформированный композиционный слой повышает микротвердость до 550 HV, износостойкость, снижает трещины без увеличения шероховатости по сравнению с NiAl, обработанным НСЭП без TiC.

Ключевые слова: NiAl, TiC, поверхностный композит, низкоэнергетический сильноточный электронный пучок, микроструктура, фазовый состав, микротвердость

Abstract: The features of formation of NiAl–TiC composite layers on NiAl by applying TiC and processing with a low-energy high-current electron beam (LEHEB) are investigated. LEHEB processing forms a nanostructured layer with a thickness of ~4 μm and a TiC content of up to 22 % by weight. The formed composite layer increases microhardness to 550 HV, wear resistance, reduces cracks without increasing roughness compared to NiAl processed with LEHEB without TiC.

Keywords: NiAl, TiC, surface composite, low-energy high-current electron beam, microstructure, phase composition, microhardness

Введение

Интерметаллид NiAl представляет значительный интерес в качестве материала для эксплуатации в высокотемпературных условиях. Это обусловлено комплексом его специфических физико-механических свойств, включающих высокую температуру плавления, значительную стойкость к окислению и аномальную темпера-

турную зависимость предела текучести. Тем не менее, для ряда практических приложений, в частности, в трибологических системах, характеристики поверхностного слоя NiAl, такие как твердость и износостойкость, требуют улучшения [1]. Эффективным подходом к повышению указанных характеристик является формирование композиционных материалов, армированных тугоплавкими частицами, например, карбидом титана (TiC), диспергированными в матрице NiAl. Следует отметить, что традиционные методы синтеза объемных композитов системы NiAl–TiC, в частности самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС), не всегда позволяют обеспечить однородность микроструктуры получаемого материала [2]. В этой связи перспективной альтернативой представляется локальное формирование композиционного слоя на поверхности изделия.

Применение низкоэнергетического сильнофокусированного электронного пучка (НСЭП) представляет собой метод поверхностной модификации материалов, основанный на инициировании сверхбыстрых циклов нагрева, плавления и последующего охлаждения приповерхностного слоя [3, 4]. Использование НСЭП для обработки систем «подложка – тонкое покрытие» является эффективным подходом к синтезу поверхностных сплавов и композиционных материалов [5]. Данный метод характеризуется технологической простотой и потенциально обеспечивает более однородное распределение упрочняющей фазы в модифицированном слое по сравнению с методами получения объемных композитов.

Целью данной работы является выявление особенностей формирования структуры, фазового состава и свойств поверхностных композитов NiAl–TiC, полученных методом многократной наплавки порошка TiC на подложку NiAl воздействием НСЭП.

Материалы и методики

В качестве подложки использовался интерметаллид NiAl, полученный методом СВС. Образцы NiAl шлифовались на наждачной бумаге с последующей полировкой на пастах и суспензии. Для формирования поверхностного композита на подготовленную поверхность NiAl наносилась капельным методом суспензия порошка TiC (средний размер частиц ~3 мкм) в органическом связующем (Толуол + лак НЦ). Толщина нанесенного слоя порошка составляла 30–35 мкм.

Образцы со слоем TiC подвергались воздействию НСЭП на установке РИТМ-ИЗ в атмосфере аргона. Параметры облучения: ускоряющее напряжение 30 кВ, плотность энергии в пучке (E_s) 8 Дж/см², количество импульсов (N_p) 10, частота импульсов 0.2 Гц, длительность импульса ~3 мкс. Процедура нанесения порошка TiC и последующего облучения НСЭП повторялась до трех раз для получения образцов с разным содержанием TiC. Для сравнения образцы NiAl без покрытия также обрабатывались НСЭП в аналогичном режиме.

Структура и элементный состав исследовались методом растровой электронной микроскопии (Carl Zeiss EVO 50) и микрорентгеноспектрального анализа (МРСА). Фазовый состав определялся методом рентгенофазового анализа на дифрактометре ДРОН-8 в Cu- α излучении в диапазоне углов 10°–110° по 2 θ (РФА) методом асимметричной съемки ($\theta D=3^\circ$). Микротвердость измерялась методом Викерса при нагрузке 25 г на твердомере ИТВ-1-И-МС. Шероховатость поверхности и профили дорожек износа измерялись с помощью контактного профилометра модели 130 (АО «Протон»). Испытания на износ проводились по схеме «шар (SiN) – диск» при нагрузке 3 Н с помощью трибометра ТНТ-S-BE-0000.

Результаты и обсуждение

Метод многократной НСЭП наплавки порошка TiC на подложку NiAl позволяет успешно формировать поверхностные композиционные слои. РФА показывает наличие в слое фаз NiAl и TiC. Концентрация TiC в приповерхностном слое, оцененная по данным РФА, линейно возрастает с увеличением числа циклов наплавки и достигает примерно 22 вес. % после трех циклов нанесения карбидных частиц.

Исследование микроструктуры поперечного сечения образца после трех циклов наплавки с помощью РЭМ выявило формирование модифицированного слоя общей толщиной около 4.0–4.5 мкм. Этот слой имеет двухслойную структуру. Верхний подслой толщиной ~2.2 мкм характеризуется ультрамелкозернистой структурой. Он состоит из матрицы NiAl, в которой распределены наночастицы TiC кубической огранки размером 10–40 нм, а также ультрамелкие (70–250 нм) пластинчатые или округлые частицы вторичной фазы. Анализ элементного распределения (МРСА) показал, что матрица представляет собой фазу NiAl, обедненную алюминием, в которой часть атомов Al замещена атомами Ti. Частицы вторичной фазы также являются NiAl, но обогащенным алюминием. Нижний подслой толщиной ~2.3 мкм имеет столбчатую микроструктуру с толщиной столбцов в сотни нанометров, разделенных тонкими прослойками вторичной фазы. Присутствие наночастиц TiC в верхнем подслое играет ключевую роль в формировании наноструктуры в интерметаллической матрице, выступая центрами кристаллизации и препятствуя росту зерен при сверхбыстром охлаждении.



Рис. 1. РЭМ снимок поперечного сечения Ni_3Al после трех циклов нанесения TiC

Формирование поверхностного композиционного слоя существенно влияет на свойства. Микротвердость линейно возрастает с увеличением числа циклов наплавки (т. е. с ростом концентрации TiC), достигая 550 HV для образца после трех циклов нанесения карбидных частиц, что значительно выше, чем у $NiAl$ без покрытия, обработанного НСЭП в том же режиме (~450 HV). При этом важно отметить, что наплавка TiC воздействием НСЭП не приводит к увеличению шероховатости поверхности ($Ra \sim 0.3\text{--}0.4$ мкм) по сравнению с обработанным $NiAl$ без покрытия.

Обработка поверхности чистого $NiAl$ воздействием НСЭП приводит к образованию сетки поверхностных трещин из-за высоких термических напряжений. Введение TiC в поверхностный слой при наплавке воздействием НСЭП способствует снижению плотности этих трещин: для образца после трех циклов наплавки плотность трещин оказалась в 1.8 раза ниже, чем для образца $NiAl$ без карбидных частиц. Вероятно, частицы TiC и формирующаяся наноструктура способствуют более эффективной релаксации напряжений или повышают трещиностойкость слоя.

Наиболее значимым результатом является существенное повышение износостойкости. При испытаниях по схеме «шар-диск» объемный износ образца после трех циклов наплавки оказался в 5.6 раз меньше, чем у образца $NiAl$ без TiC . Хотя коэффициент трения для модифицированного образца на начальном этапе приработки выше, на большей части дистанции скольжения он ниже или сравним с коэффициентом трения для образца $NiAl$ без TiC . Анализ дорожек износа показал преимущественно абразивный механизм износа для обоих материалов, однако на поверхности $NiAl$ после трех циклов наплавки TiC образуется значительно меньше продуктов износа (оксидов). Повышение износостойкости поверхностного композита напрямую связано с его высокой твердостью за счет присутствия наночастиц TiC и измельченной структуры матрицы.

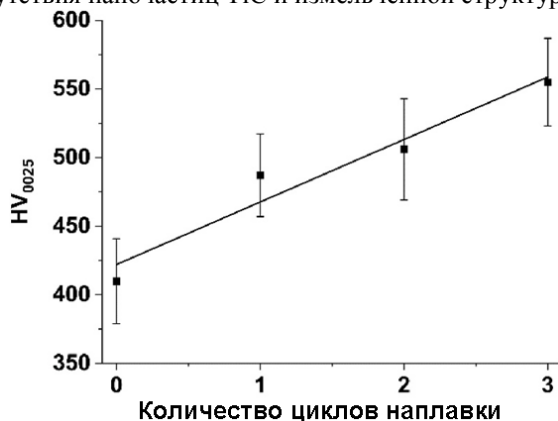


Рис. 2. Зависимость микротвердости от числа циклов наплавки

Таким образом, метод наплавки TiC воздействием НСЭП является эффективным способом создания на поверхности $NiAl$ износостойких слоев с улучшенным комплексом свойств по сравнению с $NiAl$, обработанным воздействием НСЭП без покрытия.

Выводы

1. Методом многократного нанесения порошка TiC и последующей обработки низкоэнергетическим сильнофокусным электронным пучком (НСЭП) на подложке $NiAl$ возможно сформировать поверхностные композиционные слои $NiAl\text{--}TiC$ толщиной ~4 мкм.

2. Структура поверхностного слоя является наноразмерной и состоит из ультрамелких зерен NiAl и наночастиц TiC размером 10–40 нм. Концентрация TiC в слое линейно растет с числом циклов наплавки, достигая 22 мас. % после трех циклов.

3. Формирование поверхностного композита NiAl–TiC приводит к значительному повышению микротвердости (до 550 HV) и износостойкости (в 5.6 раз), а также к снижению плотности поверхностных трещин по сравнению с NiAl, обработанным НСЭП без TiC, при сохранении низкой шероховатости поверхности.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема FWRW-2021-0003

Список использованных источников:

1. Enhancing mechanical and tribological properties of NiAl-15vol%TiC composite by high current pulsed electron beam irradiation / M. Demirtas, K.V. Ivanov, G. Purcek, H. Yanar // Journal of Alloys and Compounds. – 2022. – V. 898. – article number 162860. – DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.162860.

2. Ivanov K.V. The effect of low-energy high-current pulsed electron beam irradiation on the structure, phase composition and mechanical properties of NiAl and NiAl-TiC composites / K.V. Ivanov, K.O. Akimov, M.G. Figurko // Journal of Alloys and Compounds. – 2024. – V. 973. – article number 172950. – DOI: 10.1016/j.jallcom.2023.172950.

4. Modification of Surface Layers of Metallic Materials by Low-Energy Strong-Current Electron Beams / V.P. Rotshtein, D.I. Proskurovskii, G.E. Ozur, Yu.F. Ivanov. – Novosibirsk : Nauka, 2019. – 346 p.

5. Physical foundations for surface treatment of materials with low energy, high current electron beams / D.I. Proskurovsky, V.P. Rotshteyn, G.E. Ozur [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2000. – V. 125. – P. 49–56. – DOI: 10.1016/S0257-8972(99)00604-0.

5. Microstructure and properties of NiAl – TiC surface composites formed on NiAl using low-energy high-current electron beam / K.V. Ivanov, K.O. Akimov, E.K. Ivanova, M.G. Figurko // Vacuum. – 2024. – V. 230. – article number 113606. – DOI: 10.1016/j.vacuum.2024.113606.

СТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО СПЛАВЛЕНИЯ СПЛАВА Al-10Sn-10Pb

А.Л. Скоренцев^{1,2 а}, к.т.н., н.с., Н.М. Русин¹, к.т.н., с.н.с., В.Е. Лихарев^{1,2}, инженер-исследователь

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

634055, Томская обл., г. Томск, пр. Академический, 2/4

²Национальный исследовательский Томский политехнический университет

634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина 30

E-mail: ^аskoralexan@mail.ru

Аннотация: Исследована структура и механические свойства сплава Al-10Sn-10Pb, полученного методом СЛС из смеси элементарных порошков при различной плотности энергии лазера (E). Установлено, что при низких её значениях часть алюминия не успевает перемешаться с Sn. Доля непрореагировавшего Al убывает с повышением E и однородность распределения компонентов улучшается. В результате пористость сплава понижается, а его пластичность и прочность возрастают.

Ключевые слова: селективное лазерное сплавление, антифрикционный алюминиевый сплав, структура, механические свойства.

Abstract: The structure and mechanical properties of the Al-10Sn-10Pb alloy prepared by SLM method from a mixture of elemental powders at different laser energy densities (E) were studied. It has been established that at low its values, some of the aluminum does not have time to mix with Sn. The proportion of unreacted Al decreases with increasing E , and the homogeneity of the distribution of components improves. As a result, the porosity of the alloy decreases, and its plasticity and strength increase.

Keyword: selective laser melting, antifriction aluminum alloy, structure, mechanical properties.

Введение. Сплавы на основе системы Al-Sn применяются в качестве тонкого покрытия вкладышей подшипников скольжения как альтернатива более дорогостоящим и тяжелым баббитам и бронзам [1]. В условиях дефицита жидкой смазки содержащееся в алюминии олово выдавливается на поверхность трения и защищает её от схватывания с контртелом. Давление схватывания сплава растёт по мере повышения концентрации олова [2], однако его концентрацию в промышленных литых сплавах Al-Sn ограничивают 10 об. % (20 масс. %) по причине снижения несущей способности алюминиевой матрицы из-за дезинтеграции её зёрненной структуры мягкими оловянными прослойками. Сохранить целостность алюминиевой матрицы при большем содержании олова не удастся даже путем значительного повышения скорости охлаждения расплава. Частично решить данную проблему и увеличить безопасное содержание олова в алюминиевых сплавах удалось путём жидкофазного спекания прессовок из смеси элементарных порошков. Износостойкость полученных таким способом сплавов

достигает максимума при содержании в них Sn 20 об. % (40 масс. %) [3], но несущая способность алюминиевой матрицы вследствие её отжига в процессе спекания остаётся низкой и требует повышения.

Одним из способов повышения прочности сплавов системы Al-Sn может быть измельчение зеренной структуры алюминиевой матрицы, например, путем их деформационной обработки методами интенсивной пластической деформации. Однако при использовании традиционных методов обработки типа экструзии и прокатки толщина деформируемого образца значительно уменьшается, что часто делает его непригодным для практического применения. Сохранять размеры деформируемой заготовки позволяют методыковки и равноканально-го углового прессования, но размеры и форма получаемых при этом изделий сильно ограничены.

Измельчить структуру материала и получить изделия сложной формы позволяют методы аддитивных технологий. Например, для создания сплавов Al-Sn с большим количеством мягкой фазы подходит селективное лазерное сплавление (СЛС), основанное на послойном наплавлении металлических порошков лазерным пучком [4]. Высокие скорости охлаждения образующегося при СЛС расплава способствуют формированию мелко-дисперсной структуры сплавов и могут привести к значительному увеличению их прочностных свойств [5]. Полезной упрочняющей добавкой к олову, не ухудшающей его антифрикционных свойств, является свинец [6]. Кроме того, частичная замена им дефицитного олова в сплавах Al-Sn будет способствовать значительному удешевлению изделий из таких материалов. Однако такие работы ранее не проводились, и **целью настоящей работы** является исследование влияния плотности энергии лазера на структуру и зависящие от нее механические свойства сплава Al-10Sn-10Pb.

Материалы и методика эксперимента. Для получения исследуемого сплава Al-10Sn-10Pb об. % использовалась смесь коммерческих порошков алюминия марки АСД-1, олова ПО 1 и свинца ПС 1, взятых в весовой пропорции Al-18,2Sn-28,3Pb. Необходимую для печати фракцию порошков (25–50 мкм) получали путем ситового отбора. СЛС осуществляли с использованием 3D-принтера марки ONSINT AM150 в атмосфере проточного аргона высокой чистоты. Толщина наносимого слоя порошковой смеси (t) составляла 30 мкм. Диаметр пятна лазера составлял 75 ± 5 мкм, а межтрековое расстояние $s = 90$ мкм. Стратегия сканирования луча была линейная, с поворотом на 67° . Полученные прямоугольные образцы имели размеры $10 \times 10 \times 10$ мм. Для исследования структуры материала образцы разрезали вдоль оси их наращивания, далее плоскость разреза подвергалась шлифованию на наждачной бумаге, а затем полировалась на сукне с алмазной суспензией. Поверхность шлифов тщательно промывали в ультразвуковой ванне со спиртом.

Данные о фазовом составе образцов были получены с помощью дифрактометра ДРОН-8Н с использованием $\text{Cu K}\alpha$ излучения ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) в интервале углов от 10 до 110° . Для исследования структуры и определения элементного состава образцов использовали растровый микроскоп TESCAN VEGA 3 SBU (TESCAN, Чехия) со встроенным микроанализатором. Состав определялся путем усреднения результатов микроанализа с больших по площади участков поверхности образца. Пористость (Π) образцов рассчитывали по формуле: $\Pi = (\rho_t - \rho) / \rho_t$, где ρ_t – теоретическая плотность, рассчитанная по результатам измерения концентрации элементов, а ρ – плотность образца, определённая по методу Архимеда (ГОСТ 20018-74). Механические испытания материала осуществляли методом сжатия на универсальной испытательной машине Instron-1185 со скоростью осадки образцов $0,5 \text{ мм/мин}$. Торцы сжимаемых образцов смазывали графитом. Для каждого режима СЛС испытывалось не менее трех образцов.

Для определения плотности энергии лазера (E), которой подвергался синтезируемый материал, использовали следующее соотношение [7]:

$$E = P/vst,$$

где P – мощность лазера, Вт; v – скорость сканирования, мм/с; s – расстояние между треками, мм; t – толщина слоя, мм.

Результаты и их обсуждение. Согласно результатам рентгенофазового анализа, новых фаз в процессе СЛС смеси элементарных порошков не образуется. Полученные сплавы содержат три фазы Al, Sn и Pb, что согласуется с соответствующими диаграммами состояния. Из приведенных на рис. 1 изображений видно, что в случае малой плотности энергии, которой подвергается порошковая смесь, полученный сплав содержит много темных областей, представляющих собой чистую алюминиевую фазу. Они образовались вследствие плохого диффузионного перемешивания компонентов по причине недостаточно высокой температуры порошковой смеси. Области, где такое перемешивание Al и Sn произошло, на фотографиях видны как участки светло-серого цвета. Свинец располагался в основном в виде крупных светлых включений по границам данных областей (рис. 1, а). С увеличением E количество темных непрореагировавших областей заметно сокращается, размер включений свинца уменьшается, а равномерность перемешивания алюминия и олова значительно улучшается. Следует отметить, что полученный при малом значении E сплав содержит большое количество пор ($\Pi = 9,2 \%$), которые располагаются преимущественно в нижней и верхней части синтезированного образца, но с увеличением E пористость сплава снижается до 2% (табл. 1).

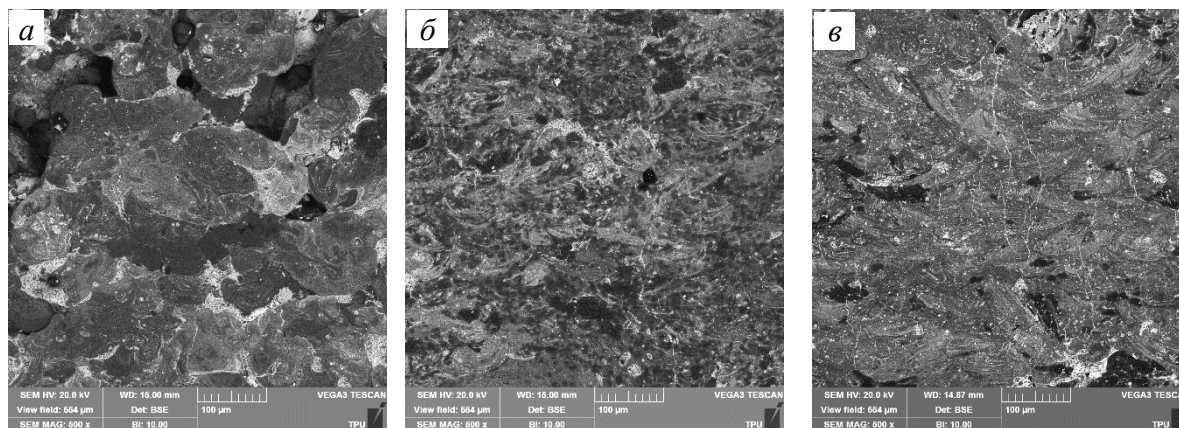


Рис. 1. РЭМ изображения структуры сплава Al-10Sn-10Pb.
Плотность энергии лазера E , Дж/мм³: а – 21,6; б – 40,1; в – 60,2

Из приведенных в табл. 1 данных видно заметное отличие состава полученных образцов от состава исходной порошковой смеси, которое в основном состоит в значительном уменьшении в синтезированном сплаве концентрации тяжелого свинца. Так, если в исходной смеси его массовое содержание составляло 28 %, то в синтезированных образцах оно уже было 18–23 масс. %. Минимум свинца был в образцах полученных при наименьшем E , и его доля немного повышалось с увеличением E . При этом относительное содержание олова в смеси практически не изменилось.

Испытания на сжатие показали, что механические свойства полученного методом СЛС сплава Al-10Sn-10Pb сильно зависят от сообщаемой образцу энергии (табл. 1). Более наглядно данные зависимости представлены на рис. 2. Видно, что рост E от 21,6 до 48,2 Дж/мм³ при синтезе образцов приводит практически к трехкратному увеличению их предела текучести $\sigma_{0,2}$, прочности σ_B и деформации до разрушения ε (σ_B). Данное улучшение механических свойств связано как с уменьшением пористости, так и с улучшением равномерности распределения фазовых составляющих. Максимум механических свойств достигался при $E \approx 48$ Дж/мм³, и при дальнейшем увеличении E до 60,2 Дж/мм³ они практически не менялись, но пластичность при этом снижается с 25 до 20,5 %. Данный факт вероятно связан с огрублением структуры материала, подвергнутого высокоэнергетическому воздействию.

Таблица 1
Влияние плотности энергии лазера на структурные характеристики и механические свойства сплава Al-10Sn-10Pb

Состав, об. %	Режим получения (Мощность, Вт; Скорость сканирования, мм/с)	E , Дж/мм ³	Состав после СЛС, масс. %	Пористость P , %	Механические свойства		
					Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел прочности σ_B , МПа	Деформация до разрушения $\varepsilon(\sigma_B)$, %
Al-10Sn-10Pb (Al-18,2Sn-28,3Pb масс.%)	70; 1200	21,6	Al-17Sn-18,3 Pb	9,2	30	40	8,5
	70; 1000	25,9			37	53	11,5
	90; 1200	27,8			53	65	11
	70; 800	32,4			60	75	13
	90; 1000	33,3			54	78	13
	110; 1200	34			66	89	13,5
	130; 1200	40,1	Al -19,7Sn -19,2Pb	1,6	76	105	18,5
	110; 1000	40,7	Al -17,6Sn -21,1Pb	2,5	78	100	17
	90; 800	41,7	Al -17,2Sn -19,4Pb	1,5	72	101	17,5
	130; 1000	48,2			85	112	25
	110; 800	50,9			81	114	23,5
	130; 800	60,2	Al -19,7Sn -22,7Pb	2,2	85	113	20,5

Окончание табл. 1

Состав, об. %	Режим получения (Мощность, Вт; Скорость сканирования, мм/с)	E , Дж/мм ³	Состав после СЛС, масс. %	Пористость П, %	Механические свойства		
					Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа	Предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа
Al-20Sn [8]	Спекание + допрессовка				62	87	18
Al-20Sn [8]	1 РКУП				103	110	1,6

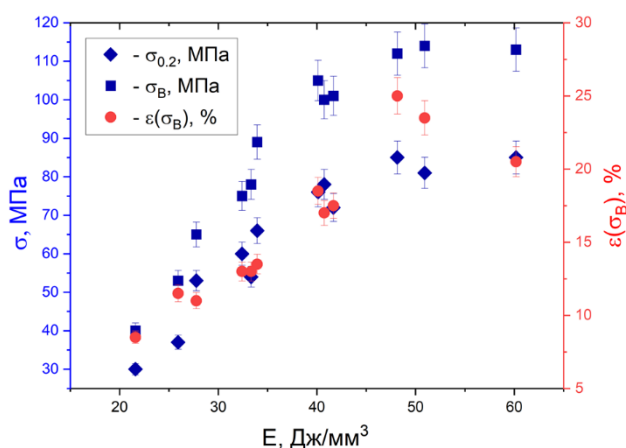


Рис. 2. Влияние плотности энергии лазера на механические свойства сплава Al-10Sn-10Pb

Для сравнения в табл. 1 приведены значения механических свойств спеченного и подвергнутого последующей деформационной обработке сплава Al-20Sn, содержащего аналогичное количество мягкой фазы по сравнению с исследуемым материалом. Видно, что полученный при высоких E сплав Al-10Sn-10Pb обладает лучшими механическими свойствами по сравнению со спеченным и подвергнутым последующему доуплотнению сплавом Al-20Sn, в котором свинец отсутствует. Прочность данного сплава сравнивается с прочностью исследуемого сплава только после деформационного упрочнения его методом равноканального углового прессования, но пластичность его при этом очень низкая.

Закключение. Из проделанной работы следует, что используемый в настоящей работе способ получения антифрикционного алюминиевого сплава с большим количеством мягкой фазы является перспективным. Установлено, что в процессе СЛС смеси трёх порошков Al, Sn и Pb формируется композит с трехфазной структурой, при этом алюминий и олово активно перемешиваются, а свинец располагается в основном в виде крупных изолированных включений на периферии областей перемешивания. Однородность распределения фаз зависит от плотности падающей энергии лазера и улучшается с её ростом до $E = 48,2$ Дж/мм³. Пористость сплава при этом снижается, а его пластичность и прочность возрастают и достигают предельных для данного состава значений, превосходящих соответствующие значения деформационно-упрочнённого спеченного двухфазного сплава Al-20Sn, содержащего эквивалентное количество мягкой фазы.

Работа выполнена в рамках реализации проекта РНФ № 24-79-10099.

Список использованных источников:

1. Mironov A.E. Influence of tin on the tribotechnical properties of complex antifriction aluminum alloys / A.E. Mironov, I.S. Gershman, E.I. Gershman // Journal of Friction and Wear. – 2018. – V. 39. – P. 394–399.
2. Буше Н.А. Подшипники из алюминиевых сплавов. / Н.А. Буше, В.А. Двоскина, К.М. Раков. – М. : Транспорт, 1974. – 256 с.
3. Rusin N.M. Effect of equal channel angular pressing on mechanical and tribological properties of sintered Al-Sn composites / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, E.A. Kolubaev // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2020. – V. 29. – P. 1955–1963.

4. On productivity of laser additive manufacturing / A.V. Gusarova, S.N. Grigorieva, M.A. Volosova [et al.] // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2018. – V. 261. – P. 213–232.
5. Влияние параметров процесса селективного лазерного сплавления на структуру алюминиевого сплава системы Al-Si-Mg / Н.В. Дынин, А.В. Заводов, М.С. Оглодков [и др.] // *Труды ВИАМ*. – 2017. – № 10. – С. 3–14.
6. Friction and wear characteristics of hot-extruded leaded aluminum bearing alloys / J. An, Y.B. Liu, Y. Lu [et al.] // *Journal of Materials Engineering and Performance*. – 2002. – V. 11. – P. 433–443.
7. Confalonieri C. Al-Sn miscibility gap alloy produced by power bed laser melting for application as phase change material / C. Confalonieri, E. Gariboldi // *Journal of Alloys and Compounds*. – 2021. – V. 881. – 160596.
8. Rusin N.M. Structure and tribomechanical properties of sintered Al–Sn–Pb composites / N.M. Rusin, A.L. Skorentsev, V.E. Likharev // *Russian Physics Journal*. – 2024. – V. 67. – P. 2288–2296.

Секция 2

**Информационные технологии
и автоматизация
производственных процессов**

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ КОММЕРЧЕСКИМИ И ЛОГИСТИЧЕСКИМИ ОБЯЗАННОСТЯМИ МЕНЕДЖЕРА

*А.А. Захарова, д.н.т., проф., В.В. Буханцов^а, студент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634509, Томская обл., г. Томск, ул. Леонова, 1
Email: ^аbukhantsovlad@gmail.com*

Аннотация: Нормирование труда – важная часть нормативной базы любого юридического лица [1]. Поскольку не все компании могут позволить себе содержать в штате специалиста по нормированию труда, большинство организаций прибегает к услугам сторонних фирм. Менеджеры таких фирм должны вести документацию, формировать коммерческие предложения и договоры, планировать маршруты хронометристов и выполнять сметные расчеты. Это отнимает значительное время и требует автоматизации. На данный момент отсутствуют приложения, которые одновременно объединяют автоматизированный поиск маршрута, расчет его стоимости, подсчет полной сметы расходов и формирование всех необходимых документов на основе введенных данных. В связи с этим возникает необходимость разработки специализированной программы.

Ключевые слова: нормирование труда, информационные технологии, автоматизация, программа, логистика.

Нормирование труда является неотъемлемой частью нормативной базы любого учреждения. Редкое проведение пересмотра актуальных норм может вести к целому ряду проблем и несоответствий в рабочем процессе. Так, например, в учреждениях здравоохранения России с введением новейших автоматических анализаторов [2] в параклинических отделениях привело к:

1. Сотрудники выполняют исследования, основываясь на старых нормативах и за пару часов успевают сделать дневную норму исследований и наблюдаются большие простои времени.
2. Сотрудники выполняют оптимальную нагрузку – столько исследований, сколько позволяет рабочий день, но поскольку в нормативах количество исследований предполагается в разы меньше и было рассчитано на ручные методы исследования, подают на переработку в размере от 200 до 500 процентов, которых, фактически, не было.

Иная ситуация наблюдается в тех учреждениях, где оборудование не меняется, но из года в год растет количество пациентов, соответственно и исследований, что ведет к тому, что изначальный штат сотрудников перестает справляться с нагрузкой и требует его пересмотра и выделения дополнительных штатных единиц.

Процесс нормирования труда включает в себя [3]:

1. Выезд хронометриста в учреждение и сбор информации об использовании сотрудниками своего рабочего времени.
2. Изучение актуальных нормативов и должностных обязанностей сотрудников.
3. Составление отчета с балансом времени, нормами времени, выработки, управляемости и штатной численности для каждой изучаемой должности.

Ввиду большой трудоемкости и медицинской направленности таких работ, штатные экономисты, особенно крупных учреждений, не имеют возможности самостоятельного проведения нормирования труда.

Компания, которая будет привлечена к нормированию труда до начала работ должна будет сформировать коммерческое предложение, а значит составить маршрут для выезда специалиста, рассчитать все расходы и сформировать коммерческое предложение и, в последствии, договор. Это является частью обязанностей менеджера [4] такой компании и имеет большой потенциал для автоматизации.

Таким образом, актуальна задача разработки программы для автоматизации коммерческих и логистических обязанностей менеджера компании по нормированию труда.

Функциональные требования можно описать следующим образом:

1. Поддержка ввода и вывода данных в форматах .doc, .docx, .xls, .xlsx.
2. Автоматическое составление маршрута до учреждения от ближайших городов, в которых располагаются хронометристы.
3. Подсчет количества дней хронометражных замеров, проезда, зарплаты специалистам, экономистам, командировочных и прочих расходов.
4. Автоматическое составление коммерческого предложения, включая заполнение таблицы должностей с количеством дней хронометражных замеров, и по потребности структурного подразделения [5].
5. Автоматическое заполнение договора, основываясь на реквизитах учреждения, а также технического задания.

Разработка программного продукта для автоматизации коммерческих и логистических обязанностей менеджера является экономически целесообразной задачей. В условиях отсутствия комплексных решений на рынке такая программа позволит значительно сократить время подготовки документов, минимизировать

вероятность ошибок и повысить эффективность работы компаний, занимающихся нормированием труда в России.

Кроме базового функционала, в перспективе данная программа может быть расширена за счет следующих возможностей:

1. Интеграция с картографическими сервисами для более точного расчета маршрутов и времени в пути.
2. Внедрение базы данных типовых должностей и нормативов с возможностью их регулярного обновления.
3. Автоматизация формирования технических заданий для проведения нормирования труда на основе шаблонов и собранной информации.
4. Ведение архива ранее выполненных проектов для ускорения подготовки новых коммерческих предложений.
5. Реализация функций аналитики и построения отчетов о проделанной работе, что будет способствовать росту качества услуг и обоснованности расчетов перед заказчиками.

Таким образом, дальнейшее развитие программного продукта позволит не только автоматизировать текущие задачи менеджера, но и создать полноценную цифровую экосистему для компаний, работающих в области нормирования труда. Это, в свою очередь, повысит их конкурентоспособность на рынке и качество предоставляемых услуг.

Список использованных источников:

1. ТК РФ Статья 8. Локальные нормативные акты, содержащие нормы трудового права. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/c3aa977f4da67be89baf817897b74530882cca55/ (дата обращения: 16.03.2025).
2. Биохимический анализатор: назначение, виды, принцип работы. – URL: <https://corway.ru/materialy/biohimicheskij-analizator-naznachenie-vidy-princip-raboty/> (дата обращения: 16.03.2025).
3. Нормирование труда: зачем нужно и как реализуется. – URL: <https://glavkniga.ru/situations/k502190>, свободный (дата обращения: 16.03.2024).
4. Профессия: Менеджер по продажам (Sales manager). – URL: https://mbschool.ru/business_profession/menedzher-po-prodazham-sales-manager/ (дата обращения: 16.03.2024).
5. Как правильно составить коммерческое предложение. – URL: <https://www.bitrix24.ru/journal/kak-sostavit-kommercheskoye-predlozhenie/> (дата обращения: 16.03.2024).

АНАЛИЗ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕРЕДАЧИ ЯЧЕЕК В СЕТЯХ АТМ

К.А. Батенков, д.т.н., проф.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

119991, г. Москва, Ленинские горы, 1

E-mail: pustur@yandex.ru

Аннотация В статье рассматривается методика оценки временных параметров передачи данных в сетях АТМ с использованием квантильного анализа вариации времени переноса ячеек. Исследование основано на статистических данных сети. Особое внимание уделено расчету квантиля вариации, который позволяет исключить статистических погрешности и определить стабильность временных характеристик передачи. Приведен подробный алгоритм вычисления среднего времени переноса ячеек и квантиля вариации, учитывающий как высокоприоритетные, так и низкоприоритетные потоки данных.

Ключевые слова: время переноса ячеек, квантиль, качество обслуживания, АТМ сети, классификация сетей.

Abstract: The article discusses a technique for estimating the time parameters of data transmission in ATM networks using quantile analysis of cell transfer time variation. The study is based on statistical data from the network. Special attention is paid to the calculation of the quantile of variation, which makes it possible to eliminate statistical errors and determine the stability of the time characteristics of the transmission. A detailed algorithm for calculating the average cell transfer time and the quantile of variation is presented, taking into account both high-priority and low-priority data flows.

Keyword: cell transfer time, quantile, quality of service, ATM networks, network classification.

Современные сети передачи данных требуют точных методов оценки временных характеристик для обеспечения гарантированного качества обслуживания. Анализ квантиля вариации времени переноса ячеек представляет собой эффективный инструмент для такой оценки в сетях АТМ.

Квантиль вариации времени переноса ячеек v_h порядка h (difference between upper and lower h quantiles of CTD) – разность между верхним и нижним квантилями времени переноса ячеек порядка h [1]. При условии

упорядоченности в порядке не убывания времен переноса ячеек τ_i , то есть если $\tau_{i+1} \geq \tau_i, i = 1, 2, \dots, n-1$, квантиль вариации времени переноса ячеек определяется следующим образом:

$$v_h = \tau_{[(1-h) \cdot n]} - \tau_{[h \cdot n]}, \tau_{i+1} \geq \tau_i, i = 1, 2, \dots, n-1,$$

где $[x]$ – округление в меньшую сторону числа x до ближайшего целого. В рекомендации используется порядок квантиля $h = 10^{-8}$, что обеспечивает приближение квантиля вариации к значению разности между максимальным и минимальным временами переноса ячеек из выбранной совокупности, не беря в расчет ячейки, имеющие резкие отклонения во времени переноса и являющиеся, по сути, статистической погрешностью. Кроме того, такой порядок квантиля позволяет настраивать буферы устройств, гарантируя при этом вероятность потери ячеек не выше 10^{-8} .

Измеренные статистические данные непрерывно передаваемой пользовательской информации с пиковой скоростью 105 ячеек/с для исследуемой сети АТМ приведены в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден..** Определить к какому классу сетей АТМ принадлежит рассматриваемая сеть.

Таблица 1

Статистические данные исследуемой сети АТМ

Но- мер интер- вала изме- рений i	Число передан- ных бло- ков высо- коприори- тетных ячеек $n_{b,0,i}$	Число передан- ных бло- ков низ- коприори- тетных ячеек $n_{b,1,i}$	Число по- терянных высоко- приоритет- ных ячеек в каждом блоке $n_{l,0,i}$	Число поте- рянных низ- коприори- тетных яче- ек в каждом блоке $n_{l,1,i}$	Число вы- сокоприори- тетных ячеек с ошибками в каждом блоке $n_{e,0,i}$	Число низ- коприори- тетных яче- ек с ошиб- ками в каж- дом блоке $n_{e,1,i}$	Время перено- са вы- соко- приори- тетных ячеек $\tau_{0,i}$	Время переноса высоко- приори- тетных ячеек $\tau_{1,i}$	Число ложных ячеек на интервале измерения блока $n_{m,i}$
1	$5,9 \cdot 10^6$	$5,7 \cdot 10^6$	0	47	0	0	396,6	400,3	1
2	$7,6 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^6$	0	14	0	0	395	399,2	2
3	1	1	$2,6 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^3$	0	0	393	403,7	5
4	$6,3 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$	0	44	0	0	400,1	395,5	8
5	$1,9 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^6$	0	7	0	0	397	395,3	0
6	$3,1 \cdot 10^3$	$8,7 \cdot 10^3$	1	4	0	1	399,9	400,6	2

Дано: $v_{PCR} = 10^5$ ячеек/с, $n_{b,0,i}, n_{b,1,i}, n_{l,0,i}, n_{l,1,i}, n_{e,0,i}, n_{e,1,i}, \tau_{0,i}, \tau_{1,i}, n_{m,i}, i = 1, 2, \dots, n_g = 6$.

Число ячеек в блоке определяется на основе пиковой скорости

$$n_a = 2^{\lceil \log_2 \frac{v_{PCR}}{25} \rceil} = 2^{\lceil \log_2 \frac{10^5}{25} \rceil} = 4096.$$

Общее число доставленных ячеек, включая полученные в блоках с существенными ошибками:

$$\begin{aligned} n' &= \sum_{i=1}^{n_g} [(n_a - n_{l,0,i})n_{b,0,i} + (n_a - n_{l,1,i})n_{b,1,i}] = \\ &= (4096 - 0) \cdot 5,9 \cdot 10^6 + (4096 - 47) \cdot 5,7 \cdot 10^6 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 7,6 \cdot 10^6 + (4096 - 14) \cdot 7,1 \cdot 10^6 + \\ &+ (4096 - 2,6 \cdot 10^3) \cdot 1 + (4096 - 3,5 \cdot 10^3) \cdot 1 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 6,3 \cdot 10^6 + (4096 - 44) \cdot 3,5 \cdot 10^6 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 1,9 \cdot 10^5 + (4096 - 7) \cdot 5,3 \cdot 10^6 + \\ &+ (4096 - 1) \cdot 3,1 \cdot 10^3 + (4096 - 4) \cdot 8,7 \cdot 10^3 = 1,7 \cdot 10^{11}. \end{aligned}$$

Среднее значение времени переноса ячейки (заметим, что здесь учитываются все доставленные ячейки, включая полученные в блоках с существенными ошибками):

$$\begin{aligned} m_{\tau} &= \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n_g} [(n_a - n_{l,0,i})n_{b,0,i}\tau_{0,i} + (n_a - n_{l,1,i})n_{b,1,i}\tau_{1,i}] = \\ &= (4096 - 0) \cdot 5,9 \cdot 10^6 \cdot 396,6 + \\ &+ (4096 - 47) \cdot 5,7 \cdot 10^6 \cdot 400,3 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 7,6 \cdot 10^6 \cdot 395 + \\ &+ (4096 - 14) \cdot 7,1 \cdot 10^6 \cdot 399,2 + \\ &+ (4096 - 2,6 \cdot 10^3) \cdot 1 \cdot 393 + (4096 - 3,5 \cdot 10^3) \cdot 1 \cdot 403,7 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 6,3 \cdot 10^6 \cdot 400,1 + \\ &+ (4096 - 44) \cdot 3,5 \cdot 10^6 \cdot 395,5 + \\ &+ (4096 - 0) \cdot 1,9 \cdot 10^5 \cdot 397 + (4096 - 7) \cdot 5,3 \cdot 10^6 \cdot 395,3 + \\ &+ (4096 - 1) \cdot 3,1 \cdot 10^3 \cdot 399,9 + \\ &+ (4096 - 4) \cdot 8,7 \cdot 10^3 \cdot 400,6 = 397,5 \text{ мс.} \end{aligned}$$

Отсюда следует, что исследуемая сеть удовлетворяет требованиям любого класса сетей.

Время переноса ячеек дано в качестве исходных данных в таблице **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Для получения функции распределения времени переноса достаточно упорядочить интервалы измерения и приоритетность ячеек в порядке невозрастания (тогда число ячеек на интервале анализа будет равно n_i , что соответствует либо группе высокоприоритетных ячеек $n_{0,i}$, либо низкоприоритетных $n_{1,i}$) и рассчитать соответствующие приросты функции распределения:

$$h_{2 \cdot n_g} = 1, h_j = 1 - \frac{1}{n'} \sum_{i=j+1}^{2 \cdot n_g} n_i, j = 1, 2, \dots, 2 \cdot n_g - 1.$$

Поскольку $h_1 < 10^{-8} < h_2$, то нижний квантиль времени переноса ячеек $\tau_{10^{-8}} = 395$ мс, а так как $h_{11} < 1 - 10^{-8} < h_{12}$, то верхний – $\tau_{1-10^{-8}} = 400,6$ мс (рисунок **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Следовательно, квантиль вариации времени переноса ячеек

$$v_{10^{-8}} = \tau_{1-10^{-8}} - \tau_{10^{-8}} = 400,6 - 395 = 5,6 \text{ мс.}$$

Проведенное исследование подтвердило возможность анализа квантилей для классификации сетей АТМ по показателям качества обслуживания. Результаты показали, что анализируемая сеть соответствует требованиям нескольких классов качества, но не удовлетворяет наиболее строгим критериям. Предложенная методика может быть использована для оперативного мониторинга и оптимизации параметров работы сетей АТМ.

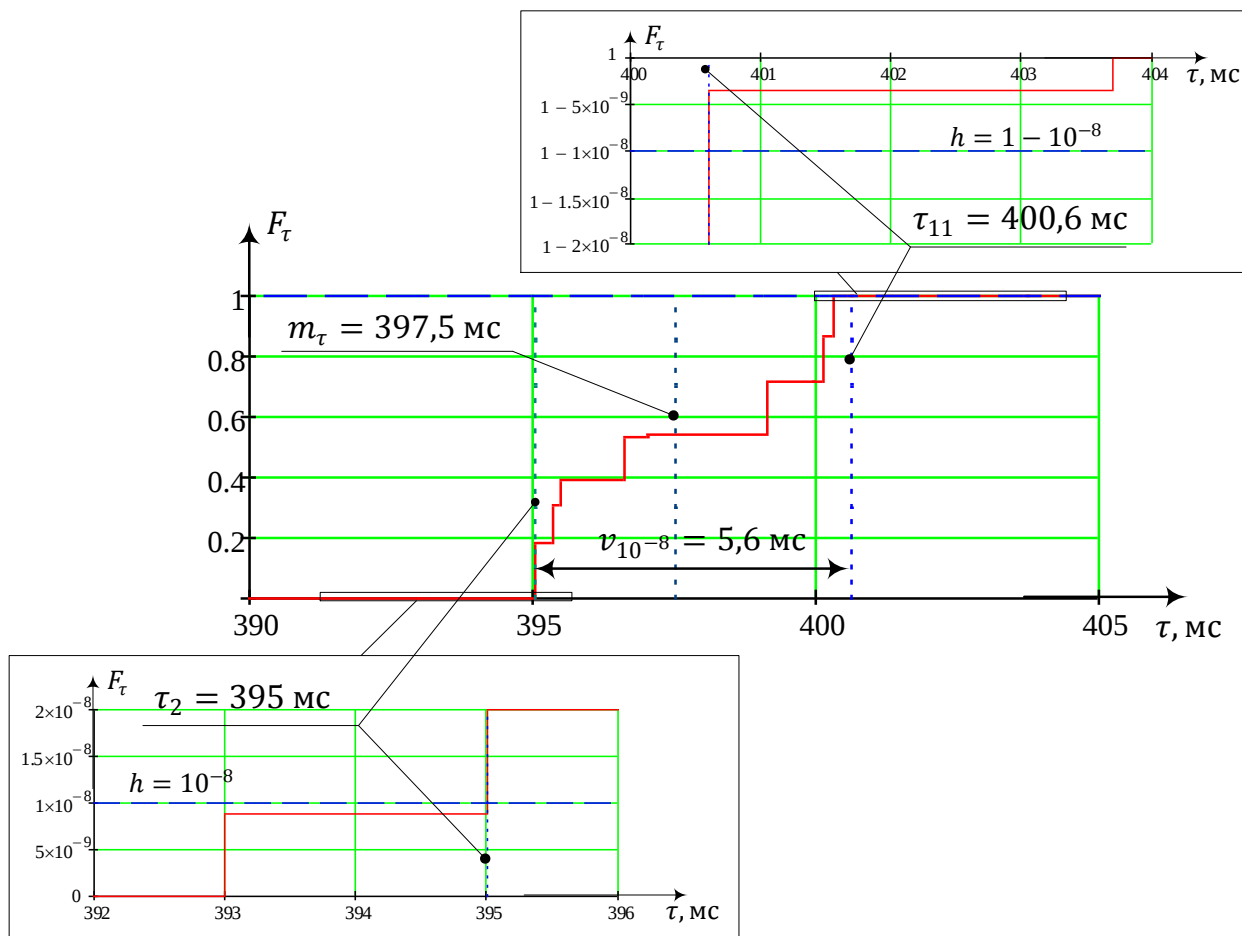


Рис. 1. Гистограмма функции распределения F_τ времени переноса ячеек τ

Список использованных источников:

1. Батенков А.А. Вероятность связности телекоммуникационной сети на основе приведения нескольких событий несвязности к объединению независимых событий / А.А. Батенков, К.А. Батенков, А.Б. Фокин // Информационно-управляющие системы. – 2021. – № 6 (115). – С. 53–63. – DOI 10.31799/1684-8853-2021-6-53-63.
2. Rec. I.356. B-ISDN ATM layer cell transfer performance. – 2000–03. – Geneva : ITU-T, 2001. – 64 p.

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «СИМУЛЯЦИЯ УПРУГОГО УДАРА ШАРОВ» НА ЯЗЫКЕ С

Е.П. Теслева², к.ф.-м.н, доц., И.И. Ващекин¹, ученик 11 класса,
¹МБОУ Проскоковская СОШ

652073, Кемеровская обл., с. Проскоково, ул. Школьная, 11

²Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Аннотация: Статья описывает процесс создания приложения для симуляции упругого удара. Приложение предназначено для визуализации передачи импульса при столкновении двух упругих шаров. В статье рассмотрены основные шаги разработки.

