



ЗАСЕДАНИЯ ТЕМАТИЧЕСКИХ СЕКЦИЙ НАУЧНОЙ СЕССИИ НИЯУ МИФИ – 2025

**ПО НАПРАВЛЕНИЮ
ИННОВАЦИОННЫЕ ЯДЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

**посвященные 80-летию
атомной промышленности**

**Сборник научных трудов
всероссийской конференции**

**СФТИ НИЯУ МИФИ
26-28 февраля 2025 г.**

УДК 621.039 + 658.51 + 681.5
НЗ4

НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2025 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 26-28 февраля 2025 г. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2025. – 215 с.

Настоящая книга является сборником научных трудов, представленных в рамках всероссийской научно-практической конференции по направлению «Инновационные ядерные технологии» ежегодных заседаний Научной сессии Национального исследовательского ядерного университета МИФИ на базе Снежинского физико-технического института НИЯУ МИФИ. Работа конференции проходит по секциям: «Технологии и материалы в наукоемком производстве», «Моделирование физических и технологических процессов», «Физико-математические и информационные проблемы инновационных технологий», «Современные технологии программно-аппаратных средств», «Образовательные технологии в интересах развития атомной отрасли».

Заседания по данному направлению проводятся в СФТИ НИЯУ МИФИ совместно с градообразующим предприятием Снежинска ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина» с 2011 года.

ПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Линник О.В.

- руководитель СФТИ НИЯУ МИФИ, к.и.н., доцент

СОПРЕДСЕДАТЕЛЬ:

Симоненко В.А.

- зам. научного руководителя ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», д.ф-м.н., профессор

ISBN № 978-5-7262-3141-9 и изд. № 006-2

© Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ, 2025

Секция 1. ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИАЛЫ В НАУКОЕМКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСНОЙ СУШИЛКИ ДЛЯ ФИЛАМЕНТА FDM-ТЕХНОЛОГИИ	
Айсин В.Е., Хайдуков Е.И., Саманова А.И., Каримов Р.А.	7
ПРОБЛЕМАТИКА И РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МНОГОСТАДИЙНЫХ ЦИКЛОВ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ЧПУ	
Акинцева А.В., Переверзев П.П.	9
РАДИАЛЬНЫЙ ПУСКОВОЙ ДАТЧИК ДЛЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	
<u>Бугуев В.Д.</u> , Юсупов Д.Т., Клёнов А.И., Шистириков М.А., Сидоров К.С.	12
РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВЫСОКООПАСНОГО МАТЕРИАЛА В ЦЕЛЯХ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ	
Гарипов А.Г., Калашникова М.В., Коробейников К.А.	15
ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SLM ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЕВ	
Гнеушев Н.В., Казакова М.М., Орлова Н.Ю.	18
УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД	
<u>Епанешников О.А.</u> , Кучко Д.П., Юсупов Д.Т., Клёнов А.И., Шистириков М.А., Сидоров К.С.	21
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ МЕТОДАМИ ФОТОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ	
Иванова М.С.	23
ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ТЕРМОКОМПЕНСАЦИИ НА ОСНОВЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ SLM	
Изгагин Г.Б., Казаков И.А., Пильщиков А.А., Гнеушев Н.В., Орлова Н.Ю.	26
СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СО СТРУКТУРОЙ ДЕЛАФОССИТА КАК КАТАЛИЗАТОРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ	
Колмогорцев А.М., Панова И.Е., Макогон А.Г., Белая Е.А.	30
КАТИОНООБМЕННЫЙ СИНТЕЗ ПОРОШКОВ YAG	
Колмогорцев А.М., Шидловская П.К., Шергин А.В., Белая Е.А.	33
МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ НА ОСНОВЕ ДИАЦЕТИЛЕНОВЫХ ЛИНКЕРОВ: СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ	
Осипов А.А., Жеребцов Д.А., Найферт С.А., Раджакумар К., Ефремов А.Н., Спиридонова Д.В., Адонин С.А.	35
ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОГО ПОСЛОЙНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА SLM ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И СОКРАЩЕНИЯ ДОРОГОСТОЯЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ	
Пильщиков А.А., Теплых Н.А.	38
ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ	
Пьянков Д.А., Орлов А.А.	41
МЕТОД УЧЕТА ВЛИЯНИЯ НАКЛОНА УДАРНИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОБРАЗЦА В УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ	
Савенко Е.М., Кадочников Д.Ю., Дегтярев А.А.	45
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ УЦ САО ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ЯТЦ	
Старовойтов Н.П., Монстаков Д.А., Сухинин П.И.	47

**ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ
УТОЧНЕНИЯ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ
И ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ
ТЕХНОЛОГИЯХ**

Шарапов И.К.

51

Секция 2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ
В ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СТОЛБЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА.
ПОСТАНОВКА НА ЭКСПЕРИМЕНТ С НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТЬЮ**

Бартош К. Е., Журавлев Е.А., Захаров М.А, Садыков Р.Н., Садыков Н.Р.

52

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ
ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОМБИНАТОРОВ ВОДОРОДА**

Безгодов Е.В.

54

**ВИДОИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ,
ПРИХОДЯЩИХ НА СОСТАВНЫЕ УЗЛЫ КОНСТРУКЦИИ**

Боровский И.О., Минаев И.В., Никульшин М.В., Табатчиков А.А.

57

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ОТСЕКА ХРАНИЛИЩА
СРЕДНЕАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЦЕМЕНТНЫМ КОМПАУНДОМ**

Быков А.А.