Ключевые слова: WinAPI, С, разработка приложения, физика, упругий удар, закон сохранения импульса, механическая энергия, VisualStudio, MSVC.

Abstract: The article describes the process of creating an application for simulating an elastic impact. The application is designed to visualize the transmission of momentum when two elastic balls collide. The article discusses the main development steps.

Keywords: WinAPI, C, application development, physics, elastic shock, law of conservation of momentum, mechanical energy, Visual Studio, MSVC.

Закон сохранения импульса и энергии являются фундаментальными законами природы. Они позволяют определять скорости и массы движущихся тел после их взаимодействия. Эти законы не только лежат в основе многих физических явлений, но и имеют практическое применение в различных областях науки и техники (например, позволяют определить скорость космического аппарата после начала движения, узнать оптимальный вес винтовки, определить скорость вагона и платформы после того, как сработает автосцепка и др.). Симуляция упругого удара шаров наглядно иллюстрирует эти законы.

В данной статье представлен пошаговый процесс создания приложения для симуляции упругого удара шаров с использованием языка программирования C. В приложении создан интуитивно-понятный интерфейс, а также обеспечивается высокая производительность симуляции. Это позволит пользователям экспериментировать с различными параметрами процесса и наблюдать за изменениями в движении шаров в реальном времени.

Основные методы, использованные в программе «Симуляция упругого удара шаров»:

Обработчик события нажатия на кнопку НАЧАТЬ (сообщения приложения WM_COMMAND):

1. Передача значений: Значения, выбранные пользователем (угол и массы шаров), передаются в переменные, отвечающие за симуляцию движения шаров. Это позволяет динамически изменять параметры симуляции.

2. Расчет начальных условий: На основе угла, введенного пользователем, высчитываются скорость и импульс левого шара. Начинается симуляция движения шаров, что создает эффект реального столкновения.

Обработчик события нажатия на кнопку СБРОСИТЬ (сообщения приложения WM_COMMAND):

1. Сброс симуляции: Симуляция сбрасывается (если она еще работает). Название кнопки меняется на НАЧАТЬ, что позволяет пользователю перезапустить процесс.

2. Возврат к исходным значениям: Расчетные значения сбрасываются до пользовательских значений, обеспечивая возможность повторного эксперимента с новыми параметрами.

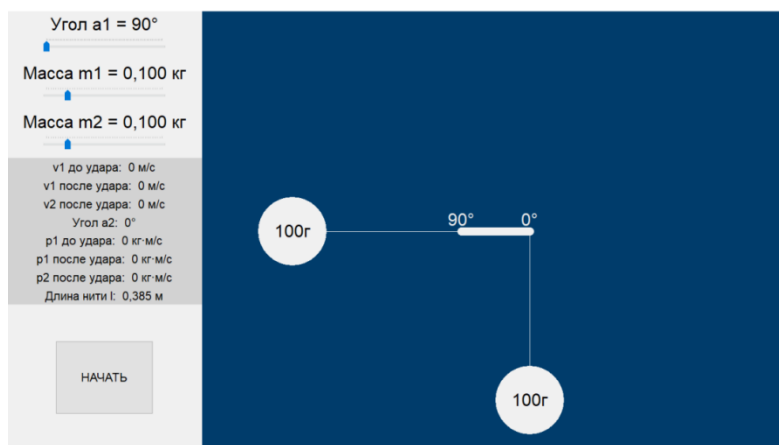


Рис. 1. Интерфейс программы до начала симуляции

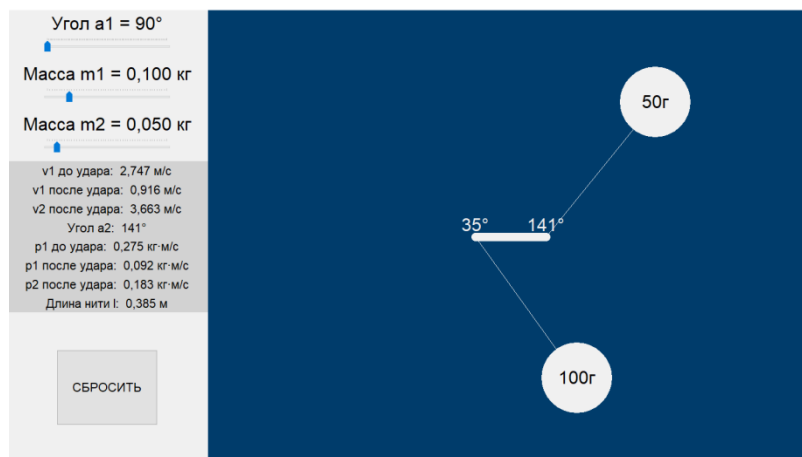


Рис. 2. Интерфейс программы во время симуляции (после столкновения)

Часть визуальной симуляции (сообщения приложения WM_TIMER):

1. Обновление положения шаров: Каждые 10 миллисекунд для каждого шара рассчитывается новое положение в зависимости от его скорости и предыдущего положения. Это создает плавную анимацию движения.
2. Обработка коллизий: Если угол левого шара ≥ 0 , происходит коллизия. Высчитываются скорости, импульсы шаров и угол отклонения правого шара с использованием закона сохранения импульса. Если скорость правого шара будет слишком большой, то шар будет двигаться бесконечно. В этом случае угол правого шара не рассчитывается.
3. Остановка симуляции: Когда шар достигает рассчитанного угла (максимум 180°), симуляция останавливается, но не сбрасывается. Это дает возможность проанализировать результаты столкновения.

Часть отрисовки приложения (сообщения приложения WM_PAINT):

1. Получение контекста устройства: Программа получает контекст устройства HDC, на который будет выводиться графика.
2. Отрисовка фонов: Рисуются задние фоны для части со значениями (белый фон) и части симуляции (синий фон), что помогает выделить важные элементы интерфейса.
3. Визуализация шаров: Рисуются шары и их визуальные значения (углы и массы), что делает симуляцию более понятной и интересной для пользователя.
4. Вывод информации: Выводятся описания ползунков и общие значения симуляции в текстовом виде:
 - Скорость 1 шара до удара;
 - Скорость 1 шара после удара;
 - Скорость 2 шара после удара;
 - Угол 2 шара после удара;
 - Импульс 1 шара до удара;
 - Импульс 1 шара после удара;
 - Импульс 2 шара после удара;
 - Длина нити.

Разработанное приложение для визуализации поведения двух шаров с разными массами и углами отклонения позволит пользователям лучше понять поведение тел при их упругом столкновении.

Список использованных источников:

1. Савельев И.В. Курс общей физики : учебное пособие : в 3 т. / И.В. Савельев. – 16-е изд., стер. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – Лучшие классические учебники. Физика. – Классическая учебная литература по физике. – ISBN 978-5-8114-3987-4.
2. Солдатенко И.С. Практическое введение в язык программирования Си : учебное пособие для вузов / И.С. Солдатенко, И.В. Попов. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 132 с. – Текст: электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/473309> (дата обращения: 11.04.2025). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
3. Справочник по программированию для API Win32 – Win32 apps / Microsoft Learn. – Текст: электронный. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/api/> (дата обращения: 06.01.2025) – Режим доступа: свободный.
4. Живопись и рисование – Win32 apps / Microsoft Learn – Текст: электронный. – URL: <https://learn.microsoft.com/ru-ru/windows/win32/gdi/painting-and-drawing> (дата обращения: 06.01.2025) – Режим доступа: свободный.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ПРОВЕРКИ СООТВЕТСТВИЯ ДОКУМЕНТОВ ТРЕБОВАНИЯМ ОФОРМЛЕНИЯ

*А.А. Захарова^а, д.т.н., доц., С.Д. Ведерникова, К.Н. Козин, студенты
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 40
E-mail:^а aleksandra.a.zakharova@tusur.ru*

Аннотация: В работе представлена разработка веб-сервиса, предназначенного для автоматической проверки документов формата .docx на соответствие требованиям оформления. Система позволяет преподавателям и сотрудникам организаций снизить нагрузку на ручную проверку оформления студенческих и рабочих материалов.

Ключевые слова: автоматизация, оформление документов, ГОСТ, .docx, веб-сервис, фильтры.

Abstract: This paper presents the development of a web service designed for the automatic verification of .docx documents for compliance with formatting standards. The system aims to reduce the manual effort required by educators and staff by automating formatting verification and adding comments to the documents.

Keywords: automation, document formatting, GOST, .docx, web service, filters.

В современном образовательном процессе значительное внимание уделяется корректному оформлению учебных и выпускных работ. Несоблюдение формальных требований к структуре, шрифтам, отступам и другим параметрам может привести к снижению оценки, возврату работы или даже отказу в её приёме. Ручная проверка таких параметров требует времени и усилий со стороны преподавателей, особенно при массовых подачах работ.

Анализ практики вузов показывает, что значительная часть студенческих работ содержит ошибки форматирования. Так, по результатам крупного исследования в одном из ведущих университетов России, до 70 % отчётов содержат несоответствия требованиям к оформлению, что влечёт за собой снижение итоговой оценки, возврат работы на доработку и дополнительную нагрузку на проверяющих [1].

В Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР) ежегодно обрабатываются сотни отчётов по практике и выпускных квалификационных работ, каждая из которых требует внимательной ручной проверки оформления. Особенно это становится актуально в период массовой сдачи, когда преподаватели вынуждены тратить значительное количество времени на контроль параметров форматирования: от отступов и межстрочного интервала до оформления рисунков и списка литературы.

Современная тенденция цифровизации образования дополнительно усилила необходимость автоматизации процессов нормоконтроля. В частности, в 2020/21 учебном году почти 47,4 % студентов российских вузов обучались дистанционно [2], и значительная часть документооборота переместилась в электронную среду. В этих условиях особенно востребованы программные решения, способные автоматически выявлять несоответствия в форматировании .docx-документов. Проведённые в последние годы исследования подтверждают, что до 90 % типовых ошибок оформления могут быть выявлены и обработаны автоматически, если предварительно задать корректные правила проверки [3]. Такой подход позволяет существенно сократить нагрузку на преподавателей, обеспечив при этом единообразие и объективность контроля.

Аналогичные системы уже применяются в области проверки орфографии или плагиата, однако решение задачи оформления остаётся менее автоматизированной. Например, сервис TextDocChecker позволяет проверять форматирование текста, однако не поддерживает отечественные стандарты. Другой зарубежный аналог – Grammarly Business – ориентирован в первую очередь на англоязычную аудиторию и не анализирует структуру документа.

Целью проекта является разработка доступного веб-приложения, которое позволит пользователю:

- загрузить документ в формате .docx;
- выбрать шаблон с требованиями (например, ГОСТ);
- получить результат проверки с пометками и комментариями прямо в файле;
- скачать откорректированный вариант;
- сохранить шаблоны фильтров для повторного использования.

TextDocChecker предоставляет возможность проверять параметры форматирования текста, такие как шрифт и межстрочный интервал. Однако он не поддерживает русский язык и не ориентирован на отечественные стандарты, в частности ГОСТ [4].

Grammarly ориентирован на проверку грамматики, орфографии и стилистики английского языка. Он не осуществляет проверку оформления документа, например, отступов, выравнивания или структуры [5].

DOCX Tools – это набор инструментов (в том числе в виде плагинов для Microsoft Word), позволяющих вручную проверять и править отдельные элементы оформления. Тем не менее, эти инструменты не автоматизированы и требуют значительного участия пользователя на каждом этапе [6].

Для реализации проекта были выбраны современные и надёжные средства разработки, обеспечивающие удобство работы как на стороне клиента, так и на сервере. В состав системы входят следующие компоненты:

- Frontend: HTML, CSS, JavaScript (адаптивная вёрстка, форма загрузки);
- Backend: Python (FastAPI) с использованием библиотеки python-docx, lxml;
- Инфраструктура: Docker, PostgreSQL, GitHub Actions;
- Система хранения: локально + возможная интеграция с S3-совместимыми API.

Основной функционал включает в себя:

- авторизация пользователя;
- выбор и установка фильтров (Times New Roman, 14 пт, отступ 1,25 и т. д.);
- генерацию отчёта и добавление комментариев с выявленными ошибками оформления;
- возможность скачать документ с выявленными ошибками;
- сохранение шаблонов фильтров.

Фрагмент интерфейса системы, отражающий функциональность выбора параметров шаблона и подтверждения отправки файла на обработку, приведён на рисунке 1.

Шрифт:	Times New Roman	Подсказка
Размер шрифта:	12	Здесь появится подробная информация о настройке
Междустрочный интервал:	Одинарный (1)	
Абзацный отступ:	1.25 см	
Поля страницы:	Стандартные	
Форматирование заголовков:	Заголовок 1	
Расположение заголовков:	По центру	
Нумерация таблиц и рисунков	По разделам	
Формат нумерации страниц:	Снизу по центру	
Оформление оглавления:	Автоматическое	
Типы заголовков:	Стандарт	
Проверить		

Рис. 1. Пример интерфейса загрузки и настроек

На рисунке 2 представлен интерфейс Swagger-документации, отражающий реализованные маршруты основного API-сервера. Данный интерфейс обеспечивает интерактивное представление всех доступных HTTP-запросов, включая загрузку и скачивание файлов, а также управление шаблонами оформления.

Представленная система позволяет существенно сократить время проверки документов на соответствие оформлению. В перспективе возможно расширение функционала: автоматическая корректировка ошибок, поддержка PDF, интеграция с университетскими системами. В рамках реализации проекта особое внимание уделено модульности и масштабируемости архитектуры. Благодаря использованию FastAPI и Docker, систему можно развернуть в разных средах с минимальными усилиями. Это открывает возможности для интеграции с внутренними платформами университета.

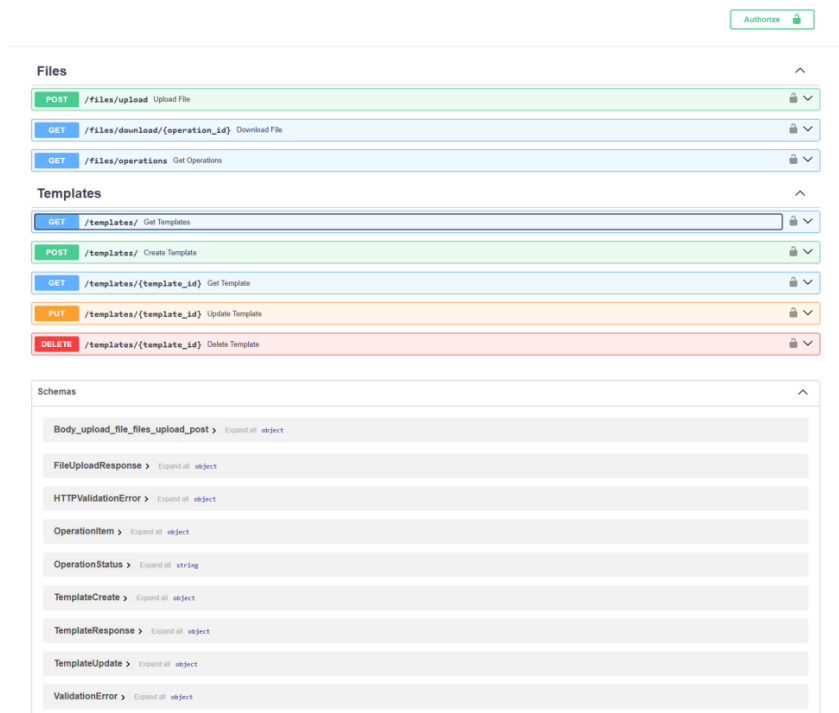


Рис. 2. Swagger-документация веб-сервиса: маршруты работы с файлами и шаблонами

Таким образом, предложенный веб-сервис является частью более широкой тенденции цифровой трансформации образования, направленной на повышение эффективности административных процессов и удобства взаимодействия между студентами и преподавателями.

Список использованных источников:

1. Автоматизация нормоконтроля студенческих работ: аналитика и практика применения : сайт Work5.ru. – URL: <https://work5.ru/blog/normoscontrol> (дата обращения: 12.04.2025).
2. Основные тренды цифровизации высшего образования: результаты мониторинга / НИИ развития образования РЭУ им. Г. В. Плеханова. Вып. 1. – М.: РЭУ, 2021. – 42 с.
3. Автоматизация процессов нормоконтроля отчётной документации студентов: концепция программного решения // Информатика и образование. – 2024. – Т. 39, № 2. – С. 78–91.
4. TextDocChecker: сайт TextDocChecker. – URL: <https://www.textdocchecker.com> (дата обращения 11.04.2025).
5. Grammarly : сайт Grammarly. – URL: <https://www.grammarly.com> (дата обращения 11.04.2025).
6. DOCX Tools: сайт litera.com. – URL: <https://www.litera.com/products/docxtools> (дата обращения 11.04.2025).

СОЗДАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ФОРМЫ ОТЧЕТОВ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ФИЗИКА» ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЮТИ ТПУ

*Е.П. Теслева, к.ф.-м.н, доц., С.И. Забелина, студент
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: roocelsius@gmail.com*

Аннотация: в статье рассматривается создание электронной формы отчетов для лабораторных работ по предмету «физика» для студентов ЮТИ ТПУ как альтернативы рукописной и печатной формам.

Ключевые слова: лабораторные работы, физика, цифровизация образования, информатика, электронные документы.

Abstract: The article discusses the creation of an electronic form of reports for laboratory work on the subject of physics for students of YTI TPU as an alternative to handwritten and printed forms.

Keyword: laboratory work, physics, digitalization of education, computer science, electronic documents.

В наши дни цифровизация в образовательном процессе играет значительную роль. Одним из первых шагов к цифровизации обучения является использование электронных документов, которые обладают очевидными преимуществами по сравнению с традиционными бумажными носителями. Такие документы легко хранятся и организуются в онлайн-ресурсах, обеспечивая быстрый доступ к учебным материалам в любое время и из любого места. Использование электронных документов снижает затраты на печать и бумагу; позволяет избавиться от большого количества документов, нагромождающих учебное пространство, а также значительно ускорить процесс проверки и исправлений работ обучающихся [1].

В Юргинском технологическом институте Томского политехнического университета используется электронная информационно-образовательная среда (ЭИОС), которая содержит электронные курсы по многим дисциплинам. Использование электронных ресурсов повышает эффективность обучения и способствует рациональной организации познавательной деятельности студентов [2]. Электронные курсы показали свою эффективность при дистанционном обучении, в том числе при использовании в учебном процессе виртуальных лабораторных работ (ВЛР), а также при смешанном обучении. Для студентов, обучающихся по традиционной форме (офлайн-обучение) отчётные документы по лабораторным работам для различных дисциплин (в том числе и по физике) предлагается заполнять в двух вариантах: либо по напечатанным шаблонам отчетов, либо оформлять отчеты в рукописном виде. Если говорить о втором варианте отчетов, то преподаватель часто сталкивается с проблемой неразборчивого почерка у студентов, что отнимает много времени на проверку.

Проанализировав ситуацию, было решено разработать и внедрить как альтернативу электронную форму отчетов по лабораторным работам по дисциплине «физика» для студентов направления подготовки «Прикладная информатика». При этом было важно создать удобные и структурированные электронные шаблоны, которые позволят студентам не только правильно внести данные, полученные в ходе опытов; упростить процесс расчетов, но и улучшить понимание предмета [3]. Кроме того, работа с электронными документами будет способствовать развитию у студентов направления подготовки «Прикладная информатика» навыков работы с соответствующим программным обеспечением, что является неотъемлемой частью их профессиональной подго-

товки. Такой подход стимулирует всестороннее развитие обучающихся, упрощает работу, как самих студентов, так и преподавателя [4].

Отчёты по лабораторным работам по дисциплине физика оформляются в соответствии со стандартными требованиями к отчету и содержат: цель работы, используемые приборы и их характеристики, формулы для расчёта, таблицы, расчёт всех величин, расчёт абсолютной и относительной погрешности, графики (если это требуется) и выводы по работе. Помимо четко установленной структуры отчёта, также необходимо соблюдать аккуратность при оформлении. Как показывает практика, студентам трудно с первого раза запомнить все правила оформления отчёта, структурировано и аккуратно его заполнить. Неаккуратность и непоследовательность при оформлении отчета ведёт к трудному восприятию написанного и, как следствие, к ошибкам в самих расчётах. При построении графиков часто вызывает затруднение правильный выбор масштаба, нанесение масштабных чисел на осях, построение линии по экспериментальным точкам.

Были разработаны 35 электронных форм отчетов для всех лабораторных работ по дисциплине «физика». Электронные шаблоны содержат вопросы для входного контроля, а также все необходимые сведения о работе. Поля для внесения экспериментальных данных и расчетов «подсвечены» голубым цветом (рис. 1). Шаблоны для большинства работ были выполнены в программе MS OfficeWord 2021. Для некоторых работ, в которых предусмотрено большое количество расчетов или построение графиков, шаблоны были представлены в табличном процессоре MS Office Excel 2021 (рис. 2).

Апробация отчетов будет проведена в ближайшем учебном семестре. Предварительные результаты использования следующие:

1. Электронные отчеты будут удобны студентам при использовании на лабораторном занятии ноутбука, планшета или сотового телефона с соответствующим программным обеспечением.
2. На проверку отчеты будут отправляться в электронном виде, через соответствующий электронный курс.
3. При оформлении отчета могут возникнуть затруднения при наборе формул в редакторах формул или табличном процессоре MS Office Excel при отсутствии опыта работы в них.
4. У преподавателя возникает необходимость увеличения вариантов исходных данных в каждой лабораторной работе, для исключения использования чужих отчетов.
5. Преподаватель может использовать шаблоны, набранные в программе MS Office Excel для экспресс-проверки результатов работы.

Расчёт абсолютной погрешности по методу Стьюдента:				
$C_{X \text{ случ}}$	Δ	$t_{\text{ин}} \cdot \sigma_{C_{X \text{ ср}}}$	=	
$\sigma_{C_{X \text{ ср}}}$		$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{X \text{ ср}} - C_i)^2}{n(n-1)}}$	=	
$C_{X \text{ приб}}$	Δ	$\frac{\kappa \cdot X_{\text{max}}}{100\%}$	=	
C_X	Δ	$\sqrt{(\Delta C_{X \text{ случ}})^2 + (\Delta C_{X \text{ приб}})^2}$	=	
x	C	$(C \pm \Delta C) \text{ мкФ}$		

Рис. 1. Пример оформления расчёта всех величин в MS Word

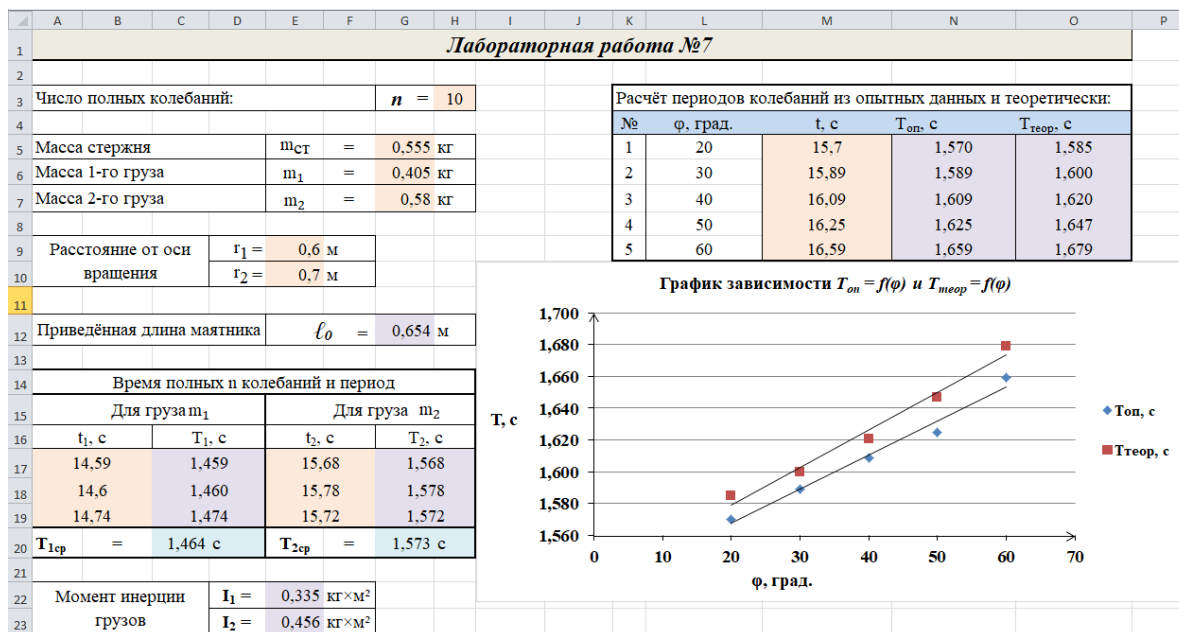


Рис. 2. Пример оформления расчёта величин в MS Office Excel

Список использованных источников:

1. Семенова У.С. Электронные образовательные ресурсы как фактор повышения эффективности профессионального образования / У.С. Семенова, А.Р. Гапсаламов // Образование и культура: Международная научно-практическая конференция. – 2020. – С. 251–255.
2. Адылбекова Э.Т. Технология использования электронных образовательных ресурсов в учебном процессе / Э.Т. Адылбекова, Н.Ф. Сарсенбиева, К.М. Кулжатаева // Мир педагогики и психологии: международный научно-практический журнал. Нижний Новгород: Научно-издательский центр «Открытое знание», 2024. – № 04 (93). – С. 55–69.
3. Черникова А.О. Электронные учебные пособия в современном образовательном процессе / А.О. Черникова, С.В. Шерстнева // Образование, воспитание, обучение в соответствии с ФГОС: сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. – Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2021. – С. 52–54
4. Шаршова Р.Н. Электронное обучение: возможности и перспективы / Р.Н. Шаршова // Вестник национальной академии наук республики Казахстан, 2024. – Том № 4 (410). – С. 306–314.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ МОНИТОРИНГА ОСВОЕНИЯ СТУДЕНТАМИ КОМПЕТЕНЦИЙ ПО ПРОФЕССИЯМ РЫНКА ТРУДА

А.А. Захарова, проф., д.т.н., А.С. Марченко^а, студент
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аasm105@tpu.ru

Аннотация: Статья описывает программный продукт, разработанный с целью мотивировать студентов к получению знаний в образовательных учреждениях за счет явной связи изучаемых дисциплин и компетенций конкретных профессий, востребованных на рынке труда. Система содержит в себе информацию о дисциплинах учебных планов, компетенциях дисциплин, а также актуальную информацию о профессиях с присущими им компетенциями. На основе установления связей между дисциплинами и профессиями, система рассчитывает уровни освоения профессий рынка труда по мере освоения студентами конкретных дисциплин. Гибкая система отчетов позволяет студенту видеть свой прогресс по освоению профессий, а следовательно, видеть продвижения по профессиональной карьере.

Ключевые слова: программное обеспечение, освоение дисциплин, освоение профессий, мотивация, университет.

Abstract: The article describes a software product designed to motivate students to acquire knowledge in educational institutions due to the explicit connection between the studied disciplines and the competencies of specific professions in demand in the labor market. The system contains information about the disciplines of the curricula, the competencies of the disciplines, as well as up-to-date information about professions with their inherent competencies. Based on the establishment of links between disciplines and professions, the system calculates the levels of mastery of professions in the labor market as student's master specific disciplines. A flexible reporting system allows students to see their progress in mastering professions, and therefore, to see progress in their professional careers.

Keyword: software, mastering disciplines, mastering professions, motivation, university.

Программный продукт представляет собой информационную систему мониторинга освоения профессий на платформе 1С: Предприятие.

Система решает проблемы недостаточной осведомленности о профессиях и квалификационных требованиях, а также разрыва между дипломом и реальным пониманием профессионального развития. Интеграция с профессиональными стандартами обеспечивает соответствие образования требованиям рынка труда. Актуальные данные о компетенциях помогают преподавателям обновлять учебные материалы, что повышает качество образования и репутацию учебного заведения. Это также увеличивает доверие студентов и способствует улучшению посещаемости и подготовки выпускников [1].

Модель, представляющая оптимизацию бизнес-процессов при автоматизации процесса (рис. 1).

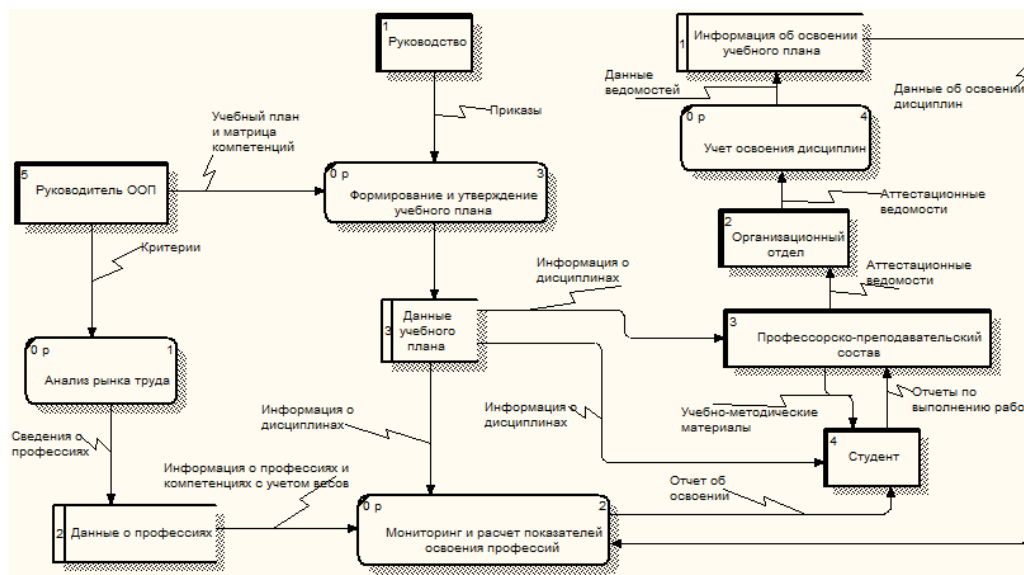


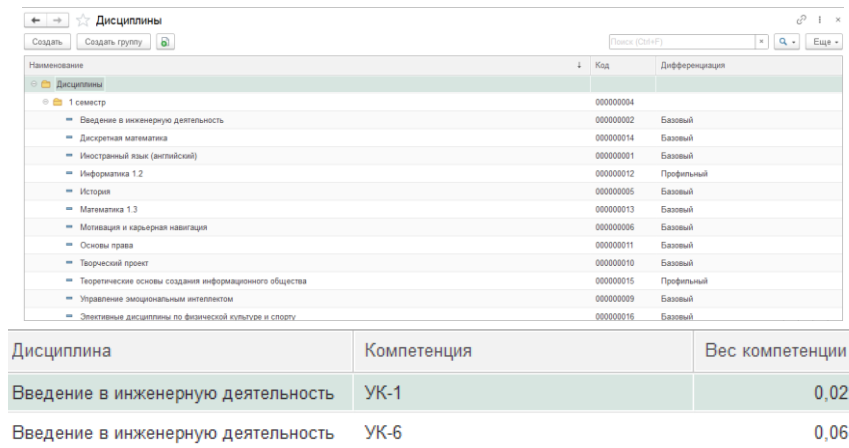
Рис. 1. Модель «как должно быть» (IDEF0)

Выбор среды разработки для информационной системы основывался на ряде ключевых критериев, которые являются определяющими для её успешной реализации. Система должна обладать уникальными характеристиками, обеспечивать легкость масштабирования и демонстрировать стабильную работу в условиях различных нагрузок. В качестве среды разработки была выбрана платформа 1С: Предприятие, которая наиболее полно соответствует этим требованиям и позволяет эффективно реализовать необходимые функциональные возможности.

Основными функциями разрабатываемой информационной системы являются:

1. Учет дисциплин учебного плана по направлениям обучения, компетенций образовательной программы весов дисциплин в освоении этих компетенций (рис. 2).

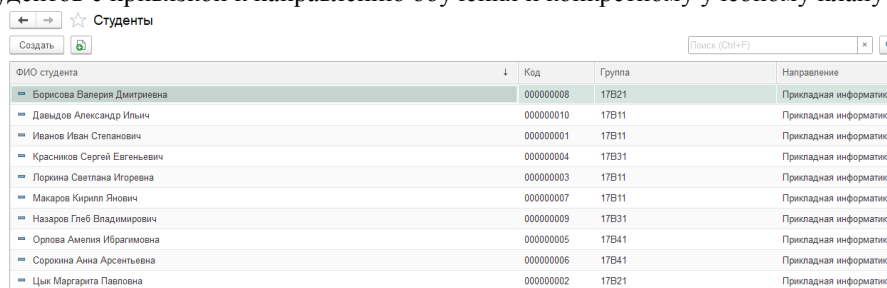
XVI Международная научно-практическая конференция
«Инновационные технологии в машиностроении»



Дисциплина	Компетенция	Вес компетенции
Введение в инженерную деятельность	УК-1	0,02
Введение в инженерную деятельность	УК-6	0,06

Рис. 2. Учет дисциплин, компетенций и их весов в информационной системе (ИС)

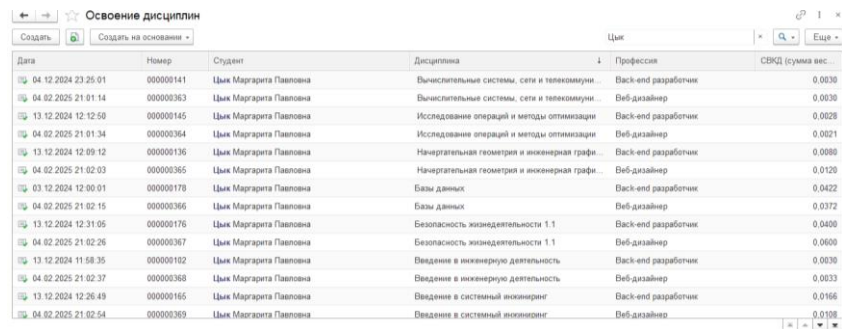
2. Учет студентов с привязкой к направлению обучения и конкретному учебному плану (рис. 3).



ФИО студента	Код	Группа	Направление
Борисова Валерия Дмитриевна	000000008	17B21	Прикладная информатика
Давыдов Александр Ильич	000000010	17B11	Прикладная информатика
Иванов Иван Степанович	000000001	17B11	Прикладная информатика
Красников Сергей Евгеньевич	000000004	17B31	Прикладная информатика
Лорина Светлана Игоревна	000000003	17B11	Прикладная информатика
Макаров Кирилл Янович	000000007	17B11	Прикладная информатика
Назаров Глеб Владимирович	000000009	17B31	Прикладная информатика
Орлова Асията Ибрагимовна	000000005	17B41	Прикладная информатика
Сорокина Анна Арсентьевна	000000006	17B41	Прикладная информатика
Цык Маргарита Павловна	000000002	17B21	Прикладная информатика

Рис. 3. Учет студентов в ИС

3. Учет освоения дисциплин (рис. 4). После сдачи промежуточной аттестации по дисциплине осуществляет учет этого факта, а также отражение в системе доли освоенных компетенций, закрепленных за дисциплиной.



Дата	Номер	Студент	Дисциплина	Профессия	СРЗД (сумма весов)
04.12.2024 23:25:01	000000141	Цык Маргарита Павловна	Вычислительные системы, сети и телекоммуникации	Back-end разработчик	0.0030
04.02.2025 21:01:14	000000363	Цык Маргарита Павловна	Вычислительные системы, сети и телекоммуникации	Веб-дизайнер	0.0030
13.12.2024 12:12:50	000000145	Цык Маргарита Павловна	Исследование операций и методы оптимизации	Back-end разработчик	0.0028
04.02.2025 21:01:34	000000364	Цык Маргарита Павловна	Исследование операций и методы оптимизации	Веб-дизайнер	0.0021
13.12.2024 12:09:12	000000136	Цык Маргарита Павловна	Нанергетическая геометрия и инженерная графика	Back-end разработчик	0.0080
04.02.2025 21:02:03	000000365	Цык Маргарита Павловна	Нанергетическая геометрия и инженерная графика	Веб-дизайнер	0.0120
03.12.2024 12:00:01	000000178	Цык Маргарита Павловна	Базы данных	Back-end разработчик	0.0422
04.02.2025 21:02:15	000000366	Цык Маргарита Павловна	Базы данных	Веб-дизайнер	0.0372
13.12.2024 12:31:05	000000176	Цык Маргарита Павловна	Безопасность жизнедеятельности 1.1	Back-end разработчик	0.0400
04.02.2025 21:02:26	000000367	Цык Маргарита Павловна	Безопасность жизнедеятельности 1.1	Веб-дизайнер	0.0600
13.12.2024 11:58:35	000000182	Цык Маргарита Павловна	Введение в инженерную деятельность	Back-end разработчик	0.0030
04.02.2025 21:02:37	000000368	Цык Маргарита Павловна	Введение в инженерную деятельность	Веб-дизайнер	0.0033
13.12.2024 12:26:49	000000165	Цык Маргарита Павловна	Введение в системный менеджмент	Back-end разработчик	0.0166
04.02.2025 21:02:54	000000369	Цык Маргарита Павловна	Введение в системный менеджмент	Веб-дизайнер	0.0198

Рис. 4. Учет освоения дисциплин в ИС

4. Учет профессий, компетенций образовательной программ, направленных на изучение этой профессии, а также весов компетенций в освоении конкретной профессии (рис. 5).

N	Компетенция	Вес компетенции в профессии
1	ОПК-1	0,04
2	ОПК-2	0,04
3	ОПК-3	0,04
4	ОПК-4	0,04
5	ОПК-5	0,04
6	УК-2	0,04
7	УК-1	0,02
8	УК-3	0,02
9	УК-4	0,04
10	УК-5	0,04
11	УК-6	0,06

Рис. 5. Учет профессий, их компетенций и весов

5. Расчет показателей освоения профессий (рис. 6). Расчет уровня освоения профессии осуществляется соответствии с моделью и алгоритмом, описанным в [2].

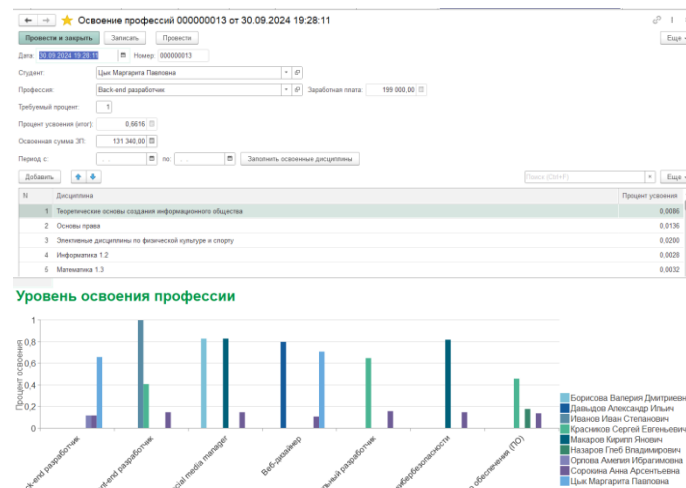


Рис. 6. Расчет показателей освоения профессий

Таким образом, программный продукт позволит студентам и преподавателям увидеть результаты обучения по дисциплинам, осознать явную связь дисциплины и профессий, повысить мотивацию к обучению студентов, дать понимание направлений актуализации дисциплин для преподавателей. Это влияет на повышение качества преподавания дисциплин и успеваемости студентов университета.

Список использованных источников:

- Захарова А.А. Разработка программного обеспечения для повышения уровня мотивации студентов технических вузов / А.А. Захарова, А.С. Марченко, А.С. Сарафаникова // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIX Международной научно-практической конференции (15–17 ноября 2023 г.): в 2 ч. – Ч. 2. – Томск : В-Спектр (ИП Бочкарева В.М.), 2023. – С. 203–206.
- Марченко А.С. Модель и алгоритм освоения профессии как инструменты мотивации к учебе студентов ит-специальностей вузов / А.С. Марченко // Прогрессивные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов XV Всероссийской научно-практической конференции для студентов и учащейся молодежи / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2024. – С. 166–168.

ИНТЕГРАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ОБРАЗОВАНИЕ: ВЫЗОВЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

Н.В. Ивушкина^a, ст. преподаватель, М.В. Морозова, к.пед.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^amiluoki2007@tpu.ru

Аннотация: В эпоху цифровой трансформации интеграция искусственного интеллекта (ИИ) в образование становится ключевым фактором подготовки будущих поколений. ИИ выполняет задачи уровня распространения материалов, оценки навыков и интеграции студентов с помощью технологий глубокого обучения и обработки естественного языка. Внедрение ИИ улучшает производительность, снижая затраты и повышая административную эффективность. В статье рассматриваются задачи, с которыми сталкиваются преподаватели, доступные инструменты ИИ и их потенциал для оптимизации обучения и административных процессов, а также приводятся конкретные ИИ инструменты для решения основных задач обучения.

Ключевые слова: искусственный интеллект, образование, оптимизация процессов

Abstract: In the era of digital transformation, the integration of artificial intelligence (AI) in education is becoming a key factor in teaching future generations. AI carries out tasks at the level of material distribution, skill assessment, and student engagement through deep learning and natural language processing technologies. The implementation of AI enhances productivity by reducing costs and increasing administrative efficiency. The article discusses the challenges faced by educators, the available AI tools, and their potential to optimize learning and administrative processes. It also provides specific AI tools to address key learning challenges.

Keywords: artificial intelligence, education, process optimization.

В эпоху цифровой трансформации интеграция искусственного интеллекта в образование становится ключевым фактором для подготовки будущих поколений к новым вызовам и возможностям. В образовании продукты и услуги с использованием искусственного интеллекта выполняют широкий спектр задач, таких как распространение материалов, оценка навыков и интеграция студентов. Для повышения производительности и улучшения процесса обучения в учебное и образовательное программное обеспечение внедряются технологии искусственного интеллекта, такие как глубокое обучение, машинное обучение и обработка естественного языка. Технологии ИИ внедряются в соответствии с существующими образовательными моделями, чтобы усовершенствовать образовательные системы и обеспечить лучшее распространение и оценку знаний. Внедрение ИИ в образование принесло значительные выгоды образовательным учреждениям благодаря снижению затрат, повышению административной эффективности и улучшению ИТ-безопасности за счет более раннего обнаружения рисков и быстрого вмешательства. В целом, ИИ в образовании относится к использованию технологий искусственного интеллекта для улучшения и персонализации процесса обучения для студентов, повышения эффективности преподавателей и оптимизации образовательных систем и процессов. По сути, он использует компьютерные системы для имитации человеческого интеллекта, что делает возможными такие вещи, как персонализированное обучение, автоматизированная проверка и обратная связь, интеллектуальные обучающие системы и аналитика.

В данной статье рассматриваются основные задачи и сложности, с которыми сталкиваются преподаватели, исследуется разнообразный спектр инструментов и технологий ИИ, доступных преподавателям, рассматривается их потенциал для повышения эффективности преподавания, персонализации обучения и оптимизации административных задач, а также приводятся конкретные ИИ инструменты для решения основных задач обучения.

Преподавание является многогранной и сложной деятельностью, требующей не только глубоких знаний предмета, но и развитых педагогических навыков, терпения и умения адаптироваться к постоянно меняющимся требованиям и потребностям студентов. При осуществлении этой деятельности преподаватели традиционно сталкиваются с рядом сложностей, каждая из которых влияет не только на качество обучения, но и на качество жизни преподавателей и студентов, а в долгосрочной перспективе – на здоровье и успешность всех участников процесса. Наиболее типичными сложностями, с которыми сталкивается преподаватель, являются:

- большая загруженность из-за подготовки к занятиям, проверки работ, ответов на вопросы студентов, административных обязанностей, занимающих огромное количество времени и сил, и риск профессионального выгорания, тесно с этим связанный;
- необходимость постоянной актуализации учебных планов, материалов и методов преподавания, перехода от традиционных методов и материалов к более современным, интерактивным и персонализированным;
- необходимость учитывать разнообразие потребностей студентов в зависимости от уровня подготовки каждого, предпочитаемого стиля обучения, мотивации и индивидуальных трудностей и вытекающая отсюда

необходимость в персонализации обучения и адаптации учебного материала и методов преподавания к индивидуальным потребностям каждого студента, что может быть непростой задачей;

- необходимость постоянно поддерживать мотивацию студентов, уметь увлечь студентов предметом, поддерживать их интерес и вовлеченность в условиях современной информационной перегрузки;
- сложность и трудоемкость объективной и справедливой оценки знаний и связанная с этим необходимость разрабатывать разнообразные типы заданий, критерии оценки и обеспечивать обратную связь.

Искусственный интеллект предлагает ряд решений для облегчения работы преподавателей и повышения эффективности образовательного процесса. В первую очередь эти решения связаны с возможностью автоматизации рутинных задач, что позволяет освободить время, сэкономить силы преподавателей и, таким образом, предотвратить выгорание из-за высокой загруженности. Искусственный интеллект позволяет автоматизировать проверку тестов и заданий. Он способен проверять не только тесты с множественным выбором на предмет правильности или неправильности ответа, но и такие письменные работы как эссе, используя алгоритмы обработки естественного языка, и даже программный код. Помимо автоматизированной проверки работ, ИИ облегчает создание учебных материалов – презентаций, конспектов, учебных планов и т. д. Он может генерировать черновики лекций, тестов, заданий на основе предоставленных преподавателем параметров и источников. Помимо создания учебного контента искусственный интеллект может провести автоматическую проверку и анализ учебных материалов на соответствие целям обучения, наличие ошибок и предложить улучшения. Административные процессы, такие как мониторинг посещаемости, рассылка уведомлений и прочее занимают много времени и сил, и также могут выполняться с помощью инструментов искусственного интеллекта [1].

Улучшение качества преподавания требует постоянной актуализации учебных планов и материалов. В данном случае ИИ может быть полезен для анализа данных и трендов, включая данные об успеваемости студентов, популярности тем, современных образовательных трендах и предлагать оптимальные варианты.

Помимо актуальности тем и материалов на качество преподавания влияют такие вещи как вовлеченность студентов и доступность учебных материалов и образовательной среды в целом, что достигается через персонализацию обучения [3]. Важным инструментом для персонализации обучения с помощью ИИ являются адаптивные системы обучения, которые позволяют адаптировать сложность и темп обучения к индивидуальным потребностям каждого студента, обеспечивая более эффективное усвоение материала. ИИ может также рекомендовать студентам дополнительные ресурсы, соответствующие их уровню знаний и интересам и выявлять студентов, нуждающихся в дополнительной поддержке, анализируя данные об их успеваемости. Для преподавателей ИИ может анализировать отзывы студентов о занятиях и предоставлять преподавателям информацию о том, что работает хорошо, а что требует улучшения. Также ИИ может помочь в создании интерактивных симуляций, игр и других учебных материалов, повышающих вовлеченность студентов и, соответственно, качество преподавания. Увеличить доступность образования с помощью искусственного интеллекта можно, если использовать его для автоматического перевода лекций и создания субтитров для студентов, говорящих на других языках или имеющих нарушения слуха. Для студентов с нарушениями зрения искусственный интеллект может создавать аудио описания для изображений и видео, делая учебные материалы более доступными.

Оценивание и контроль являются важной частью процесса обучения и включают в себя разработку критериев оценивания, проведение тестов и экзаменов, оценку работ студентов, предоставление обратной связи. Здесь искусственный интеллект весьма полезен тем, что обеспечивает автоматическую проверку заданий, помогает с быстрым и точным обнаружением плагиата, проводит анализ оценок и успеваемости, выявляя сильные и слабые стороны студентов, и предоставляя рекомендации для улучшения учебного процесса, а также формируя отчеты об успеваемости студентов и прогрессе группы.

Далее мы приведем примеры инструментов ИИ для преподавателей, опираясь на основные функции, которые преподаватели выполняют в ходе учебного процесса, а именно: планирование и разработка учебных материалов, преподавание и организация учебного процесса, оценивание и контроль, поддержка и консультирование, научно-исследовательская деятельность.

ИИ инструменты, которые можно использовать для подготовки учебных материалов включают в себя:

- ChatGPT (OpenAI) для генерации контента для лекций, семинаров, создания вопросов для обсуждения, написания кратких аннотаций и пояснений;
- Jasper.ai для помощи в создании увлекательного и адаптированного контента для различных платформ, в том числе для учебных материалов;
- Tome.app для создания визуально привлекательных презентаций на основе текстовых подсказок;
- Gamma.app, являющийся альтернативой Tome, также позволяющей создавать презентации и документы с помощью ИИ;
- Murf.ai для преобразования текста в речь, что полезно для создания аудио-лекций или озвучивания презентаций.

Эти инструменты можно использовать для автоматизации рутинных задач, таких как поиск информации, структурирование текста, создание визуального контента. Например, можно попросить ChatGPT создать конспект лекции по определенной теме, а затем использовать Tome или Gamma для создания презентации на основе этого конспекта [2].

В преподавании и организации учебного процесса можно использовать огромное количество инструментов, от отдельных программ и платформ для решения специфических задач, таких как проведение викторин и опросов до комплексных платформ адаптивного обучения. Далее мы приводим далеко не полный список инструментов и платформ, которые используются для преподавания и обучения. Quizizz обеспечивает создание интерактивных викторин и опросов для вовлечения студентов в учебный процесс и проверки их знаний. Mentimeter позволяет создавать интерактивные презентации с возможностью проведения опросов, облаков слов и других интерактивных элементов. Otter.ai выполняет автоматическую транскрипцию лекций в режиме реального времени, позволяет студентам легко конспектировать и возвращаться к материалу. ClassPoint представляет собой инструмент для превращения PowerPoint презентаций в интерактивные занятия. Wooclap является платформой для создания интерактивных вопросов и опросов, которые можно использовать во время лекций. Quizizz или Mentimeter можно использовать для вовлечения студентов в активное обучение. Otter.ai может быть полезен для студентов, которые испытывают трудности с конспектированием, а ClassPoint или Wooclap помогут сделать лекции более интерактивными и вовлекающими.

ИИ инструменты для оценивания и контроля включают в себя следующие программы: Gradescope с функцией автоматического распознавания рукописного текста, что удобно для оценки работ студентов, особенно для оценки математических и научных задач; Turnitin для обнаружения плагиата в письменных работах студентов; Proctorio для прокторинга онлайн-экзаменов для предотвращения списывания; Peergrade для взаимной оценки работ студентов, где ИИ помогает в обработке и анализе обратной связи; Cognii для автоматической оценки открытых ответов и эссе.

Помимо программ и платформ с ИИ, нацеленных на решение конкретных задач, существует значительное количество адаптивных платформ обучения, которые используют алгоритмы искусственного ИИ для решения комплексных образовательных задач. Они осуществляют непрерывную оценку знаний и навыков учащегося посредством тестов, упражнений и взаимодействий. На основе результатов учащегося они изменяют содержание, сложность и темп учебных материалов, создавая уникальный образовательный путь для каждого ученика. Это позволяет сосредоточиться на областях, где учащемуся нужна наибольшая помощь, и позволяет ему/ей продвигаться в собственном темпе. Они также предлагают немедленную и целенаправленную обратную связь, помогая учащимся понять свои ошибки и улучшить понимание материала [4]. Некоторые из широко известных и используемых платформ: ALEKS (Assessment and LEarning in Knowledge Spaces), Knewton Alta, Realize (Savas Learning Company), Smart Sparrow, McGraw-Hill Connect, DreamBox Learning. ALEKS в основном ориентирована на математику и химию. Она использует теорию пространства знаний для оценки понимания студента и создания персонализированных траекторий обучения. Эта платформа часто используется на уровне колледжей/университетов. Knewton Alta предлагает адаптивные курсы по математике, экономике, статистике и химии, интегрируясь непосредственно в системы управления обучением. Realize предлагает программы адаптивного обучения для K-12 (школьное образование) по математике, чтению, естественным наукам и обществознанию. Это, скорее, всеобъемлющая образовательная платформа для школ. Smart Sparrow – это более гибкая платформа, позволяющая преподавателям разрабатывать и создавать собственные адаптивные учебные материалы, ориентированные на STEM-дисциплины (наука, технологии, инженерия и математика). McGraw-Hill Connect интегрируется с учебниками McGraw-Hill и предлагает адаптивные задания и оценки. Обычно используется на уровне университетов. DreamBox Learning предлагает адаптивное обучение математике, специально разработанное для учащихся начальной и средней школы.

В России также существуют адаптивные платформы обучения. Наиболее распространенные из них: ЯКласс, Учи. ру, Skyes, Maximum Education. ЯКласс – очень популярная в России платформа, которая предоставляет интерактивные учебные материалы и адаптивные задания по широкому кругу предметов, в основном ориентируясь на школьную программу. Она широко используется в российских школах. Она не является чисто адаптивной платформой в строгом смысле ИИ, но предлагает определенную степень персонализированных траекторий обучения. Учи. ру – еще одна широко используемая платформа в России, особенно популярная среди учащихся начальной школы. Она предлагает интерактивные курсы и упражнения по математике, русскому языку и другим предметам. Она использует алгоритмы для адаптации уровня сложности к прогрессу учащегося. Skyes в основном известна онлайн-репетиторством по английскому языку и использует адаптивные алгоритмы для персонализации обучения и адаптации уроков к индивидуальным потребностям учащихся. Maximum Education ориентирована на подготовку к экзаменам (например, ЕГЭ – Единый государственный экзамен в России) и использует методы адаптивного обучения для выявления пробелов в знаниях и предоставления целевой практики.

ИИ инструменты, с помощью которых преподаватель может осуществить поддержку и консультирование студентов, включают в себя такие программы как Botsonic (Writesonic) для создания чат-ботов для ответов на часто задаваемые вопросы студентов, HubSpot Chatbot Builder для создания чат-ботов для поддержки студентов, ответов на вопросы и направления к нужным ресурсам; Replika, который является ИИ-компаньоном и может поддерживать студентов в эмоциональном плане и помогать им справляться со стрессом, ELSA Speak для улучшения произношения английского языка с использованием ИИ, что может быть полезно для иностранных студентов, Grammarly для проверки грамматики и стиля письма для студентов, которые испытывают трудности с написанием эссе и других письменных работ.

Научно-исследовательская деятельность является важной, но сложной с точки зрения трудо- и времязатратности работы преподавателя, и использование следующих инструментов искусственного интеллекта может ее значительно облегчить: Elicit для поиска и анализа научных статей, Connected Papers для визуализации связей между научными статьями, Scholarcy для автоматического создания резюме научных статей, ResearchRabbit для поиска, организации и обсуждения научных статей, Scite для анализа цитирований в научных статьях, чтобы определить, как статья была воспринята научным сообществом.

При использовании инструментов искусственного интеллекта важно помнить, что использование ИИ требует обучения и адаптации, что на первых порах может потребовать значительных временных и интеллектуальных вложений, но в дальнейшем принесет несомненную пользу и выгоду благодаря экономии времени и сил на автоматизации рутинных задач. ИИ наиболее эффективен, когда используется в комбинации с традиционными методами обучения и преподавания. При этом важно понимать, что ИИ не заменяет преподавателя, а является инструментом, который может помочь ему в выполнении его функций. Преподаватель по-прежнему играет ключевую роль в образовательном процессе, обеспечивая личностное общение, вдохновение и мотивацию студентов. ИИ, в свою очередь, позволяет преподавателю более эффективно использовать свое время и ресурсы, а также предоставлять более качественное и персонализированное обучение.

Таким образом, внедрение ИИ в образование помогает преподавателям автоматизировать рутинные задачи, освобождая время для более глубокой работы с учениками и творческого подхода к преподаванию. Благодаря ИИ, образование становится более доступным и инклюзивным, предлагая адаптивные инструменты для учеников с различными потребностями и стилями обучения. Использование ИИ в образовании способствует развитию критического мышления, навыков решения проблем и цифровой грамотности, необходимых для успешной карьеры в современном мире. Искусственный интеллект, несомненно, обладает огромным потенциалом для трансформации образования, открывая новые горизонты для обучения и развития человеческого капитала. Это означает, что в будущем, ИИ будет играть все более важную роль в создании интерактивных образовательных платформ, виртуальных учителей и персонализированных учебных программ. Таким образом, инвестиции в развитие и внедрение искусственного интеллекта в образовании - это инвестиции в будущее, которые обеспечат конкурентоспособность и процветание нашей страны в эпоху искусственного интеллекта.

Список использованных источников:

1. Зарипов С.С. Автоматизация в сфере образования: цифровые решения для повышения качества обучения / С.С. Зарипов. – в сборнике: Теоретические и практические аспекты формирования и развития «Новой науки». – 2024. – С. 79–82.
2. Wuttke H.D. Integration of remote and virtual laboratories in the educational process / H.D. Wuttke, M. Hamann, K. Henke. – Proceedings of 2015 12th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV). – Bangkok, Thailand, 2015. – P. 157–162. – DOI: 10.1109/REV.2015.7087283.
3. Harmer J. How to teach English. Pearson Education Limited / J. Harmer – 2007. – 288 p.
4. Thornby S. The CELTA Course Teacher's Manual. Cambridge University Press / S. Thornby, P. Watkins. – 2007. – 216 p.

ПРОГРАММА ДЛЯ ПОДБОРА УЧАСТНИКОВ СТУДЕНЧЕСКОЙ ПРОЕКТНОЙ КОМАНДЫ НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

*А.А. Захарова, д.т.н., проф., П.А. Куминов^а, студент
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники,
634045, Томская обл., г. Томск, ул. Ленина, 40
E-mail: ^аpavekum@mail.ru*

Аннотация: приводится модель оценки эффективности проектной команды с учетом социометрических особенностей группы, алгоритм программы и пример работы.

Ключевые слова: формирование проектных команд, математическая модель, генетический алгоритм, задача о назначениях.

Abstract: A mathematical model for assessing the effectiveness of a project team is presented, taking into account the sociometric characteristics of the group, an algorithm and an example of the program execution.

Keyword: Formation of project teams, mathematical model, genetic algorithm, assignment problem.

Проектная деятельность является одной из важнейших форм учебной деятельности студентов. При реализации проектной деятельности в групповой форме зачастую возникает задача формирования команды проекта, обладающей наибольшей эффективностью, поскольку этот фактор оказывает существенное влияние на сроки выполнения и успешность проекта.

Поставим задачу сформировать проектную команду из числа студентов. Эффективность команды оценивается следующей математической моделью:

$$E = \frac{1+Coh}{1+mnpr} \times \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (C_{ij} \times X_{ij}) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где N и M – количество студентов и ролей. C – матрица уровней компетенций, X – матрица, отображающая заняли i-й студент j-ю роль. В дробном коэффициент учитываются предпочтения студентов относительно будущих участников команды: prg – количество отрицательных выборов в команде, а Coh – групповой индекс Морено [1], показывающий сплоченность группы, рассчитывается по формуле:

$$Coh = \frac{A}{\frac{1}{2}N \times (N-1)}, \quad (2)$$

где A – количество взаимных положительных выборов в команде, N – количество участников команды.

Каждая роль должна быть занята одним студентом:

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = 1, \forall i \in \{1, \dots, M\} \quad (3)$$

При этом студент должен занимать не более одной роли:

$$\sum_{j=1}^M X_{ij} \leq 1, \forall i \in \{1, \dots, N\} \quad (4)$$

Также исключаются команды, где хотя бы два участника не хотят видеть друг друга в одной команде, в связи с чем накладывается следующее ограничение:

$$mnpr = 0, \quad (5)$$

где mnpr – количество взаимных негативных выборов.

Уровень компетенций каждого участника лежит в диапазоне [0, 1]. Пример входных данных показан в таблице 1.

Таблица 1

Уровень компетенций потенциальных членов команды

Студент	Frontend	Backend	Analytics
Аня	0,641	0,555	0,431
Ваня	0,976	0,903	0,247
Даня	0,295	0,445	0,453
Таня	0,741	0,852	0,688
Саня	0,474	0,708	0,489

В таблице 2 приведена социоматрица студентов.

Таблица 2

Социоматрица студентов

	Аня	Ваня	Даня	Таня	Саня
Аня	0	-1	1	-1	0
Ваня	0	0	1	0	1
Даня	1	0	0	0	0
Таня	-1	0	1	0	0
Саня	0	0	0	0	0

Значение 0 обозначает, что не имеет предпочтений в выборе, 1 – студент хотел бы быть в команде с обучающимся из столбца, -1 – не хотел бы. Как видно из таблицы у Ани и Тани друг напротив друга стоят -1, поэтому они не могут быть в одной команде. У Ани и Дани напротив друг друга стоят 1, поэтому при расчете эффективности команды с этими двумя студентами, значения параметра A увеличится на 1.

Оптимальное распределение: Аня – Frontend, Саня – Backend, Даня – Analytics. В таком случае суммарный уровень компетенций составит 1,802. Поскольку Аня и Даня хотят работать вместе величина $Coh \approx 0,3$. Отрицательных выборов нет, итоговая эффективность составит 2,4. Рассмотрим команду со следующим распределением: Ваня – Frontend, Таня – Backend, Даня – Analytics. Исключительно по компетенциям эта команда более сильна – величина 2,281. Однако в команде нет положительных взаимных выборов, поэтому итоговая эффективность меньше, чем у предыдущей команды.

Далее была разработана программа, которая на основе входных данных, подобных представленным в таблицах 1 и 2, находит наиболее эффективное распределение студентов. Наличие дробного переменного коэффициента исключает библиотеки линейного программирования. Внимание было обращено на фреймворк эволюционных вычислений DEAP [2], предназначенный для языка Python.

Программа реализует генетический алгоритм [3], ее блок-схема представлена на рис. 1.

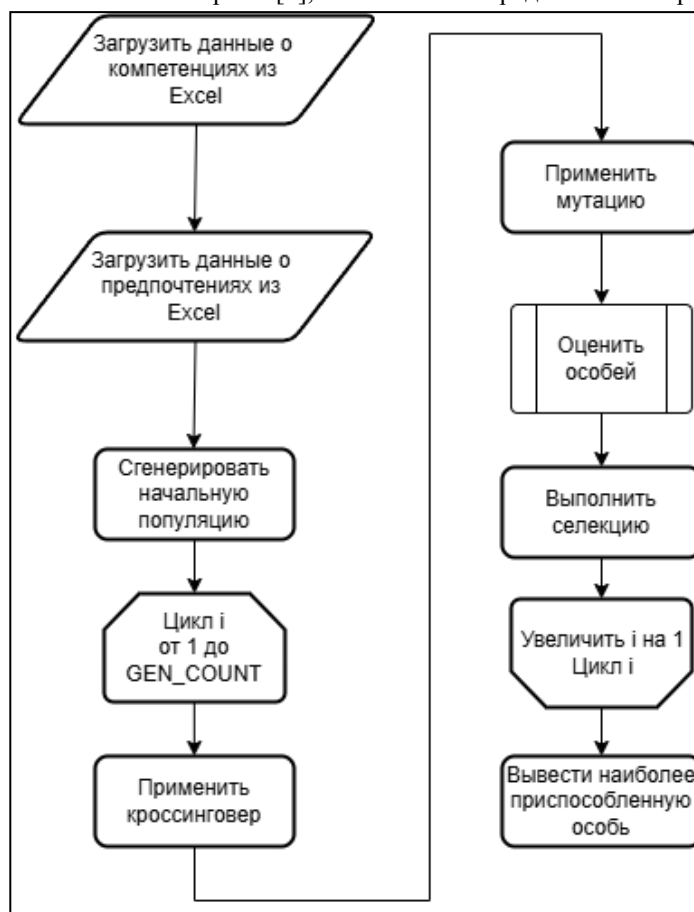


Рис. 1. Блок-схема алгоритма программы

Функция оценки особей вычисляет эффективность по формуле (1), а в случае нарушения ограничений (3), (4) или (5) возвращает значение 0.

Результат работы программы на данных из таблиц 1 и 2 показан на рисунке 2.

```
Команда: эффективность = 2.4027
Frontend → Аня
Backend → Саня
Analytics → Даня
```

Рис. 2. Распределение участников

В дальнейшем планируется доработка программы для вывода различных вариаций распределений – как с уже задействованными участниками в предыдущих особях, так и не участвующих в более эффективных командах.

Список использованных источников:

1. Марковская И.М. Социометрические методы в психологии: учебное пособие / И.М. Марковская. – Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 1999. – 46 с. – Текст: непосредственный.
2. DEAP documentation – DEAP 1.4.1 documentation: сайт. Текст: электронный. – URL: <https://deap.readthedocs.io/en/master/> (дата обращения: 09.04.2025).
3. Мицель А.А. Эвристические методы оптимизации : учебное пособие / А.А. Мицель – Томск : ТУСУР, 2022. – 76 с. – Текст: непосредственный.

НЕЙРОАССИСТЕНТЫ В УПРАВЛЕНИИ БИЗНЕСОМ

Е.В. Полицинская^{1а}, к.пед.н., доц., А.В. Сушко², учитель математики

¹Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

²МБОУ «ООШ № 15 г. Юрги»

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Исайченко, 11

E-mail: ^аKaty031983@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается роль современных нейротехнологий в оптимизации бизнес-процессов, рассматриваются ключевые преимущества и недостатки внедрения нейроассистентов, а также практические рекомендации по их эффективной интеграции в корпоративную среду. Особое внимание уделено вопросам экономии затрат при внедрении нейроассистента.

Ключевые слова: нейроассистенты, искусственный интеллект, бизнес-процессы, автоматизация, экономия затрат, производительность.

Abstract: The article explores the role of modern neurotechnologies in optimizing business processes. It examines the key advantages and disadvantages of implementing neuroassistants, as well as practical recommendations for their effective integration into the corporate environment. Particular attention is paid to issues of cost savings when introducing a neuroassistant.

Keywords: neuroassistants, artificial intelligence, business processes, automation, cost savings, productivity.

Нейроассистенты в управлении бизнесом становятся все более востребованным инструментом, преобразующим операционные процессы и стратегии принятия решений. Они представляют собой не просто модный тренд, а реальную силу, способную оптимизировать затраты, повысить эффективность и открыть новые горизонты для роста. От рутинных задач до сложного анализа данных, нейросети автоматизируют процессы, высвобождая ценное время для руководителей и сотрудников, позволяя им сосредоточиться на стратегических инициативах и инновациях [1].

Термин «нейро» в контексте нейроассистентов связан с использованием нейронных сетей – одной из ключевых технологий в области искусственного интеллекта. Нейронные сети имитируют работу человеческого мозга, состоящего из нейронов, которые обмениваются сигналами между собой. В искусственных нейронных сетях данные проходят через слои нейронов, обрабатываются и преобразуются, что позволяет системе «учиться» на основе больших объемов данных и выполнять сложные задачи, такие как распознавание речи, анализ текста, прогнозирование и принятие решений [2].

Использование нейронных сетей в ассистентах позволяет им не только выполнять простые команды, но и адаптироваться к пользователю, понимать контекст, улучшать свои навыки со временем и даже вести более естественные диалоги. Это делает их более эффективными и полезными в различных сценариях использования, от управления умным домом до помощи в работе и учебе.

Таким образом, приставка «нейро» подчеркивает, что эти ассистенты используют передовые технологии искусственного интеллекта, основанные на нейронных сетях, что отличает их от более простых систем, которые могут выполнять только заранее запрограммированные задачи.

Концепция нейроассистентов и их развитие связаны с достижениями в области искусственного интеллекта и машинного обучения. Технологии, лежащие в основе нейроассистентов, начали активно развиваться в середине XX века, когда ученые и инженеры начали исследовать возможности создания систем, способных имитировать когнитивные функции человека [3, 4].

Одним из ключевых моментов в истории нейроассистентов стало появление нейронных сетей, которые были предложены в 1940-х годах Уорреном Маккаллоком и Уолтером Питтсом. Они разработали модель искусственного нейрона, которая стала основой для создания более сложных нейронных сетей.

Однако значительный прорыв в развитии нейроассистентов произошел в 1950-х и 1960-х годах, когда исследователи начали активно изучать методы машинного обучения и создания экспертных систем. В этот период были разработаны первые программы, способные выполнять простые задачи, такие как распознавание образов и решение логических задач.

С развитием вычислительных мощностей и появлением больших данных в 1990-х и 2000-х годах нейроассистенты стали более сложными и способными решать более широкий спектр задач. В мире существует множество компаний, которые занимаются разработкой нейроассистентов. Перечислим наиболее известные:

1. Apple – разработчик голосового помощника Siri, который впервые появился на iPhone в 2011 году. Siri стал одним из первых массовых нейроассистентов, доступных на мобильных устройствах.

2. Amazon – создатель Alexa, который был представлен в 2014 году вместе с умной колонкой Amazon Echo. Alexa активно используется в умных домах и других устройствах.

3. Google – разработчик Google Assistant, который был запущен в 2016 году. Ассистент доступен на различных устройствах, включая смартфоны, умные колонки и другие гаджеты.

4. Microsoft – создатель Cortana, который был представлен в 2014 году. Cortana изначально был доступен на устройствах с Windows, но позже стал интегрироваться и в другие платформы.

5. Samsung – разработчик Bixby, который был представлен в 2017 году. Bixby используется в смартфонах и других устройствах Samsung.

6. Yandex – российская компания, которая разработала Алису, голосового помощника, запущенного в 2017 году. Алиса доступна на различных устройствах и платформах.

7. Сбер – российский банк, который разработал семейство виртуальных ассистентов Салют, представленных в 2020 году. В их число входят ассистенты Сбер, Джой и Афина.

8. IBM – разработчик Watson Assistant, который используется в различных корпоративных приложениях и сервисах.

9. Tencent – китайская компания, разработавшая Xiaowe, голосового помощника для китайского рынка.

10. Xiaomi – китайский производитель электроники, который разработал Xiao AI, голосового помощника для своих устройств.

Эти компании продолжают активно развивать свои нейро-ассистенты, добавляя новые функции и улучшая их возможности.

В мире бизнеса постоянно идут борьба за эффективное управление финансами, включая затраты на персонал. В этом контексте нейротехнологии становятся все более значимыми. Нейроассистенты могут значительно снизить затраты на персонал, особенно в тех областях, где требуется выполнение рутинных задач.

Нейроассистенты могут быстро обрабатывать большие объемы данных, значительно экономя время пользователей. В отличие от человека, нейроассистенты могут работать круглосуточно, оказывая помощь и поддержку в любое время дня и ночи. Они лишены человеческих эмоций и предубеждений, что делает их решения объективными и основанными исключительно на фактах и данных [5]. При увеличении нагрузки на систему нейроассистент может легко масштабироваться, обрабатывая больше запросов одновременно. Многие современные нейроассистенты адаптируются к индивидуальным предпочтениям и потребностям пользователя, предлагая персонализированные рекомендации и решения. Возможность одновременного выполнения нескольких задач, что особенно полезно в сложных рабочих процессах. Благодаря машинному обучению и искусственному интеллекту нейроассистенты постоянно совершенствуются, повышая качество своей работы [6, 7].

Эти функции делают нейроассистенты незаменимыми инструментами в различных областях, от бизнеса до образования и здравоохранения.

Но самый главный фактор, это экономия на затратах. Стоимость использования нейроассистента по сравнению с сотрудником зависит от многих факторов, таких как область применения, объем задач, сложность работы и продолжительность использования. Однако в целом нейроассистенты могут оказаться дешевле, особенно в долгосрочной перспективе.

Рассмотрим примерные затраты на нейроассистента и сотрудника-человека.

Затраты на нейроассистента:

1. Покупка лицензии: 75 000 руб. в год.

2. Установка и настройка: 37 500 руб. единовременно.

3. Обслуживание и поддержка: 22 500 руб. в год.

Рассчитаем общие ежегодные затраты на нейроассистента: $75\,000 + 37\,500 + 22\,500 = 135\,000$ RUB

Тогда ежемесячные затраты составят:

Ежемесячные затраты = $135\,000 / 12 \approx 11\,250$ руб.

Рассчитаем затраты на сотрудника:

Зарплата: 100 000 рублей в месяц.

Социальные взносы = $0,3 \times 100\,000 = 30\,000$ руб.

Бонусы и премии: предположим, что бонусы и премии составляют 10 % от годовой зарплаты.

Тогда: бонусы и премии = $0,1 \times 100\,000 \times 12 = 120\,000$ руб.

Оплачиваемые отпуска и больничные: обычно это около 20 дней в году. Если предположить, что средняя дневная зарплата равна $100\,000 / 22$ рабочих дня ≈ 4545 рублей, то:

оплачиваемые отпуска и больничные = $20 \times 4545 = 90\,900$ руб.

Обучение и развитие: обучение и повышение квалификации сотрудника может стоить около 25 000 рублей в год.

Теперь рассчитаем общие ежегодные затраты на сотрудника:

Общие затраты = $(100\,000 + 30\,000) \times 12 + 120\,000 + 90\,900 + 25\,000 = 1\,625\,900$ RUB

Тогда ежемесячные затраты составят:

Ежемесячные затраты = $1\,625\,900 / 12 \approx 135\,491$ руб.

Сравним затраты:

Затраты на нейроассистента: 11 250 рублей в месяц.

Затраты на сотрудника: 135 491 рубль в месяц.

Даже при зарплате сотрудника в 100 000 рублей использование нейроассистента остается значительно дешевле.

Но, несмотря на существенную экономию нейроассистенты имеют и свои недостатки. В таблице 1 рассмотрим преимущества и недостатки нейроассистентов для бизнеса.

Таблица 1

Преимущества и недостатки нейроассистентов в бизнесе

Преимущества	Недостатки
Эффективное распределение обязанностей: часть рутинных задач передается машинному обучению, что позволяет снять нагрузку с сотрудников и оптимизировать процессы	Отсутствие человеческой эмпатии: нейроассистента можно лишь запрограммировать на конкретные эмоции, менять он его не сможет
Отсутствие человеческого фактора и, как следствие, ошибок	Личный контакт люди ценят больше, чем взаимодействие с чат-ботом
Качественная работа при любом объёме задач	Не способны на спонтанные решения
Не нужен отпуск: работают 24/7 без выходных	Ограничены в нестандартных ситуациях
Возможность прогнозировать потребительский спрос благодаря конкретным цифрам и аналитике данных	Сложности при построении новой системы – проще внедрить уже имеющуюся базу AI

Таким образом, нейроассистенты обладают значительным потенциалом для оптимизации бизнес-процессов и сокращения расходов. Однако их внедрение требует тщательной подготовки и учета всех возможных преимуществ и недостатков. Важно найти баланс между автоматизацией и сохранением человеческих ресурсов там, где это действительно необходимо.

Список использованных источников:

1. Zhang H. A Review of Neuroassistive Technologies: Current Trends and Challenges / H. Zhang, Y. Wang // Journal of Biomedical Engineering and Informatics. – 2021. – 8 (1). – 1–12.
2. Sánchez-González J. Neural Assistants: Towards a New Era of Human-AI Collaboration / J. Sánchez-González, M.A. Ramírez-Moreno // IEEE Access. – 2020. – 8. – 196943–196958.
3. Chen X. Brain-Computer Interface-Based Neuroassistants: Opportunities and Challenges / X. Chen, Z. Liu, D. Zhang // Frontiers in Neurorobotics. – 2021. – 15 – 643398.
4. Wang L. Deep Learning Approaches for Neuroassistive Devices / L. Wang, B. Yang, Q. Chen // IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering. – 2020. – 28 (9). – 1923–1931.
5. Гордеева Т.А. Этико-правовые проблемы нейроассистивистики / Т.А. Гордеева, Б.А. Прохоров // Философия права. – 2020. – № 3. – С. 34–41.
6. Волков Ю.Е. Анализ эффективности нейроассистивных технологий в условиях удалённой работы / Ю.Е. Волков, К.П. Чижиков // Труд и занятость. – 2021. – № 5. – С. 51–59.
7. Шапошников М.Г. Перспективы интеграции нейроассистентов в системы управления промышленными роботами / М.Г. Шапошников, А.Ю. Смирнов // Автоматизация и управление. – 2021. – № 11. – С. 101–110.

DATA MINING И РИСК-МЕНЕДЖМЕНТ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

А.А. Захарова, д.т.н, проф., А.С. Сарафанникова^а, аспирант
Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аsmmuti@tpu.ru

Аннотация: В данной статье рассмотрена технология интеллектуального анализа данных – Data mining применительно к сфере образования. Показана возможность использования анализа образовательных данных (АОД) для выявления рисков снижения мотивации у студентов технического вуза. Проанализированы этапы управления риском относительно интеллектуального анализа данных, а также стратегии реагирования на риск.

Ключевые слова: Data mining, интеллектуальный анализ данных, анализ образовательных данных, риск-менеджмент, мотивация.

Abstract: This article discusses the technology of intelligent data analysis – Data mining as applied to the field of education. The possibility of using educational data analysis (EDA) to identify risks of decreased motivation among students of a technical university is shown. The stages of risk management in relation to intelligent data analysis, as well as risk response strategies are analyzed.

Keyword: Data mining, Educational Data Mining, risk management, motivation.

Задача повышения качества образования является актуальной, особенно для технических специальностей. Одна из сложностей для оценки качества является трудность выбора критериев, то есть что (или кого) именно должно получить общество, после того, как студент становится выпускником и получает заветный диплом. Например, можно использовать метод экспертных оценок, но его субъективность вызывает много вопросов, как и некоторые другие методы анализа данных. С другой стороны, многие предприятия стали использовать интеллектуальный анализ данных, который позволяет увеличить скорость работы с данными и убрать субъективность относительно анализируемой информации. Также, на наш взгляд, важным аспектом для качества образования является высокий уровень мотивации обучающихся, от которого зависит успешность освоения дисциплины и дальнейшее желание развиваться в выбранной профессии. Поэтому статья направлена на изучение технологии Data mining, использование которой способно повысить качество образования и предотвратить снижение академической мотивации у студентов вузов. Цель статьи будет достигнута с помощью реализации следующих задач: показать возможности интеллектуального анализа данных (ИАД) в образовании и управлении мотивацией; проанализировать возможности ИАД в управлении рисками; рассмотреть этапы управления риском и стратегии реагирования на риск.

Data mining или интеллектуальный анализ данных (простыми словами – добыча данных), начал развиваться в 1980-х годах, но его корни уходят глубже, в области статистики и анализа данных [1]. Концепция извлечения знаний из больших объемов данных была популяризирована в 1990-х годах, когда появились более мощные вычислительные технологии и алгоритмы, позволяющие обрабатывать большие наборы данных. Первые научные публикации на тему Data Mining начали появляться в начале 1990-х годов. Одним из значимых событий считается создание специальной конференции по Data Mining, таких как KDD (Knowledge Discovery in Databases), которая была основана в 1989 году. Технология Data Mining имеет несколько этапов разработки (рисунки 1): 1 – Постановка бизнес-задачи; 2 – Первичное исследование данных; 3 – Подготовка данных для анализа; 4 – Анализ данных; 5 – Интерпретация результатов.



Рис. 1. Этапы использования технологии «Data Mining» [2]

Относительно сферы образования некоторые авторы [1, 2] предлагают дополнить понятие «Data Mining» логичным «Educational Data Mining» (EDM), то есть анализ образовательных данных (АОД). Сфера образования является не менее важной, чем бизнес, так как бизнес обеспечивает экономику страны «здесь и сейчас», но образовательная сфера работает на будущее того же бизнеса, соответственно качество одного и другого находится в прямой зависимости друг от друга.

Ширинкина Е.В. определяет интеллектуальный анализ образовательных данных как процесс нахождения закономерностей в больших наборах данных, включающий методы, находящиеся на пересечении искусственного интеллекта, машинного обучения, статистики и систем баз данных [2].

Любое учебное заведение является сложной социальной системой потому, что практически невозможно предугадать результат, который получится на выходе после принятия того или иного управленческого решения. Поэтому процесс принятия решений может быть автоматизирован с помощью аналитики образовательных данных. Аналитика обучения может помочь выбрать стратегию реагирования на возможные риски в образовательной среде. Описательная аналитика помогает найти затруднение на основе простых данных (отвечает на вопрос – Что произошло?). Например, на основе данных об успеваемости конкретного студента можно выявить отставание по какой-либо дисциплине, то есть выявить одну из возможных причин снижения мотивации. Диагностическая аналитика выясняет, почему проблема возникла, её причину. Статистические методы анализа данных по отчислениям студентов могут дать разбиение причин на классы. Предиктивная аналитика (прогнозная) делает прогноз будущих действий участников образовательного процесса (отвечает на вопрос – Что произойдет дальше?). Например, учитывая опыт отчислений студентов прошлых лет, можно делать предположения о возможных причинах ухода обучающегося из вуза и предпринять попытки устранения негативных факторов, влияющих на процесс обучения. Предписывающая аналитика начинает работать после окончания некоторого учебного периода или курса. Она помогает принимать решения относительно учебного материала (внести изменения в него, создать новые курсы и т. д.) [2].

На наш взгляд, анализ образовательных данных может позволить отслеживать появление отклонений от запланированного результата (в нашем случае снижение академической мотивации) и своевременно предотвращать их с помощью эффективных управленческих решений. В этом и будет заключаться управление рисками или риск-менеджмент: создание системы управления, которая предупреждает вероятные проблемы [Хомутова]. Управление рисками не помогает устранить все возможные риски, а способно достичь некоторого схождения между наличными ресурсами и последствиями принятых решений, устраняя при этом неопределенность окружающей образовательной среды. [3].

Из таблицы 1 видно, что каждому из этапов управления рисками может соответствовать определенная аналитика данных. После проведения интеллектуального анализа данных можно принимать решения относительно стратегии реагирования на риск. Согласно [4] возможны четыре вида таких стратегий: уклонение от риска, передача риска, снижение риска, принятие риска. Каждая из стратегий предполагает активную или пассивную реакции. Уклонение больше относится к пассивным действиям, когда риск остается неизменным, он не исчезает, но меняется траектория развития деятельности. Передача риска предполагает задействование третьей стороны для избежания последствий риска. Снижение риска – это активные действия, когда с помощью управленческих решений возможные риск уменьшается. И последняя – принятие риска, когда никто не стремится избежать или уменьшить риск, но продолжает деятельность в имеющихся «рисковых» условиях.

Таблица 1

Этапы управления риском в соотнесении с видами аналитики образовательных данных

Этапы управления рисками	Виды аналитики образовательных данных
1. Планирование управления рисками – выбор подходов и планирование деятельности по управлению рисками проекта.	Описательная аналитика помогает найти затруднение на основе простых данных (отвечает на вопрос – Что произошло?).
2. Идентификация рисков – определение рисков, способных повлиять на проект, и документирование их характеристик.	
3. Качественная оценка рисков – качественный анализ рисков и условий их возникновения с целью определения их влияния на успех проекта.	
4. Количественная оценка – количественный анализ вероятности возникновения и влияния последствий рисков на проект.	Диагностическая аналитика выясняет, почему проблема возникла, её причину.

Этапы управления рисками	Виды аналитики образовательных данных
5. Планирование реагирования на риски – определение процедур и методов по ослаблению отрицательных последствий рисков событий и использованию возможных преимуществ.	Предиктивная аналитика делает прогноз будущих действий участников образовательного процесса (отвечает на вопрос – Что произойдет дальше?).
6. Мониторинг и контроль рисков – мониторинг рисков, определение остающихся рисков, выполнение плана управления рисками проекта и оценка эффективности действий по минимизации рисков.	Предписывающая аналитика начинает работать после окончания некоторого учебного периода или курса. Она помогает принимать решения относительно учебного материала (внести изменения в него, создать новые курсы и т. д.).

Если мы говорим об управлении риском снижения академической мотивации студентов, то в первую очередь стоит отметить, что первичным звеном в структуре мотивации являются потребности. Авторы, изучающие проблему академической мотивации, отмечают, что преподаватели должны знать потребности студентов [5], чтобы понимать, какую образовательную траекторию выстроить для обучающегося. Конечно, в рамках образовательного учреждения выявить потребности каждого студента практически невозможно. Но чем больше мы имеем информации об особенностях поведения студента и адаптации в учебной среде [6], тем проще нам исключить появление риска или сгладить последствия его возникновения. В этом случае АОД может помочь проанализировать потребности студентов относительно их возрастных особенностей, ведущей деятельности, социальной ситуации развития и значимых людей. Конечно, с точки зрения бизнеса отследить потребности и интересы клиентов намного проще: взять данные из социальных сетей, маркетплейсов и других альтернативных источников, и выстроить потребностно-мотивационный профиль покупателя. С точки зрения сбора информации о студентах может возникнуть этический и технический вопросы, но опыт других университетов доказывает [7], что возможно выстроить сбор подобных данных.

Итак, в современном образовании активно идут процессы цифровизации. Поэтому возможности использования «умных» технологий в образовательном процессе расширяются. Технология Data mining, в частности, является примером того, что возможность сбора и использования академических данных студентов, могут помочь выявить факторы и причины снижения мотивации в вузе, а также проанализировать найденные факторы с точки зрения управления рисками. В свою очередь своевременное определение снижения мотивации, открывает возможность прогнозирования негативных сценариев развития учебной траектории студента и реагирования на них в соответствии с подходящей стратегией риска.

Список использованных источников:

1. Попова Н.А. Основные направления интеллектуального анализа данных в сфере образования / Н.А. Попова, Е.С. Егорова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2024. – Т. 26. – № 5. – С. 94–106.
2. Ширинкина Е.В. Интеллектуальный анализ образовательных данных / Е.В. Ширинкина // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика и управление. – 2021. – № 3. – С. 179–188.
3. Хомутова Е.Г. Модель управления рисками для обеспечения качества образования в университете / Е.Г. Хомутова, А.А. Спиридонова, Н.И. Прокопов // Перспективы науки и образования. – 2022. – № 2 (56). – С. 670–685.
4. Ехлаков Ю.П. Управление программными проектами / Ю.П. Ехлаков. – 2015.
5. Казак А.Ю. Современные методы оценки проектных рисков: традиции и инновации / А.Ю. Казак, Ю.Э. Слепухина // Вестник УрФУ. Серия: Экономика и управление. – 2013. – № 2. – 2013. – Т. 2. – С. 13–26.
6. Сарафанникова А.С. Особенности мотивации студентов технических вузов / А.С. Сарафанникова, А.А. Захарова // Современное образование: интеграция образования, науки, бизнеса и власти. Приоритетные ориентиры высшего образования в России: стратегическое партнёрство и технологический суверенитет: материалы международной научно-методической конференции: в 2 ч., Томск, 25–26 января 2024 года. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2024. – С. 77–81.
7. Нечай А.А. Анализ использования информационных систем для мониторинга образовательной деятельности в вузе //Азимут научных исследований: педагогика и психология / А.А. Нечай, А.В. Ничагина. – 2023. – Т. 12. – № 4. – 45 с.

МОДЕЛИ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА ПЕРСОНАЛА

Е.В. Телипенко, к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: telipenko@tpu.ru

Аннотация: в статье приводится расчёт комплексной оценки результатов труда сотрудников. Методика включает пошаговую процедуру оценки профессиональных и личных качеств, уровня квалификации, сложности выполняемых работ и результатов труда. В конце предлагается процедура комплексной оценки на основе учтённых ранее показателей, а также анализ полученных оценок. Предложенная методика является математической базой разработанной информационной системы на платформе 1С: Предприятие 8.

Ключевые слова: комплексная оценка, результаты труда, информационная система.

Abstract: the article provides a calculation of a comprehensive assessment of the performance results of employees. The methodology includes a step-by-step procedure for assessing professional and personal qualities, the level of qualification, the complexity of the work performed and the results of labor. At the end, a procedure for a comprehensive assessment based on the previously taken into account indicators is proposed, as well as an analysis of the obtained assessments. The proposed methodology is the mathematical basis of the developed information system based on the 1C:Enterprise 8 platform.

Keywords: comprehensive assessment, performance results, information system.

Методика расчета

Методика расчета оценки имеет следующую пошаговую структуру:

1. Оценить профессиональные и личные качества сотрудников – П.

Для определения величины показателя П производится оценка степени проявления каждого из признаков с учетом их удельной значимости, определяемой экспертным путем, отдельно для руководителей и специалистов.

Каждый признак профессиональных и личных качеств имеет три уровня проявления и оценивается по принципу отклонения от среднего значения. При соответствии конкретного признака среднему уровню его количественная оценка равна 1, выше среднего 1,25, ниже среднего – 0,75. Оценка по всей совокупности признаков, определяющих профессиональные и личные качества работников, производится путем суммирования оценок признаков, умноженных на их удельную значимость.

2. Оценить уровень квалификации работников – К.

Для оценки К принимается единый набор признаков, относящихся ко всем категориям работников: уровень специального образования и стаж работы по специальности.

По уровню образования все работники распределяются на две группы:

I гр. – имеющие среднее специальное образование;

II гр. – имеющие высшее или незаконченное высшее (IV–V курс вуза) образование.

В соответствии с тем, в какую из указанных групп попадает работник, ему присваивается количественная оценка по этому признаку, величина которой составляет 1 или 2. В зависимости от стажа работы по специальности работники распределяются на четыре группы по каждому уровню образования.

3. Оценить сложность выполняемых работ – С.

Для оценки С по каждому признаку (характер работ, их разнообразие, степень самостоятельности при их выполнении, масштаб и сложность руководства, дополнительная ответственность) установлены значения, обусловленные постепенным усложнением работ (от менее сложных к более сложным).

4. Оценить результаты труда – Р.

Для определения величины Р производится оценка уровня (степени) проявления каждого из следующих признаков:

– количество выполненных плановых и внеплановых работ (заданий);

– качество выполненных работ (заданий);

– соблюдение сроков выполнения работ (заданий).

Количественные оценки по каждому из признаков определяются путем сопоставления фактически достигнутых результатов с критериями оценки в виде полученных заданий, установленных сроков, среднего уровня достигнутых результатов по группе работников и др.

Каждый признак имеет три уровня (степени) проявления и оценивается по принципу отклонения от среднего значения по каждой должностной группе.

При соответствии конкретного признака среднему уровню его количественная оценка равна 1, выше среднего 1,25, ниже среднего 0,75.

5. Дать комплексную оценку результатов труда – Д.

Комплексная оценка Д получается на основе учета всех рассмотренных выше показателей оценки – профессиональных и личных качеств, уровня квалификации, сложности работ и результатов труда.

6. Проанализировать полученные оценки.

На этом этапе, пройдя все расчеты, и оценки, происходит анализ оценок результативности труда сотрудников, где уже решаются дальнейшие действия по сотруднику.

Программное обеспечение

Предложенная методика стала математической базой для информационной системы на платформе 1С: Предприятие 8. Система включает в себя 4 справочника:

1. Справочник «Сотрудники» хранит список всех сотрудников предприятия.

2. Справочник «Признаки» хранит список признаков определяющих профессиональные и личные качества руководителей и сотрудников с удельными значимостями и их оценками с учетом значимостей.

3. Справочник «Коэффициент сложности работ» содержит список коэффициентов сложностей работ по должностям сотрудников (рис. 1).

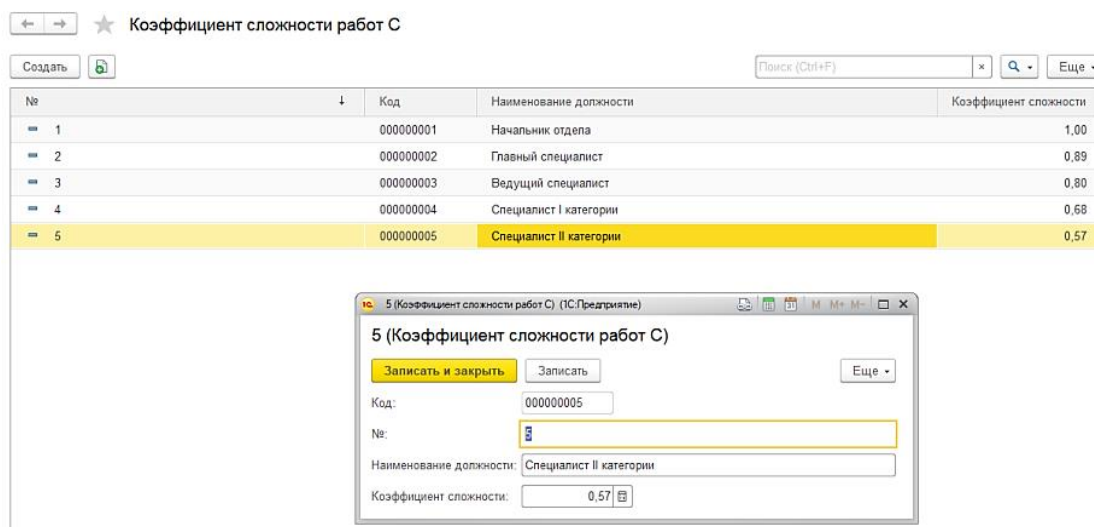


Рис. 1. Справочник «Коэффициент сложности работ»

4. Справочник «Признаки результатов труда» хранит список признаков результативности труда сотрудников (рис. 2).

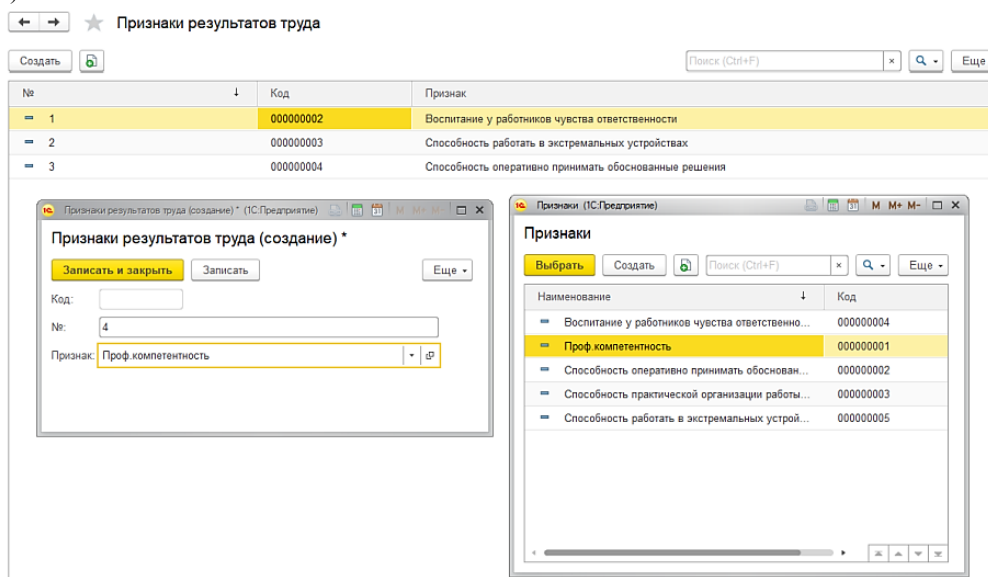


Рис. 2. Справочник «Признаки результатов труда»

Основные документы системы:

1. Документ «Оценка признаков» содержит информацию о удельной значимости признака и оценке признака с учетом удельной значимости.
2. Документ «Оценки уровня квалификации» служит для расчета оценки уровня квалификации персонала предприятия. Интерфейс документа «Оценки уровня квалификации» изображен на рисунке 3.

N	Первая группа среднее специальное образование	Вторая группа высшее и незаконченное высшее образование
1	0-9	0-9

Рис. 3. Документ «Оценки уровня квалификации»

Расчет оценки уровня квалификации работников (К) Для оценки принимается единый набор признаков, относящихся ко всем категориям работников: уровень специального образования и стаж работы по специальности.

По уровню образования все работники распределяются на две группы: I гр. – имеющие среднее специальное образование; II гр. – имеющие высшее или незаконченное высшее (IV–V курс вуза) образование.

В соответствии с тем, в какую из указанных групп попадает работник, ему присваивается количественная оценка по этому признаку, величина которой составляет 1 или 2. В зависимости от стажа работы по специальности работники распределяются на четыре группы по каждому уровню образования.

Документ «Оценки сложности работ» содержит в себе оценки сложностей работ по среднему коэффициенту. Представлен на рисунке 4.

N	Первая группа среднее специальное образование	Вторая группа высшее и незаконченное высшее образование
1	0-9	0-9

Рис. 4. Документ «Оценки сложности работ»

Документ «Оценки результатов труда» содержит в себе информацию о расчетах оценки результатов труда.

Документ «Расчет комплексной оценки» содержит в себе информацию о всех ранее проведенных работах и выдает комплексную оценку сотрудника. Документ представлен на рисунке 5.

← → ☆ Расчет комплексной оценки Д

Создать [иконка]

Поиск (Ctrl+F) x

Дата	Номер ↓	Сотрудник	Признак	Уровень квалифи...	Результаты труда	Сложность работ
13.06.2023 13:23...	000000001	Антоненко Дмитр...	Способность опе...	Оценки уровня к...	Оценки результат...	4
13.06.2023 13:23...	000000002	Лобанов Юрий ...	Проф.компетентн...	Оценки уровня к...	Оценки результат...	1

Комплексная оценка

1,39

0,78

Рис. 5. Документ «Расчет комплексной оценки»

В системе один итоговый отчет:

1. Отчет «Итоговый отчет» выводит форму отчета, в которой по сотрудникам дается общая оценка на основе расчета всех оценок. Форма отчета представлена на рисунке 6.

← → ☆ Итоговый отчет

► Сформировать

Сотрудник: Мясников Андрей Юрьевич

Оценка сотрудника

Сотрудник	Итоговая Оценка
Оценка общая	1,03
Оценка уровня квалификации	0,45
Оценка сложности работ	0,55
Оценка результатов труда	0,375
Оценка признаков	0,25

Рис. 6. Отчет «Итоговый отчет»

Заключение

В заключение стоит отметить, что предложенная методика расчёта оценки сотрудников стала основой для информационной системы на платформе 1С:Предприятие 8. Система включает в себя несколько справочников и ключевых документов, которые позволяют комплексно оценить результаты труда работников. На основе этих данных можно провести анализ эффективности работы сотрудников и определить дальнейшие шаги в отношении каждого из них.

Список использованных источников:

1. Спиридонова С.Н. Оценка результативности труда персонала: проблемы и возможности повышения / С.Н. Спиридонова // Государственное управление. Электронный вестник. – 2006. – № 8. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-rezultativnosti-truda-personala-problemy-i-vozmozhnosti-povysheniya> (дата обращения: 10.04.2025).
2. Петрова И.Ю. Оценка результатов труда персонала как ключевой фактор, определяющий эффективность труда / И.Ю. Петрова // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2010. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-rezultatov-truda-personala-kak-klyuchevoy-faktor-opredelyayuschiy-effektivnost-truda> (дата обращения: 10.04.2025).

СОЗДАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ «СИМУЛЯЦИЯ ОТРАЖЕНИЯ И ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА» НА C# WINFORMS

Е.П. Теслева², к.ф.-м.н, доц., Е.А. Ткачев¹, ученик 9 класса
¹МБОУ «Лицей города Юрги»

652055, Кемеровская обл., Юрга, ул. Кирова, 7

²Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

Аннотация: Статья описывает процесс создания приложения для симуляции отражения и преломления света с использованием языка программирования C# и платформы Windows Forms (WinForms). Приложение предназначено для визуализации взаимодействия света на границе двух сред, имеющих разные коэффициенты преломления. В статье рассмотрены основные шаги разработки.

Ключевые слова: Windows Forms Application, C#, разработка приложения, физика, отражение света, преломление света, VisualStudio.

Abstract: The article describes the process of creating an application for simulating the reflection and refraction of light using the C# programming language and the Windows Forms platform (WinForms). The application is designed to visualize the interaction of light at the boundary of two media having different refractive coefficients. The article discusses the main development steps.

Keywords: Windows Forms Application, C#, application development, physics, light reflection, light refraction, Visual Studio.

Понимание поведения света при взаимодействии с различными средами является важной частью физики. Симуляция отражения и преломления света позволяет более наглядно иллюстрировать эти принципы. В данной статье представлен пошаговый процесс создания приложения для симуляции отражения и преломления света с использованием языка программирования C# и платформы Windows Forms (WinForms). Приложение предназначено для визуализации поведения света на границе между двумя средами с разными коэффициентами преломления.

Цель данной работы заключается в разработке и реализации приложения для симуляции отражения и преломления света с использованием языка программирования C# и платформы Windows Forms (WinForms).

В программе использовались следующие методы:

Метод обработчика события нажатия на кнопку `btnSimulate``:

1. Сначала проверяется, успешно ли удалось преобразовать введенные пользователем значения для угла падения (`txtAngleOfIncidence``), коэффициента преломления первой среды (`txtRefractiveIndex1``) и коэффициента преломления второй среды (`txtRefractiveIndex2``) в тип данных `float``.

2. Если все три значения успешно преобразованы и введенный угол падения не превышает 90 градусов, то вызывается метод `SimulateLightBehavior``, передавая ему в качестве параметров угол падения, коэффициент преломления первой и второй сред.

3. Если введенный угол падения больше 90 градусов, то выводится сообщение об ошибке с просьбой ввести угол падения меньше 90 градусов.

4. Если введенные значения не удалось успешно преобразовать в тип `float``, то также выводится сообщение об ошибке с просьбой ввести корректные значения.

Этот метод предназначен для обработки ввода и запуска симуляции поведения света на границе двух сред.

Метод `SimulateLightBehavior``, который используется для расчета угла отражения и угла преломления света на границе двух сред:

1. Угол падения, коэффициент преломления первой среды и коэффициент преломления второй среды передаются в качестве параметров функции.

2. Угол падения переводится из градусов в радианы, затем рассчитывается угол отражения (равный углу падения, но с противоположным знаком).

3. С помощью закона Снеллиуса вычисляется синус угла преломления.

4. Если $\sin$ угла преломления превышает 1 (что теоретически невозможно), или меньше – 1 (что означает полное отражение), то угол преломления устанавливается в NaN.

5. В противном случае для угла преломления рассчитывается обратное синусное значение.

6. Углы отражения и преломления переводятся обратно из радиан в градусы.

7. Значения угла отражения и угла преломления (если они были рассчитаны) устанавливаются в соответствующие текстовые поля `txtAngleOfReflectionResult``.

Этот метод является частью функционала симуляции поведения света на границе двух сред и позволяет рассчитать углы отражения и преломления в соответствии с законами оптики.

Метод 'DrawRays', который используется для визуализации лучей света и их отражения/преломления на границе двух сред:

1. Создается объект 'Bitmap' для отображения графики на контроле 'pictureBox' заданного размера.
2. Создается объект 'Graphics' для рисования на ранее созданном 'Bitmap'.
3. Фон изображения очищается в белый цвет.
4. Вычисляется центр изображения 'pictureBox'.
5. Вызывается функция 'DrawBoundary', которая рисует границу между двумя средами с заданными коэффициентами преломления.
6. Вызывается функция 'DrawPerpendicular', которая рисует перпендикуляр к границе сред из центра изображения.
7. Вызывается функция 'DrawArrow' для рисования падающего луча (красный цвет), отраженного луча (синий цвет) и, если угол преломления рассчитан, преломленного луча (зеленый цвет).
8. Результат рисования сохраняется в 'pictureBox'.

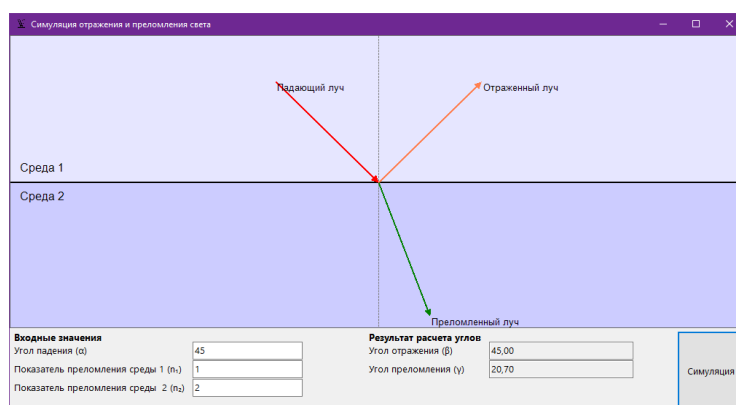


Рис. 1. Основной интерфейс программы

Этот метод предназначен для визуализации процесса отражения и преломления света на границе двух сред и позволяет наглядно отобразить перемещение лучей света при изменении угла падения и коэффициентов преломления.

Метод 'DrawBoundary', который рисует границу между двумя средами с заданными коэффициентами преломления на графике:

1. Создается объект 'Pen' с черным цветом и толщиной линии 2.
2. Вычисляются цвета 'color1' и 'color2' для двух разных сред на основе их коэффициентов преломления. Цвета делаются светлее в зависимости от значений коэффициентов преломления.
3. Создается 'SolidBrush' с цветом 'color1', и используя его, закрашивается верхняя половина графика для первой среды.
4. Создается 'SolidBrush' с цветом 'color2' и закрашивается нижняя половина графика для второй среды.
5. Рисуются линия границы между двумя средами посередине изображения.

Этот метод визуализирует границу между двумя средами на графике, используя цвета, зависящие от коэффициентов преломления каждой среды, и разделяя график на две части для наглядного отображения перехода света между средами.

Метод 'DrawArrow', который рисует стрелку на графике с заданными параметрами:

1. Параметры метода включают графический объект 'g', начальную точку 'startPoint', угол поворота 'angle', цвет стрелки 'color', подпись 'label', флаги 'isRefracted', 'isIncident' и 'isReflected'.
2. Вычисляется длина стрелки как 200 единиц.
3. В зависимости от флагов 'isRefracted', 'isIncident' и 'isReflected', вычисляются конечные координаты стрелки. Если это преломленный луч, координаты рассчитываются в соответствии с углом. Если это падающий луч, направление меняется.
4. После вычисления координат, рисуется стрелка от начальной точки до конечной точки с использованием заданного цвета 'color' и подписи 'label'.
5. Функция рисует стрелки для различных типов лучей (падающий, отраженный, преломленный) в зависимости от переданных параметров и угла поворота.

Список использованных источников:

1. Гуриков С.Р. Введение в программирование на языке Visual C#: учебное пособие / С.Р. Гуриков. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2020. – 447 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – ISBN 978-5-00091-458-8. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1092167> (дата обращения: 23.03.2025). – Режим доступа: по подписке.
2. Мурадханов С.Э. Разработка на языке C# приложений с графическим интерфейсом: использование Windows Forms: учебник / С.Э. Мурадханов. – Москва: Изд. Дом НИТУ «МИСиС», 2019. – 396 с. – ISBN 978-5-907061-36-1. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1232758> (дата обращения: 23.03.2025). – Режим доступа: по подписке.
3. Хорев П.Б. Объектно-ориентированное программирование с примерами на C#: учебное пособие / П.Б. Хорев. – Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2023. – 200 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-00091-713-8. – Текст: электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1895650> (дата обращения: 23.03.2025). – Режим доступа: по подписке.

ОЦЕНКИ УРОВНЯ АДАПТАЦИИ СТУДЕНТОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

*О.Н. Фисоченко^а, к.т.н., доц., С.В. Лигачев, студент
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аfisochenko@tpu.ru*

Аннотация: В данной статье предложен алгоритм, на основе метода нечетких множеств, который позволяет успешно классифицировать уровень адаптации студентов для любого набора исходных признаков.

Ключевые слова: адаптация студентов, оценка уровня адаптации, метод нечетких множеств

Abstract: This article proposes an algorithm based on the fuzzy set method, which allows you to successfully classify the level of adaptation of students for any set of initial features.

Keyword: student adaptation, adaptation level assessment, fuzzy set method

В данном исследовании для диагностики уровня адаптации студентов использован метод нечетких множеств. Объектом классификации является уровень адаптации студентов.

Для выбора вариантов, измеряемых с помощью нечетких параметров, используются различные методы – ранжирование альтернатив на множестве лингвистических оценок, многокритериальный выбор на основе нечеткого отношения предпочтения, нечеткий вывод на множестве правил-продукций и т. д.

Обобщенная оценка представлена в виде:

$$\mu_k = \left(\sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_{i,k} \right) / n ,$$

где k – номер объекта, i – номер признака, λ_i – вес i – го признака; $\mu_{i,k}$ – значение функции принадлежности i – го признака x_i для i – го признака k – го объекта; n – количество признаков.

Функции принадлежности формируются на основе метода интервальных оценок (рис. 1).

Алгоритм построения классификационной модели включает в себя следующие этапы:

1. Определение перечня признаков $y=(y_1, \dots, y_j, \dots, y_n)$, характеризующих объект.
2. Определение диапазона значений каждого признака.
3. Задание значимости w_j каждого признака в общей оценке объекта.
4. Определение перечня значений лингвистической переменной, применяемых для оценки качества и в дальнейшем обозначаемые как классы $K=(K_1, \dots, K_s, \dots, K_m)$.
5. Задание функции принадлежности каждому классу. Выбирается форма функции принадлежности, характеризующая нечеткую неопределенность границ между соседними классами. Диапазон значений каждого признака делится на m частей – по числу классов[4].

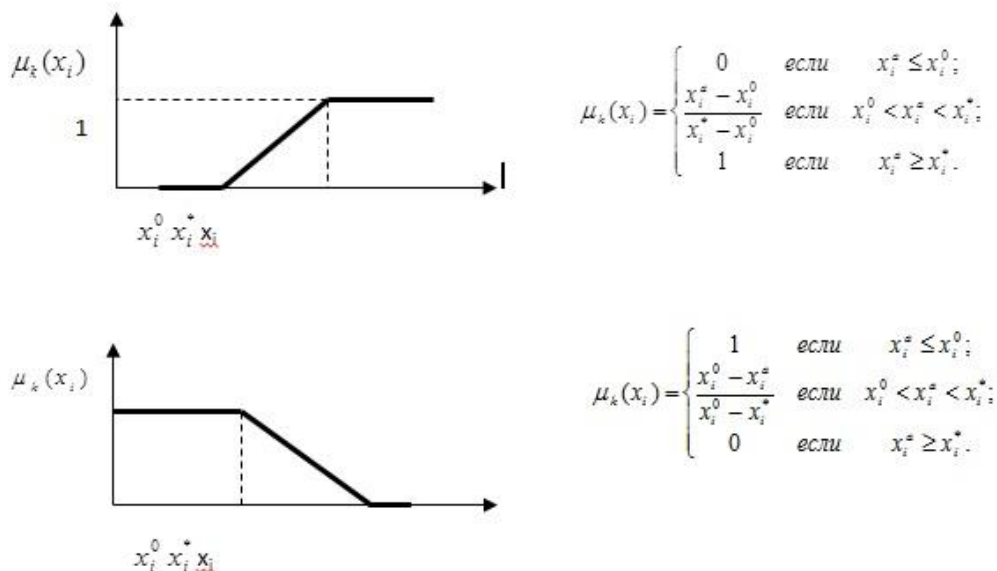


Рис. 1. Функции принадлежности

Процедура классификации

1. Предъявляется набор значений признаков

$$Y(x) = (y_1(x), \dots, y_j(x), \dots, y_n(x)).$$

2. Значение $y_j(x)$ подставляется в функции принадлежности каждому классу, сформированному для j -го признака, $j = 1, \dots, n$.

3. В результате получаем вектора принадлежности объекта каждому из классов.

4. Рассчитывается мера принадлежности классифицируемого объекта s -му классу:

$$P(K_s) = \sum_{j=1}^n w_j \mu_{s,j}(x).$$

5. Определяется класс, которому объект x принадлежит в наибольшей степени:

$$K^* = \arg(\max\{P(K_1), \dots, P(K_s), \dots, P(K_m)\}).$$

Пересчет значения $y_j(x)$ в диапазон $[\mu_k, \mu_n]$ оси ординат осуществляется с помощью коэффициента

$$\frac{y_j - y_{j,i}}{y_{j,k} - y_{j,i}} \text{ для восходящей стороны трапеции и коэффициента } 1 - \frac{y_j - y_{j,i}}{y_{j,k} - y_{j,i}} \text{ для нисходящей стороны трапеции.}$$

Общая формула расчета значения функции $\mu_{s,j}(x)$ по значению $y_j(x)$ для любой части трапециевидальной формы имеет вид:

$$\mu_{s,j}(x) = \frac{y_j(x) - y_{j,n}}{y_{j,k} - y_{j,n}} \cdot (\mu_k - \mu_n) + \mu_n.$$

В данном исследовании по оценке уровня адаптации студентов использован трехуровневый классификатор состояний с трапециевидными функциями принадлежности. Классификатор уровня адаптации студентов представлен функциями:

$\mu_1(x)$ – неудовлетворительный уровень адаптации (дезадаптация);

$\mu_2(x)$ – удовлетворительный уровень адаптации;

$\mu_3(x)$ – хороший уровень адаптации.

Уровни адаптации студентов:

Хороший уровень адаптации – положительное отношение к учебе, адекватная реакция на требования, предъявляемые преподавателями, глубокое и полное усвоение материала, благоприятный социальный статус в коллективе.

Удовлетворительный уровень адаптации – положительное отношение к вузу (обучение не вызывает отрицательных эмоций), понимание и усвоение учебного материала, вполне благополучный социальный статус.

Неудовлетворительный уровень адаптации – преобладание отрицательного настроения, жалобы на здоровье, отсутствие способности самостоятельно работать, необходимость постоянного внешнего контроля, отсутствие друзей в группе. Данный уровень соответствует неуспешной адаптации (дезадаптация).

Приведем результаты оценки уровня адаптации иностранных студентов методом нечеткой логики по некоторым показателям, с наибольшей информативностью. Были построены функции принадлежности каждому классу для 20 самих информативных признаков, определенных на этапе формирования системы показателей оказывающих влияние на адаптацию иностранных студентов. Некоторые из них представлены на рисунке 2–3. Оценки некоторых студентов относящихся к адаптированной группе и к группе с низким уровнем адаптации приведены в таблице 1.

Таблица 1

Показатели адаптации

№	Показатели	Код студента						
		Ст1	Ст2	Ст3	Ст4	Ст5	Ст6	Ст7
1	Контроль	45	35	39	31	19	18	23
2	Индекс общей адаптивности	263	238	217	189	189	171	143
3	Психическое здоровье	84	55	84	68	64	76	56
4	Ригидность	6	4	10	13	9	18	15
5	Материально-обеспеченная жизнь	1	3	1	6	6	3	7
6	Семейная жизнь	65	58	67	55	55	53	52
7	Индекс расхождения «ценность-доступность»	15	36	22	46	48	50	62
8	Личная тревожность	18	25	30	39	49	33	45
9	Достижения	51	37	40	42	42	37	33
10	Давление	18	19	28	64	69	77	73
11	Уровень депрессии	27	29	39	59	70	64	67
12	Счастливая семейная жизнь	1	1	3	7	10	6	8
13	Спонтанность	3	5	3	2	6	5	7
14	Качество жизни	48	50	56	46	42	41	42
15	Тревожность	6	4	8	13	9	18	15
16	Уверенность в себе	1	3	4	6	5	2	7
17	Вовлеченность	51	47	47	38	36	40	35
18	Ревматический фактор	4	2	6	16	23	17	24
19	Увлечения	60	51	53	64	64	46	44
20	Высокое материальное положение	55	39	37	39	39	42	49

Диапазон значений для каждого признака определен в рамках методик, используемых для тестирования уровня адаптации. Определяющие признаки будут равнозначными: $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = w_9 = w_{10} = w_{11} = w_{12} = w_{13} = w_{14} = w_{15} = w_{16} = w_{17} = w_{18} = w_{19} = w_{20} = 0,05$.

Функции принадлежности для показателя «Контроль»:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 20,7 \\ (24,7-x)/4, & 20,7 \leq x < 24,7 \\ 0, & 24,7 \leq x \leq 51 \end{cases}.$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 20,7 \\ (x-20,7)/4, & 20,7 \leq x < 24,7 \\ 1, & 24,7 \leq x < 35,6 \\ (39,6-x)/4, & 35,6 \leq x < 39,6 \\ 0, & 39,6 \leq x \leq 51 \end{cases}.$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 35,6 \\ (x - 35,6)/4, & 35,6 \leq x < 39,6 \\ 1, & 39,6 \leq x \leq 51 \end{cases}$$

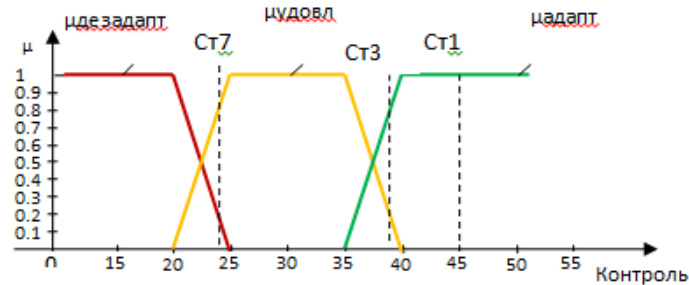


Рис. 2. Функция принадлежности для показателя «Контроль»

Функции принадлежности для показателя «Ригидность»:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 13 \\ (x - 13) / 3, & 13 \leq x < 16 \\ 1, & 16 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 0, & 0 \leq x < 6 \\ (x - 6) / 3, & 6 \leq x < 9 \\ 1, & 9 \leq x < 13 \\ (16 - x) / 3, & 13 \leq x < 16 \\ 0, & 16 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

$$\mu_3(x) = \begin{cases} 1, & 0 \leq x < 6 \\ (9 - x) / 3, & 6 \leq x < 9 \\ 0, & 9 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

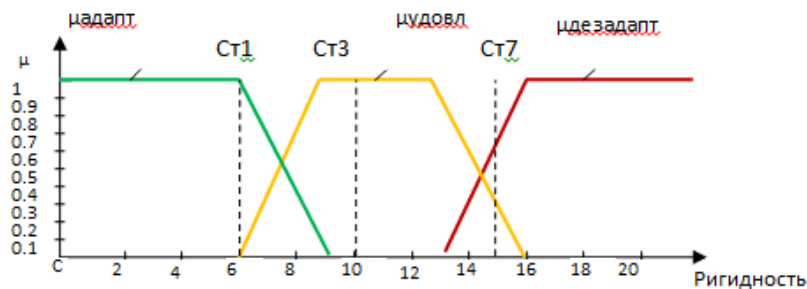


Рис. 3. Функция принадлежности для показателя «Ригидность»

Приведем расчеты принадлежности грациям студента № 3 (таблица 1). Определим его как x_3 . Определяющие признаки будут равнозначными: $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = w_9 = w_{10} = w_{11} = w_{12} = w_{13} = w_{14} = w_{15} = w_{16} = w_{17} = w_{18} = w_{19} = w_{20} = 0,05$.

1. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента №3 классу К1(низкий уровень): $\mu_{1,1}(x_3) = 0$; $\mu_{1,2}(x_3) = 0$; $\mu_{1,3}(x_3) = 0$; $\mu_{1,4}(x_3) = 0$; $\mu_{1,5}(x_3) = 0$; $\mu_{1,6}(x_3) = 0$; $\mu_{1,7}(x_3) = 0$; $\mu_{1,8}(x_3) = 0$; $\mu_{1,9}(x_3) = 0$; $\mu_{1,10}(x_3) = 0$; $\mu_{1,11}(x_3) = 0$; $\mu_{1,12}(x_3) = 0$; $\mu_{1,13}(x_3) = 0$; $\mu_{1,14}(x_3) = 0$; $\mu_{1,15}(x_3) = 0$; $\mu_{1,16}(x_3) = 0$; $\mu_{1,17}(x_3) = 0$; $\mu_{1,18}(x_3) = 0$; $\mu_{1,19}(x_3) = 0$; $\mu_{1,20}(x_3) = 0$.

2. Определяем принадлежность уровня студента № 3 классу K1 (низкий уровень) $P(K1) = 0$.

3. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента № 3 классу K2 (средний уровень): $\mu_{2,1}(x_3) = 0,15$; $\mu_{2,2}(x_3) = 0,61$; $\mu_{2,3}(x_3) = 0$; $\mu_{2,4}(x_3) = 1$; $\mu_{2,5}(x_3) = 0$; $\mu_{2,6}(x_3) = 0$; $\mu_{2,7}(x_3) = 0$; $\mu_{2,8}(x_3) = 0,5$; $\mu_{2,9}(x_3) = 0,66$; $\mu_{2,10}(x_3) = 1$; $\mu_{2,11}(x_3) = 0$; $\mu_{2,12}(x_3) = 0$; $\mu_{2,13}(x_3) = 0$; $\mu_{2,14}(x_3) = 0$; $\mu_{2,15}(x_3) = 0,5$; $\mu_{2,16}(x_3) = 0$; $\mu_{2,17}(x_3) = 0$; $\mu_{2,18}(x_3) = 0,5$; $\mu_{2,19}(x_3) = 0,5$; $\mu_{2,20}(x_3) = 1$.

4. Определяем принадлежность уровня адаптации студентки студента № 3 к классу K2 (средний уровень): $P(K2) = 0,05 \cdot 0,15 + 0,05 \cdot 0,61 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,66 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 1 = 0,321$.

5. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента № 3 классу K3 (высокий уровень): $\mu_{3,1}(x_3) = 0,85$; $\mu_{3,2}(x_3) = 0,39$; $\mu_{3,3}(x_3) = 1$; $\mu_{3,4}(x_3) = 0$; $\mu_{3,5}(x_3) = 1$; $\mu_{3,6}(x_3) = 1$; $\mu_{3,7}(x_3) = 1$; $\mu_{3,8}(x_3) = 0,5$; $\mu_{3,9}(x_3) = 0,33$; $\mu_{3,10}(x_3) = 0$; $\mu_{3,11}(x_3) = 1$; $\mu_{3,12}(x_3) = 1$; $\mu_{3,13}(x_3) = 1$; $\mu_{3,14}(x_3) = 1$; $\mu_{3,15}(x_3) = 0,5$; $\mu_{3,16}(x_3) = 1$; $\mu_{3,17}(x_3) = 1$; $\mu_{3,18}(x_3) = 0,5$; $\mu_{3,19}(x_3) = 0,5$; $\mu_{3,20}(x_3) = 0$.

6. Определяем принадлежность уровня адаптации студента № 3 классу K3 (высокий уровень): $P(K3) = 0,05 \cdot 0,85 + 0,05 \cdot 0,39 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,33 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0 = 0,6285$.

В силу дополненности функций $\mu_1(x) - \mu_3(x)$. $P(K1) + P(K2) + P(K3) = 1$.

Определим класс, которому объект x_1 принадлежит в наибольшей степени: $K^* = \arg(\max\{0, 0,321, 0,629\}) = K3$.

Мы видим, что студент №3 имеет хороший уровень адаптации так как относится к третьему классу K3.

Приведем расчеты принадлежности грациям студента №7 (таблица 3.15). Определим его как x_7 . Определяющие признаки будут равнозначными: $w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = w_9 = w_{10} = w_{11} = w_{12} = w_{13} = w_{14} = w_{15} = w_{16} = w_{17} = w_{18} = w_{19} = w_{20} = 0,05$.

1. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента № 7 классу K1 (низкий уровень): $\mu_{1,1}(x_7) = 0,425$; $\mu_{1,2}(x_7) = 0,34$; $\mu_{1,3}(x_7) = 0$; $\mu_{1,4}(x_7) = 0,67$; $\mu_{1,5}(x_7) = 0$; $\mu_{1,6}(x_7) = 0$; $\mu_{1,7}(x_7) = 1$; $\mu_{1,8}(x_7) = 0,5$; $\mu_{1,9}(x_7) = 0$; $\mu_{1,10}(x_7) = 1$; $\mu_{1,11}(x_7) = 0,7$; $\mu_{1,12}(x_7) = 1$; $\mu_{1,13}(x_7) = 0$; $\mu_{1,14}(x_7) = 0,5$; $\mu_{1,15}(x_7) = 1$; $\mu_{1,16}(x_7) = 0$; $\mu_{1,17}(x_7) = 0$; $\mu_{1,18}(x_7) = 1$; $\mu_{1,19}(x_7) = 0$; $\mu_{1,20}(x_7) = 0$.

2. Определяем принадлежность уровня студента №1 классу K1 (низкий уровень) $P(K1) = 0,05 \cdot 0,425 + 0,05 \cdot 0,34 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,67 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,7 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0 = 0,40675$.

3. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента № 1 классу K2 (средний уровень): $\mu_{2,1}(x_7) = 0,575$; $\mu_{2,2}(x_7) = 0,66$; $\mu_{2,3}(x_7) = 1$; $\mu_{2,4}(x_7) = 0,33$; $\mu_{2,5}(x_7) = 1$; $\mu_{2,6}(x_7) = 1$; $\mu_{2,7}(x_7) = 0$; $\mu_{2,8}(x_7) = 0,5$; $\mu_{2,9}(x_7) = 1$; $\mu_{2,10}(x_7) = 0$; $\mu_{2,11}(x_7) = 0,3$; $\mu_{2,12}(x_7) = 0$; $\mu_{2,13}(x_7) = 1$; $\mu_{2,14}(x_7) = 0,5$; $\mu_{2,15}(x_7) = 0$; $\mu_{2,16}(x_7) = 1$; $\mu_{2,17}(x_7) = 1$; $\mu_{2,18}(x_7) = 0$; $\mu_{2,19}(x_7) = 1$; $\mu_{2,20}(x_7) = 0$.

4. Определяем принадлежность уровня адаптации студента № 7 классу K2 (средний уровень): $P(K2) = 0,05 \cdot 0,575 + 0,05 \cdot 0,66 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0,33 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,5 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 0,3 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 0 = 0,54325$.

5. Определяем меру принадлежности уровня адаптации студента № 1 классу K3 (высокий уровень): $\mu_{3,1}(x_7) = 0$; $\mu_{3,2}(x_7) = 0$; $\mu_{3,3}(x_7) = 0$; $\mu_{3,4}(x_7) = 0$; $\mu_{3,5}(x_7) = 0$; $\mu_{3,6}(x_7) = 0$; $\mu_{3,7}(x_7) = 0$; $\mu_{3,8}(x_7) = 0$; $\mu_{3,9}(x_7) = 0$; $\mu_{3,10}(x_7) = 0$; $\mu_{3,11}(x_7) = 0$; $\mu_{3,12}(x_7) = 0$; $\mu_{3,13}(x_7) = 0$; $\mu_{3,14}(x_7) = 0$; $\mu_{3,15}(x_7) = 0$; $\mu_{3,16}(x_7) = 0$; $\mu_{3,17}(x_7) = 0$; $\mu_{3,18}(x_7) = 0$; $\mu_{3,19}(x_7) = 0$; $\mu_{3,20}(x_7) = 1$.

6. Определяем принадлежность уровня адаптации студента №7 классу K3 (высокий уровень): $P(K3) = 0,05$.

В силу дополненности функций $\mu_1(x) - \mu_3(x)$. $P(K1) + P(K2) + P(K3) = 1$.

Определим класс, которому объект x_1 принадлежит в наибольшей степени: $K^* = \arg(\max\{0,40675, 0,54325, 0,05\}) = K2$.

Мы видим, что студент № 7 имеет удовлетворительный уровень адаптации, так как относится ко второму классу K2.

Класс, к которому объект принадлежит в наибольшей степени (K^*) определяется следующим образом: $K^* = \arg(\max\{K_1, K_2, K_3\})$

Предложенный алгоритм позволяет успешно оценивать уровень адаптации студентов для любого набора исходных признаков. Показатель K^* является интегральным показателем для оценки уровня адаптации студентов.

Список использованных источников:

1. Берестнева О.Г. Разработка критериев и системы показателей для оценки адаптации иностранных студентов, обучающихся в российских ВУЗах / О.Г. Берестнева, О.Н. Фисоченко // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2. – С. 37 – 41.

2. Фисоченко О.Н. , Разработка комплексного подхода к управлению адаптацией иностранных студентов/ О.Н. Фисоченко, А.О Поликарпова // В мире научных открытий. – 2015 – № 9.2 (69). – С. 705–712.

3. Фисоченко О.Н. Использование метода нечеткой классификации для решения задачи диагностики уровня адаптации иностранных студентов, обучающихся в российских вузах/ О.Н. Фисоченко // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: IV международная заочной научно-практическая конференция по всем отраслям научного знания. – Белгород, 2014. – С. 198–201.

4. Impact of Russian and Foreign Students' Personal Characteristics on Learning Outcomes / O.N. Fisochenko, E.V. Berestneva, O.V. Marukhina [and et.] // Advances in Computer Science Research. – 2016. – Vol. 51. – P. 105–109.

РАЗРАБОТКА МОДУЛЕЙ ДЛЯ РАСШИРЕННОГО ОТОБРАЖЕНИЯ КАЛЕНДАРЯ В БИТРИКС24

А.К. Лукьянов, к.т.н, доц. М.М. Абрамов^а, студент

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина 40

E-mail:^а aabramovmax123@gmail.com

Аннотация: В работе рассматривается подход к расширению функциональности корпоративного календаря в системе Битрикс24. Реализованы дополнительные модули отображения, включая новый вид «+7 дней» и вывод текстовых подписей к цветам событий. Проведена модификация клиентской части системы с минимальным вмешательством в ядро платформы.

Ключевые слова: Битрикс24, календарь, пользовательский модуль, JavaScript, +7 дней, интерфейс, цветовая метка, кастомизация.

Abstract: This paper presents the development of additional modules for the corporate calendar in Bitrix24. The main result is the implementation of a new «+7 days» view and textual labels for color-coded events. The frontend logic is modified without affecting the core system.

Keyword: Bitrix24, calendar, module, JavaScript, +7 days, interface, color labels, customization.

Битрикс24 как корпоративная информационная система активно используется для планирования задач, встреч и мероприятий. Однако его базовая функциональность не всегда соответствует индивидуальным требованиям компаний. Особенно это касается отображения календаря, где стандартные режимы – день, неделя и месяц – не позволяют гибко отслеживать промежуточные периоды [1].

Целью настоящей работы стало внедрение пользовательских модулей, позволяющих расширить функциональность календаря в части интерфейса и пользовательского взаимодействия.

Архитектура пользовательского представления

Модификация проведена в модуле `lineviewselector.js`, где реализуется переключение между режимами. В массив `views` был добавлен режим +7 дней, отображаемый только при активном виде Неделя. Для этого используется условие показа в методе `getMenuItems()` и логика отрисовки в `create()`.

Реализация выглядела следующим образом:

```
{name: '+7days', text: '+7 дней', type: 'additional', dataset: {showAfter: 'week'}}
```

Для корректной работы необходимо, чтобы `currentViewMode.name === 'week'`, тогда дополнительный пункт появлялся в меню. При клике на него генерируется событие `onChange`, обрабатываемое модулем `calendar-core.js`, где происходит установка даты начала и конца в пределах, следующих семи дней.

Интерфейсные улучшения: подписи к цветам

Также была модифицирована работа с цветами календаря в `colorselector.js`. Изначально в выпадающем списке и боковой панели отображались только цветовые кружки.

В рамках доработки была реализована функция `hexToColorName()`, которая преобразует hex-код в понятное название (например, `#de2b24` → «Важные события»). Эти подписи были добавлены:

1. В выпадающее меню (режим `SELECTOR_MODE`) через свойство `text` в объекте `menuItems`.

2. В боковую панель (режим `LINE_MODE`) через HTML-элемент `span.calendar-field-colorpicker-label` под каждым цветом.

Для улучшения отображения были изменены стили CSS: добавлены параметры выравнивания, фиксированной ширины и отступа между кружком и подписью. Всё это улучшило визуальную доступность календаря и сделало его более понятным пользователю.

Важно отметить, что работа с визуальной частью календаря требует учёта адаптивности интерфейса. Поэтому в доработку были включены стили, учитывающие размеры экрана, особенно для мобильных устройств. Использование flex-контейнеров, контроль переполнения и точечная настройка классов позволили достичь желаемого визуального результата.

В отличие от внесения изменений в ядро платформы, разработка дополнительных модулей обеспечивает безопасность и гибкость. Решение легко масштабируется на другие режимы (например, «3 дня», «2 недели») и может быть адаптировано для конкретных ролей пользователей.

Также обеспечивается независимость от обновлений ядра, что особенно важно в корпоративной среде. Разработанный модуль можно отключить или доработать без влияния на остальной функционал платформы.

Следует также подчеркнуть, что предложенные изменения не требуют значительных затрат на сопровождение. Модули разрабатывались с учётом принципов повторного использования и инкапсуляции. Это открывает перспективы для создания библиотеки пользовательских компонентов, расширяющих типовые решения Bitrix24. Возможность документирования и стандартизации таких модулей повысит эффективность командной разработки и внедрения на предприятиях различного масштаба.

Разработанный модуль расширяет стандартные возможности календаря Битрикс24 за счёт добавления пользовательского представления «+7 дней» и улучшенного интерфейса выбора цвета. Такие изменения делают использование календаря более наглядным и удобным, что положительно сказывается на организации рабочего времени сотрудников.

В дальнейшем возможна интеграция модуля с другими компонентами системы: CRM, задачи, напоминания. Это обеспечит единую логику планирования и более тесную взаимосвязь между действиями пользователя и визуализацией расписания.

Дополнительное развитие может включать реализацию интерфейса для визуального редактирования пользовательских режимов отображения, выбор кастомных диапазонов (например, с плавающим окном времени), а также экспорт и импорт настроек модулей. Таким образом, проект демонстрирует практическую значимость пользовательской модульной архитектуры в рамках крупной информационной системы.

Список использованных источников:

1. Официальная документация Bitrix Framework. – URL: <https://dev.1c-bitrix.ru/> (дата обращения: 02.04.2025).

2. ГОСТ Р 7.0.5-2008. Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления. – URL: <https://ifap.ru/library/gost/7052008.pdf> (дата обращения 21.04.2025). – Текст: электронный.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПРИНЯТИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ДИАГНОСТИКИ ОБЛАЧНЫХ СЕРВИСОВ

С.В. Разумников, к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: demolove7@inbox.ru

Аннотация. Современный бизнес активно переходит на использование облачных технологий, однако процесс выбора и внедрения соответствующих сервисов остается сложной задачей. Диагностика облачных сервисов представляет собой комплекс мероприятий, направленных на оценку функциональности, безопасности и производительности различных платформ. Этот процесс требует тщательного анализа и принятия стратегических решений. Статья рассматривает ключевые проблемы, возникающие при принятии стратегических решений в контексте диагностики облачных сервисов, включая технологические ограничения, юридические аспекты, финансовые риски и организационные факторы. Предлагаются подходы к минимизации рисков и повышению эффективности процесса диагностики.

Ключевые слова: анализ, принятие решений, диагностика, облачные сервисы.

Abstract: Modern businesses are actively switching to cloud technologies, but the process of selecting and implementing the corresponding services remains a complex task. Cloud service diagnostics is a set of activities aimed at assessing the functionality, security, and performance of various platforms. This process requires careful analysis and strategic decision-making. The article examines the key issues that arise when making strategic decisions in the context of cloud service diagnostics, including technological limitations, legal aspects, financial risks, and organizational factors. Approaches to minimizing risks and increasing the efficiency of the diagnostic process are proposed.

Keywords: analysis, decision making, diagnostics, cloud services.

Введение

Облачные технологии стали неотъемлемой частью современной цифровой инфраструктуры, предоставляя организациям доступ к вычислительным ресурсам, хранилищам данных и приложениям через Интернет. Однако выбор подходящего облачного сервиса – задача непростая, требующая учета множества факторов, таких как производительность, безопасность, стоимость и соответствие законодательным требованиям. Стратеги-

ческое принятие решений играет ключевую роль в успешном внедрении и эксплуатации облачных сервисов. В статье рассматриваются основные проблемы, с которыми сталкиваются организации при диагностике облачных сервисов, и предлагаются пути их решения.

Проблематика диагностики облачных сервисов

Технологические ограничения. Одной из основных проблем является ограниченность возможностей тестирования и мониторинга облачных сервисов. Традиционные методы диагностики часто оказываются неэффективными в условиях распределенной архитектуры облаков. Важно учитывать особенности масштабируемости, доступности и отказоустойчивости сервисов, чтобы обеспечить их бесперебойную работу. Недостаточная совместимость между различными облачными платформами также создает сложности при интеграции и миграции данных.

Юридические аспекты. Еще одной важной проблемой являются правовые и нормативные требования. Облака могут использоваться организациями в разных странах, каждая из которых имеет свои законы и регуляции относительно хранения и обработки данных. Несоответствие законодательству может привести к штрафам и репутационным рискам. Необходимо учитывать такие аспекты, как защита персональных данных, требования GDPR и другие международные стандарты.

Финансовые риски. Выбор неправильной стратегии диагностики может повлечь за собой значительные финансовые потери. Неправильное распределение ресурсов, недостаточное планирование бюджета и непредвиденные расходы на эксплуатацию и поддержку могут существенно повлиять на общую рентабельность проекта. Кроме того, существует риск потери инвестиций вследствие преждевременного отказа от неподходящего облачного сервиса.

Организационные факторы. Организационная структура компании также влияет на процесс диагностики облачных сервисов. Часто возникают трудности с координацией действий различных подразделений, отвечающих за ИТ-инфраструктуру, безопасность и финансы. Отсутствие четкой стратегии и единого подхода к принятию решений может замедлить внедрение новых технологий и снизить эффективность работы всей системы.

Методы решения проблем

Использование автоматизированных инструментов. Для повышения точности и скорости диагностики рекомендуется использовать специализированные инструменты автоматизации. Они позволяют проводить мониторинг в режиме реального времени, собирать данные о производительности и выявлять потенциальные уязвимости. Такие решения помогают минимизировать человеческий фактор и сократить затраты на обслуживание.

Разработка комплексной стратегии. Создание единой стратегии диагностики, охватывающей все этапы жизненного цикла облачного сервиса, поможет избежать многих ошибок. Важно заранее определить цели и критерии оценки, установить приоритетные направления развития и предусмотреть возможные сценарии изменения требований бизнеса.

Привлечение экспертов. Участие внешних консультантов и специалистов по облачным технологиям может значительно улучшить качество принимаемых решений. Эксперты обладают глубокими знаниями о современных тенденциях рынка и способны предложить оптимальные решения для конкретных нужд организации.

Постоянное обучение персонала. Важным аспектом успешного внедрения облачных технологий является регулярное повышение квалификации сотрудников. Обучение персонала новым методикам диагностики и управления облаками позволит лучше адаптироваться к изменениям и минимизировать риски.

Практический пример: диагностика облачного сервиса для крупной финансовой организации

Рассмотрим реальный кейс диагностики облачного сервиса для международной банковской группы. Организация стремилась перейти на облачную инфраструктуру для улучшения гибкости и снижения затрат на ИТ. Однако перед началом миграции данных возникла необходимость провести всестороннюю диагностику потенциальных облачных провайдеров.

Основными целями диагностики были:

1. Оценка производительности: проверка способности облачной платформы обрабатывать большие объемы транзакций в режиме реального времени.
2. Безопасность: соответствие стандартам защиты данных, таким как PCI DSS и GDPR.
3. Совместимость: возможность интеграции существующих банковских приложений с новой облачной средой.
4. Стоимость: определение оптимальной модели оплаты услуг с учетом текущих и будущих потребностей.

Процесс диагностики состоял из нескольких этапов:

1. Сбор требований: выявление ключевых бизнес-потребностей и технических ограничений.
2. Анализ рынка: исследование предложений ведущих облачных провайдеров, таких как Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure и Google Cloud Platform.

3. Тестирование: проведение пилотных проектов для проверки производительности и совместимости выбранных сервисов.

4. Финансовое моделирование: оценка стоимости владения облачной инфраструктурой в долгосрочной перспективе.

5. Риски и резервные планы: разработка планов по управлению рисками и обеспечению непрерывности бизнеса.

По итогам диагностики был выбран облачный провайдер, обеспечивающий наилучшее соотношение цены и качества. Проведенное тестирование подтвердило высокую производительность и безопасность предложенных сервисов. Благодаря тщательной подготовке и использованию специализированных инструментов удалось минимизировать риски и ускорить процесс миграции данных.

Этот пример демонстрирует важность систематического подхода к диагностике облачных сервисов и подчеркивает значимость тщательного планирования на каждом этапе принятия стратегических решений.

Заключение

Диагностика облачных сервисов представляет собой сложный и многогранный процесс, включающий технические, юридические, финансовые и организационные аспекты. Правильное принятие стратегических решений требует комплексного подхода и учета всех возможных рисков. Внедрение автоматизированных инструментов, разработка детальной стратегии и привлечение квалифицированных специалистов помогут организациям эффективно управлять своими облачными инфраструктурами и достигать поставленных целей.

Список использованных источников:

1. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг / С.В. Разумников // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2018. – Т. 21. – № 4. – С. 63–69.

2. Разумников С.В. Оценка эффективности и рисков применения облачных ИТ-сервисов / С.В. Разумников // Научные труды Вольного экономического общества России. – 2014. – Т. 184. – № 4. – С. 294–304.

3. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM / С.В. Разумников // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2020. – Т. 23. – № 1. – С. 53–61.

4. Разумников С.В. Разработка программного обеспечения агрегированных рейтингов на основе метода порогового агрегирования / С.В. Разумников // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2021. – № 2. – С. 138–152.

5. Разумников С.В. Модели, алгоритмы и программное обеспечение поддержки принятия стратегических решений к переходу на облачные технологии: монография / С.В. Разумников; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2020. – 176 с.

6. Разумников С.В. Алгоритм для определения степени уязвимости участков облачных вычислений на основе метода ELECTRE I / С.В. Разумников // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2024. – 51(4):130-143. – DOI: <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2024-51-4-130-143>.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

А.В. Проскоков, к.т.н., доц.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: proskokov@tpu.ru

Аннотация: В работе рассмотрен специализированный программный модуль для предварительной подготовки карты местности последующему поиску текущего местоположения с целью ориентации без использования сигналов GPS. Данная технология может найти применение в автономных беспилотных летательных аппаратах.

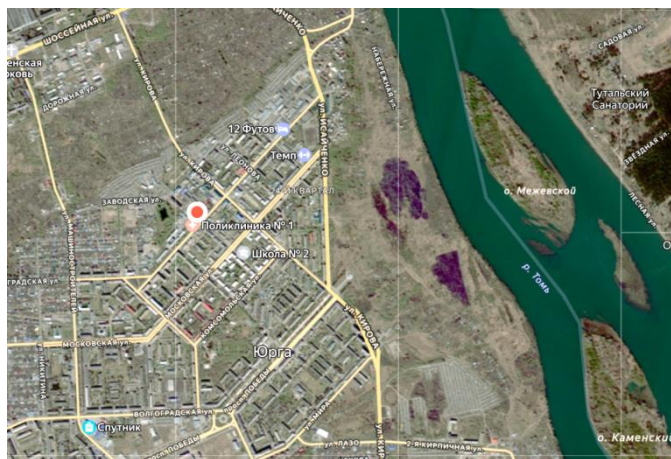
Ключевые слова: ортомозаики, сегментация, сверточные нейронные сети, сшивание карты местности.

Abstract: The paper considers a specialized software module for preliminary preparation of an area map for subsequent search of the current location for orientation purposes without using GPS signals. This technology can be used in autonomous unmanned aerial vehicles.

Keywords: orthomosaics, segmentation, convolutional neural networks, stitching an area map.

В сегодняшнем технологическом развитии в основе всех автоматизированных систем, заложен анализ данных, полученных от внешней среды. Особенно актуальным и наиболее доступным является принятие решений системы на основе анализа визуального восприятия окружающей обстановки по ранее составленному

Основные задачи картографии окружающей обстановки для беспилотных воздушных судов решают разнообразные целевые назначения. Такие как: определение физических особенностей местности на наличие природных горных, лесных массивов, водоемов или населенных пунктов; детальное представление о состоянии и расположении объектов инфраструктуры, таких как дороги, мосты, здания и коммуникации; отслеживание изменений в природных и искусственных системах, таких как эрозия почвы, изменение растительности или загрязнение окружающей среды; картографирование городской среды для планирования транспортных сетей и жилой застройки; задачи анализа использования земель сельскохозяйственного назначения; применение картографических данных для оптимизации управления городской инфраструктурой и улучшения качества жизни.



.....*

Нейронная сеть обычно состоит из слоев: **входной слой (Input Layer)** - принимает входные данные. Количество нейронов в этом слое соответствует размерности входных данных; **скрытые слои (Hidden Layers)** эти слои расположены между входным и выходным слоями. Они обрабатывают и трансформируют данные. Обычно формируют один или несколько скрытых слоев; **выходной слой (Output Layer)** - генерирует окончательный вывод сети. Количество нейронов в выходном слое зависит от задачи. Например, для задачи классификации это количество классов, для регрессии — количество выходных переменных.

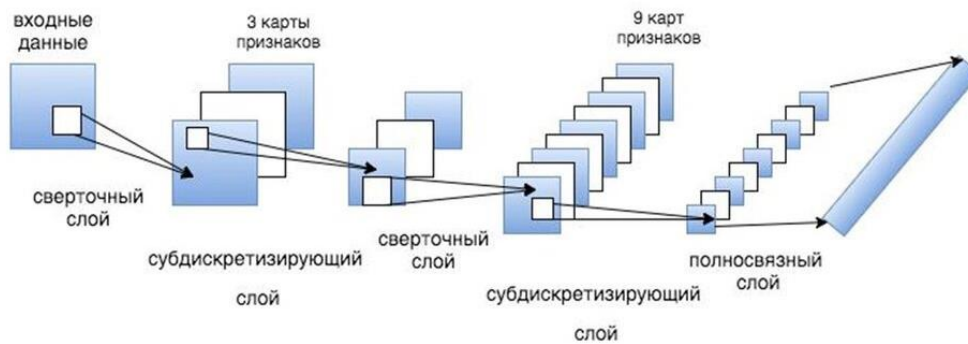


Рис. 2. Архитектура сверточной нейронной сети

Базовые алгоритмы сегментации изображений предлагают разнообразные подходы к решению задачи разделения изображений на области. Выбор метода зависит от характера изображения и целей анализа. Современные методы часто комбинируют несколько подходов или используют глубокое обучение для достижения более высоких результатов. Базовые алгоритмы сегментации можно разделить на несколько категорий, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения.

Пороговая Сегментация. Этот метод основывается на преобразовании изображения в двоичное, используя один или несколько порогов. Пиксели, значения которых превышают пороговое значение, относятся к одному классу, а остальные – к другому. Простота реализации. Эффективность для изображений с хорошим контрастом между объектами и фоном. Метод чувствителен к шуму и изменению освещенности и неэффективен для сложных изображений с неоднородной яркостью. Изображения должны иметь высокий контраст между объектами и фоном, равномерное освещение, минимальный уровень шума.

Сегментация на основе Гистограмм. Метод основан на анализе гистограммы яркости изображения. Пики гистограммы соответствуют различным областям изображения, что позволяет использовать пороговые значения для разделения областей. Метод хорошо подходит для изображений с выраженными различиями в яркости между сегментами, но малоэффективен для изображений с плавными переходами яркости и небольшим контрастом. Изображения должны быть с ярко выраженные пиками на гистограмме, хороший контраст и однородность.

Метод Размытия (Region-Based Segmentation). Этот метод включает в себя выделение регионов на основе их свойств, таких как однородность интенсивности или текстуры. Данный метод хорошо работает с изображениями, где границы объектов четко выражены и может быть чувствителен к выбору начальных точек и критериев объединения.

Граничная Сегментация (Edge-Based Segmentation). Метод основывается на обнаружении границ (контуров) между различными объектами в изображении. Границы определяются как резкие изменения интенсивности пикселей. Эффективен для изображений с четкими границами объектов. Имеет чувствительность к шуму и неправильное определение границ в случае слабых контрастов. Изображения с четкими границами объектов с высоким качеством изображения без размытостей.

Кластеризация (Clustering-Based Segmentation). Этот метод сегментации основывается на разделении пикселей изображения на кластеры с использованием алгоритмов кластеризации, таких как k-средних. Обладает хорошей эффективностью для изображений с явно выраженными кластерами пикселей, но требует определения числа кластеров. Может плохо работать с изображениями с нечеткими границами между кластерами. Достаточное разрешение для различения кластеров.

Активные контуры (Active Contours). Этот метод использует кривые, которые деформируются для нахождения границ объектов в изображении. Хорошо подходит для сложных форм объектов и адаптируется к криволинейным границам. Требуется начальной инициализации и может застревать в локальных минимумах. Изображения должны иметь четкие и непрерывные границы объектов, хорошее качество изображения с минимальным шумом.

Развитие технологий, основанных на алгоритмах ИИ позволяет определять местоположение БПЛА на основе графических образов, полученных в реальном времени. Система, оснащенная таким алгоритмом, в перспективе может значительно улучшить достоверность получаемых координат в условиях потери радиосигнала оператора или сигнала спутниковой навигации. В Юргинском технологическом институте создается летательный аппарат, оснащенного специальным полетным контроллером, с комплексной системой позиционирования, работающей на основе сопоставления текущего изображения от полетной видеокамеры и общей карты местности. В программном модуле осуществляется следующие вычислительные действия. Сначала готовятся папки для работы с файлами, затем из видеофрагмента с выбранным интервалом собираются произволь-

ные кадры. В случае успешной подготовки необходимых кадров производится последовательное склеивание выбранных фрагментов. Таким образом, может сформирована единая карта местности.

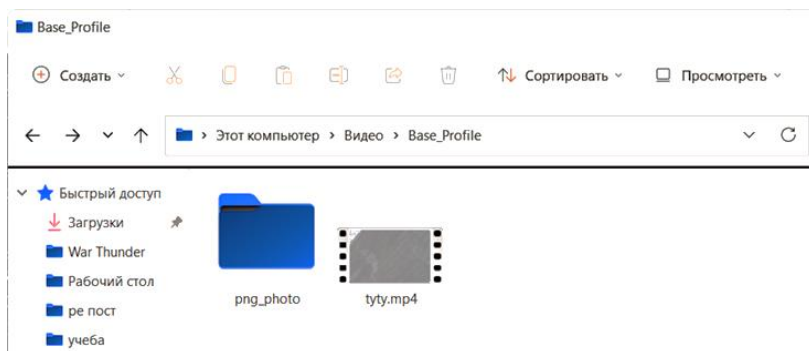


Рис. 3. Подготовка рабочей папки перед запуском программы

После запуска программы в консольном режиме выбираем нужный режим обработки данных (см. рис. 4). Либо работа с видео, или сразу с готовыми фотографиями. Здесь программа считывает параметры съёмки: разрешение, общее количество кадров, и количество кадров в секунду.

С использованием библиотек в системе формируется набор пронумерованных фотографий. Здесь программа преобразует видео в серию фотографий с интервалом в 1 секунду.

Имеется возможность изменения интервала в зависимости от скорости полета самолета картографа. После предварительной подготовки файлов запускается цикл сшивания фотографий. Путем подбора количества фотографий в одной группе, промежутка для сшивания, добиваемся наилучшего результата. После нескольких циклов сшивания, где сначала все кадры видео были собраны в группу по 5 фото, повторяется цикл укрупнения фотографий и потом сшитые пятёрки сшиваются вместе в одну большую фотографию. На рис. 4 показана карта местности после нескольких циклов группирования фотографий.



Рис. 4. Результат объединения фотографий из видеофрагмента (сшитая карта)

В результате видим, что полученный фрагмент карты имеет высокую степень детализации и вполне пригоден для дальнейшей проработки программного модуля.

Для проверки алгоритма поиска расположения участка на основной карте для программы необходимо указать путь, где находится файл с фрагментом, принадлежащим карте и формат документа, также указать погрешность поиска. На рис. 5 показан результат поиска объекта. Был указан небольшой объект, который можно найти на подготовленной ранее карте.



Рис. 5. Прототип интерфейса программного модуля

Из данного прототипа программного модуля видно, что в интерфейсе программы будет присутствовать готовая сшитая карта с возможностью её масштабирования и передвижения по ней, слева фрагменты с найденными объектами в виде списка с ползунком, справа функциональные кнопки взаимодействия с картой. Кнопка «Выбрать фрагмент» отвечает за поиск фрагмента из левой части окна на общей карте, кнопка «Выстроить маршрут» отвечает за построение маршрута от точки А до точки Б как по прямой, так и во кривой траектории с возможностью огибания обозначенных вручную бесполётных зон, в качестве точек А и Б могут быть выбраны найденные объекты, возможно добавление промежуточных пунктов следования (весь функционал по прокладыванию маршрута пока еще не реализован). Снизу находится консоль, в которой показаны статус и прогресс-бары выполнения задач, такие как сшивание, обработка изображений и следование БПЛА по заданному маршруту. Сверху находятся функциональные кнопки для загрузки видео/изображений карты для сшивания, сохранение текущей карты с отметками объектов на ней, а также кнопка для ручного пересшивания, если автоматический алгоритм выдал ошибку или что-то сшилось неправильно.

Следующим этапом после сшивания карты, производим распознавание объектов. Таких как наличие природных ландшафтов, границ рек, лесных массивов, городской застройки и т. д. Объекты имеют масштабную связь и могут также являться ориентиром для сопоставления своего местоположения. Таким образом, разработанный программный модуль имеет завершённую часть, которая требует дальнейшей проверки, настройки и верификации полета для условий различных летательных аппаратов.

Список использованных источников:

1. Самоорганизация и искусственный интеллект в группах автономных роботов (методология, теория, практика) : монография / О.Н. Граничин, С.Ф. Сергеев, И.А. Лень [и др.]. – Санкт-Петербург : Изд-во ВВМ, 2020 г. – 124 с.
2. Амелин К.С. Алгоритм уточнения местонахождения легкого БПЛА на основе калмановской фильтрации измерений пеленгационного типа / К.С. Амелин, А.Б. Миллер // Информационные процессы. – Т. 13. – № 4. – 2013. – С. 338–352.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТЕОРИИ ИГР К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ КОНКУРЕНЦИИ МЕЖДУ УНИВЕРСИТЕТАМИ

Д.Н. Нестерук, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: nesteruk@tpu.ru

Аннотация: В статье рассматриваются подходы к оптимизации продуктового портфеля университета (ППУ) с применением методологии теории игр. Представлен обзор литературных источников, анализирующих формирование структуры образовательных услуг и подходы к разработке и оптимизации образовательных про-

грамм. Предложены направления дальнейших исследований, связанные с применением коалиционных моделей и мультиагентных систем для повышения конкурентоспособности ППУ.

Ключевые слова: продуктовый портфель, образовательные услуги, теория игр, коалиционные модели, конкурентоспособность, оптимизация

Abstract: The article discusses approaches to optimizing a university's product portfolio (UPP) using game theory methodology. A review of literature sources analyzing the formation of the structure of educational services and approaches to the development and optimization of educational programs is presented. Further research directions are proposed related to the application of coalition models and multi-agent systems to increase the competitiveness of the UPP.

Keyword: product portfolio, educational services, game theory, coalition models, competitiveness, optimization

В условиях динамично меняющегося рынка образовательных услуг и усиления конкуренции между университетами, оптимизация продуктового портфеля (ПП) становится критически важной задачей. Эффективный ПП должен не только удовлетворять потребности рынка и соответствовать стратегическим целям университета, обеспечивая его конкурентоспособность.

Традиционные подходы к формированию ПП, основанные на SWOT-анализе и экспертных оценках, часто не учитывают ключевые условия реализации и динамику факторов конкурентоспособности портфеля:

- влияние стратегических решений конкурирующих вузов;
- возможности кооперации и формирования образовательных альянсов;
- неопределенность внешней среды и изменения в предпочтениях потребителей.

Среди традиционных можно перечислить [1–3]:

1. Подходы к формированию структуры образовательных услуг:

- маркетинговый подход: ориентирован на удовлетворение потребностей целевых групп потребителей (абитуриентов, работодателей),
 - ресурсный подход: основан на использовании имеющихся у университета ресурсов и компетенций,
 - стратегический подход: направлен на достижение стратегических целей университета (увеличение доли рынка, повышение репутации).
2. Подходы с точки зрения разработки и оптимизации образовательных программ:
- моделирование образовательных траекторий: позволяет учитывать индивидуальные потребности и возможности студентов,
 - проектирование компетенций: направлено на формирование у выпускников необходимых профессиональных навыков,
 - оценка экономической эффективности: позволяет определить оптимальное соотношение между затратами и результатами образовательных программ.

Для прогнозирования конкуренции между университетами могут использоваться различные типы игровых моделей:

- Статические игры: моделируют ситуации, в которых университеты принимают решения одновременно, без учета действий конкурентов.
- Динамические игры: учитывают последовательность принятия решений и возможность университетов реагировать на действия друг друга.
- Коалиционные игры: анализируют возможности формирования альянсов и коалиций между университетами для достижения общих целей.
- Мультиагентные системы: позволяют моделировать взаимодействие множества университетов и других заинтересованных сторон (студентов, работодателей, государства).

Выбор конкретной модели зависит от следующих факторов:

- Цель исследования: что необходимо спрогнозировать (цены на образовательные услуги, объем набора студентов, научную активность и т. д.).
- Степень детализации: какие факторы необходимо учесть при моделировании (ресурсы университетов, предпочтения студентов, действия государства и т. д.).
- Доступность данных: наличие информации о параметрах модели (затраты университетов, спрос на образовательные услуги, рейтинги вузов и т. д.).

С учетом преимуществ и недостатков можно ограничить область применения базовых моделей теории игр (таблица 1).

Таблица 1

Систематизация подходов к применению теории игр для прогнозирования конкуренции между университетами

Подход	Тип модели	Преимущества	Недостатки	Область применения
Моделирование цен	Статическая игра	Простота и наглядность	Не учитывает динамику рынка и действия конкурентов	Анализ ценовой политики университетов
Моделирование набора	Динамическая игра	Учитывает последовательность принятия решений и возможность реагирования на конкурентов	Требует больших объемов данных и сложной математической подготовки	Прогнозирование объема набора студентов в зависимости от действий конкурентов
Коалиционные модели	Коалиционная игра	Позволяет анализировать возможности формирования альянсов и коалиций	Сложность определения функции полезности коалиций	Анализ перспектив создания совместных образовательных программ и научных центров
Мультиагентные системы	Агентная модель	Учитывает взаимодействие множества участников и сложность системы	Требует больших вычислительных ресурсов и сложной программной реализации	Моделирование сложных сценариев конкуренции и сотрудничества университетов, студентов и работодателей

Ограничения применения теории игр для прогнозирования конкуренции между университетами связаны с рядом факторов, касающихся как самой теории, так и специфики предметной области:

1. Предположение о рациональности: Теория игр предполагает, что участники действуют рационально, стремясь к максимизации своей выгоды. В реальности же решения могут приниматься под влиянием иррациональных факторов, таких как политические соображения, личные амбиции руководителей, традиции и инерция.

2. Ограниченность информации: Теория игр часто предполагает, что участники обладают полной или достаточной информацией о стратегиях и выигрышах других участников. В действительности университеты могут не иметь доступа к точной информации о планах конкурентов, их финансовых ресурсах, качестве программ и т.д. Неполнота информации снижает точность прогнозов, основанных на теории игр.

3. Сложность моделирования: Конкуренция между университетами – сложный процесс, включающий множество факторов и участников. Построение адекватной игровой модели, учитывающей все существенные аспекты, может быть затруднительным. Упрощение модели ради практической реализации может привести к потере важных деталей и снижению точности прогнозов.

4. Неоднозначность определения выигрышей: В теории игр необходимо четко определить выигрыши для каждого участника в зависимости от исхода игры. В случае с университетами определение выигрышей может быть сложным из-за многомерности целей (привлечение студентов, научные достижения, репутация, финансовая устойчивость и т. д.) и трудностей в измерении некоторых показателей (например, репутации).

5. Статичность моделей: Многие игровые модели являются статичными и не учитывают динамику изменения рынка образовательных услуг, технологические инновации и другие факторы, которые могут существенно влиять на конкуренцию между университетами. Разработка динамических моделей требует дополнительных усилий и усложняет анализ.

6. Проблема координации: Коалиционные модели теории игр предполагают возможность координации действий между участниками коалиции. Однако, на практике университеты могут испытывать трудности в координации своих действий из-за различных организационных структур, культур и интересов.

7. Отсутствие универсальных моделей: Не существует универсальной игровой модели, подходящей для всех ситуаций конкуренции между университетами. Выбор конкретной модели зависит от специфики предметной области, доступности данных и целей исследования.

8. Необходимость экспертных оценок: При построении игровых моделей часто требуется привлекать экспертов для оценки параметров модели, таких как вероятности различных исходов, выигрыши участников и т. д. Субъективность экспертных оценок может снизить объективность результатов.

9. Этические соображения: Применение теории игр для прогнозирования конкуренции между университетами может вызывать этические вопросы, связанные с манипулированием информацией, недобросовестной конкуренцией и т. д.

10. Ограниченность эмпирической проверки: Проверка адекватности игровых моделей на практике может быть затруднительной из-за отсутствия достоверных данных и сложности проведения контролируемых экспериментов.

В контексте управления деятельностью университета перспективным является использование модели значений Шепли к формированию и оптимизации коалиционной стратегии его подразделений и стратегических академических единиц.

В контексте университета модель Шепли может быть использована для решения следующих задач:

Распределение финансирования. Определение доли финансирования для каждого подразделения на основе их вклада в достижение стратегических целей университета (например, публикационная активность, привлечение финансирования, качество образования).

Формирование альянсов. Оценка потенциального вклада каждого подразделения в совместные проекты и определение справедливого распределения доходов от этих проектов.

Управление проектами. Распределение задач и ресурсов в научных и образовательных проектах между различными подразделениями и определение их доли участия в полученных результатах.

Таким образом, теория игр является мощным инструментом для прогнозирования конкуренции между университетами, но ее применение требует учета ограничений, связанных с предположениями теории, сложностью моделирования и спецификой предметной области. Для получения надежных результатов необходимо использовать комплексный подход, сочетающий игровые модели с другими методами анализа и экспертными оценками.

Список использованных источников:

1. Методические рекомендации к моделированию бизнес-процессов университета / С.Л. Бедрина [и др.] // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. – 2010. – № 3 (7). – С. 175–200.
2. Кулагина О.В. Формирование маркетинговой концепции рынка образовательных услуг в высших учебных заведениях / О.В. Кулагина, К.И. Енина // Вестник НГИЭИ. – 2016. – Т. 1. – № 56.
3. Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение / Дж. Нейман, О. Моргенштерн. – М.: Наука, 1970. – 708 с.
4. Гатауллин Т.М. Синергетические эффекты в теории игр / Т.М. Гатауллин, С.Т. Гатауллин, К.В. Иванова // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020. – 2020. – С. 386–392.

РАЗРАБОТКА VR-СИМУЛЯТОРА ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ В ЭКСТРЕННЫХ СИТУАЦИЯХ НА ЛЬДУ ВОДОЁМА

*В.М. Саклаков, ст. преподаватель, А.Е. Овдин^а, студент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30
E-mail: ^аovdin_00@mail.ru*

Аннотация: Данная статья посвящена разработке VR-симулятора оказания в экстренных ситуациях на льду. Проект объединяет игровые механики с образовательными элементами. Проведен аналитический обзор нормативных актов Российской Федерации, проектирование архитектуры приложения. Реализован прототип игры, планируется его доработка и релиз на игровых платформах.

Ключевые слова: виртуальная реальность, игровая разработка, VR-тренажеры, игровая индустрия, геймдизайн.

Abstract: This article focuses on the development of a VR simulator for emergencies on ice. The project combines gameplay mechanics with educational elements. An analytical review of the regulatory acts of the Russian Federation was conducted, along with the design of the application architecture. A game prototype has been implemented, with plans for further refinement and release on gaming platforms.

Keyword: virtual reality, game development, VR simulators, gaming industry, game design.

Во второй половине 2010-тых годов казалось, что виртуальная реальность не оправдала возложенных на нее ожиданий, но с наступлением нового десятилетия в индустрии произошло несколько прорывов. Развитие технологий привело к появлению автономных гарнитур, позволяющих использовать их без подключения к компьютеру, и ряд компаний представили свои новинки на рынке. Параллельно этому наблюдался рост сферы образовательных симуляторов и на данный момент крупные компании заинтересованы в использовании данного вида ПО для обучения персонала, тем временем игры в виртуальной реальности также не теряют своей актуальности.

В статье описан процесс разработки приложений виртуальной реальности на примере симулятора оказания помощи в экстренных ситуациях на льду водоёма. Данный симулятор в большей степени является игровым продуктом, предназначенным для широкой аудитории любителей VR-игр, а не профессиональным тренажером. Несмотря на это, в программе будут применяться образовательные элементы. Провалы под лёд остаются серьёзной проблемой в регионах с сезонными перепадами температур. Несмотря на регулярные предупреждения, отсутствие практического опыта у населения увеличивает риски трагедий.

Из этого вытекает цель работы: разработка прототипа симулятора оказания помощи в экстренных ситуациях на льду водоёма. Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести аналитический обзор литературы и нормативных актов.
2. Изучить существующие аналоги.
3. Спроектировать игровые механики и архитектуру приложения.
4. Реализовать прототип приложения средствами трехмерного игрового движка.

В ходе исследования современных VR-тренажеров, направленных на обучение поведению в экстремальных ситуациях на льду, выявлены ключевые тенденции и проблемы [1]. Большинство существующих решений можно разделить на две категории: специализированные обучающие программы и игровые симуляторы с элементами выживания.

Обучающие приложения, разработанные для школ и курсов ОБЖ, обычно включают пошаговые сценарии спасения, тестовые задания и методические рекомендации для преподавателей. Их главное преимущество – соответствие образовательным стандартам. Однако такие решения часто страдают от низкой иммерсивности: из-за всплывающих подсказок, упрощенной графики и ограниченного набора действий пользователь не ощущает реальной опасности, что снижает эффективность обучения.

Приложения второй категории, коммерческие VR-игры, делают акцент на эмоциональном погружении и динамичном игровом процессе. Они предлагают реалистичную физику льда и воды, сложные условия, но редко фокусируются на корректных алгоритмах спасения. Основной недостаток – такие игры могут формировать неверные поведенческие паттерны.

В ходе исследования были тщательно изучены нормативные документы и методические материалы, регламентирующие правила безопасного поведения на льду и оказания помощи пострадавшим. Основой для анализа послужил Федеральный закон от 3 февраля 2025 года №4-ФЗ «О безопасности людей на водных объектах», который устанавливает общие требования к эксплуатации ледовых переправ и организации спасательных работ. Особое внимание было уделено Профессиональному стандарту «Спасатель на акватории», где подробно описаны трудовые функции специалистов, включая спасение людей с использованием специальных средств, оказание первой помощи и проведение поисковых операций на льду. Методические рекомендации МЧС России предоставили детальную информацию о критериях оценки прочности ледового покрова. Были проанализированы различные алгоритмы действий в чрезвычайных ситуациях, включая техники самоспасения при провале под лед, методы спасения пострадавших с использованием как специального оборудования (конец Александрова, спасательные шесты), так и подручных средств (доски, веревки, предметы одежды).

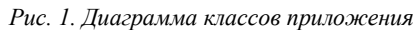
Отдельно изучались вопросы оказания первой помощи при переохлаждении, где особый акцент делался на различиях между легкой и тяжелой формами гипотермии, правильном порядке действий и типичных ошибках, которые могут усугубить состояние пострадавшего. Технические нормативы и ГОСТы позволили уточнить требования к конструкции и параметрам спасательного оборудования. Все полученные данные были систематизированы и легли в основу разработки VR-симулятора, определив ключевые требования к моделированию физики льда, набору типовых аварийных ситуаций и алгоритмам оценки действий пользователей.

Вслед за аналитикой было проведено построение требований к приложению. Программные требования к VR-симулятору спасения на льду включают три ключевые категории: функциональные, нефункциональные и бизнес-требования, которые в совокупности определяют характеристики и возможности приложения. Для их описания был составлен отдельный документ, поделенный на несколько разделов. Функциональные требования охватывают пять основных аспектов работы симулятора. В разделе «Игровые условия» предусмотрена динамическая генерация сценариев с случайным расположением пострадавших, предметов и параметров льда, что обеспечивает вариативность прохождения. Система ограничения времени и реалистичная физика разрушения льда создают условия, приближенные к реальным чрезвычайным ситуациям. Особое внимание уделено различным погодным условиям (метель, ночь) и сезонным изменениям окружающей среды.

Также описаны механики из раздела «Взаимодействия с предметами», они позволяют игроку использовать как специализированные спасательные средства, так и подручные предметы. Раздел «Взаимодействие с пострадавшими» моделирует поведение жертв – от паники до потери сознания от переохлаждения. Учтены такие параметры, как «дух» пострадавшего и температура тела, которые влияют на сложность спасательной операции. Игрок может оказывать первую помощь, включая искусственное дыхание и массаж сердца. Раздел «Игровая механика и управление» раскрывает взаимодействие игрока с приложением через контроллеры, включая тактильную обратную связь. Описаны различные способы передвижения (включая перемещение лежа) и система повреждений персонажа. Особое внимание уделено физике льда и воды. Последний пункт «Геймификации и обучения» включает систему оценки действий, начисления очков и достижений. Тренировочный режим помогает освоить базовые принципы спасения перед началом основной игры.

Нефункциональные требования определяют качественные характеристики приложения. Игра должна поддерживать стабильные 72 кадра в секунду на всех целевых платформах для предотвращения дискомфорта и «морской болезни». Время загрузки сцен не превышает 5 секунд даже на устройствах с минимальными характеристиками. Для ПК-версий обязательна адаптация под широкий диапазон видеокарт. Поддержка всех основных VR-шлемов, но в первую очередь включая standalone-устройства и во вторую автономные гарнитуры. Так-

Также были описаны бизнес-требования к приложению. Проект ориентирован на создание коммерчески успешной VR-игры. Основная цель: занять нишу на рынке VR-развлечений, предложив уникальный продукт, который привлечет конечного пользователя. Ключевой акцент делается на монетизации через прямые продажи. Целевая аудитория включает владельцев VR-устройств.



Система разрушаемого льда построена на плагине, динамически генерирующем трещины в зависимости от нагрузки. Он рассчитывает давление на лед: при превышении 85 % от критического значения запускается постепенное разрушение с учетом времени воздействия. Точки разлома предварительно размещаются на модели, что позволяет контролировать процесс разрушения. Для объектов в воде реализована плавучесть, учитывающая плотность воды и сопротивление – это обеспечивает реалистичное поведение обломков льда и спасательных средств. Для создания предметов используется базовый функционал VR-библиотеки.

137

мания регдолла, когда персонаж, после того как упал, возвращается в сознание и встает. Это связано с множеством тонкостей. Необходимо просчитать в какую сторону должен подняться персонаж, соотнести положение конечностей в нужное положение, сдвинуть локальные координаты в нужную точку и т. п.

Для продвижения VR-симулятора была создана специальная страница в самом популярном онлайн маркетплейсе, ориентированная на максимальное вовлечение потенциальных игроков. Описание проекта структурировано для разных типов пользователей: краткий блок с ключевыми особенностями, а ниже размещен подробный рассказ о механиках – от использования подручных средств до борьбы с переохлаждением. Скриншоты игрового процесса подобраны так, чтобы продемонстрировать разнообразие сценариев: момент провала под лед, использование шеста для спасения, разведение костра. Для улучшения поисковой видимости страница имеет метки, которые помогают алгоритмам рекомендовать игру целевой аудитории. В качестве жанра указан «симулятор».

В рамках настоящего исследования разработан прототип VR-симулятора оказания помощи в экстренных ситуациях на льду. На этапе проектирования проведен анализ нормативно-правовой базы, включая, что позволило сформировать требования к реалистичности и достоверности игровых механик. На основе полученных данных выполнено проектирование архитектуры приложения, включая разработку UML-диаграмм, а также сценариев взаимодействия пользователя с виртуальной средой. На текущем этапе реализован базовый функционал. Несмотря на успешную настройку анимации, сохраняется проблема плавного перехода между анимированными состояниями и физической симуляцией, требующая доработки алгоритмов управления скелетом персонажа. Проведенная работа демонстрирует потенциал VR-технологий в создании иммерсивных приложений. Дальнейшая разработка будет направлена на улучшение имеющихся механик и разработку новых. Планируется публикация приложения в маркетплейсе видеоигр.

Список использованных источников:

1. Баканова И.Г. Разработка образовательного сценария обучения с применением технологии виртуальной реальности / И.Г. Баканова, Л.В. Капустина, М.П. Козырева // Педагогическое образование в России. – 2024. – № 3. – URL: cyberleninka.ru/article/n/razrabotka-obrazovatel'nogo-stsenariya-obucheniya-s-primeneniem-tehnologii-virtualnoy-realnosti (дата обращения: 28.04.2025).
2. Буч Гради Введение в UML от создателей языка / Гради Буч, Джеймс Рамбо, Ивар Якобсон. – М. : ДМК Пресс, 2021. – 496 с.
3. Возможности технологий виртуальной реальности для разработки игровых приложений / Е.В. Романова, Л.В. Курзаева, Л.З. Давлеткиреева [и др.] // Открытое образование. – 2021. – № 5. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozmozhnosti-tehnologiy-virtualnoy-realnosti-dlya-razrabotki-igrovyyh-prilozheniy> (дата обращения: 28.04.2025).

Секция 3

Промышленная безопасность

**ОБЗОР НОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА
СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ**

*Л.Г. Деменкова^а, к.пед.н., ст. преподаватель, А.С. Костина, студент гр. 17Г31
Юргинский технологический институт (филиал)
Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: ^аdemenkova@tpu.ru*

Аннотация: статья посвящена обзору современных материалов и оборудования, используемых для производства средств индивидуальной защиты. Особое внимание уделено новейшим технологиям и решениям, представленным на выставке-форуме «Безопасность и охрана труда» 2024 года. Приведены примеры продукции ведущих российских и зарубежных компаний. Представлены материалы и оборудование для производства средств индивидуальной защиты. Обозначены ключевые тенденции развития рынка СИЗ в условиях промышленного роста и необходимости повышения уровня безопасности на производстве.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты, профессиональные риски, новые материалы, культура безопасности.

Abstract: the article is devoted to an overview of modern materials and equipment used for the production of personal protective equipment. Special attention is paid to the latest technologies and solutions presented at the exhibition-forum «Occupational Safety and Health» in 2024. Examples of products from leading Russian and foreign companies are given. Materials and equipment for the production of personal protective equipment are presented. The key trends in the development of the PPE market in the context of industrial growth and the need to improve safety at work are outlined.

Keywords: personal protective equipment, occupational risks, new materials, safety culture.

Выставка-форум «Безопасность и охрана труда» (БИОТ), проходившая с 10 по 13 декабря 2024 г. в Москве – старейшее и одно из главных событий области охраны труда и производства СИЗ не только в России, но и в Европе. БИОТ уже давно вышел за рамки отрасли средств индивидуальной защиты и стал эффективной масштабной площадкой для изучения передового опыта, поиска технологичных способов достижения нулевого травматизма на производстве, для продвижения культуры безопасности. В условиях неуклонного промышленного роста в России и острого дефицита рабочих рук создание и обеспечение безопасных и комфортных условий труда становится приоритетной задачей для любого работодателя. На этом фоне рынок СИЗ продолжает расти и развиваться, происходят масштабные процессы импортозамещения. В выставке участвовали производители из России, Молдавии, Беларуси, Бельгии, Индии, Китая и других стран.

В экспозиции одного из салонов выставки были представлены самые востребованные и инновационные решения 2024 года в области материалов и оборудования для производства обуви работников различных сфер промышленности. ООО «СИСТЕМЫ ДИОН» (г. Москва) уверенно занимает лидирующие позиции на рынке оборудования в сфере охраны труда в последние 10 лет. Компания является членом АСИЗ – Ассоциации разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты. Производимая продукция соответствует последним технологическим и мировым трендам, включая в себя полный комплекс оборудования по охране труда, испытательное лабораторное оборудование, высокотемпературные промышленные муфельные печи, постабаты для выдачи спецодежды и другие необходимые продукты для предприятий.

На БИОТ компания экспонировала промышленный аппарат для очистки спецобуви, который производитель называет революционной системой, идеально подходящей для быстрой и эффективной очистки сильно загрязненной обуви при большом потоке людей (рис. 1).



Рис. 1. Аппарат для очистки спецобуви

АО «Русская кожа» представила кожи специального назначения для производства различных видов обуви. Предприятие создало собственную линейку натуральных кож STOMPER с повышенными техническими требованиями, в том числе гидрофобные, износостойчивые, пожаростойкие, маслостойкие, устойчивые к кислотно-щелочной среде и к низким температурам. На стенде «Русской кожи» (членская организация АСИЗ) будут представлены новые модели костюмов сварщика, фартуков-накидок, краг и вачегов, а также рукавицы с натуральным мехом овчины.

ОАО «Красная нить» (г. Санкт-Петербург) представило бондированные нитки. Они изготавливаются из непрерывных полиэфирных нитей высокой прочности, первичные нити которых склеены между собой. Эти нитки более устойчивы к ультрафиолетовому излучению и находят применение в изделиях, эксплуатируемых в суровых климатических условиях (рис. 2).



Рис. 2. Нитки бондированные

Российский производитель застежки – ООО «Молния» представил термостойкие, огнестойкие модели. При температурном воздействии (180 °С, 5 мин) исследуемые образцы не обнаруживали признаков обугливания, охрупчивания, воспламенения, плавления, состояние застёжки сохранялось.

В области СИЗ защиты рук на БИОТ-2024 представлены перчатки из ADAMAS-волокна с полиуретановым покрытием бренда Gward и линейка «Даймонд» от компании «Манипула Специалист» (членская организация АСИЗ). Основа перчаток «Даймонд» выполнена из волокна Armorscut, технологичного комплексного волокна на основе сверхмолекулярного полиэтилена, обеспечивающее надежную и эргономичную защиту от порезов различных уровней и видов. Также компания представила линейку диэлектрических перчаток Linepro для профессий, связанных с риском поражения электрическим током.

«Экохим XXI век», дилер производителя ООО «Шебекинская индустриальная химия», принял участие в Салоне материалов и оборудования для производства обуви на БИОТ 2024. Компания представила обновлённую коллекцию химических материалов для кожевенного и мехового производства полного цикла обработки от сырья до готового продукта, а также для текстильной промышленности и предприятий обработки сырой шерсти сезонов 2024–25 г.

На БИОТ 2024 т представлена компания Xiamen Manye Intelligent Technology Co., Ltd., ведущее предприятие в области технологий автоматизации производства обуви, имеющее более 30 собственных запатентованных разработок.

Jeta Safety, постоянный участник БИОТ и членская организация АСИЗ, представил новинки: полнолицевую газовую маску 8950, оснащенную новым клапаном для низкого сопротивления дыхания, переговорной мембраной и кнопкой для проверки прилегания; средство защиты рук для работы в металлургии – Вачеги JVM-500 Magma, изготовленные из толстого спилка с пропиткой, имеющие внутреннюю термоизолирующую подкладку из трикотажного хлопка и сукна; линейку противоаэрозольных фильтров, изготовленных по технологии AirOne и позволяющую снизить сопротивление дыхания для противоаэрозольных моделей на 70 %, а в сочетании с газовыми фильтрами – на 35 % в сравнении с существующей линейкой Jeta Safety; новую серию очков различных форм и типов покрытия, включая модели с европейским уровнем KN.

Революционную линейку очков представила на БИОТ 2024 компания UNIVET. Это очки, спроектированные специально для совместного ношения с рецептурными очками. На стенде компании презентована еще одна ожидаемая новинка – щиток MASTR – комбинированная защита для ручной лазерной и электросварки.

Сегодня культура безопасности необходима во всех сферах жизни человека. Выставка-форум БИОТ-2024 стала мощным шагом на пути к одной из общих главных целей общества – сбережению жизни и здоровья работников.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 58202-2018. Средства индивидуальной защиты от падения с высоты. Система обеспечения спуска. Общие технические требования. Методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2018. – 32 с.

2. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. – 18 с.
3. Об утверждении правил обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами: Приказ Минтруда России № 766н от 17.12.2020. – М. : Минтруд России, 2020. – 12 с.
4. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011 «О безопасности средств индивидуальной защиты». – М. : Евразийская экономическая комиссия, 2011. – 48 с.
5. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013. – М. : Госдума Федерального Собрания РФ, 2013. – 24 с.
6. Об утверждении Методических рекомендаций по определению потребности в средствах индивидуальной защиты и смывающих средствах: Приказ Минтруда России № 805н от 17.12.2020. – М. : Минтруд России, 2020. – 24 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СУБЪЕКТЕ ХМАО-ЮГРЕ

К.Н. Орлова^а, к.т.н., доц., В.А. Ким, студент группы Б22-703

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

115409, г. Москва, ш. Каширское, 31

E-mail: ^а KNOrolova@mephi.ru

Аннотация: В докладе рассматривается вопрос радиационной безопасности в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Основное внимание уделяется проблемам, связанным с активной добычей углеводородного сырья и необходимостью защиты населения и окружающей среды от повышенного уровня ионизирующего излучения. Определенное значение имеют ядерные испытания, проводившиеся в СССР в 1980–1990 годах. Анализируются применяемые меры по обеспечению радиационной безопасности и их эффективность.

Ключевые слова: ядерные испытания, радиационный фон, радиационная безопасность, радиоактивные вещества, ХМАО-Югра, экологическая ситуация

Abstract: The paper examines the issue of radiation safety in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra. The main focus is on problems associated with the active extraction of hydrocarbon raw materials and the need to protect the population and the environment from elevated levels of ionizing radiation. Nuclear tests conducted by the USSR in the 1980s and 1990s are of particular importance. The paper analyzes the measures taken to ensure radiation safety and their effectiveness.

Keyword: nuclear tests, radiation background, radiation safety, radioactive materials, Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, environmental situation.

Введение. Ханты-Мансийский Автономный округ – Югра – субъект Российской Федерации, занимающий 9-ое место по размеру территории является одним из ключевых регионов, обеспечивающий страну энергетическими запасами. Экономика данного округа в основном построена на добыче углеводородного сырья, ее обработки и транспортировки. Является основным нефтегазоносным регионом России и одним из крупнейших нефтедобывающих регионов мира.

Однако активная добыча полезных ископаемых, предполагающая создание дополнительного повышенного уровня ионизирующего излучения, использование технологий, основанных на ионизирующем излучении, а также наличие природных радиационных залежей требуют особого внимания к вопросам радиационной безопасности округа, особенно на территориях месторождений и промышленных городов.

Также известны ядерные испытания, которые проводились в СССР 1980-1990 г.

Поэтому важно изучить вопрос обеспечения радиационной безопасности, применяемые меры и их эффективность

Цель: исследовать развитие системы радиационной безопасности в ХМАО-Югре, а также выявить основные факторы, которые поспособствовали уменьшению радиационного фона в данном районе.

Ниже представлены основные факторы, влияющие на степень радиационной активности на территории ХМАО-Югра:

1. Ядерные испытания в мирных целях
2. Добыча полезных ископаемых и аварии на месторождениях.
3. Утечки радиоактивных веществ в атмосферу при добыче нефти и газа
4. Использование радионуклидных источников при геофизических работах в нефтяных скважинах.

Радиоактивное заражение некоторых районов округа частично связано с ядерными испытаниями СССР в 1978-1985 годах [1].

На территории ХМАО-Югры проводили подземные ядерные испытания в мирных целях для увеличения нефтеотдачи пластов посредством увеличения трещеноватости пород.

Из официальных документов известно о проведении 5-ти подземных ядерных взрывов в мирных целях:

- ПЯВ «Кратон-1». Был осуществлен 17 октября 1978г. На глубине 593 м. Испытания проводились для глубинного сейсмозондирования земной коры.
- ПЯВ «АНГАРА». Был осуществлён 10 декабря 1980 г. на глубине 2 485 м. Испытания проводились для интенсификации нефтеотдачи пластов.
- ПЯВ «БЕНЗОЛ». Осуществлён 18 июня 1985 г. на глубине 2 860 м. Испытания проводились для интенсификации нефтеотдачи пластов.
- ПЯВ «КИМБЕРЛИТ-1». Осуществлён 04 октября 1979 г. на глубине 837 м. Испытания проводились для глубинного сейсмозондирования земной коры.
- ПЯВ «КВАРЦ-3». Осуществлён 25 августа 1984 г. на глубине 726 м. Испытания проводились для глубинного сейсмозондирования земной коры.

Начиная с 2011 года, за счёт средств бюджета Ханты-Мансийского автономного округа – Югры проводятся работы по оценке текущего состояния радиационной обстановки в местах проведения ПЯВ и на территориях населённых пунктов, прилегающих к ним.

Добыча полезных ископаемых из недр Земли сопряжена с повышенными радиационными рисками, поскольку многие горные породы, минералы, нефть и газ содержат естественные радионуклиды, такие как радий и калий-40. Эти элементы накапливаются в отложениях и оборудовании (например, в трубопроводах и резервуарах) в виде так называемых **техногенных месторождений радиоактивных материалов (ТМРМ)**.

В процессе добычи или при аварии, например, при разработке угольных месторождений, нефтяных скважин и рудных тел, эти вещества поднимаются на поверхность, что приводит к локальному повышению радиационного фона.

В нефтедобывающей промышленности иногда используются радиоактивные источники, например, для каротажа скважин (измерения свойств горных пород). При аварии такие источники могут быть повреждены, что приведет к утечке радиации.

Так же в земной коре содержатся природные радионуклиды уранового и ториевого рядов, торий, радий и калий-40, которые выносятся на поверхность в результате добычи нефти. основная составляющая отложений – радиобариты [2].

Случаи обрыва радионуклидных источников при производстве геофизических работ на нефтяных скважинах, учитывая региональную специфику, происходят ежегодно. Например, в 2015 году на нефтяном месторождении автономного округа произошёл 1 случай потери контроля над источником ионизирующего излучения. После безрезультатных аварийных «ловильных» работ радионуклидный источник в составе геофизического прибора был захоронен в скважине с установкой изолирующего цементного моста.

А в 2023 году было зарегистрировано 20 случаев потери контроля над Источниками ионизирующего излучения (далее – ИИИ)

Развитие радиационной безопасности в ХМАО-Югре по большей части осуществляется в рамках федерального законодательства, включая Федеральный закон «О радиационной безопасности населения» от 5 января 1999 [3] и санитарные правила и нормы (СанПиН). На региональном уровне разрабатываются программы мониторинга радиационной обстановки, а также меры по минимизации рисков, связанных с использованием источников ионизирующего излучения.

В рамках постановления Губернатора Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 23.12.2010 № 241 [4] появились:

- Системы радиационного мониторинга, устанавливающие порядок контроля за естественными и техногенными источниками радиации на территории округа. Также были назначены государственные органы, ответственные за мониторинг.

- Меры по защите населения.
- Предоставление открытой информации о радиационной обстановке.
- Проведение радонового мониторинга в жилых и общественных зданиях [5, 6].
- Контроль за нефтедобывающей отраслью, в том числе, надзор за радиоактивными отходами.
- Инвентаризация радионуклидов материалов.

Документ заложил основу для системного подхода к радиационной безопасности в Югре. Основное, что предоставил данное постановление, – ежегодный доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. Что позволяет получить доступ к историческим данным, в том числе измерений радиоактивных веществ. Упомянутые доклады можно найти на официальном сайте Службы по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского Автономного Округа – Югры [7].

На нем присутствуют доклады с 2009 года, выполненные в рамках исполнения постановления губернатора от 23.12.2010 № 241.

В теме «Радиационная обстановка» докладов описываются основные факторы, определявшие радиационную обстановку ХМАО-Югры в отчётный год, а также и в предыдущие годы. В основном рассматриваются:

- Учет и контроль радиоактивных веществ и радиоактивных отходов, а именно количественный состав и производственные характеристики радиационных источников (закрытых радионуклидных источников, радиоизотопных приборов) и изделий из обеднённого урана (гамма-дефектоскопов, контейнеров защитных), находящихся в организациях в эксплуатации или на хранении, а также любое их перемещение, контроль над ввозом и вывозом.

- Подсчет и мониторинг индивидуальных доз облучения жителей Югры от всех основных источников излучения (техногенных, природных, медицинских).

Почти в каждом докладе делается вывод об стабильности радиационно-гигиенической обстановке. Все показатели содержания радиоактивных веществ в окружающей среде: в воздухе, продуктах, воде, почве и других объектах внешней среды намного ниже допустимых уровней, что свидетельствует о высокой степени обеспечения радиационной безопасности в округе.

Активно ведется Радиационно-гигиеническая паспортизация организаций и территорий для оценки влияния основных источников ионизирующего излучения и обеспечения радиационной безопасности населения в зависимости от состояния среды обитания и условий жизнедеятельности.

Данный процесс позволяет получить объективную информацию о радиационной обстановке и принимаемых мерах по обеспечению радиационной безопасности.

Данная процедура проводится в рамках соответствии нормативным документам:

- Федеральный закон от 9 января 1996 года № 3-ФЗ «О радиационной безопасности населения»;
- Постановление Правительства Российской Федерации от 28 января 1997 года № 93 «О порядке разработки радиационно-гигиенических паспортов организаций и территорий»;
- Закон Ханты-Мансийского автономного округа от 5 января 1999 года № 3-оз «О радиационной безопасности».

Данные Радиационно-гигиенический паспорта территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры можно найти на сайте «Департамента Региональной Безопасности округа» [8].

Ежегодные доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре».

Также ведутся доклады «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Ханты-Мансийском автономном округе-Югре», представленные на сайте Управление Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Ханты-Мансийскому автономному округу – Югре [9], в которых также изучается состояние радиационной обстановки в регионе и влияния радиоактивных материалов на население [10].

На постоянной основе ведется обмен информацией с территориальными органами федеральных министерств и ведомств. Данные о годовой эффективной дозы на одного жителя были взяты из источника [9] и приведены в таблице 1.

Таблица 1

Средняя годовая эффективная доза на одного жителя в субъекте российской Федерации за счет всех источников ионизирующего излучения (мЗв/год)

год	Облучения населения территории, мЗв/чел.					Российская Федерация
	ХМАО-Югра					
	за счет				Сумма	
	деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения	техногенного фона	природных источников	медицинских исследований		
2008	0,005	0,005	2,743	0,58	3,33	
2009	0,004	0,005	2,88	0,48	3,37	
2010	0,004	0,005	2,61	0,53	3,37	
2012			2,59	0,233	3,04	3,9
2013	0,005	0,005	3,237	0,436	3,683	3,8
2014	0,005	0,005	4,03	0,39	4,433	3,7
2015	0,004	0,005	2,29	0,48	2,78	3,81
2016	0,004	0,005	2,36	0,52	2,9	3,76

год	Облучения населения территории, мЗв/чел.					
	ХМАО-Югра					Российская Федерация
	за счет				Сумма	
	деятельности предприятий, использующих источники ионизирующего излучения	техногенного фона	природных источников	медицинских исследований		
2017	0,004	0,005	2,39	0,53	2,93	3,86
2018	0,004	0,005	2,15	0,55	2,7	3,8
2019	0,003	0,005	2,17	0,59	2,78	3,88
2020	0,003	0,005	2,59	0,74	3,34	4
2021	0,004	0,005	2,73	0,8	3,54	4,18
2022	0,004	0,005	2,74	1,089	3,84	4

Ежегодно отмечается, что максимальные дозы облучения имеют дефектоскописты гамма-графирования, машинисты подъемников каротажных станций.

Также ведется подсчет радиационных аварий, что позволяет находить частые источники инцидентов и принимать соответствующие превентивные меры по устранению угроз.

Ядерные испытания упоминаются в каждом докладе «об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре». Непосредственно в местах испытаний, а также в прилегающих населенных пунктах ведутся радиационные наблюдения, в том числе и оценка дозы облучения населения. К каждому прикреплен порядок проведения мониторинга [11–15], в рамках которого выполняются необходимые объемы работ по полевым дозиметрическим и гамма-спектрометрическим измерениям, которые впоследствии будут отобраны и исследованы в лабораторных условиях пробы объектов окружающей среды.

Заключение. Ханты-Мансийский автономный округ – Югра, являясь ключевым нефтегазодобывающим регионом России, сталкивается с комплексом радиационных рисков, связанных как с природными факторами, так и с последствиями промышленной деятельности. Однако благодаря системному регулированию и внедрению строгих мер радиационной безопасности, подкреплённых законодательной базой, в округе удаётся поддерживать стабильную радиационную обстановку.

Нормативно-правовые документы обеспечили непрерывный мониторинг, контроль за передвижением радиоактивных веществ и их правильной утилизацией, а также регулярные замеры заражённости продуктов, воды, воздуха и почвы.

Несмотря на исторические и промышленные риски, ХМАО – Югра демонстрирует успешный опыт в сфере радиационной безопасности. Комплексный мониторинг и строгое законодательное регулирование позволили снизить техногенное воздействие, а также добиться того, что средняя годовая доза облучения жителя ХМАО – Югры, большая часть которой приходится на природные источники (например, радон), ниже среднего российского уровня.

Дальнейшее развитие системы безопасности следует направить на сокращение количества радиационных аварий, большинство из которых связано с потерей контроля над ИИИ.

Список использованных источников:

1. Подземные ядерные взрывы, осуществленные на территории Ханты-Мансийского Автономного округа – Югры. – URL: <https://deprb.admhmao.ru/upload/iblock/8be/d66m3lqvfyusbg8niv4m1316khap6qbg/Territoriya-pod-kontrolem.pdf> (дата обращения: 22.04.2025).
2. Природа России: Радиационная безопасность нефтегазового комплекса. – URL: <http://www.priroda.ru/reviews/detail.php?ID=12065> (дата обращения: 22.04.2025).
3. О радиационной безопасности: Закон Ханты-Мансийского автономного округа от 5 января 1999 г. № 3-оз. – URL: <https://dumahmao.ru/decisions/detail.php?ID=7007> (дата обращения: 22.04.2025).
4. О подготовке ежегодного доклада об экологической ситуации в ХМАО – Югре: Служба по контролю и надзору в сфере охраны окружающей среды, объектов животного мира и лесных отношений Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: Постановление № 241. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/dokumenty/hmao/228605/> (дата обращения: 22.04.2025).
5. Анализ качества внутренней среды застройки г. Владивосток. Часть 1: Исследование радиационного фона жилых помещений / В.А. Дрозд [и др.] // Строительство: наука и образование. – 2020. – № 4. – С. 28–47.

6. Орлова К.Н. Исследование тенденций миграции радионуклидов в строительных материалах / К.Н. Орлова, М.А. Гайдамак // Технологии и материалы. – 2017. – № 1. – С. 19–24.
7. Доклады об экологической ситуации в ХМАО-Югре. – URL: <https://prirodnadzor.admhmao.ru/doklady-i-otchyety/doklad-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-khanty-mansiyskom-avtonomnom-okruga-yugre/> (дата обращения: 22.04.2025).
8. Радиационно-гигиенический паспорт территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: Департамент региональной безопасности Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. – URL: <https://deprb.admhmao.ru/radiatsionno-gigienicheskiy-pasport-territorii-khanty-mansiyskogo-avtonomnogo-okruga-yugry/> (дата обращения: 22.04.2025).
9. Костенко О.В. Построение нейроалгоритма по определению суммарного облучения человека / О.В. Костенко, К.Н. Орлова // Научно-технический вестник Поволжья. – 2013. – № 2. – С. 142–145.
10. Порядок радиационного мониторинга ПЯВ Кратон-1. – URL: <https://deprb.admhmao.ru/informatsiya-dlya-potentsialnykh-podryadchikov/6109628/poryadok-radiatsionnogo-monitoringa-pyav-kraton-1/#media-6109628> (дата обращения: 22.04.2025).

ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА НЕФТЕПРОВОДОВ ПОСЛЕ ДИАГНОСТИКИ

*В.А. Татаринцев^а, к.т.н., доц., Д.А. Ламонов, магистрант
Брянский государственный технический университет
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
E-mail: ^а v_a_t52@mail.ru*

Аннотация: По результатам диагностирования технического состояния трубопровода принимается решение о режиме его дальнейшей эксплуатации или выполнении ремонтных работ. Для принятия этого решения требуется выполнить оценку остаточного ресурса в зависимости от величины дефекта и места его расположения. Приведены результаты вероятностной оценки остаточного ресурса для трубопровода с трещиноподобным дефектом.

Ключевые слова: нефтепровод, труба, дефект, диагностика, ремонт, остаточный ресурс.

Abstract: Based on the results of diagnostics of the technical condition of the pipeline, a decision is made on the mode of its further operation or repair work. To make this decision, it is necessary to evaluate the residual resource depending on the size of the defect and its location. The results of the probabilistic assessment of the residual resource for a pipeline with a crack-like defect are presented.

Keywords: oil pipeline, pipe, defect, diagnostics, repair, residual resource.

Под оценкой текущего технического состояния нефтепровода, согласно требованиям [1, 2, 3], понимают принятие решения о дальнейшей его эксплуатации на основе результатов технического диагностирования (выявление наличия отклонений от технических параметров). Остаточный ресурс регламентируется рядом нормативно-технических документов. Например, ГОСТ Р 55046-2012 [1] определяет порядок оценки остаточного ресурса на основе результатов механических воздействий, путем проведения усталостных испытаний. Испытуемые образцы доводят до разрушения. Определяют их предел прочности. Рассчитывают коэффициент деформационного старения, устанавливают среднюю наработку до разрушения и наработку до проведения текущего диагностирования. На основе полученного делают заключение о применении объекта в конкретном процессе эксплуатации.

Другим документом, регламентирующим оценку остаточного ресурса, является ОСТ 153-39.4-010-2002 [2]. В нем предложена типовая программа, содержащая комплекс методов неразрушающего контроля (включающий внутритрустные и наружные обследования). Однако такой подход требует существенных затрат для проведения диагностических мероприятий. Расчет параметров остаточного ресурса проводят на основе данных, опираясь на методику [2] и исходные проектные условия. Возможно использование еще одного нормативного документа [3]. В нем представлен порядок построения предельных кривых дефектов с поиском их критических размеров с привязкой к конкретному типу труб. Указанное позволяет определить проектный ресурс трубопровода при прогнозируемой скорости коррозии с учетом оптимального и пессимистического развития дефектов и оценить остаточный ресурс магистрального трубопровода.

Расчет проведем по ОСТ 153-39.4-010-2002 согласно данным объекта исследования при следующих параметрах.

Наружный диаметр трубопровода – 219 мм; трубы – 14ХГС; Категория трубопровода – III; рабочее давление – 10 МПа; запуск в эксплуатацию 2005 г.; дата проведения диагностики 2022 г.; коэффициент надежности $\gamma_n = 1$; коэффициент условий работы труда $\gamma_c = 0,9$; коэффициент надежности по материалу $\gamma_m = 1,55$; коэффициент надежности по нагрузке $\gamma_t = 1,15$.

Для указанного материала трубы $R_1^H = 432 \text{ МПа}$; $R_2^H = 245 \text{ МПа}$;

$$R = \min \left\{ \frac{R_1^H \gamma_c}{\gamma_m \gamma_n}, \frac{R_2^H \gamma_c}{0,9 \gamma_n} \right\} = \min \left\{ \frac{432 \cdot 0,9}{1,55 \cdot 1}, \frac{245 \cdot 0,9}{0,9 \cdot 1} \right\} = \min \{250,8; 245\} = 245 \text{ МПа}.$$

Проверочный расчет толщины стенки t_R осуществляется согласно формуле:

$$t_R = \frac{\gamma_k P D_H}{2(R + 0,65 \gamma_P)} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0,219}{2(245 + 0,6 \cdot 1,15 \cdot 10)} = 0,0049 \text{ м}.$$

Произведем расчет номинальной толщины стенки:

$$t_n = t_r + S_T + S_K,$$

где S_T – технологический припуск, S_K – припуск на коррозию.

Если $S_T + S_K = 5,1 \text{ мм}$, то $t_n = 4,9 + 5,1 = 10 \text{ мм}$.

В соответствии значения $R_2^H m_3 / (R_1^H m_2) = 245 \cdot 1 / (432 \cdot 0,9) = 0,63 < 0,75$. Отбраковочная толщина стенки, рассчитанная по формуле $t_{отб} = 0,5 n \cdot P \cdot a \cdot D_H / (0,9 R_2^H \cdot m_3 + n \cdot P)$, $t_{отб} = 0,00565 \text{ м}$.

Проведем расчет вероятностной минимальной толщины стенки трубы при заданном диаметре. Для этого вычислим среднеквадратическое отклонение измеряемой толщины на разных участках трубопровода.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (t_k - t_{cp})^2} = 0,583,$$

$$t_{cp} = \sum_1^N t_k / N = 334,6 / 40.$$

Здесь N – число произведенных замеров, $N = 40$; t_k – значение замеренной толщины, t_{cp} – среднее значение измерений. Вероятная минимальная толщина стенки трубы рассчитывается по формуле:

$$t_{min} = t_{cp} - 2\sigma = 8,365 - 2 \cdot 0,583 = 7,199 \text{ мм}.$$

Дальнейшая эксплуатация трубопровода допустима, так как $t_{min} > t_{отб}$.

Выполним расчет средней скорости коррозии:

$$V_{cp} = (t_n - t_{min}) / \tau = (10 - 7,199) / 12 = 0,23 \text{ мм/год};$$

$$\tau_{ост} = (t_{min} - t_{отб}) / V_{cp} = (7,199 - 5,65) / 0,23 = 6,73 \text{ лет}.$$

Далее произведем расчет остаточного ресурса исследуемого трубопровода с вероятностью прогноза 95 %. Принимаем значение регламентированной надежности $\gamma = 0,95$ % и односторонней доверительной вероятности, равной 0,95 ГОСТ 9.106-2021 [4].

Проведем расчет толщины стенки:

$$t = \frac{\gamma_f n P D_H}{2(R + 0,65 \gamma_f P)} = \frac{1,15 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 0,273}{2(245 + 0,6 \cdot 1,15 \cdot 10)} = 0,0057 \text{ м}.$$

Относительный износ трубы $\delta_k = 1 - t_k / t_{nk}$, суммарный относительный износ $\sum \delta_k = 6,54$ (табл. 1).

Таблица 1

Значения относительного износа

№	$\delta_k = 1 - t_k / t_{nk}$			
1	0,24	0,24	0,25	0,23
2	0,19	0,17	0,17	0,19
3	0,03	0,02	0,02	0,02
4	0,21	0,23	0,22	0,23
5	0,27	0,25	0,26	0,25
6	0,14	0,12	0,13	0,14
7	0,12	0,15	0,14	0,14
8	0,07	0,09	0,06	0,07
9	0,21	0,24	0,23	0,23
10	0,13	0,15	0,14	0,15
$\sum \delta_k = 6,54$				

Средний относительный износ трубы:

$$\delta_{cp} = \frac{1}{N} \sum_1^N (1 - t_k/t_{nk}) = 6,54/40 = 0,164.$$

Среднеквадратическое отклонение относительно утонения:

$$S_\delta = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (\delta_k - \delta_{cp})^2} = 0,0936.$$

Принимаем значение среднеквадратического отклонения допуска за $S_0 = 0,05$. Тогда среднеквадратическое отклонение относительно износа будет равно:

$$S_d = \sqrt{S_\delta^2 - S_0^2} = \sqrt{0,00626} = 0,079.$$

Верхнее интервальное значение среднего относительного износа.

$$\delta_{cp*} = \delta_{cp} + U_d \frac{S_d}{\sqrt{N-2}} = 0,164 + 1,65 \cdot 0,013 = 0,185.$$

Произведем расчет верхнего интервального значения среднеквадратического отклонения относительного износа:

$$S_d^* = S_d \left(1 + \frac{U_d}{\sqrt{2N-8}}\right) = 0,094.$$

Средний допускаемый относительный износ составляет:

$$[\delta_{cp}] = \frac{1}{K} \sum_1^K \left(1 - \frac{t}{t_n}\right) = 0,51.$$

Квантиль функции Лапласа $([\delta_{cp}] - \delta_{cp*})/\sqrt{S_{d*}^2 + S_0^2} = 3,2$, таким образом, значение функции Лапласа при рассчитанном квантиле составляет 0,998, значение вероятности:

$$P = 0,998 \cdot 0,95 = 0,948.$$

При таком значении вероятности, $U_r = 1,63$, то есть, параметр Q будет равен:

$$Q = \frac{0,51 \cdot 0,185 - 1,63 \sqrt{0,094^2 \cdot 0,51^2 + 0,05^2 (0,185^2 - 1,63^2 \cdot 0,094^2)}}{0,185^2 - 1,63^2 \cdot 0,094^2} = 1,47.$$

Остаточный ресурс трубопровода при вероятности прогноза 95 % составляет:

$$T = (Q - 1) \cdot \tau = (1,47 - 1) \cdot 12 = 5,64 \text{ года}.$$

Проведем расчет остаточного ресурса трубопровода с учетом выявленных и классифицированных дефектов. Для этого рассчитаем параметр пластической деформации:

$$\psi_B = (F - F_B)/F = 13,51 \%,$$

где F – исходная площадь сечения образца (5 мм); F_B – площадь сечения образца в зоне равномерного сужения (4,65 мм); $m = -\ln(1 - \psi_B) = 0,15$; $n = 1 + m = 1,15$; $\varepsilon_{i \text{ кр}} = \ln(1 + \psi_B)/\varepsilon_{0,2} = 197,7$; $\varepsilon_{0,2} = 0,002$ – относительная остаточная деформация, равная 0,2 %;

$$C = 1/(2\pi \cdot \overline{\varepsilon_{i \text{ кр}}^n}) = 0,00037.$$

Произведем расчет характеристики циклической трещиностойкости. Для этого, в первую очередь, определим разгружающее напряжение по максимальной разрушающей силе (F_c) для выбранного образца с дефектом в виде трещины:

$$\sigma_c = F_c/(b \cdot t) = 267 \text{ МПа},$$

где b – ширина образца, t – толщина образца «брутто».

Рассчитаем степень снижения разрушающих напряжений от наличия трещин в образце при относительной глубине трещины, равной $\eta = h/t = 0,5$:

$$\alpha_{tr}^{(0,5)} = 2\sigma_c/\sigma_b = 2 \cdot 267/539 = 0,99,$$

где σ_b – предел прочности (временное сопротивление разрыву).

При исходных параметрах предел прочности $\sigma_b = 539$ МПа, предел трещиностойкости для относительной глубины равной $\eta = 0,5$ составляет $I_c^{(0,5)} = 77$ МПа

Проведем расчет разрушающие кольцевые напряжения для бездефектной трубы с учетом характеристик циклической трещиностойкости:

$$\sigma_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sigma_{0,2}}{\varepsilon_{0,2}^m} \left(\frac{m}{\sqrt{3}} \right)^m = \frac{2 \cdot 376}{\sqrt{3} \cdot 0.002^{0.15}} \cdot \left(\frac{0.15}{\sqrt{3}} \right)^{0.15} = 746,5 \text{ МПа.}$$

Далее необходимо рассчитать допустимую глубину трещины:

$$K_I = I_c / m_1,$$

где K_I – коэффициент интенсивности напряжений при максимальном усредненном давлении, МПа $\cdot\sqrt{м}$; I_c – предел трещиностойкости для допускаемой глубины трещины, МПа $\cdot\sqrt{м}$; m_1 – коэффициент запаса по пределу трещиностойкости

$$m_1 = (\sigma_{0,2} / \sigma_F) \sqrt{[1 - (\sigma_F / \sigma_b)^2] / [1 - (\sigma_{0,2} / \sigma_b)^2]},$$

где σ_p – уровень рабочих напряжений, в данном случае равен кольцевым напряжениям при максимальном давлении, $\sigma_p = 161,7$ МПа, таким образом, $m_1 = 3,1$; $Y(\eta)$ – полином, зависящий от текущего значения относительной глубины трещины η (K -тарировка). Для образца типа 5 по ГОСТ 25.506-85:

$$K_I = \sigma_p \cdot \sqrt{h} \cdot Y(\eta).$$

Предел трещиностойкости определяется по формуле:

$$I_c = 0.4 \cdot I_c^{(0,5)} \cdot (\alpha_{тр} / \alpha_{тр}^{(0,5)}) \cdot (1 - \eta) Y(\eta),$$

где $\alpha_{тр}$ – степень разрушающих напряжений при текущем значении

Задаваясь несколькими значениями η в промежутке от 0 до 1 с шагом $\Delta\eta = 0,1$ рассчитаем значения $Y(\eta)$, K_I (табл. 2) и построим график зависимости $K_I(\eta)$, I_c , I_c/m_1 (рис. 1).

Таблица 2

Результаты расчета значений функции $K_I(\eta)$, I_c и I_c/m_1 по заданным значениям h и $\eta = h/\delta_n$

$h, м$	η	$Y(\eta)$	K_I	$\alpha_{тр}$	I_c	I_c / m_1
0	0,000	1,990	0,000	1,000	61,467	19,860
0,0009	0,100	2,103	10,204	0,996	58,254	18,821
0,0018	0,200	2,434	16,704	0,994	59,777	19,314
0,0027	0,300	2,947	24,769	0,992	63,201	20,420
0,0036	0,400	3,734	36,234	0,991	68,550	22,148
0,0045	0,500	5,016	54,418	0,990	76,705	24,783
0,0054	0,600	7,143	84,899	0,991	87,430	28,248
0,0063	0,700	10,597	136,035	0,992	97,389	31,465
0,0072	0,800	15,985	219,378	0,994	98,134	31,706
0,0081	0,900	24,047	350,036	0,996	74,016	23,914
0,009	1,000	35,650	547,002	1,000	0,000	0,000

По рисунку определяем допускаемую относительную глубину трещины $\eta_{доп} = 0,2$, при этом абсолютное значение допускаемой глубины трещины составляет $h_{доп} = \eta_{доп} \cdot \delta_n = 0,2 \cdot 9 = 1,8$ мм, а абсолютное значение критической глубины равно $h_{кр} = \eta_{кр} \cdot \delta_n = 0,6 \cdot 9 = 5,4$ мм.

Остаточный ресурс определяется по формуле:

$$T_0 = N_{тр} / N_p,$$

где N_p – расчетное число циклов перепада рабочего давления за 1 год, $N_p = 289$; $N_{тр}$ – долговечность труб при циклическом нагружении (в числах циклов) определяется по формуле:

$$N_{тр} = (h_0 / h_{кр}) N_0 = (1,8 / 5,4) 4878,2 = 1626,$$

где $N_0 = (h_{кр} - h_0) / (c [K_{I_k}^{(0)}]^n) = 4878,2$.

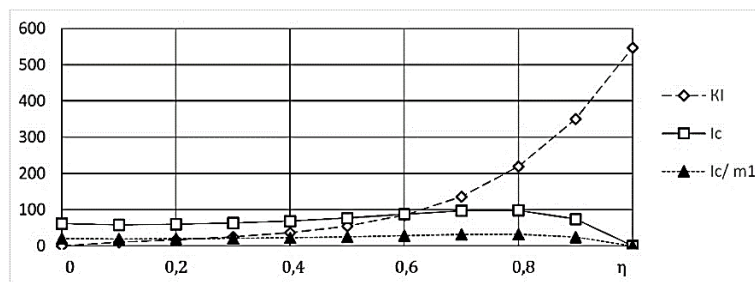


Рис. 1. Изменение параметров трещиностойкости K_I , I_c и I_c/m_1 от относительной глубины трещины η

После подстановки остаточный ресурс $T_0 = 1626/289 = 5,66$ года.

Выполним расчет остаточного ресурса трубопровода по отказам его элементов:

$$\tau_{\text{ост}} = \tau_d \cdot \frac{[\delta] - \delta_{\text{ср}}}{\frac{U_{1-\alpha}}{U_{\gamma(1-\alpha)} - 1} + \delta_{\text{ср}}} = 17 \cdot \frac{0,51 - 0,185}{\frac{0,51}{1,342 - 1} + 0,185} = 3,3 \text{ года.}$$

Выбор материала трубы при заданном режиме нагружения можно производить по известной методике [6]. С учетом проведенных расчетов, при вероятности прогноза 95 % остаточный ресурс составляет 3,3 года. Наиболее короткий остаточный ресурс по минимальной вероятной толщине стенки составляет 5,64 года. Таким образом, расчет показывает, что технология ремонта трубопровода путем установки обжимной муфты П2 должна быть направлена, в первую очередь, на устранение рассчитанного дефекта.

Список использованных источников:

1. ГОСТ Р 55046-2012. Техническая диагностика. Оценка остаточного ресурса длительно эксплуатируемых стальных трубопроводов на основе результатов механических испытаний образцов. Общие требования. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.
2. ОСТ 153-39.4-010-2002. Методика определения остаточного ресурса нефтегазопромысловых трубопроводов и трубопроводов головных сооружений. – М. : 2002. – 57 с.
3. ГОСТ 34027-2016. Система газоснабжения. Магистральная трубопроводная транспортировка газа. Механическая безопасность. Назначение срока безопасной эксплуатации линейной части магистрального газопровода. – М. : Стандартинформ, 2017. – 72 с.
4. ГОСТ 9.106-2021. Единая система защиты от коррозии и старения. Коррозия металлов. Термины и определения. – М. : Стандартинформ. – 12 с.
5. Татаринцев В.А. Моделирование надежности элементов машин с учетом мониторинга их повреждений, диагностики и ремонтного цикла / В.А. Татаринцев // Живучесть и конструкционное материаловедение (ЖивКом-2018): научные труды 4-ой Международной научно-технической конференции, посвященной 80-летию ИМАШ РАН. – 2018. – С. 264–266.
6. Шлюшников А.П. О выборе материала с учетом эксплуатационного режима нагруженности детали / А.П. Шлюшников, В.А. Татаринцев // Вестник машиностроения. – 1977. – № 8. – С. 47–49.

АНАЛИЗ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ТЕРРИТОРИИ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Ю. Луговцова, к.т.н., доц., В.А. Мазурин^а, студент гр. 3-17Г31

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская 26

E-mail: ^аvam74@tpu.ru

Аннотация: в статье рассмотрены данные по количеству и причинам возникновения лесных пожаров на территории Кемеровской области.

Ключевые слова: лесной пожар, анализ лесных пожаров, причины, статистика.

Abstract: the article considers data on the number and causes of forest in the Kemerovo region/

Keywords: forest fire, analysis of forest fires, causes, statistics.

Данная работа является актуальной из-за возросшего числа лесных пожаров на всей территории России.

Кемеровская область, известная как Кузбасс, является одним из лесных регионов Сибирского федерального округа Российской Федерации. Площадь лесных угодий здесь составляет 6335,7 тыс. га, что составляет 66,2 % общей территории области [1].

Лесные пожары представляют серьезную угрозу для жизни и деятельности людей в Кузбассе. Они приводят не только к уничтожению лесов, но и угрожают здоровью и жизни людей, а также наносят значительный экономический и экологический ущерб.

Лесные пожары на территории Кемеровской области оказывают серьезное влияние на окружающую среду и биоразнообразие региона. Пожары приводят к уничтожению растительности, включая деревья, кустарники и травянистые растения. Это ведет к сокращению обитателей леса, включая животных, населяющих эту территорию. Большое количество мест обитания и пищевых ресурсов исчезает, что приводит к исчезновению редких и уникальных видов растений и животных. Кроме того, лесные пожары влияют на качество воздуха в регионе, погода становится суше и горячее, а также возникает опасность для населения из-за задымления и выброса токсичных веществ в атмосферу. Большие зоны пожаров также приводят к значительным изменениям в почвенном покрове, что может сказаться на качестве почв и возобновлении растительности в долгосрочной перспективе. В целом, лесные пожары на территории Кемеровской области имеют серьезные последствия для окружающей среды и биоразнообразия, требующие немедленного и эффективного реагирования со стороны властей и общества в целом.

В течение последних двадцати лет Кемеровская область, как и другие регионы России, страдает от лесных пожаров. Причины этих пожаров разнообразны и включают в себя как природные факторы, так и человеческий фактор. Неконтролируемое использование огня для сжигания травы и мусора, нормативные недоработки в охране лесов и небрежность в обращении с огнем – все это одни из главных причин возникновения пожаров в регионе.

Огромные площади леса и посевов горят, сельскохозяйственные угодья и поселения попадают под угрозу. Дымовое загрязнение воздуха значительно ухудшает состояние окружающей среды и влияет на состояние здоровья населения. Общие экономические потери от лесных пожаров в Кемеровской области значительны и включают в себя ущерб лесному хозяйству, сельскому хозяйству и туристической индустрии [2].

Анализ лесных пожаров на территории Кемеровской области является важным инструментом для понимания причин и последствий этих природных катастроф. Для этого применяются различные методы анализа, которые помогают выявить основные факторы, способствующие возникновению и распространению пожаров, а также оценить ущерб, нанесенный лесному фонду и окружающей среде.



Рис. 1. Статистика лесных пожаров в Кемеровской области [3]

Одним из наиболее распространенных методов анализа является исследование исторических данных о пожарах. Собирается информация о местоположении, времени возникновения, масштабе и продолжительности каждого пожара. Эти данные позволяют сделать выводы о географических и сезонных особенностях лесных пожаров, а также выявить наиболее рискованные зоны.

Другим методом анализа является изучение климатических условий и их влияния на развитие пожаров. Исследуются данные о температуре, осадках, влажности и ветре, которые могут быть связаны с возникновением и распространением пожаров. Анализ климатических факторов позволяет определить периоды наибольшей опасности пожаров и принять соответствующие меры предосторожности.

В соответствии со статистикой, количество пожаров в Кемеровской области значительно увеличилось в последние годы, достигнув пика в 2022 году. Большинство из них происходит из-за человеческой деятельности, такой как поджог травы или неправильное обращение с огнем в лесных угодьях.

Также следует отметить, что в последние годы в Кемеровской области наблюдался тренд увеличения площади лесных пожаров. Пожары становились все более масштабными и тяжело контролируруемыми, что приводило к большим потерям лесных ресурсов и угрозе для жизни животных и людей.

В связи с этим, власти Кемеровской области принимают меры для борьбы с лесными пожарами. Одной из таких мер является создание специальных бригад, оснащенных современным оборудованием, которые занимаются предотвращением и тушением пожаров.

Также стоит отметить важную роль информационных кампаний по противодействию лесным пожарам. Власти активно информируют население о правилах поведения в лесу, а также о необходимости своевременной информации о возможных пожарах.

В 2023 году средняя площадь лесных пожаров в Кузбассе оказалась в восемь раз меньше, чем в среднем по России и в 1,6 раза меньше, чем в Сибирском федеральном округе. По сравнению с 2022 годом количество лесных пожаров в регионе сократилось в 35 раз, а площадь, охваченная пожарами, уменьшилась в 71,7 раза [4].

Прогнозирование и предотвращение лесных пожаров играют важную роль в обеспечении безопасности населения и сохранении природных ресурсов Кемеровской области. Для достижения этих целей применяются современные подходы и технологии.

В целях своевременной и полной профилактики и предотвращения лесных и других природных пожаров, а также обеспечения эффективной борьбы с ними, в период с 15 апреля по 20 октября на территории Кузбасса устанавливается пожароопасный сезон. Был разработан и утвержден Губернатором Кузбасса «Сводный план тушения лесных пожаров на территории Кемеровской области – Кузбасса на период пожароопасного сезона». Для принятия дополнительных мер по обеспечению пожарной безопасности на территории Кемеровской области было введено особое распоряжение Губернатора с 15 апреля по 1 июня.

В течение всего лесопожарного сезона проводились комплексные превентивные мероприятия для предотвращения природных пожаров [5]. Одним из основных инструментов прогнозирования лесных пожаров является система мониторинга пожароопасной обстановки. Она включает в себя сбор информации о погоде, географических особенностях территории и состоянии лесных массивов. Анализ этих данных позволяет выявить возможные точки возникновения пожаров и прогнозировать их вероятность.

Для надлежащего мониторинга и контроля за лесными пожарами на территории создана круглосуточная диспетчерская служба. По вопросам лесопожарной ситуации можно обратиться по телефону 8-800-100-94-00 или 8 (3842) 54-04-14.

По состоянию на 14 мая 2024 года, в Кемеровской области лесные пожары не зафиксированы[5].

Пожароопасный сезон в регионе установлен период с 15 апреля по 20 октября 2024 года. С 25 апреля по 01 июня введен особый противопожарный режим. Строго запрещено разведение любого открытого огня, проведение выжиганий травы!

Для борьбы с лесными пожарами в полной готовности находятся следующие силы и средства:

- Лесопожарные формирования – 449 человек (43 группы, 86 бригад) 162 ед. техники;
- Лица, использующие леса (арендаторы) – 1510 человек, 720 ед. техники;
- ГУ МЧС России по Кемеровской области – Кузбасс – 276 человек, 63 ед. техники;
- Агентство по защите населения и территории Кузбасса – 127 человек, 32 ед. техники (в т. ч. авиационное звено – 25 человек; противопожарная служба (ППС) – 78 человек, поисковый аварийно – спасательный отряд (ПАСО) – 24 человека);
- ДПК муниципальных образований – 1018 человек, 244 ед. техники;
- Лесопожарные формирования на землях особо охраняемых природных территорий – 37 человек и 19 ед. техники;
- Юргинское военное лесничество – 10 человек, 4 ед. техники.

Для предотвращения лесных пожаров применяются различные технологии. Одной из них является использование беспилотных летательных аппаратов с тепловизорами и системами распознавания пожарных очагов. Они позволяют оперативно обнаруживать возгорания и направлять на место пожарных бригады для ликвидации пожаров.

Другой технологический подход - создание пожароустойчивых зон в лесах. Это достигается путем очистки территории от горючих материалов, установки контрольных полос и создания преград для распространения пожара.

С 2023 г. правительством Кузбасса выделено дополнительное финансирование на авиационное патрулирование.

Список использованных источников:

1. Арустамов Э.А. Безопасность жизнедеятельности. / Э.А. Арустамов. – М. : Академия, 2017. – 640 с.
2. Безопасность жизнедеятельности и медицина катастроф: учебник / под ред. Киршина Н.М. – М. : Академия, 2018. – 159 с.
3. Организация охраны лесов от пожаров. – URL: https://studbooks.net/829873/agropromyshlennost/sostoyanie_voprosa (дата обращения: 12.03.2025).
4. Как рассчитывать и от чего зависит официальный ущерб от лесных пожаров. – URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=5415> (дата обращения: 18.03.2025).
5. Авиаразведка лесопожарной обстановки. – URL: <http://alb.aero/blog/monitoring-lesnyx-pozharov-s-bpla.html> (дата обращения: 19.03.2025).

ПОСЛЕДСТВИЯ АВАРИЙ НА ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЯХ

*А.Г. Мальчик^а, к.т.н., доц., В.К. Набиулина, студент гр. 3-17Г11
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: "selen@tpu.ru"*

Аннотация: Аварии на гидротехнических сооружениях представляют собой серьезную угрозу для экосистемы, общества и экономики. Появляется задача рассмотреть основные последствия таких аварий, включая экологические, экономические и социальные аспекты. В данной статье также рассмотрены нормативные документации по обеспечению безопасности и предложены рекомендации по предотвращению аварий.

Ключевые слова: Гидротехнические сооружения, безопасность, последствия, авария, анализ.

Abstract: Accidents at hydraulic structures pose a serious threat to the ecosystem, society and economy. The task arises to consider the main consequences of such accidents, including environmental, economic and social aspects. This article also reviews safety regulations and offers recommendations for accident prevention.

Keywords: hydraulic structures, safety, the consequences, accident, analysis.

Гидротехнические сооружения имеют ключевую роль в обеспечении стабильности и безопасности различных сфер жизнедеятельности общества. Однако их сложность и многочисленные факторы, которые влияют на состояние, могут привести к аварийным ситуациям [1].

Ниже представлены причины аварий на ГТС, которые можно классифицировать на несколько категорий:

1. Природные факторы.

Изменения гидрологического режима, включая колебания уровня воды и изменение потока. Влияние природных катастроф, таких как наводнения и землетрясения. Аварии на соседних водоемах или инженерных сооружениях. Увеличение интенсивности осадков и изменение температурного режима, что может привести к изменению нагрузки на сооружения.

2. Конструктивные недостатки.

Ошибки в проектировании, неправильные расчеты нагрузок и гидродинамических процессов. Неправильный выбор материалов, который не соответствует условиям эксплуатации. Износ конструктивных элементов.

3. Эксплуатационные ошибки.

Недостаточное техническое обслуживание и неправильная эксплуатация сооружений, приводящая к перегрузкам или повреждениям.

4. Недостаток мониторинга и контроля.

Отсутствие современных систем мониторинга, которые позволяют оценивать состояние ГТС в реальном времени. Нехватка данных для принятия обоснованных решений о проведении ремонтов и модернизации.

5. Человеческий фактор.

Ошибки персонала, вызванные недостаточной квалификацией. Несоблюдение правил безопасности и регламентов во время выполнения работ.

6. Экономические факторы.

Недостаточное финансирование на содержание и модернизацию ГТС. Увеличение нагрузки на систему в результате роста населения и расширения хозяйственной деятельности [2].

Аварии на гидротехнических сооружениях могут иметь серьезные последствия для окружающей среды, людей и экономики. Экологические последствия включают загрязнение водоемов, когда разрушение дамб или плотин приводит к утечке химических веществ, таких как масла или дизельное топливо, что приводит к загрязнению экосистемы. Сильный поток воды может вызвать эрозию берегов, что приведет к потере земель и изменению ландшафта. В результате крупных гидротехнических аварий может прерываться электроэнергия, пре-

крашаться функционирование водохозяйственных систем, гибнуть посевы и скот, наноситься ущерб материальным и культурным ценностям.

Аварии также могут вызвать наводнения, что может привести к жертвам среди населения. В результате люди могут быть вынуждены покинуть свои дома, что приведет к социальным и экономическим трудностям. Разрушения от наводнений могут привести к закрытию предприятий и потере рабочих мест, а восстановление поврежденной инфраструктуры требует значительных финансов. Аварии на плотинах могут вызвать перебои в водоснабжении, создавая дополнительные проблемы для населения. Дороги, мосты и другие сооружения могут быть повреждены или разрушены, что затруднит доступ к помощи и восстановлению.

Для уменьшения и предотвращения последствий аварий на гидротехнических сооружениях необходимо применять следующие меры:

- регулярные проверки и техническое обслуживание. Проведение регулярных инспекций и оценок состояния гидротехнических сооружений для выявления потенциальных проблем. Регулярное техническое обслуживание и ремонт сооружений для обеспечения их надежности и безопасности;
- модернизация и обновление инфраструктуры. Внедрение новых технологий и материалов, которые повышают устойчивость и долговечность конструкций. Модернизация систем для повышения их способности справляться с экстремальными погодными условиями и увеличением объемов воды;
- проведение анализа рисков для определения вероятности и последствий возможных аварий. Разработка планов действий на случай аварий, включая эвакуацию населения и меры по снижению ущерба;
- использование датчиков и автоматизированных систем для мониторинга уровня воды, осадков и других параметров, чтобы заблаговременно выявить потенциальные угрозы. Установление систем оповещения для информирования населения и ответственных служб о возможных угрозах;
- проектирование сооружений с учетом экологических факторов и устойчивости к изменению климата. Поддержка природных экосистем (лесов, влажных зон), которые могут уменьшить риски наводнений;
- установление стандартов и норм для проектирования, строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений. Обеспечение соблюдения норм и стандартов через регулярные проверки и контроль со стороны государственных органов [3].

Современные технологии могут значительно повысить уровень безопасности гидротехнических сооружений. Использование дронов и спутниковых систем для мониторинга состояния плотин и дамб позволяет оперативно выявлять изменения и потенциальные угрозы.

Обеспечение безопасности на гидротехнических сооружениях требует строгого соблюдения нормативной документации, которая регулирует проектирование, строительство, эксплуатацию и мониторинг этих объектов. Ниже представлены основные категории и примеры нормативной документации.

1. Гражданский кодекс устанавливает общие правовые нормы, касающиеся собственности и ответственности за ущерб. Причиненный в результате аварий на ГТС. Федеральный закон «О водоснабжении и водоотведении» от 07.12.2011 № 416-ФЗ. Федеральный закон от 21 июля 1997 г. № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений».

2. Санитарные нормы и правила (СанПиН) определяют требования к охране здоровья населения, включая предельно допустимые уровни загрязнения воды.

3. Нормы проектирования включают в себя обязательные требования к проектированию и строительству ГТС, например СНИП (Строительные нормы и правила) и СП (Свод правил). Они содержат требования к прочности, устойчивости и долговечности конструкций.

4. Правила безопасности при эксплуатации ГТС разрабатываются министерствами или ведомствами, отвечающими за водные ресурсы и безопасность, например, «Правила безопасности при эксплуатации гидротехнических сооружений» (ПБ ГТС) РД 153-34.2-21.325-2003, которые включают требования к проектированию, строительству, эксплуатации и ремонту ГТС.

5. Технические регламенты на безопасность ГТС разрабатываются для обеспечения безопасности и защиты окружающей среды. Они могут включать требования к проектированию, строительству и эксплуатации, а также к мониторингу и контролю за состоянием сооружений.

6. Экологические нормативы устанавливают предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в водоемах, а также требования к проведению оценок воздействия на окружающую среду при проектировании и эксплуатации гидротехнических сооружений [4].

Гидротехнические системы являются сложными инженерными сооружениями, от которых зависит стабильное функционирование важных сфер жизнедеятельности общества. Состояние ГТС иногда трудно прогнозировать, что влечет за собой риск возникновения аварийных ситуаций.

Последствия аварий могут быть катастрофическими: затопление обширных территорий, загрязнение водоемов, наводнения, жертвы среди населения, разрушение инфраструктуры и экономические потери. В зонах затопления могут размываться канализации, сливные коммуникации и места сбора мусора. Для уменьшения и

предотвращения данных проблем необходимо проводить регулярные мониторинг и техническое обслуживание ГТС, проводить анализы рисков, устанавливать автоматизированные системы оповещения [5].

Важным аспектом обеспечения безопасности на гидротехнических сооружениях является соблюдение нормативной документации, которая охватывает все этапы – от проектирования до эксплуатации. Для эффективного управления гидротехническими системами и минимизации рисков аварий требуется комплексный подход. Это позволит предотвратить аварии и обеспечить безопасность.

Список использованных источников:

1. Крутов Д.А. Гидротехнические сооружения: учебное пособие для вузов / Д.А. Крутов. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 238 с. – ISBN 978-5-534-12898-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/519084> (дата обращения: 01.04.2025).

2. Исследование аварий на гидротехнических сооружениях // Методы контроля их безопасности, 2020. – № 4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-avariy-na-gidrotehnicheskikh-sooruzheniyah-i-metody-kontrolya-ih-bezopasnosti/> (дата обращения: 03.04.2025).

3. ГО, ЧС и пожарная безопасность // Гидротехнические сооружения: угрозы и меры по обеспечению безопасности. – 2019. – № 11. – URL: <https://prominf.ru/article/gidrotehnicheskie-sooruzheniya-ugrozy-i-mery-po-obespecheniyu-bezopasnosti/> (дата обращения: 03.04.2025).

4. Нормативная документация. – URL: <https://www.gosnadzor.ru/activity/control/acts/hydro/> (дата обращения: 03.04.2025).

5. Защита в чрезвычайных ситуациях. – URL: <https://obuchenie-gochs.ra.rutp.ru/mod/page/view.php?id=398> (дата обращения: 03.04.2025).

КОМПЛЕКТНОСТЬ, ПОРЯДОК ХРАНЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРВИЧНЫХ СРЕДСТВ ПОЖАРУТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ АВТОПРЕДПРИЯТИЙ

П.В. Родионов^a, к.пед.н., доц., И.К. Асанов, студент гр. 3-17Г21

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail:^arodionov1972@tpu.ru

Аннотация: В представленной статье проанализирован вопрос хранения техники в условиях автопредприятия. Изучены требования к зданиям по типу «бокс» и представлены планы и инструкции по хранению техники, а также подробно обозначены нестандартные риски и прописаны все имеющиеся в боксах средства пожарной безопасности.

Ключевые слова: хранение техники, боксы, огнетушители, система пожаротушения, стенды пожаротушения.

Abstract: In the presented article, the issue of storing equipment in a car enterprise is analyzed. The requirements for buildings of the «box» type were studied and plans and instructions for storing equipment were presented, as well as non-standard risks were identified in detail and all fire safety equipment available in the boxes were prescribed.

Keywords: equipment storage, boxes, fire extinguishers, fire extinguishing system, fire extinguishing stands.

В наши времена, когда растет количество единиц общественного транспорта, задача сохранности авто техники предприятий, как никогда становится актуальной. Особенно не стоит недооценивать стоимость этой техники. Увеличение размеров автотранспортных предприятий является причиной увеличения автомобильной техники на площади организации и как следствие уменьшение противопожарных расстояний между транспортными средствами автопредприятия. Как следствие – повышается пожарная опасность и усложняется борьба с пожарами на таких территориях. Автопредприятие в этом плане, относится к зоне повышенной опасности, так как помимо хранения большого количества техники, в непосредственной территориальной близости находятся и иные пожароопасные объекты (рис. 1).

Причинами возникновения пожара в местах хранения техники, чаще всего, являются общие для всех случаев возгорания нарушения техники безопасности. Но в условиях автотранспортного предприятия есть и определенный специфичный человеческий фактор. Более всего материальный ущерб заметен при пожарах в зданиях, отведенных под постоянное хранение (консервацию), техническое обслуживание техники. Основной вред причиняет непосредственно открытый огонь, поскольку температура при горении может достигать 800–900 С.

При планировании противопожарных мероприятий необходимо руководствоваться Постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 «Об утверждении «Правил противопожарного режима в Российской Федерации», а также основными документами, в которых прописаны требования и положения по пожарной безопасности для хранения техники в боксах. Приведенный нормативный документ предполагает общие требо-

вания пожарной защиты, требования по гражданской обороне и выполнение всех противопожарных мероприятий. Основные противопожарные меры, при хранении техники принимают в соответствии с положениями, распоряжениями руководства, наставлениями и инструкциями.



Рис. 1. Статистика пожаров по видам объектов экономики

Для обеспечения, прибывающего для тушения пожара, личного состава ГПС России у КПП на техническую территорию автопредприятия, рядом с площадкой для размещения пожарных средств, оборудуется пожарно-инвентарный пост.

На пожарно-инвентарном посту размещаются:

- огнетушители, лопаты и ведра – по 10 шт.;
- ломы, топоры, багры металлические и насадные – по 5 шт.;
- асбестовое покрывало – 1;
- песок в полиэтиленовых мешках (20 шт. по 5 кг).

Все указанные средства первичного пожаротушения размещены на противопожарном щите размером 2000×1500 мм, щит изготавливается из местных материалов и окрашивается в белый цвет. Окантовка щита, огнетушители, крышка ящика с песком и ручки инвентаря окрашиваются в красный цвет, а металлические части в черный цвет. Противопожарный инвентарь должен содержаться исправным. Щиты с пожарным инвентарем размещаются из расчета обслуживания одним щитом групп зданий в радиусе 200 м, для парков с техникой и хранилищ с имуществом – в радиусе 100 м и у каждого хранилища со взрывопожароопасным имуществом. В тех местах, где систематически производятся погрузочно-разгрузочные работы, щиты с противопожарным инвентарем устанавливаются через каждые 100 м.

Первичные средства пожаротушения необходимы для ликвидации небольших возгораний и ограничения распространения пожара. К первичным средствам пожаротушения относятся переносные и передвижные огнетушители, пожарные краны, пожарный инвентарь, покрывала для изоляции очага пожара.

В качестве огнетушащих средств могут быть использованы:

– Вода: обычно используется для тушения пожаров путем охлаждения горящих материалов и самого огня. Однако ее не следует использовать для тушения электрических пожаров или легковоспламеняющихся жидкостей.

– Песок и грунт: можно использовать для тушения небольших пожаров и локализации разливов легко воспламеняющихся жидкостей.

Противопожарные одеяла можно использовать для изоляции огня от окислителя, но синтетические ткани использовать не следует, поскольку они могут расплавиться и выделять токсичные пары.

Огнетушители – это портативные устройства, которые выделяют огнетушащие вещества для тушения пожаров. Углекислотные огнетушители эффективны при пожарах на электроустановках и безопасны для человека.

Территорию автотранспортного предприятия тщательно очищают от сухих древесных и травянистых остатков, мусора, возле функционально значимых зданий устанавливают молниеотводы и системы, обеспечивающие пожаро- и взрывобезопасность. Для осуществления тушения пожара всегда должны быть свободны пути для проезда пожарного транспорта к источникам водоснабжения.

Запрещено разводить открытый огонь на расстоянии менее 50 м от техники, использовать неисправное отопительное оборудование и электроприборы, применять запрещенные правила розжига. Первичные и основные средства пожаротушения обозначают специальными знаками. В складах, ангарах и производственных це-

хах средства должны быть расположены на пожарных щитах. Территорию автотранспортного предприятия оснащают звуковой пожарной сигнализацией.

Автотехнику устанавливают с нужным интервалом для ускоренного вывода в случае возникновения пожара или возгорания. Все топливные агрегаты и системы должны быть герметичными. На стоянках не хранят ГСМ и пустую тару из-под них. Заправка топлива осуществляется только в заземлённые машины.

Склады и хранилища оборудуют наружными рубильниками, устанавливают в них светильники закрытого типа, размещающиеся вдоль основных и смотровых проходов. Электрические розетки на территории хранилищ запрещены. При пролитии горючей жидкости место разлива засыпается песком или другим сорбентом, который сразу же удаляется.

Ежедневно перед закрытием по окончании рабочего дня все мастерские, хранилища, склады, парки и другие опасные в противопожарном отношении производственные помещения проверяются (осматриваются) заведующими складами (хранилищами), начальниками цехов, дежурными по паркам. Все замеченные недостатки устраняются до закрытия помещений (хранилищ). Перечень зданий и сооружений, подлежащих осмотру лицами пожарного наряда, объявляется приказом по предприятию.

Гаражи и боксы для хранения техники должны быть снабжены системами пожаротушения и оповещения о пожаре в соответствии с требованиями нормативных документов. Количество и места размещения переносных огнетушителей устанавливаются в соответствии с действующими противопожарными нормативами с учетом специфики применяемого оборудования.

Рассмотренные данные и обстоятельства указывают на то, что решение проблемы пожарной безопасности на автопредприятиях во многом зависит от улучшения уровня противопожарных мероприятий, таких как знание требований пожарной безопасности и своевременное выполнение противопожарных мероприятий.

Регулярное проведение организационно-технических мероприятий направленных на предотвращение пожаров, значительно влияет на снижение пожаров в целом и приводит к снижению количества пожаров и последствий от них на территории автотранспортных предприятий Российской Федерации.

Список использованных источников:

1. О защите населения и территории от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: Федеральный закон № 68 – ФЗ от 21.12.1994 г.: (редакция 2019 года). – Доступ из справ. -правовой системы КонсультантПлюс. – URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/ (дата обращения: 20.12.2024).

2. Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479: (редакция от 24.10.2022). – Доступ из справ. -правовой системы Контур. Норматив. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=443384> (дата обращения: 12.02.2025).

3. Техника пожарной безопасности на предприятиях и автохозяйствах / Портал о пожарной безопасности, 2018. – URL: <http://pojarunet.ru/tekhnika-pozharnoj-bezopasnosti-na-voennykh-bazakh>. (дата обращения: 12.02.2025).

4. Противопожарная защита мест хранения автотранспорта, 2019 г.: сайт. – URL: <https://megalektsii.ru/s35878t1.html> (дата обращения: 12.02.2025).

5. Устройство и оборудование парков автохозяйств: сайт. – URL: https://www.audar-info.ru/na/editArticle/index_id/5/doc_id/6930/release_id/35979/sec_id/203251/. (дата обращения: 12.02.2025).

АНАЛИЗ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ

П.В. Родионов^а, к.пед.н, доц., И.Н. Кольчурин, студент гр. 17Г41, Д.П. Когтева, студент гр. 3-17Г01

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^аrodionov1972@tpu.ru

Аннотация: Проектирование систем пожарной защиты – это один из главных этапов в обеспечении мер по пожарной безопасности объекта недвижимости. Утвержденные нормативно-правовые акты распространяются как на юридических лиц, так и на ИП. Поскольку требования относительно ПБ отличаются для разных видов зданий, проекты разрабатываются в персональном порядке. Для защиты сооружения от возгораний, а также иных бедствий требуется правильно сконструировать пожарную сигнализацию, СОУЭ, системы пожаротушения и дымоудаления.

Ключевые слова: система пожарной безопасности, пожарная сигнализация, пожарный извещатель, алгоритмы принятия решений.

Abstract: Design of fire protection systems is one of the main stages in ensuring fire safety measures for a real estate object. Approved regulatory legal acts apply to both legal entities and individual entrepreneurs. Since fire safety requirements differ for different types of buildings, projects are developed on an individual basis. To protect a building from fires and other disasters, it is necessary to correctly design a fire alarm, fire alarm system, fire extinguishing and smoke removal systems.

Keywords: fire safety system, fire alarm system, fire detector, decision-making algorithms.

С 1 марта 2021 года вступил в силу новый свод правил – СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования», который заменил уже существующий СП 5.13130.2009 и внёс ряд существенных изменений в правила проектирования и построения систем противопожарной защиты и автоматизации. В данной статье мы рассмотрим 7 основных изменений, которые кардинально влияют на проектирование систем противопожарной защиты, но для понимания полной картины, нужно обязательно изучить оригинал документа СП 484.1311500.202.

На данный момент, построение систем пожарной сигнализации можно глобально разделить на два типа:

– централизованное – когда система имеет центральный (главный) блок управления ППКП и множество второстепенных блоков (контроллеры, расширители и т. п.), которые служат для подключения конечных устройств (датчики и т. п.);

– децентрализованное – когда система имеет несколько центральных (главных) блоков управления ППКП, которые объединены в одну систему линиями связи, при этом все блоки системы равнозначны и выполняют в системе свою часть функционала.

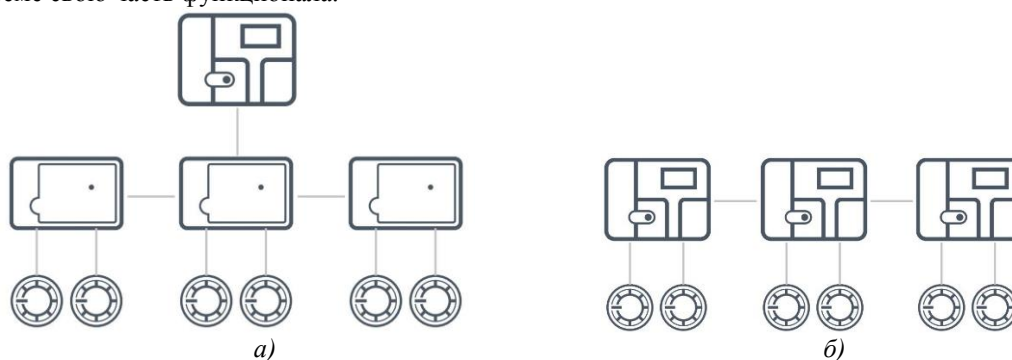


Рис. 1. Схема построения СПС: а – централизованной СПС; б – децентрализованной СПС

Согласно пункта 5.3 нового СП: «В случаях, когда защите подлежат объекты, разделённые на пожарные отсеки, комплексы отдельно стоящих зданий или сооружений (два или более здания или сооружения), в том числе объединённые строительными конструкциями (например, переходами), единичная неисправность линий связи СПА в одной части объекта (в здании, сооружении, отсеке и т.п.) не должна влиять на работоспособность СПА в других частях объекта и возможность отображения сигналов о работе СПА на пожарном посту.

Таким образом, согласно данного пункта, для построения централизованных систем, следует резервировать (кольцевать) линии связи между главным блоком системы ППКП и второстепенными блоками, иначе, в случае повреждения линии связи часть объекта может остаться без защиты.

Для примера рассмотрим построения централизованной СПС в трёх секционном доме, без кольцевания линий связи.

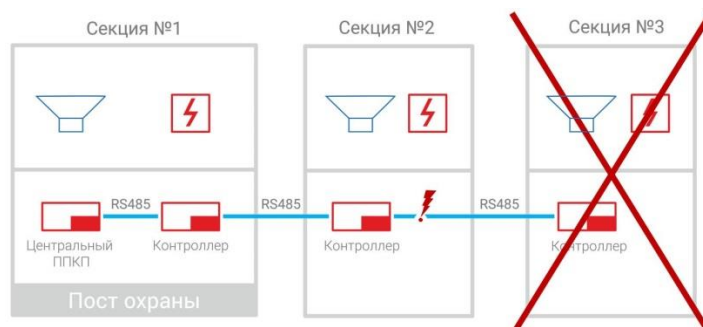


Рис. 2. Пример неправильного построения СПС в трёх секционном жилом доме (централизованная система)

В данном случае, при повреждении линии связи, часть объекта останется без защиты. Если же рассматривать данный пример с построением децентрализованной СПС, то повреждение линии связи не повлияет на целостность защиты объекта, а значит такой вариант будет правильный.

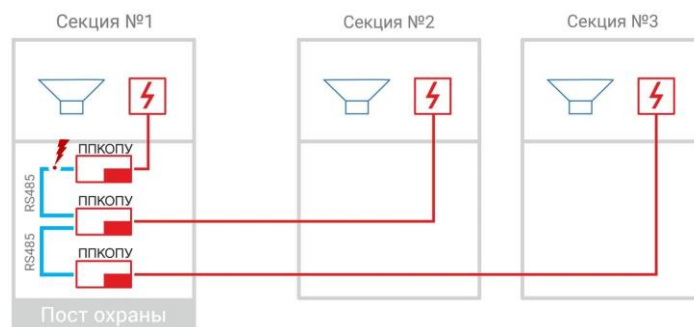


Рис. 3. Пример правильного построения СПС в трёх секционном жилом доме (децентрализованная система)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что:

- для соблюдения новых норм, построения крупных систем пожарной сигнализации лучше делать децентрализованно, то есть каждый пожарный отсек объекта должен иметь свою ППКП, которая может автономно функционировать в случае повреждения линии связи;
- мелкие и средние по величине объекты, можно строить централизованно, но при этом все линии связи должны быть закольцованы и защищены от КЗ.

Остановимся на изменениях в требованиях к топологии шлейфов и организации зон пожарной сигнализации. Для полного понимания данных изменений нужно ознакомиться с новыми терминами:

- единичная неисправность линий связи – единичное нарушение работоспособности одной из линий связи;
- зона контроля пожарной сигнализации (далее – ЗКПС) – территория или часть объекта, контролируемая пожарными извещателями, выделенная с целью определения места возникновения пожара, дальнейшего выполнения заданного алгоритма функционирования систем противопожарной защиты.

Согласно пункта 5.4 «СПА должна быть спроектирована таким образом, чтобы в результате единичной неисправности линий связи был возможен отказ только одной из следующих функций:

- автоматическое формирование сигнала управления не более чем для одной зоны защиты (пожаротушения, оповещения и т. п.);
- ручное формирование сигнала управления не более чем для одной зоны защиты (пожаротушения, оповещения и т. п.).

Таким образом, согласно новым правилам, проектировщик на этапе проектирования системы должен самостоятельно разделить объект на ЗКПС и отобразить это в проекте, так как в дальнейшем эта информация понадобится в пуско-наладке системы и её эксплуатации. В отдельные ЗКПС должны быть выделены:

- квартиры, гостиничные номера и иные помещения, которые находятся во временном или постоянном пользовании физическими или юридическими лицами;
- лестничные клетки, кабельные и лифтовые шахты, шахты мусоропроводов, а также другие помещения или пространства, которые соединяют два и более этажей;
- эвакуационные коридоры (коридоры безопасности), в которые предусмотрен выход из различных пожарных отсеков;
- пространства за фальшпотолками;
- пространства под фальшполами.

Требование распространяется для случаев, когда контроль СПС данных помещений и пространств необходим в соответствии с нормативными документами по пожарной безопасности.

Также согласно пункта 6.3.4. «ЗКПС должны одновременно удовлетворять следующим условиям:

- площадь одной ЗКПС не должна превышать 2000 м²;
- одна ЗКПС должна контролироваться не более чем 32 ИП;
- одна ЗКПС должна включать в себя не более 5 смежных и изолированных помещений, расположенных на одном этаже объекта и в одном пожарном отсеке, при этом изолированные помещения должны иметь выход в общий коридор, холл, вестибюль и т.п., а их общая площадь не должна превышать 500 м².

Данные изменения существенно затронули принципы строения как адресных, так и безадресных СПС. Суммируя все вышеизложенное, можно графически отобразить принципы строения адресных и безадресных СПС.

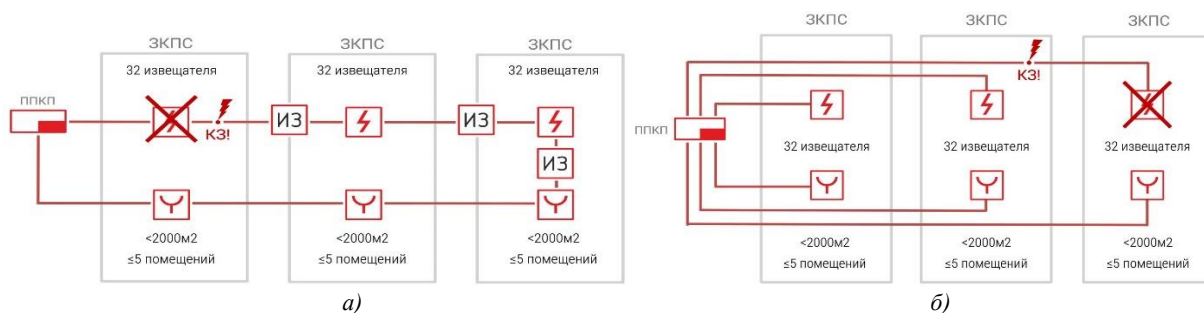


Рис. 4. Схема построения СПС: а – адресной; б – безадресной

Согласно пункта 5.20 «Рекомендуется предусматривать запас по ёмкости ППКП и ППУ для подключения дополнительных устройств, который может быть задействован при производстве перепланировок или реконструкции. Если иное не определено заданием на проектирование, то запас должен составлять:

- не менее 20 %, если планировка и вид отделки определён;
- не менее 100 %, если не определена окончательная планировка помещений и возможно дополнительное оборудование помещений фальшполами и подвесными потолками.»

Более критичным в данном случае является пункт 5.7, согласно которому, все используемые при монтаже СПС аксессуары, например, шкафы, боксы и т.п., должны иметь сертификацию производителя и иметь документ, подтверждающий, что конкретный прибор был протестирован в совместной работе с данным аксессуаром. То есть, для того чтобы защитить пожарный извещатель от механических повреждений, необходимо использовать только те аксессуары, которые производитель протестировал совместно с данным извещателем и указал про это в паспорте на извещатель.

Согласно требованиям пункта 5.21 «СПА не должны выполнять функции, не связанные с противопожарной защитой, за исключением следующих функций, использующих общие исполнительные устройства:

- трансляция музыкальных программ, рекламных и информационных объявлений, иных сообщений, связанных с гражданской обороной и чрезвычайными ситуациями;
- управление водоснабжением объекта;
- управление естественным проветриванием здания;
- управление общеобменной вентиляцией здания.

Данные требования затрагивают все ППКП, которые ранее совмещали в себе функционал пожарной и охранной сигнализации. Согласно новым требованиям, ППКП уже не могут принимать сигналы от несертифицированных устройств, так как это может нарушать работу СПС. Однако выдача сигналов с пожарной централи никак не ограничена на смежные системы.

Кардинальные изменения коснулись схем расстановки пожарных извещателей. В новых правилах появился пункт 6.6.5, согласно которому каждая точка помещения, должна контролироваться извещателем. Таким образом если раньше схема расстановки извещателей выглядела как на рисунке 5, а, то теперь, согласно новым требованиям, схема расстановки пожарных извещателей должна выглядеть так, как показано на рисунке 5, б.

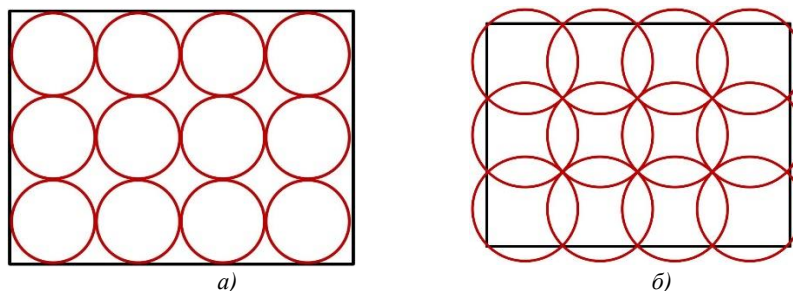


Рис. 5. Схема расстановки пожарных извещателей: а – согласно СП 5.13130.2009; б – согласно СП 484.1311500.2020

То есть, согласно нового СП, каждая точка помещения должна контролироваться пожарным извещателем, а это значит, что для защиты помещений необходимо будет использовать больше извещателей, для того чтобы они могли перекрывать зоны действия друг друга и контролировать каждую точку защищаемой площади. Согласно данных алгоритмов, также регламентируются и изменения в расстановке извещателей. Данные изменения регламентирует раздел 6.4 СП 484.1311500.202.

Принятие решения о возникновении пожара в заданной ЗКПС должно осуществляться выполнением одного из алгоритмов: А, В или С. Для разных частей (помещений) объекта допускается использовать разные алгоритмы.

Алгоритм А должен выполняться при срабатывании одного ИП без осуществления процедуры перезапроса. В качестве ИП для данного алгоритма могут применяться ИП любого типа, при этом наиболее целесообразно применение ИПР.

Алгоритм В должен выполняться при срабатывании автоматического ИП и дальнейшем повторном срабатывании этого же ИП или другого автоматического ИП той же ЗКПС за время не более 60 сек, при этом повторное срабатывание должно осуществляться после процедуры автоматического перезапроса. В качестве ИП для данного алгоритма могут применяться автоматические ИП любого типа при условии информационной и электрической совместимости для корректного выполнения процедуры перезапроса.

Алгоритм С должен выполняться при срабатывании одного автоматического ИП и дальнейшем срабатывании другого автоматического ИП той же или другой ЗКПС, расположенного в этом помещении.

При использовании адресных автоматических ИП и получении сигнала «Неисправность» от одного или нескольких адресных автоматических ИП в помещении допускается формировать сигнал «Пожар» при срабатывании одного адресного автоматического ИП.

При использовании безадресных автоматических ИП, подключённых в разные, но взаимозависимые линии связи одной ЗКПС, в случае наличия извещения о неисправности одной линии связи или нескольких из них допускается формировать сигнал «Пожар» при срабатывании одного безадресного автоматического ИП.

Выбор конкретного алгоритма осуществляет проектная организация при условии, что алгоритмы А и В могут применяться только для ЗКПС, которые не формируют сигналы управления СОУЭ 4–5 типов и АУПТ. Сигналы управления СОУЭ 4–5 типов и АУПТ могут быть сформированы от ЗКПС при выполнении алгоритма А, если в данной ЗКПС установлены только ИПР.

Новый СП кардинально изменил правила строения СПС в жилых зданиях. Согласно нововведениям, системой автоматической пожарной сигнализации должны быть оборудованы любые жилые здания независимо от высотности, а схема размещения пожарных извещателей должна соответствовать вышеизложенным требованиям.

Раздел, регламентирующий применение адресных и безадресных систем пожарной сигнализации на различных объектах потерпел ряд кардинальных изменений, благо создатели нового СП дали подробный перечень зданий и сооружений, которые подлежат оснащению адресными или безадресными АПС в зависимости от их функционального назначения, площади и высоты потолков. Данный перечень находится в приложении А СП 484.1311500.202. Большинство объектов, в том числе и небольшой площади, теперь подлежат оборудованию адресными системами. Как мы понимаем это вызвано тем, что данные системы более надёжные и точные, позволяют определять точное место возникновения пожара, а значит дают возможность значительно быстрее его локализовать. Но тем не менее, также много объектов, в основном небольших площадей, могут быть оборудованы безадресной системой, но стоит учитывать тот факт, что данные требования лишь допускают установку безадресной системы, окончательное решение принимает проектная организация на основе дополнительных данных про тот или иной объект.

Также, Правительство России Постановлением Правительства РФ от 1 сентября 2021 г. № 1464 «Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре» установило требования к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системами сигнализации, оповещения и эвакуации при пожаре. Новым нормативом определены различные критерии оснащения объектов защиты различными противопожарными системами, расписана классификация систем оповещения и эвакуации граждан при пожаре.

Документ вступил в силу с 1 марта 2022 года и будет действовать 5 лет. Его действие распространяется, как следует из п. 1 Требований по постановлению № 1464, на объекты защиты (здания, сооружения, помещения, оборудование), введенные в эксплуатацию до 29.04.2009 года – дня вступления в силу Закона № 123-ФЗ, либо имеющие проектную документацию, направленную на экспертизу до вступления в силу Закона № 123-ФЗ.

В свою очередь, в отношении объектов, запроектированных или возведенных, равно как и прошедших капитальный ремонт (реконструкцию, техническое перевооружение) после вступления в силу Закона № 123-ФЗ, действует очень большое количество различных нормативных актов. МЧС России даже выделило данные нормативы в отдельный перечень, с которым можно ознакомиться на сайте ведомства. Это и федераль-

ные законы, и правительственные постановления, и ГОСТы, и своды правил, регламентирующие применение систем противопожарной защиты (СП): противопожарные требования российским законодательством установлены по-прежнему очень строгие, предполагающие проведение эксплуатантами объектов защиты постоянного мониторинга действующей нормативной базы.

Список использованных источников:

1. Об утверждении требований к оснащению объектов защиты автоматическими установками пожаротушения, системой пожарной сигнализации, системой оповещения и управления эвакуацией людей при пожаре: Постановление Правительства РФ № 1464 от 1 сентября 2021 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/608501243> (дата обращения: 21.02.2025).
2. СП 484.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Системы пожарной сигнализации и автоматизация систем противопожарной защиты. Нормы и правила проектирования» (утвержден приказом МЧС России от 31 июля 2020 г. № 582). – URL: <https://docs.cntd.ru/document/566249686> (дата обращения: 21.03.2025).
3. Федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1301402451> (дата обращения: 21.03.2025).

КОНТРОЛЬ МЕРОПРИЯТИЙ ОСОБОГО ПРОТИВОПОЖАРНОГО РЕЖИМА ОРГАНАМИ МЕСТНОГО САМОУПРАВЛЕНИЯ

П.В. Родионов^a, доц., к.пед.н., А.А. Пенно, студент гр. 3-17Г31

И.Н. Кольчурин, студент группы 17Г41

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: ^arodionov1972@tpu.ru

Аннотация: В данной статье рассматривается контроль мероприятий особого противопожарного режима органами местного самоуправления. Рассмотрены основные аспекты контроля мероприятий особого противопожарного режима ОМС, понятие противопожарного режима и основные элементы обеспечения пожарной безопасности, полномочия органов МС по обеспечению первичных мер пожарной безопасности.

Ключевые слова: Местное самоуправление, органы местного самоуправления, противопожарный режим, пожарная безопасность, особый противопожарный режим.

Abstract: This article examines the control of special fire safety measures by local government bodies. It examines the main aspects of control of special fire safety measures by local government bodies, the concept of fire safety and the main elements of ensuring fire safety, the powers of local government bodies to ensure primary fire safety measures.

Keyword: Local self-government, local self-government bodies, firefighting regime, fire safety, special firefighting regime.

Пожарная безопасность в современном обществе играет немаловажную роль, ведь это состояние защищенности личности, своего имущества, общества и государства в целом.

Одной из важнейших функций нашего государства и является обеспечение граждан пожарной безопасностью. Государство, в свою очередь, разрабатывает необходимые правила и нормы, при соблюдении которых снижается риск возгораний и их ликвидация с минимальными потерями. Система обеспечения пожарной безопасности включает в себя множество элементов, одним из которых являются органы муниципального управления или иными словами органы местного самоуправления (далее – ОМС).

Органы местного самоуправления играют ключевую роль в организации и проведении контроля за соблюдением мер противопожарной безопасности. Они осуществляют проверку объектов на соответствие требованиям пожарной безопасности, контролируют правильность выполнения плановых работ по обеспечению пожарной безопасности, а также разрабатывают и вводят в действие необходимые нормативные акты. Кроме того, органы местного самоуправления оказывают содействие гражданам и юридическим лицам в решении вопросов, связанных с обеспечением пожарной безопасности.

Местное самоуправление осуществляется в муниципальных образованиях, городских и сельских поселениях, муниципальных районах, городских округах и на внутригородских территориях городов федерального значения.

На уровне местного самоуправления создаются исполнительные органы негосударственного характера, так как органы муниципалитета не входят в систему государственных органов исполнительной власти.

«Органы местного самоуправления – это органы муниципальных образований, создаваемые для осуществления функций публичного управления на своей территории в целях обеспечения публичных интересов,

развития экономики и социально-культурной сферы и решения иных местных вопросов жизнедеятельности населения» [1].

Органы МС для выполнения задач и функций публичного местного управления получают соответствующие полномочия и компетенции.

К органам муниципального самоуправления относятся:

- представительный орган муниципального образования;
- глава (мэр) муниципального образования;
- местная администрация (исполнительно-распорядительный орган муниципального образования);
- контрольный орган муниципального образования;
- иные органы МС, предусмотренные уставом муниципального образования и обладающие собственными полномочиями по решению вопросов местного значения.

Органы местного самоуправления играют важную роль в контроле и надзоре за мероприятиями особого противопожарного режима. Они выполняют функции планирования, организации и контроля проведения таких мероприятий на своей территории.

Одной из основных задач муниципальных органов является разработка планов мероприятий особого противопожарного режима для своей территории. В этих планах устанавливаются нормативы и требования к противопожарной безопасности, определяются ответственные лица и организации за проведение мероприятий, а также планируется система контроля выполнения этих мероприятий.

Органы местного самоуправления также осуществляют контроль выполнения мероприятий особого противопожарного режима. Они проверяют выполнение требований и нормативов по противопожарной безопасности, соблюдение порядка проведения пожарно-технического аудита, наличие необходимых документов и решений. В случае выявления нарушений они могут принимать решения о применении административных мер, штрафов или отзыве разрешений на проведение определенных мероприятий.

Таким образом, роль органов местного самоуправления в контроле мероприятий особого противопожарного режима заключается в планировании, организации и контроле всех этапов проведения таких мероприятий.

Контроль мероприятий особого противопожарного режима является одной из важнейших задач органов местного самоуправления. В условиях постоянно возрастающей угрозы пожаров, эффективная система контроля и надзора становится необходимой для обеспечения безопасности жизни и имущества граждан. Правильное выполнение мероприятий особого противопожарного режима способствует предотвращению пожаров и минимизации возможных последствий.

Противопожарный режим (ПР) – это совокупность установленных НПА (нормативными правовыми актами) Российской Федерации, НПА субъектов РФ и муниципальными правовыми актами по пожарной безопасности требований пожарной безопасности, определяющих правила поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий, зданий, земельных участков, сооружений, помещений организаций и других объектов защиты в целях обеспечения пожарной безопасности [2].

Основные элементы, входящие в систему обеспечения пожарной безопасности:

- органы государственной власти;
- органы местного самоуправления;
- организации;
- граждане, принимающие участие в обеспечении пожарной безопасности в соответствии с законодательством РФ.

Особым противопожарным режимом являются: дополнительные требования пожарной безопасности, устанавливаемые органами государственной власти или органами местного самоуправления в случае повышения пожарной опасности на соответствующих территориях [3].

В период действия особого противопожарного режима:

- устанавливается запрет на посещение гражданами лесов (за исключением ведением трудовой деятельности связанной с пребыванием в рощах, лесах; осуществление рекреационной деятельности; в целях любительской и спортивной охоты);
- устанавливается запрет на разведение кострищ, а также сжигание мусора, сухой травы и листвы, иных отходов, на придомовых территориях частных домов, садоводческих и огороднических товариществ;
- временно приостанавливается использование мангалов и иных приспособлений для тепловой обработки пищи с помощью открытого огня (за исключением мангалов и иных приспособлений, установленных на территориях объектов общественного питания (ресторанов);
- устанавливается порядок осуществления патрулирования мест группового размещения большегрузных контейнеров силами патрульно-маневренных групп;
- привлекается население для локализации пожаров вне границ населенных пунктов;

– проводятся работы по очистке от горючих отходов, мусора бесхозных и длительное время неэксплуатируемых приусадебных земельных участков на территориях садоводческих и огороднических товариществ [4];

– организуется работа патрульных, патрульно-маневренных, маневренных и патрульно-контрольных групп с привлечением (по согласованию) сотрудников Государственной противопожарной службы МЧС, органов внутренних дел, территориальных отделов (лесничеств) для патрулирования наиболее пожароопасных участков, выявления несанкционированных сельхоз палов, оперативного реагирования на возникающие очаги пожаров, обобщения информации о результатах работы и выполнении руководителями организаций мероприятий по предупреждению пожаров;

– проводится разъяснительная работа с населением по соблюдению требований пожарной безопасности и порядка действий при возникновении пожара на территориях населенных пунктов, садоводческих и огороднических товариществ, организаций с привлечением уличных комитетов, организаций жилищно-коммунального хозяйства, а также по пропаганде и добровольному участию населения в решении вопросов противопожарной защиты квартир и жилых домов, а также привлечению населения для локализации пожаров вне границ населенных пунктов;

– проводятся совещания с председателями садоводческих и огороднических товариществ по выполнению мер пожарной безопасности и организации добровольных пожарных дружин;

– проводятся мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, исключающие возможность переброса огня при полевых и лесных пожарах на здания и сооружения в населенных пунктах, загородных оздоровительных учреждениях, садоводческих и огороднических товариществ;

– обеспечивается содержание в исправном состоянии естественных и искусственных водоисточников и подъездных путей для беспрепятственного забора воды пожарными автомобилями.

Законодательная база и полномочия органов местного самоуправления в области противопожарной безопасности являются основой для эффективного контроля мероприятий особого противопожарного режима.

Одним из важных документов, регулирующих данную сферу, является Федеральный закон «О пожарной безопасности», который определяет основные принципы и Положения в области пожарной безопасности. Он устанавливает правила проведения мероприятий по контролю за соблюдением требований противопожарной безопасности, включая особый противопожарный режим.

Органы местного самоуправления обладают определенными полномочиями по контролю за соблюдением особого противопожарного режима на своей территории. Они имеют право принимать местные нормативные акты, которые устанавливают особые требования и правила в области противопожарной безопасности. Такие акты регулируют порядок проведения планово-профилактических мероприятий, контроля за пожарной безопасностью объектов, ограничений и запретов в период особого противопожарного режима и другие вопросы этой сферы.

Органы местного самоуправления также осуществляют контроль за соблюдением требований противопожарной безопасности на объектах и в организациях, находящихся на их территории. Они имеют право проводить проверки, выявлять нарушения и принимать меры по их устранению. В случае выявления серьезных нарушений они могут применять административные и иные меры ответственности в соответствии с действующим законодательством

Органами местного самоуправления может создаваться муниципальная пожарная охрана на территории муниципальных образований.

Цель, задачи и порядок создания, организация деятельности муниципальной пожарной охраны, порядок ее взаимоотношений с другими видами пожарной охраны определяются органами муниципалитета.

За нарушение мер, установленных муниципальными органами власти в период действия ОПР предусмотрено наказание в соответствии со ст. 20.4. КоАП РФ (Кодекс Российской Федерации) об административных правонарушениях которая гласит: «Нарушение требований пожарной безопасности, совершаемые в условиях особого противопожарного режима, влечет предупреждение или наложение административного штрафа на граждан в размере:

– от 10 000 рублей до 20 000 рублей;

– на должностных лиц – от 30 000 рублей до 60 000 рублей;

– на лиц, осуществляющих предпринимательскую деятельность без образования юридического лица – от 60 000 до 80 000;

– на юридических лиц – от 400 000 рублей до 800 000 рублей [5].

К полномочиям органов местного самоуправления по обеспечению первичных мер пожарной безопасности в границах сельских населенных пунктов относятся:

– формирование условий для создания добровольных пожарных дружин и активного участия граждан в обеспечении первоочередных мер пожарной безопасности [6];

- обеспечение доступа к источникам внешнего водоснабжения для надежного пожаротушения в любое время года на сельских территориях и их окрестностях;
- оснащение общественных пространств необходимым снаряжением для тушения пожаров и противопожарной защиты;
- организация системы оповещения населения и специализированных служб о возникновении пожаров;
- принятие неотложных мер по ограничению развития возгорания и эвакуации людей и имущества до прибытия специализированных пожарных подразделений;
- внедрение планов и программ развития населенных пунктов, муниципальных и городских округов с учетом мероприятий обеспечения пожарной безопасности;
- активное информирование населения о мерах пожарной безопасности через проведение собраний и информационных мероприятий при содействии региональных органов власти;
- введение специального режима предотвращения пожаров (особого противопожарного режима) в случае увеличения уровня пожарной угрозы [7].

Организация и проведение проверок мероприятий особого противопожарного режима органами местного самоуправления играет важную роль в обеспечении безопасности населения и ресурсосбережении. Проверки проводятся с целью контроля соблюдения предписаний и требований к обеспечению пожарной безопасности на объектах, где ведутся деятельность и проводятся мероприятия, которые потенциально могут стать источником пожара.

Процесс организации и проведения проверок состоит из нескольких этапов. Во-первых, проводятся предварительные мероприятия, такие как сбор информации об объекте, определение частоты и объема проверки, формирование комиссии, составление плана проверки. После этого начинается непосредственно проведение проверки, которая включает в себя осмотр объекта, выявление нарушений пожарной безопасности, оценку состояния пожаротушения и эвакуации, проверку документации и выполнение других необходимых процедур.

Результаты проверки фиксируются в акте проверки, который составляется комиссией. В акте указываются выявленные нарушения, а также предписания и рекомендации по их устранению. Периодически проводятся повторные проверки для контроля выполнения предписаний.

Кроме того, органы местного самоуправления проводят информационно-разъяснительную работу с населением и организациями, направленную на повышение уровня пожарной безопасности и соблюдение требований особого противопожарного режима. В рамках данной работы проводятся семинары, тренинги, разработка информационных материалов и другие мероприятия.

Одним из важнейших аспектов контроля мероприятий особого противопожарного режима органами местного самоуправления является их взаимодействие с другими структурами. Именно это и позволяет обеспечить эффективность и координацию действий всех участников процесса.

Во-первых, органы муниципалитета взаимодействуют с инспекторами технического надзора. Технический надзор осуществляется в целях проверки соответствия объектов техническим требованиям пожарной безопасности. Органы местного самоуправления предоставляют инспекторам необходимую информацию о мероприятиях на своей территории и обеспечивают их доступ к объектам для проведения проверок.

Во-вторых, органы активно сотрудничают с пожарной охраной. Они обмениваются информацией о мероприятиях, проводимых для обеспечения пожарной безопасности на территории муниципалитета. Кроме того, проводятся совместные тренировки и учения, чтобы проверить готовность к быстрому реагированию на возможные пожарные происшествия.

Кроме того, органы местного самоуправления взаимодействуют с органами государственного пожарного надзора. Это позволяет эффективно контролировать соблюдение законодательства о противопожарной безопасности на территории муниципалитета. Органы местного самоуправления предоставляют государственным инспекторам необходимые ресурсы и информацию для проведения проверок и правильной оценки рисков возникновения пожара.

Таким образом, взаимодействие органов местного самоуправления с другими структурами при контроле мероприятий особого противопожарного режима позволяет обеспечить эффективность и координацию действий всех участников процесса.

Контроль мероприятий особого противопожарного режима органами местного самоуправления в 2024 году на примере Юргинского муниципального округа:

Для обеспечения безопасности и защиты жизни, здоровья и имущества граждан от пожаров, отделом по делам ГО и ЧС (гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям) администрации Юргинского муниципального округа создается распоряжение, в котором устанавливаются меры и сроки по обеспечению пожарной безопасности на территории округа, такие как:

1. Установить на территории Юргинского муниципального округа особый противопожарный режим на период с 25.04.2024 по 01.06.2024:

1.1. Запретить разведение костров, сжигание мусора, травы, сухой листвы и прочих отходов на территории Юргинского муниципального округа.

1.2. Утвердить перечень первичных средств пожаротушения и противопожарного инвентаря для помещений и строений, принадлежащих гражданам.

2. Рекомендовать главам территориальных управлений Юргинского муниципального округа:

2.1. Принять правовые акты об установлении на территориях территориальных управлений особого противопожарного режима с 25.04.2024 по 01.06.2024.

2.2. Утвердить перечень первичных средств пожаротушения и противопожарного инвентаря для помещений и строений, принадлежащих гражданам.

2.3. Организовать проверку наличия и состояния пожарной техники и иной техники, привлекаемой для целей пожаротушения.

2.4. Организовать и проводить разъяснительную работу с населением с привлечением уличных комитетов, учреждений жилищно-коммунального хозяйства по соблюдению требований пожарной безопасности и порядка действий при возникновении пожара на территориях населенных пунктов, дачных поселков, а так же способах тушения лесных пожаров.

2.5. В срок до 25.04.2024 организовать и провести комплекс превентивных мероприятий в целях предупреждения возникновения пожаров.

2.6. Организовать патрульные, патрульно-маневренные и маневренные группы с привлечением сотрудников Государственной пожарной службы МЧС и органов внутренних дел для патрулирования, выявления и оперативного реагирования на возникающие пожары.

2.7. Активизировать работу по пропаганде и добровольному участию населения в решении вопросов противопожарной защиты построек, помещений, квартир и жилых домов.

2.8. Запретить разведение кострищ, сжигание мусора, сухой травы, листвы и прочих отходов на территориях сельских поселений.

2.9. Провести совещания с представителями садовых обществ и дачных кооперативов по выполнению мер пожарной безопасности и организации добровольных дружин на период летнего сезона 2024 года.

2.10. Обеспечить доступ к естественным и искусственным водоисточникам подъездными путями.

2.11. Предоставить информацию о принятых мерах по выполнению настоящего распоряжения в отдел по делам ГО и ЧС администрации Юргинского муниципального округа.

Также немаловажную роль играет общественность и граждане в контроле и соблюдении мероприятий особого противопожарного режима, осуществляемых органами местного самоуправления. Их активное участие способствует повышению эффективности системы противопожарной безопасности и снижению риска возникновения пожаров.

Граждане могут принять участие в контроле мероприятий особого противопожарного режима путем наблюдения за выполнением пожарной безопасности на территории своего населенного пункта. Они могут обращать внимание на то, насколько качественно и своевременно осуществляются плановые проверки и обслуживание пожаротушительного оборудования, а также наличие и состояние путей эвакуации и меры пожарной безопасности в общественных местах.

Общественность также может помогать в обучении населения основным правилам пожарной безопасности. Проведение информационных кампаний, лекций и тренингов позволяет распространить необходимые знания и навыки среди населения. Благодаря этому граждане смогут правильно реагировать на возможные пожарные ситуации и применять необходимые меры предосторожности.

Кроме того, общественные организации и активисты могут активно взаимодействовать с органами местного самоуправления, обсуждать и предлагать новые меры по улучшению системы пожарной безопасности. Они могут выдвигать инициативы по установлению дополнительных требований и нормативов, а также содействовать в привлечении дополнительных средств для мероприятий особого противопожарного режима.

В заключении можно сказать, что органам местного самоуправления в период действия особого противопожарного режима необходимо регулярно контролировать соблюдение установленных специальными распоряжениями и законами требований пожарной безопасности на соответствующих территориях.

Установление дополнительных требований и мер пожарной безопасности, которые подразумевают множество ограничений, связанных с использованием источников открытого огня, в наше время необходимо для сохранения жизни, здоровья и имущества граждан.

Важно соблюдать требования и технику пожарной безопасности в период действия особого противопожарного режима, чтобы минимизировать риски возникновения пожаров и других чрезвычайных ситуаций. Это позволит сохранить жизни и имущество граждан, а также обеспечить безопасность на территории, где действует особый противопожарный режим.

Список использованных источников:

1. Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации: Федеральный закон № 131-ФЗ от 06.10.2023: (ред. от 23.03.2024): статья 34: Органы местного самоуправления. – Доступ из справ. -правовой системы КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_44571/78baa7d72fd5278521eb98255f79ecb01dbe3428/ (дата обращения: 24.02.2025).
2. Главное управление МЧС России по Кемеровской области – Кузбассу // Особый противопожарный режим. – URL: <https://42.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoopasnyy-period/preventivnyy-meropriyatiya/osobyu-protivopozharnyy-rezhim> (дата обращения: 25.03.2025).
3. Главное управление МЧС России по Забайкальскому краю // Мифы об «особом противопожарном режиме». – URL: <https://75.mchs.gov.ru/deyatelnost/poleznaya-informaciya/pozharoopasnyy-period/mify-ob-osobom-protivopozharnom-rezhime> (дата обращения: 05.03.2025).
4. О пожарной безопасности: Федеральный закон № 69-ФЗ от 21.12.1994: (ред. от 19.10.2023, с изм. и доп., вступ. в силу с 17.04.2024): статья 30: Особый противопожарный режим. – Доступ из справ. -правовой системы КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/2dafcc9f8f2d8b800512e96ec8914d9155752f96/ (дата обращения: 05.03.2025).
5. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 № 195-ФЗ (ред. от 22.04.2024): статья 20.4: нарушение требований пожарной безопасности. – Доступ из справ. -правовой системы КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34661/9a42a7dcbc6d4d4b091d2e491b723161b4912163/ (дата обращения: 15.02.2025).

**ПОРЯДОК РАБОТЫ РУКОВОДИТЕЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРИ ПЕРЕВОДЕ
С МИРНОГО НА ВОЕННОЕ ВРЕМЯ**

*П.В. Родионов, к.пед.н., доц., Н.А. Пимкина, студент гр. 3-17Г01
Юргинский технологический институт (филиал)*

*Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: arodionov1972@tpu.ru*

Аннотация: Вопросы предупреждения чрезвычайных ситуаций, сведение до минимума потерь, стали важнейшей составной частью общегосударственной политики. Важная роль в их решении принадлежит руководителям всех уровней. От их способности сделать всё необходимое для предупреждения аварий, катастроф на своем объекте, создать необходимые условия для защиты персонала от поражающих факторов внутренних и внешних чрезвычайных ситуаций, быстрой ликвидации их последствий зависит безопасность людей, а порой их жизнь и здоровье, состояние среды, в которой они обитают.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, военное время, система оповещения, защита населения и территорий, индивидуальные и коллективные средства защиты

Abstract: The issues of emergency prevention, minimizing losses, have become an important part of national policy. An important role in solving them belongs to managers at all levels. Their ability to do everything necessary to prevent accidents and catastrophes at their facility, create the necessary conditions to protect personnel from damaging factors of internal and external emergencies, and quickly eliminate their consequences depends on the safety of people, and sometimes their life and health, the state of the environment in which they live.

Keywords: emergency, wartime, warning system, protection of the population and territories, individual and collective means of protection

Под военным положением понимается особый правовой режим, вводимый на территории Российской Федерации или в отдельных ее местностях в соответствии с Конституцией Российской Федерации Президентом Российской Федерации в случае агрессии против Российской Федерации или непосредственной угрозы агрессии.

Характерными чертами военного положения являются:

- вступление в силу законов военного времени;
- расширение полномочий органов военного командования;
- возложение на граждан ряда дополнительных обязанностей (трудовой, военной, автотранспортной);
- введение определенных ограничений для населения;
- установление комендантского часа, ограничение уличного движения людей и транспорта и др.;

- нормирование снабжения населения продовольствием, водой, лекарствами, предметами первой необходимости, ГСМ и другими средствами;
- повышение ответственности организаций и граждан за преступления и нарушения установленного порядка и правил по законам военного времени.

Руководитель гражданской обороны организации отвечает за постоянную готовность органов управления, сил и средств организации к выполнению задач, поставленных перед гражданской обороной.

В его обязанности по повышению готовности органов управления, сил и средств входит:

- руководить созданием спасательных служб и аварийно-спасательных формирований организации, укомплектованием их личным составом и оснащением техникой и специальным имуществом;
- обеспечивать накопление средств индивидуальной защиты и специального имущества ГО, организовывать их хранение и поддержание в готовности к применению и выдаче в установленном порядке;
- руководить подготовкой органов управления, спасательных служб и сил гражданской обороны;
- своевременно провести оповещение персонала, спасательных служб и формирований организации об угрозе нападения противника;
- организовать мероприятия по управлению, оповещению, связи и взаимодействию;
- организовать ввод в действие в установленном порядке Плана ГО, планов спасательных служб организаций;
- лично проводить командно-штабные и комплексные (объектовые тренировки) учения, как одной из главных форм подготовки органов управления ГО, руководителей спасательных служб и формирований.

Получив распоряжение руководителя ГО муниципального образования на перевод гражданской обороны в высшие степени готовности руководитель ГО организации:

- дает распоряжения руководителю органа управления по ГОЧС на сбор руководящего состава и подготовку распоряжения на выполнение в организации первоочередных мероприятий ГО первой, второй группы или общей готовности ГО;
- доводит до руководящего состава обстановку и содержание распоряжения на выполнение первоочередных мероприятий ГО первой, второй группы, общей готовности;
- лично или через орган управления по ГОЧС осуществляет контроль за их выполнением и в установленное время докладывает об их выполнении руководителю муниципального образования.
- ставит задачу руководящему составу на приведение в готовность части формирований повышенной готовности (без прекращения работы), в соответствии с Планом ГО к установленному времени;
- через орган управления по делам ГОЧС осуществляет контроль за приведением сил ГО организации в готовность;
- ставит задачу руководящему составу на приведение в готовность тех формирований повышенной готовности, которые не были приведены в готовность при выполнении первоочередных мероприятий второй группы и остальных формирований;
- через орган управления по делам ГОЧС осуществляет контроль за приведением сил ГО в готовность;
- с получением приказа руководителя ГО муниципального образования на вывод части формирований повышенной готовности в безопасные районы, отдает приказ на его выполнение и через руководителя органа управления по делам ГОЧС осуществляет контроль за убытием формирований с мест постоянной дислокации и прибытием в безопасные районы.

Выполнение мероприятий ГО руководителем организации при внезапном нападении противника:

1. С получением сигнала «Воздушная тревога» и до нападения противника:

- поставить задачу на укрытие в защитных сооружениях личного состава аварийно-спасательных формирований, рабочих и служащих;
- поставить задачу на занятие (по возможности) органами управления ГО городских запасных пунктов управления;

2. После нападения противника с получением сигнала «Отбой воздушной тревоги»:

- поставить задачу на приведение всех аварийно-спасательных формирований в готовность к выполнению задач по предназначению;
- поставить задачу на организацию работы органа управления ГОЧС в ходе проведения АСДНР.

В ходе ведения гражданской обороны осуществляется практическая реализация мер по защите населения, материальных и культурных ценностей от опасностей военного времени: проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ; первоочередное жизнеобеспечение населения, пострадавшего при ведении военных действий; обеспечение действий сил гражданской обороны, восстановление и поддержание порядка в районах, пострадавших при возникновении военных конфликтов или вследствие этих конфликтов.

Организации поддерживают в готовности локальные системы оповещения, проводят мероприятия по поддержанию своего устойчивого функционирования, запланированные на военное время; осуществляют обучение своего персонала способам защиты от опасностей, возникающих при возникновении военных конфлик-

тов или вследствие этих конфликтов; приводят свои силы в готовность к ведению АСДНР; поддерживают на установленном уровне необходимые для ведения гражданской обороны запасы материально-технических, продовольственных, медицинских и иных средств.

Руководитель организации осуществляет непосредственное руководство гражданской обороной и несет личную ответственность за организацию, подготовку и своевременное выполнение мероприятий по защите персонала, производственных фондов, сырья, других материальных и культурных ценностей от опасностей, возникающих при возникновении военных конфликтов или вследствие этих конфликтов. В этих целях он заблаговременно, в мирное время организует и обеспечивает:

- разработку и периодическое уточнение плана гражданской обороны;
- проведение мероприятий, направленных на повышение устойчивости функционирования производства в военное время;
- создание, оснащение и поддержание в готовности формирований сил гражданской обороны и подготовку их личного состава;
- накопление, хранение и поддержание в готовности индивидуальных и коллективных средств защиты, специального имущества гражданской обороны, запасов материально-технических и иных средств;
- обучение в области гражданской обороны рабочих и служащих, а также населения, проживающего в ведомственных жилых домах;
- подготовку к проведению АСДНР на объектах организации;
- создание и поддержание в постоянной готовности локальных и объектовых систем оповещения;
- создание необходимых условий персоналу организации для выполнения им обязанностей по гражданской обороне.

В угрожаемый период руководитель организации в соответствии с планом гражданской обороны организует выполнение основных мероприятий 1-й и 2-й группы и основных мероприятий общей готовности ГО.

Действия руководителя организации при объявлении состояния войны, фактического начала военных действий или введения военного положения:

- обеспечить своевременное оповещение персонала, служб и формирований сил гражданской обороны объекта об угрозе нападения противника;
- организовать мероприятия по управлению, оповещению, связи и взаимодействию;
- организовать ввод в действие в установленном порядке плана гражданской обороны организации;
- организовать обеспечение в установленном порядке продовольствием, медицинским имуществом и питьевой водой укрываемых в защитных сооружениях людей;
- руководить проведением мероприятий по подготовке безопасных районов к приему эвакуируемых по условиям их первоочередного жизнеобеспечения;
- организовать эвакуацию и рассредоточение рабочих, служащих и членов их семей при получении сигнала (распоряжения) на проведение эвакуационных мероприятий;
- организовать проведение мероприятий по светомаскировке объекта;
- лично руководить проведением АСДНР в очаге поражения и восстановлением производственной деятельности объекта.

Организации в целях повышения готовности в области гражданской обороны под руководством начальника организации планируют и осуществляют следующие основные мероприятия:

1. По подготовке населения в области гражданской обороны:

- разработка с учетом особенностей деятельности организаций и на основе примерных программ, утвержденных МЧС России, соответственно, рабочих программ подготовки личного состава формирований и служб организаций, а также рабочих программ подготовки работников организаций в области гражданской обороны;
- осуществление подготовки личного состава формирований и служб организаций, а также работников организаций в области гражданской обороны;
- создание и поддержание в рабочем состоянии учебной материально-технической базы для подготовки работников организаций в области гражданской обороны;
- пропаганда знаний в области гражданской обороны.

2. По оповещению населения об опасностях, возникающих при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов, а также при возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера:

- создание и совершенствование системы оповещения работников;
- создание и поддержание в состоянии постоянной готовности локальных систем оповещения в организациях, эксплуатирующих опасные производственные объекты I и II классов опасности, на особо радиационно опасных и ядерно опасных производствах и объектах, гидротехнических сооружениях чрезвычайно высокой опасности и гидротехнических сооружениях высокой опасности;
- установка специализированных технических средств оповещения и информирования населения в местах массового пребывания людей;

- комплексное использование средств единой сети электросвязи Российской Федерации, сетей и средств радио-, проводного и телевизионного вещания и других технических средств передачи информации;
- сбор информации в области гражданской обороны и обмен ею.

3. По эвакуации населения, материальных и культурных ценностей в безопасные районы:

- организация планирования, подготовки и проведения мероприятий по эвакуации работников и членов их семей, материальных и культурных ценностей в безопасные районы из зон возможных опасностей, а также рассредоточение работников организаций, продолжающих свою деятельность в военное время, и работников организаций, обеспечивающих выполнение мероприятий по гражданской обороне в зонах возможных опасностей;

- подготовка безопасных районов для размещения работников и членов их семей, материальных и культурных ценностей, подлежащих эвакуации;

- разработка согласованных с органами местного самоуправления планов размещения работников и членов их семей в безопасном районе, получение ордеров на занятие жилых и нежилых зданий (помещений);

- создание и организация деятельности эвакуационных органов организаций, а также подготовка их личного состава.

Таким образом, при получении указаний, сигналов (информации) оповещения о переводе гражданской обороны в высшие степени готовности, руководитель организации совместно с начальником структурного подразделения гражданской обороны и другими должностными лицами немедленно приступает к осуществлению мероприятий в соответствии с планом гражданской обороны и складывающейся обстановкой.

Список использованных источников:

1. О гражданской обороне: Федеральный закон № 28-ФЗ от 12.02.1998 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901701041> (дата обращения: 21.02.2025).

2. Об обороне: Федеральный закон № 61-ФЗ от 31.05.1996 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9020348> (дата обращения: 21.02.2025).

3. О военном положении: Федеральный конституционный закон № 1-ФКЗ от 30.01.2002 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/901809561> (дата обращения: 21.02.2025).

4. О мобилизационной подготовке и мобилизации в РФ: Федеральный закон № 31-ФЗ от 26.02.1997 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/9038722> (дата обращения: 21.02.2025).

5. Об утверждении Положения о гражданской обороне в Российской Федерации: Постановление Правительства РФ № 804 от 26.11.2007 г. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902074017> (дата обращения: 21.02.2025).

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*В.А. Татаринцев^а, к.т.н., доц., Г.Ю. Тишкин, магистрант
Брянский государственный технический университет
241035, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
E-mail: ^а v_a_t52@mail.ru*

Аннотация: Проанализированы данные по проектированию, сооружению и эксплуатации нефтепроводов из композитных материалов. Выполнена оценка экономической эффективности замены стальных труб на полимерные при сооружении трубопроводов нефтяной промышленности, что приводит к существенному снижению затрат на их сооружение и эксплуатацию за счет уменьшения количества стыков, меньших затрат на монтаж, диагностику и применение фасонных элементов. Замена стальных труб на полимерно-армированные приводит к увеличению срока службы трубопроводного транспорта, снижению затрат на эксплуатацию и обслуживание.

Ключевые слова: нефтепровод, труба стальная, труба пластиковая, стеклопластик, прочность, устойчивость, гидравлические потери.

Abstract: The article analyzes data on the design, construction and operation of oil pipelines made of composite materials. The economic efficiency of replacing steel pipes with polymer pipes in the construction of pipelines in the oil industry has been assessed, which leads to a significant reduction in the cost of their construction and operation by reducing the number of joints, lower costs for installation, diagnostics and the use of shaped elements. The replacement of steel pipes with polymer-reinforced ones leads to an increase in the service life of pipeline transport, reducing operating and maintenance costs.

Keywords: oil pipeline, steel pipe, plastic pipe, fiberglass, strength, stability, hydraulic losses.

Известной проблемой применения металлических труб при транспортировке углеводородов является коррозия, на которую приходится около 85 % аварийных ситуаций на трубопроводах. Замена металла на высокопрочные материалы из пластических масс и композитов решает эту проблему [1, 2, 3].

Целью работы является сравнительная оценка технико-экономической эффективности эксплуатации трубопроводов из полимерных и композитных материалов для транспортирования углеводородов. Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- проанализированы свойства полимерных материалов труб и обосновано их применения при транспортировке углеводородов;
 - установлены причины отказов металлических трубопроводов;
 - рассмотрены виды трубопроводов из пластических масс;
 - изучены эксплуатационных свойств полимерных материалов;
 - выполнены расчеты на прочность, устойчивость и гидравлические потери в стальных и пластмассовых трубопроводах;
 - оценена сравнительная эффективность пластмассового трубопровода в сопоставлении со стальным.
- Достоинства и недостатки материалов пластмассовых труб в табл.1.

Таблица 1

Достоинства и недостатки материалов пластмассовых труб

Достоинства	Недостатки
Высокая коррозионная стойкость Низкая теплопроводность Повышенная пропускная способность Надежность и долговечность (свыше 25 лет) Малый вес и легкость монтажа и демонтажа	Невысокая прочность Высокая стоимость Низкий интервал рабочих температур Подверженность ультрафиолету

Основными достоинствами труб из реактопластов являются их высокая коррозионная стойкость, значительная прочность, низкие шероховатость, коэффициент линейного расширения (величина относительного удлинения не более 4 %, теплопроводность, способность сопротивляться действию блуждающих токов и отложений парафина, невысокая плотность, химическая стойкость, легкость монтажа, длительный срок эксплуатации, экологичность при строительстве и эксплуатации. Классификация типов конструкций пластмассовых труб приведена на рис. 1 [4]. Физико-механические свойства анализируемых полимеров приведены в табл. 2. Ввиду значительного числа параметров, изменяющихся при воздействии агрессивной среды на полимерные материалы, большое распространение получила качественная оценка химической стойкости с помощью баллов. В табл. 3 приведены данные о стойкости некоторых материалов труб в различных химических соединениях с использованием четырёхбалльной системы.

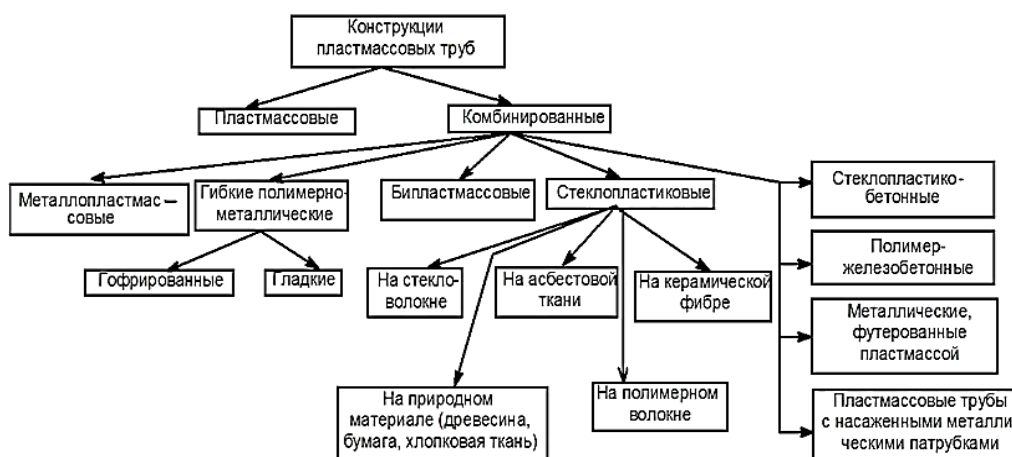


Рис. 1. Классификация типов конструкций пластмассовых труб [4]

Таблица 2

Физико-механические свойства полимеров

Основные физико-механические характеристики	Полиэтилен низкого давле- ния	ПВХ	Полипропилен	Стеклопластик
Предел прочности при растяжении, МПа	26–32	40–50	34–35	310–400
Предел прочности при изгибе, МПа	24–39	80–120	75	460
Плотность кг/м ³	960–970	1400	910	1900
Температура плавления, °С	130	100	145	130
Температура хрупкости, °С	–70	–18	–20	–60
Теплопроводность, Вт/м • °С	0,42	0,14	0,23	0,4

Таблица 3

Химическая стойкость полимеров

Среда	Материал труб			
	Поливинил-хлорид	Полиэтилен	Полипропилен	Эпоксидный стеклопластик
Природный газ	4	4	4	4
Ароматические углеводороды (бензол, толуол)	0	1	1	2
Алифатические углеводороды (бензин, керосин)	4	1	0	4
Кетоны (ацетон)	0	0	4	0
Минеральные масла	2	–	–	4
Спирты (этанол, метанол)	4	1	4	3
Сильные кислоты (соляная, серная)	4	2	4	3
Слабые щелочи (водный раствор аммиака)	4	4	4	3
Сильные щелочи (едкий натр)	4	4	4	3
Неорганические соли (10 % хлористый натрий, 10 % хлористый аммоний)	4	4	4	4

Примечание. Четырехбалльная система оценки включает в себя: 4 – удовлетворительная химическая стойкость в рабочих пределах; 3 – удовлетворительная химическая стойкость до температуры 60 °С; 2 – удовлетворительная химическая стойкость до температуры 23 °С; 1 – предельная химическая стойкость до температуры 23 °С, результаты не постоянные; 0 – неудовлетворительная химическая стойкость материала.

Анализ результатов исследований [1, 2, 3, 4] и данных, приведенных в табл. 1, 2, 3 показывает, что преимуществом по многим показателям обладают трубы из стеклопластика. Стеклопластиковые трубы имеют высокую стойкость к воздействию пластовых вод, газового конденсата, кислот, щелочей, бактерий, и совсем не подвержены коррозии. При этом срок их службы может достигать 50 лет.

Расчетным путем оценим прочностные свойства стеклопластикового трубопровода при воздействии эксплуатационных нагрузок. Для этого проверим общую устойчивость стеклопластикового трубопровода, выполним гидравлический расчёт стеклопластикового для оценки потерь давления и сравним полученные результаты с результатами расчета стального трубопровода.

Выполним анализ при следующих исходных данных.

Протяженность трассы – 5700 м, рабочее давление – 2,155 МПа, объем среды, перекачиваемой по трубопроводу – 3000 м³/сут, перекачиваемая среда – нефть. Стеклопластиковые трубы с раструбным резьбовым соединением производства ООО «Татнефть-Пресскомпозит», внешний диаметр – 267,2 мм, толщина стенки – 8,8 мм. Трубы стальные бесшовные горячедеформированные повышенной коррозионной стойкости из стали 09Г2С, внешний диаметр – 273 мм, толщина стенки – 9 мм.

Расчёт на прочность стеклопластикового трубопровода рассчитывался согласно РД «Инструкция на проектирование, строительство, эксплуатацию и ремонт нефтепромысловых трубопроводов из стеклопластиковых труб» по условиям:

$$\sigma_y \leq f \cdot R^H ; \sigma_x \leq \frac{1}{4} \cdot (\sigma_y + f \cdot R^H),$$

где σ_y , σ_x – значения радиальных и осевых напряжений в трубопроводе; R^H – рассчитываемая минимальная, длительная прочность в радиальном направлении; f – коэффициент безопасности.

Расчёт на прочность стального трубопровода рассчитывался согласно СП 36.13330.2012. «Свод правил. Магистральные трубопроводы» по условиям:

$$|\sigma_{пр.н}| \leq \psi_2 \cdot R_1, \quad \sigma_{кц}^H \leq \frac{m}{0,9k_H} \cdot R_2^H,$$

где $\sigma_{пр.н}, \sigma_{кц}^H$ – продольное осевое и кольцевое напряжение от проектных нагрузок и воздействий, МПа; R_1 – расчетное сопротивление металла трубы, МПа; ψ_2 – коэффициент, учитывающий двухосное напряженное состояние металла трубы при растягивающих или сжимающих напряжениях; m – коэффициент условий эксплуатации трубопровода; K_H – коэффициент надежности [5].

Проверка общей устойчивости обоих трубопроводов в продольном направлении производится по условию:

$$S \leq mN_{кр},$$

где S – эквивалентное осевое усилие, определяется исходя из расчетных нагрузок и воздействий с учетом продольных и радиальных перемещений трубопровода; m – коэффициент условий эксплуатации трубопровода в зависимости от категории участка трубопровода [6]; $N_{кр}$ – продольное критическое усилие.

Гидравлический расчёт проведен согласно СНиП 2.05.06-85*. Потери напора на трение рассчитаны по формуле:

$$h = \lambda \cdot \frac{L \cdot \omega^2}{d \cdot 2 \cdot g},$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; ω – скорость движения среды; L – длина участка; d – внутренний диаметр.

Результаты расчетов на прочность и устойчивость приведены в табл. 4, а гидравлического расчета в табл. 5. Экономическая оценка эффективности строительства стеклопластикового и стального трубопровода – в табл. 6.

Таблица 4

Результаты расчёта на прочность и устойчивость

Тип трубопровода	Результат расчёта условия прочности, МПа	Коэффициент запаса прочности	Результат расчёта условия устойчивости, МН	Коэффициент запаса устойчивости
Стеклопластиковый трубопровод	$31,67 \leq 100,67$ $19,72 \leq 32,08$	3,17 1,63	$0,787 \leq 1,944$	2,47
Стальной трубопровод	$30,53 \leq 150$ $125,93 \leq 189$	4,9 1,5	$1,149 \leq 3,918$	3,4

Таблица 5

Результаты гидравлического расчета

Тип трубопровода	Начальное давление, МПа	Конечное давление, МПа	% потерь от начального давления	Разница в потерях давления, раз
Стальной трубопровод	2,155	2,014	7,0	1,35
Стеклопластиковый трубопровод		2,049	5,2	

Таблица 6

Затраты на строительство стеклопластикового и стального трубопровода

Состав затрат	Стеклопластиковый трубопровод	Стальной трубопровод
	Сумма затрат, тыс. руб.	Сумма затрат, тыс. руб.
Амортизационные отчисления	855,9	868,276
Затраты на материалы	23940	24167,102
Оплата труда	3333	4713
Страховые взносы	999,9	1413
Всего затрат:	29128,8	31161,378
Отклонение, млн. руб.	2,032	

Выводы. 1. В результате исследований установлено, что стеклопластиковые трубы являются наиболее перспективными в сравнении с трубами из других полимерных материалов из-за высоких прочностных характеристик и химической стойкости к углеводородам. Стеклопластиковые трубы, как и стальные, выдерживают все возникающие напряжения и имеют запас прочности, а низкая шероховатость стеклопластиковых труб (5,3 мкм) улучшает эксплуатационные характеристики трубопровода. У стеклопластикового нефтепровода длиной 5700 м уменьшение потери давления на трение по сравнению со стальным трубопроводом составило 1,35 раза, что соответственно снижает потребление насосным оборудованием электроэнергии на перекачку одинакового объема жидкости.

2. В процессе эксплуатации стеклопластикового трубопровода увеличение шероховатости внутренней поверхности трубопровода не происходит, так как стеклопластик имеет высокую стойкость к воздействию нефти, что обеспечивает надежную и долговечную эксплуатацию в высоко агрессивных средах. Очистка полости трубопровода, при необходимости, осуществляют пропуском подогретой транспортируемой жидкости (нефти, воды).

3. Низкая шероховатость стеклопластиковых труб улучшает эксплуатационные характеристики нефтепровода, что снижает потребление электроэнергии насосным оборудованием и в долгосрочной перспективе положительно скажется на стоимости обслуживания нефтепровода и повышения эффективности транспорта углеводородов. Реализация строительства стеклопластикового трубопровода длиной 5700 м позволила сэкономить 2,032 млн руб. за счёт снижения затрат на материалы, оплату труда и страховые взносы, чем при строительстве аналогичного стального трубопровода.

Список использованных источников:

1. Анализ материалов, применяемых в производстве полимерных труб для строительства нефтегазопроводов / А.С. Глазков, А.А. Гарифуллин, М.А. Фассахов [и др.] // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2020. – № 5–6. С. 40–45.
2. Толмачев А.А. Перспективы использования стеклопластиковых и полимерно-металлических труб в нефтегазовой отрасли / А.А. Толмачев, В.А. Иванов // Нефть и газ. – 2016. – № 6. – С. 132–138.
3. Цхадая Н.Г. Стеклопластиковая труба для транспортировки нефти и газа / Н.Г. Цхадая, З.Х. Ягубов, Э.З. Ягубов // Нефтегазовое дело. – 2012. – № 3. – С. 136–142.
4. Касандина Т.А. Анализ полиэтиленовых труб / Т.А. Касандина, М.В. Корягин // Современные научные исследования и инновации. – 2022. – № 5. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2022/05/98346> (дата обращения: 02.04.2025).
5. Татаринцев В.А. Обоснование рационального уровня надежности элементов трубопроводного транспорта / В.А. Татаринцев, А.В. Васильев // Нефтегазовый терминал: сборник материалов международной научно-технической конференции. – Тюмень, 2022. – С. 202–207.
6. Татаринцев В.А. Анализ рисков и обоснование уровня надежности элементов трубопроводного транспорта / В.А. Татаринцев // Нефтегазовый терминал: сборник научных трудов международной научно-технической конференции имени профессора Н.А. Малюшина; под общей редакцией М.А. Александрова. – Тюмень, 2021. – С. 171–178.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ РАДИОАКТИВНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ КАСКАДНОГО ИМПАКТОРНОГО УСТРОЙСТВА

*М.М. Балачков, ассистент, Д.С. Шихов^а, студент
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, Томская обл., г. Томск, пр. Ленина, 30,
E-mail: ^аdss43@tpu.ru*

Аннотация: описана методика определения дисперсности радиоактивных аэрозолей с помощью каскадного импакторного устройства и приведён расчёт активностного медианного аэродинамического диаметра для получения параметра дисперсности радиоактивных аэрозолей.

Ключевые слова: дисперсность, радиоактивные аэрозоли, АМАД, внутреннее облучение, импактор.

Abstract: a method for determining the dispersion of radioactive aerosols using a cascade impactor device is described and the calculation of the activity median aerodynamic diameter for obtaining the dispersion parameter of radioactive aerosols is given.

Keywords: dispersion, radioactive aerosols, AMAD, internal irradiation, impactor.

Определение дисперсности аэрозолей важно, так как от этого зависит, как распределятся частицы в дыхательных путях человека и какое влияние они окажут, будучи, находясь в том или ином отделе дыхательного тракта. Попадание внутрь организма радиоактивных аэрозолей опасно, величина опасности будет зависеть от

того какая частица туда попадет и какого она будет размера. Поэтому необходимо определять дисперсность (размер частиц) радиоактивных аэрозолей для проведения оценки ожидаемой эффективной дозы (ОЭД) внутреннего облучения.

Для расчёта ОЭД необходимо знать значение дозового коэффициента, который зависит от параметра дисперсности – активностного медианного аэродинамического диаметра (АМАД) – при котором 50 % активности указанного аэрозоля приходится на частицы, имеющие диаметр меньше, чем АМАД, а 50 % – больше, чем АМАД [1].

Процесс определения дисперсности аэрозолей сводится к [2]:

- разделению аэрозольных частиц на фракции по размерам;
- определению активности каждой фракции;
- оценке параметров распределения активности по размерам частиц для определённого радионуклида.

Согласно [3], измерение дисперсных характеристик в производственных помещениях рекомендуется проводить при вводе в эксплуатацию нового производства или при смене технологического режима. Основными методами и устройствами для определения дисперсности радиоактивных аэрозолей являются метод многослойных фильтров, импакторы различных конструкций и диффузионные батареи.

В эксперименте использовалось пробоотборное устройство с импактором ПУ-АИП-01-Д. Импактор представляет из себя пятикаскадное устройство АИП-2, принцип работы которого основан на инерционном осаждении аэрозольных частиц. Когда аэрозольный поток проходит через устройство, частицы, движущиеся с определенной скоростью, сталкиваются с коллекторными пластинами. Более крупные частицы, обладая большей инерцией, не могут следовать за потоком воздуха и осаждаются на поверхности пластин, в то время как более мелкие частицы продолжают движение. Каждая коллекторная пластина характеризуется эффективным аэродинамическим диаметром разделения аэрозолей (ECAD), который зависит от скорости пробоотбора воздуха.

Каскады импактора представляют собой две пластины из тонкой нержавеющей стали круглой формы, между которыми находится разделительное фторопластовое кольцо. В качестве последнего каскадного элемента для улавливания мелкодисперсных частиц установлен фильтр АФА-РМП-20.

При обработке полученных результатов измерений проводят следующие операции:

- расчет активности на подложках и фильтре;
- определение параметров логарифмически нормального распределения (ЛНР):

1) визуальная проверка соответствия эмпирического распределения логнормальному закону посредством построения графика в вероятностно-логарифмической системе координат,

2) в случае подтверждения логнормального распределения проводится определение характеристик ЛНР: АМАД и стандартного геометрического отклонения (СГО),

3) если распределение отклоняется от логнормального, то строится гистограмма, отображающая распределение активности по аэродинамическим диаметрам частиц;

Проведем измерение дисперсности радиоактивных аэрозолей на радиохимическом производстве в помещении 3-ей зоны работы с открытыми радиоактивными источниками. Перед проведением эксперимента пластины импактора и внутренние поверхности пробоотборного устройства были обработаны этиловым спиртом, а коллекторные пластины – связующим веществом «Вазелин КВ-3» для удержания аэрозольных частиц при попадании на пластину. Время пробоотбора составило 4 часа при объемном расходе воздуха 50 л/мин. По окончании пробоотбора измерялась альфа-активность коллекторных пластин и фильтра АФА-РМП-20 с использованием радиометра УМФ-2000.

Вычислим интегральную функцию распределения активности $f(d_i)$ радионуклида на основе данных об активности на подложках и фильтре импактора по формуле 1.

$$f(d_i) = \frac{(A_6 + A_5 + A_4 + \dots + A_1)}{\sum_i A_i} \cdot 100. \quad (1)$$

В таблице 1 указаны значения интегральной функции распределения активности в зависимости от каскада импактора.

Таблица 1

Значения интегральной функции распределения активности в зависимости от каскада импактора

	Номер каскада					
i	1	2	3	4	5	6
A_i , Бк	0,07	0,09	0,04	0,04	0,10	0,07
d_i , мкм	∞	18,00	6,40	3,80	1,20	0,50
$f(d_i)$, %	100,00	81,81	60,52	50,69	40,86	17,16

По данным эксперимента построена зависимость (рис. 1) аэродинамического диаметра от интегральной функции распределения активности в вероятностно-логарифмических координатах.

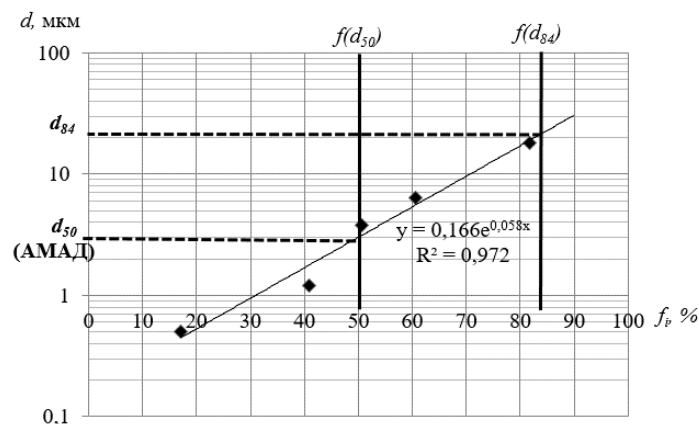


Рис. 1. Зависимость аэродинамического диаметра от интегральной функции распределения активности

Из рисунка 1 видно, что через экспериментальные значения можно провести линию, что подтверждает логнормальное распределение. В таком случае, АМАД определяется как значение аэродинамического диаметра d_{50} при интегральной функции распределения активности равной $f(d_{50}) = 50$ %, АМАД = 3,0 мкм. Чтобы получить значение СГО необходимо также определить значение аэродинамического диаметра при 84 %, после этого найти отношение аэродинамических диаметров d_{84}/d_{50} , что даёт значение СГО = 7,2 мкм.

Таким образом, дисперсность радиоактивных аэрозолей была определена с помощью пробоотбора воздуха и разделение аэрозолей на фракции через импактор АИП-2. Значение АМАД характеризует размер частиц аэрозолей, с помощью которого можно оценить ОЭД внутреннего облучения и понять, как распределяются аэрозоли в дыхательном тракте.

Список использованных источников:

1. МУ 2.6.1.065-2014. Дозиметрический контроль профессионального внутреннего облучения. Общие требования: дата введения 2015-01-01. – Москва: ФМБА России, 2014. – 46 с.
2. Патент № 2676557 Российская федерация МПК G01N 15/02 (2006.01). G01N 15/02 (2018.08). Способ определения параметров дисперсного состава радиоактивных аэрозолей: № 2018114823: заявл. 23.04.2018: опубл. 09.01.2019 / Д.А. Припачкин, Ю.Н. Хусейн, А.К. Будыка, С.Н. Красноперов. – 24 с.: ил. – Текст: непосредственный.
3. МУК 2.6.1.08-2004. Определение характеристик распределения радиоактивного аэрозоля по размерам: методические указания по методам контроля: дата введения 2004-01-01. – Москва: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 15 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫДАЧИ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ СОГЛАСНО ЕДИНЫМ ТИПОВЫМ НОРМАМ

Л.Г. Деменкова^а, к.пед. н., ст. преподаватель, А.С. Костина, студент гр. 17Г31
Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail:^{а1}demenkova@tpu.ru

Аннотация: статья посвящена вопросам организации выдачи средств индивидуальной защиты в соответствии с новыми требованиями законодательства. Рассматриваются изменения, вступившие в силу с 1 января 2025 года, касающиеся перехода от старых норм к единым типовым нормам выдачи средств индивидуальной защиты. Особое внимание уделено необходимости учета особенностей условий труда и профессиональных рисков каждого сотрудника, разработке соответствующей документации.

Ключевые слова: средства индивидуальной защиты; единые типовые нормы; условия труда; профессиональные риски; документация; обеспечение работников; обучение.

Abstract: the article is devoted to the organization of the issuance of personal protective equipment in accordance with the new legal requirements. The amendments, which entered into force on January 1, 2025, concerning the transition from the old standards to the unified standard standards for the issuance of personal protective equipment, are

being considered. Special attention is paid to the need to take into account the specifics of the working conditions and occupational risks of each employee, and to develop appropriate documentation.

Keywords: personal protective equipment; uniform standard standards; working conditions; occupational risks; documentation; employee support; training.

1 января 2025 года закончится переходный период со старого порядка выдачи средств индивидуальной защиты на единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты. Теперь необходимо учитывать специфику условий труда и профессиональные риски каждого сотрудника, а также разработать или актуализировать соответствующую документацию.

Обеспечение работников СИЗ – это обязанность работодателя (ст. 221 ТК РФ), за счет своих финансов он обязан обеспечивать в том числе их хранение, стирку, сушку, ремонт и замену. С 1 сентября 2023 года действуют единые правила обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами (утв. Приказом Минтруда РФ от 29.10.2021 № 766Н). До 31 декабря 2024 года работодатель был вправе выбирать какими нормами пользоваться: Едиными типовыми нормами (ЕТН), утверждёнными Приказом Минтруда РФ от 29.10.2021 № 767Н, и типовыми отраслевыми нормами (ТОН), утверждёнными Приказом Минздрава России от 01.06.2009 № 290н. В этот переходный период у организаций была возможность адаптировать процессы к новым правилам, провести недостающие мероприятия, например, оценку профессиональных рисков.

С 1 января 2025 года необходимо полностью соответствовать новым требованиям, предоставляя СИЗ согласно ЕТН и учитывая специфику условий труда и профессиональные риски каждого сотрудника. Работодатель самостоятельно определяет категории работников, которым нужно выдать СИЗ, с учетом спецоценки и оценки профрисков. Единые типовые нормы состоят из трех приложений. Согласно приложению № 1 «Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты по профессиям и должностям» СИЗ нужно выдавать сотрудникам, чьи профессии или должности указаны в ЕТН и которые заняты на работах:

- с вредными или опасными производственными факторами;
- в особых температурных условиях;
- связанных с загрязнением.

В приложении № 1 перечислено 5 357 профессий. Для них указан минимальный набор СИЗ, который работодатель обязан выдать в любом случае и не может его сократить. Следует убедиться, что названия профессий и должностей соответствуют выполняемой работе, так как СИЗ подбираются на основании их наименования. Если перечень СИЗ для работников кажется избыточным, а они не выполняют работы, требующие таких средств защиты, возможно, выбранное наименование профессии или должности не отражает фактические обязанности.

В приложении № 2 «Единые типовые нормы выдачи средств индивидуальной защиты в зависимости от идентифицированных опасностей» представлены опасности и опасные события, с учетом которых работодатели дополняют перечень или расширяют спектр защитных свойств СИЗ для конкретного работника.

Составление норм СИЗ согласно ЕТН, утверждённых Приказом № 767н, состоит из двух этапов. Во-первых, найти в приложении № 1 Приказа № 767н нормы выдачи СИЗ для работника согласно должности. Если работодатель считает, что средства СИЗ из приложения № 1 не подходят работнику согласно должности/профессии в штатном расписании, следует проверить, правильно ли определена должность/профессия. Проверьте инструкции работников, чтобы учесть все фактические виды работ, которые они выполняют, и исключить те, которые не относятся к их обязанностям. В Нормы включаются только те СИЗ, которые необходимы для выполнения реальной трудовой деятельности.

Во-вторых, следует сопоставить опасности, выявленные на специальной оценке условий труда (СОУТ) и оценке профессиональных рисков (ОПР), с теми СИЗ, которые должны выдаваться при их наличии на основании приложения № 2 к Приказу № 767н. Используйте карту оценки профессиональных рисков на рабочем месте. Проанализируйте выявленные опасности и выделите те, для которых применение СИЗ является обязательной мерой защиты. Обычно это касается опасностей со средним и высоким уровнями риска.

Работодатель может не учитывать СИЗ для защиты от опасностей, уровень риска которых не вредит здоровью работника в процессе работы, если управление рисками осуществляется другими способами. Обоснование необходимости защиты от опасностей подтверждайте результатами СОУТ и ОПР.

Для одной профессии внутри организации перечень опасностей может отличаться в зависимости от условий конкретного рабочего места. У нескольких работников с одинаковой профессией может быть разный набор СИЗ на одной производственной площадке. По приложению № 2 работодатель сам определяет, какие опасности учитывать при выборе СИЗ.

На основании Единых типовых норм нужно обязательно установить собственные Нормы бесплатной выдачи СИЗ и смывающих средств с учетом профессии, должности, результатов оценки профрисков, а также результатов СОУТ и мнения профсоюза, если он есть в организации (ч. 4 ст. 221 ТК РФ). Перед разработкой внутренних Норм бесплатной выдачи СИЗ необходимо подготовить локальный акт, напри-

мер, Положение о порядке обеспечения СИЗ. В Положении о порядке обеспечения СИЗ обязательно укажите, кто занимается разработкой Норм выдачи.

Следующим должен быть приказ об утверждении Порядка обеспечения работников СИЗ. В приказе следует четко указать обязанности сотрудников, ответственных:

- за порядок выявления потребности работников в СИЗ;
- предупредительно-плановый характер закупки, аренды или аутсорсинга СИЗ;
- порядок выдачи, хранения, использования и обслуживания СИЗ;
- порядок вывода из эксплуатации и утилизации СИЗ;
- порядок информирования работников по вопросам обеспечения СИЗ;
- распределение обязанностей и ответственности.

Кроме того, в документе должен быть поэтапно прописан процесс обеспечения работников СИЗ, в том числе:

- планирование потребности в СИЗ, включая их подбор;
- выдача, эксплуатация, хранение, уход, вывод из эксплуатации СИЗ;
- контроль за обеспеченностью работников СИЗ и их применением, а также анализ результатов контроля.

Одновременно с разработкой Положения руководитель назначает приказом сотрудников, ответственных за выдачу, учет и хранение СИЗ. Это может быть любой работник, если в его должностной инструкции указана обязанность по выдаче СИЗ, например, руководители подразделений, специалисты АХО или охраны труда. Количество ответственных директор определяет исходя из особенностей компании, например, в крупных организациях такой сотрудник может быть в каждом подразделении. Зачастую ответственным назначается только специалист по охране труда, в чьи функции согласно профессиональному стандарту (Приказ Минтруда от 22.04.2021 № 274н) входит:

- информирование работников о полагающихся им СИЗ;
- координация и контроль обеспечения СИЗ, их хранения, проверки состояния и исправности.

Кроме того, специалист по охране труда должен уметь формировать требования к СИЗ с учетом условий труда на рабочих местах и оценивать характеристики СИЗ и их соответствия нормативным требованиям, ему придется оформлять документацию, связанную с обеспечением СИЗ. В Положении о порядке выдачи СИЗ надо указать, что внутренние Нормы выдачи разрабатывает специалист по охране труда, а в его отсутствие – другой назначенный сотрудник. После того, когда специалист по охране труда разработает внутренние Нормы бесплатной выдачи СИЗ нужно согласовать с представительным органом работников.

Необходимо разработать основные документы, чтобы организовать работу с СИЗ:

- Приказ о назначении лиц, ответственных за выдачу, учет и хранение СИЗ;
- Положение о порядке обеспечения СИЗ;
- Приказ об утверждении Положения о порядке обеспечения СИЗ;
- Нормы бесплатной выдачи СИЗ;
- Перечень СИЗ, которые подлежат испытаниям и проверке, и приказ об утверждении;
- Перечень СИЗ, которые остаются у работников в нерабочее время, и приказ об утверждении.

СИЗ закупают ответственные за это работники на основании Норм бесплатной выдачи. Размеры одежды и обуви должны соответствовать антропометрическим данным работника, собрать их и указать в заявках на закупку – обязанность руководителей структурных подразделений.

Специалист по охране труда должен проследить, чтобы в подразделениях своевременно и в полном объеме составляли заявки на СИЗ, а также координировать работу отделов закупки, снабжения, транспортировки и хранения. Следует определить компанию, у которой будете приобретать СИЗ, совместно с отделом материально-технического снабжения, юридическим отделом и другими отделами если это необходимо. Приобретенные средства должны отвечать установленным законодательством требованиям безопасности. Подтверждающим документом является декларация или сертификат соответствия, которые получают все производители продукции.

В зависимости от предназначения выделяют три группы СИЗ:

- индивидуального учета;
- дежурные;
- дерматологические.

Выдачу и возврат СИЗ фиксируют в личной карточке учета выдачи в электронном или бумажном виде. Дежурные СИЗ закрепляют за определенным рабочим местом и выдают поочередно нескольким работникам на время выполнения тех работ, для которых они предназначены (п. 32 Правил). Выдачу и сдачу фиксируют в карточке выдачи дежурных СИЗ. Руководителям, специалистам, инженерно-техническим работникам, брига-

дирам, мастерам выдают СИЗ с теми же защитными свойствами, как и для работников, чью работу они контролируют или участвуют в ее выполнении.

Дерматологические СИЗ и смывающие средства выдают работникам для защиты от загрязнений, воздействия агрессивных рабочих материалов, веществ и сред. Это могут быть кремы, эмульсии, гели, спреи (п. 35 Правил). Если дерматологические СИЗ расфасованы в упаковки по 250 мл и более, то работодатель выдает их работникам только в дозаторах, которые размещает в производственных или санитарно-бытовых помещениях.

Чтобы выполнить требования ТК РФ и приказа Минтруда, утвердившего правила применения СИЗ, у организации есть три варианта:

1. Арендовать СИЗ – тогда обслуживанием будет заниматься вендор. У этого способа есть огромные минусы: стоимость услуг и невозможность возмещения средств из Социального фонда России.

2. Заключить договор с прачечной – удобный вариант для небольших организаций.

3. Оборудовать свою прачечную и самому организовать стирку и химчистку СИЗ. Этот вариант подходит крупным предприятиям: позволит не тратить деньги на различных поставщиков, а стирать одежду централизованно, стандартизовано. Требования к прачечным перечислены в санитарных нормах и правилах.

Работодатель обязан за свой счет обеспечить уход за средствами индивидуальной защиты, их ремонт, замену и хранение (п. 3 Правил № 766н). Для этого он назначает ответственных за каждую процедуру в зависимости от особенностей структуры управления организации. Порядок каждого этапа по обеспечению работников СИЗ, распределение обязанностей и ответственности должностных лиц нужно прописать в локальном нормативном акте (п. 10 Правил № 766н).

Если на предприятии необходимо проводить химчистку спецодежды: сушку, обеспыливание, дегазацию, дезактивацию – следует создать отдельное структурное подразделение и издать об этом приказ. В документе указывается информация, какие виды работ со спецодеждой и прочими СИЗ необходимо проводить в самой организации. Хранить и обеспечить уход за СИЗ можно и не на своем предприятии, а заключить гражданско-правовой договор со сторонней организацией, которая будет выполнять эти работы (п. 65, 69 Правил № 766н).

Обучение использованию СИЗ в учебных центрах необходимо для следующих категорий специалистов (п. 40 Порядка обучения № 2464):

- специалисты по охране труда;
- ответственные за обучение использованию СИЗ;
- члены комиссии по внешним требованиям применения СИЗ;
- члены комитетов (комиссий) по охране труда.

Для других категорий обучение можно проводить внутри организации или в учебном центре в соответствии с законом. Те работники, кому выдаются СИЗ, применение которых требует практических навыков, должны пройти программу «Обучение по использованию (применению) средств индивидуальной защиты», 16 академических часов. Периодичность – не реже 1 раза в 3 года. Определить, требуются ли практические навыки или нет при использовании конкретных СИЗ, должен работодатель. Всех остальных сотрудников достаточно ознакомить с приемами проверки работоспособности и исправности СИЗ.

По СИЗ, не требующим практических методов применения, проводится ознакомление с методами проверки их исправности и работоспособности во время проведения инструктажа по охране труда на рабочем месте (п. 38 Порядка обучения № 2464). В случае изменений в установленных нормах или правилах работодатель обязан проинформировать работников об этом в ходе внепланового инструктажа (абз. 4 п. 10 Правил).

Таким образом, переход на ЕТН требует выполнения следующих процедур:

1. Организации СОУТ и оценки профессиональных рисков, если не проводились ранее. Эти процессы помогают определить степень опасности рабочих условий, идентифицировать ее источники, и уже отталкиваясь от этих данных подбирают подходящие средства индивидуальной защиты.

2. Разработки и утверждения локально-нормативного акта. Для перехода на новые нормы руководитель должен издать соответствующий Приказ и обновить (или создать) Порядок обеспечения СИЗ.

3. Актуализации и разработки любой документации, где есть отсылка на старые нормы выдачи СИЗ. Нужно проанализировать действующие документы и обновить их согласно законодательным нововведениям.

4. Планового внедрения новых норм выдачи СИЗ. Сотрудники нужно ознакомить с новыми правилами и нормами выдачи СИЗ, а для этого важно выделить ответственных за обучение.

5. Контроля за переходом на ЕТН как финальная проверка соответствия всех пунктов актуальным законодательным требованиям.

Список использованных источников:

1. О специальной оценке условий труда: Федеральный закон № 426-ФЗ от 28.12.2013. – М. : Госдума Федерального Собрания РФ, 2013. – 24 с.

2. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М. : Информационно-издательский центр Минздрава России, 1996. – 18 с.
3. Об утверждении правил обеспечения работников средствами индивидуальной защиты и смывающими средствами: Приказ Минтруда России № 766н от 17.12.2020. – М. : Минтруд России, 2020. – 12 с.
4. Об утверждении Методических рекомендаций по определению потребности в средствах индивидуальной защиты и смывающих средствах: Приказ Минтруда России № 805н от 17.12.2020. – М. : Минтруд России, 2020. – 24 с.
5. О безопасности средств индивидуальной защиты: Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 019/2011. – М. : Евразийская экономическая комиссия, 2011. – 48 с.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- | | |
|---|---|
| <i>Абабков Н.В.</i> 43 | <i>Марченко А.С.</i> 98 |
| <i>Абрамова М.М.</i> 125 | <i>Михно А.Р.</i> 38 |
| <i>Акимов К.О.</i> 58, 78 | <i>Морозова М.В.</i> 102 |
| <i>Асанов И.К.</i> 155 | <i>Набиулина В.К.</i> 153 |
| <i>Балачков М.М.</i> 174 | <i>Нестерук Д.Н.</i> 132 |
| <i>Баранникова С.А.</i> 66 | <i>Никонов А.Ю.</i> 58, 75 |
| <i>Барановский А.В.</i> 41 | <i>Овдин А.Е.</i> 135 |
| <i>Батенков К.А.</i> 88 | <i>Орлова К.Н.</i> 142 |
| <i>Буханцов В.В.</i> 87 | <i>Пань М.</i> 24 |
| <i>Ващенко И.И.</i> 91 | <i>Пенно А.А.</i> 162 |
| <i>Ведерникова С.Д.</i> 93 | <i>Пилецкая Л.И.</i> 15 |
| <i>Великанов Н.Л.</i> 12 | <i>Пимкина Н.А.</i> 167 |
| <i>Гаспарова Л.Б.</i> 47 | <i>Пимонов М.В.</i> 43 |
| <i>Григорьева Е.Г.</i> 61 | <i>Повернов С.Е.</i> 28 |
| <i>Гуляев И.А.</i> 41 | <i>Полицинская Е.В.</i> 108 |
| <i>Гусева Т.С.</i> 64 | <i>Прибытков Г.А.</i> 38 |
| <i>Девойно О.Г.</i> 15 | <i>Проскоков А.В.</i> 128 |
| <i>Деменкова Л.Г.</i> 140, 176 | <i>Разумников С.В.</i> 126 |
| <i>Дмитриев А.И.</i> 54, 58, 75 | <i>Родионов П.В.</i> 155, 157, 162, 167 |
| <i>Забелина С.И.</i> 96 | <i>Розный А.А.</i> 35 |
| <i>Захарова А.А.</i> 87, 93, 98, 105, 111 | <i>Русин Н.М.</i> 81 |
| <i>Ибрагимов Е.А.</i> 51 | <i>Саклаков В.М.</i> 135 |
| <i>Иванов К.В.</i> 78 | <i>Сапрыкин А.А.</i> 51, 64 |
| <i>Ивушкина Н.В.</i> 102 | <i>Сапрыкина Н.А.</i> 51 |
| <i>Ильященко Д.П.</i> 32 | <i>Сарафанникова А.С.</i> 111 |
| <i>Исхакова П.В.</i> 66 | <i>Сафронова В.С.</i> 18 |
| <i>Калинин А.В.</i> 22 | <i>Скоренцев А.Л.</i> 81 |
| <i>Караулова А.Ю.</i> 7 | <i>Смирнов А.Н.</i> 43 |
| <i>Кербес А.Д.</i> 41 | <i>Собачкин А.В.</i> 35 |
| <i>Ким В.А.</i> 142 | <i>Сушко А.В.</i> 108 |
| <i>Клопотов А.А.</i> 24 | <i>Татаринцев В.А.</i> 146, 170 |
| <i>Князева А.Г.</i> 7, 10, 18, 28 | <i>Телипенко Е.В.</i> 114 |
| <i>Когтева Д.П.</i> 157 | <i>Теслева Е.П.</i> 91, 96, 118 |
| <i>Козин К.Н.</i> 93 | <i>Тишкин Г.Ю.</i> 170 |
| <i>Кольчурин И.Н.</i> 157, 162 | <i>Ткачев Е.А.</i> 118 |
| <i>Коржова В.В.</i> 68 | <i>Устинов К.Д.</i> 47 |
| <i>Коростелева Е.Н.</i> 68 | <i>Утьев О.М.</i> 24 |
| <i>Корягин С.И.</i> 12 | <i>Фирсина И.А.</i> 41 |
| <i>Костина А.С.</i> 140, 176 | <i>Фисоченко О.Н.</i> 120 |
| <i>Кузнецов М.А.</i> 41 | <i>Шарков О.В.</i> 12, 22 |
| <i>Куминов П.А.</i> 105 | <i>Шилько Е.В.</i> 54 |
| <i>Лаврова Е.В.</i> 32 | <i>Шихов Д.С.</i> 174 |
| <i>Ламонов Д.А.</i> 146 | <i>Якимов М.В.</i> 47 |
| <i>Лигачев С.В.</i> 120 | |
| <i>Лихарев В.Е.</i> 81 | |
| <i>Логинова М.В.</i> 35 | |
| <i>Луговцова Н.Ю.</i> 150 | |
| <i>Лукьянов А.К.</i> 125 | |
| <i>Луцко Н.И.</i> 15 | |
| <i>Мазурин В.А.</i> 150 | |
| <i>Малиновский Д.</i> 22 | |
| <i>Мальчик А.Г.</i> 153 | |
| <i>Марцева М.К.</i> 71 | |

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XVI Международной научно-практической конференции

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание
представленной информации ответственность несут
авторы и научные руководители**

Компьютерная верстка и дизайн обложки
А.В. Валуева

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