58

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ**

Габбасова Н.Р., Кузнецова Н.А., Сахненко О.А.

62

**ПОСТАНОВКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ
ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КИНЕТИЧЕСКИХ
МОДЕЛЕЙ ДЕТОНАЦИИ**

Глущенко А.Г., Шишкин Н.Я., Горопашный Я.М., Лобачев А.С.,
Аверин А.Н., Грибанов Д.А., Долгих С.М., Гармашев А.Ю.

66

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ ГЕРМОРАЗЪЕМОВ

Горбоконин Н.В., Минаев И.В., Тулаева Н.Н.

71

**ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛЕЙ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО УДАРНОМУ НАГРУЖЕНИЮ КРЕШЕРНЫХ СИСТЕМ**

Доценко В.В., Жабунина О.Ю., Лушина Ю.Ю., Никульшин М.В.

72

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ
ПРИ СОРБЦИОННОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Дудкин В.А., Казаков В.А., Коренев С.В., Старовойтов Н.П.

75

**АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
ТЯЖЕЛЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ
В РАДИОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Казаков В.А., Старовойтов Н.П., Монстаков Д.А., Дудкин В.А., Тананаев И.Г.

81

**ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИ-ИНФОРМИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ
СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В
ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ**

Калыргина А.А., Комоско В.В..

85

**ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ
КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ
ДЛЯ ЗАЗОРОВ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ**

Койнов О.В., Исаева Е.П.

87

	Стр.
МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НЕРАСТВОРЕННОГО ОСАДКА	
Кутузова К.С., Мастюк Д.А., Макеева И.Р., Дырда Н.Д., Федорин А.В.	88
ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЗАДАЧ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЗАКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЕЧНО- АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА К УРАВНЕНИЮ ГЕЛЬМГОЛЬЦА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «СИНРА»	
Латыпов А.А., Лебедев С.Н., Овечкин А.А.	90
НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЗРЫВОЗАЩИТНОГО ГЕРМОКОНТЕЙНЕРА	91
Никульшин М.В., Минаев И.В., Коробейников К.А., Степанов И.Ю.	
РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ СИМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ	
Парутин К.А., Шайдуллин С.М., Ремизова В.А., Козлов П.В.	95
ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ КОНСТАНТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	
Помыкалов Е.В., Ковалев Ю.М., Яловец А.П.	99
ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ	
Садыков Р.Н, Бартош К.Е., Захаров М.А., Журавлев Е.А., Садыков Н.Р.	103
О ВЫСОКОТОЧНОМ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РЯДА СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	
Симоненко В.А.	106
ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВСПЫШКИ В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ПРЕДЕЛА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИОННЫХ СИСТЕМ	
Старовойтов Н.П., Казаков В.А., Дудкин В.А., Монстаков Д.А., Козлов П.В., Логунов М.В., Тананаев И.Г.	112
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА НА БАЛЛОНЫ С ВОДОРОДОМ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ	
Стаханов В.В., Шлейтанов Б.А., Давлетчин Ю.Ф., Шарапов И.К., Ушков А.В.	117
ОБЗОР НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ И МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ	
Томилов Ю.А., Щенникова Е.М.	120
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ГАЗОВОЙ ПУШКИ	
Черногузова Е.А., Ушакова О.В., Ищенко А.Н.	125
МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СЖАТИЯ МОНОКРИСТАЛЛА β - ОКТОГЕНА	
Шестаков М.А., Ковалев Ю.М.	129
ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АТЭК-ВЭ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСЕРВАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	
Юматова М.А., Шульц О.В., Романова Н.Ю., Файрушин А.Г., Богданова Ж.С.	132

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД Ярушин К. М.	Стр. 135
 Секция 3. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМИ РЯДАМИ Баутин С.П., Вазиева И. А.	139
НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ТЕЧЕНИЯ СЖИМАЕМОГО ГАЗА, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ Баутин С.П., Обухов А.Г.	142
ПОЛНАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА: ЛИНЕАРИЗАЦИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ТОЧНОМ РЕШЕНИИ Бугаенко А.А., Крутова И. Ю.	143
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВОСХОДЯЩИХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ ТИПА ТОРНАДО ПРИ УЧЕТЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТЯЖЕСТИ И КОРИОЛИСА Казачинский А.О., Крутова И.Ю.	145
МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАЗРЕЖЕНИЯ РАСЧЁТНОЙ СЕТКИ ОКОЛО ОСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ Кононов С.Н., Левунина Э.С.	147
ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД Мустафин А.М., Лебедев С.Н.	149
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА ФОТОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В СФЕРИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ Петрова Ю.А., Пономарёв А.П.	158
ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТЕЧЕНИЙ, ОПИСЫВАЕМЫХ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧИ ОБ ИСТЕЧЕНИИ ГАЗА В ВАКУУМ НА КОСОЙ СТЕНКЕ Понькин Е.И.	164
РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА Порывкин А.Е., Первушина Н.А.	168
ГЕНЕРАЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОАКСИАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ В СРЕДЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ НАНОТРУБОК Шакиров И.Е., Садыков Н.Р.	171

Секция 4.**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫХ СРЕДСТВ****РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА****ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Брегед А.И., Липатов А.Н.

175

АРКТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДОБЫЧЕ**ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ «УМКА»**

Горбатов А.Д., Смирнова М.М.

179

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ**РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВЕРЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ****ИЗ ФОЛЬГИРОВАННОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА**

Гречушкин И.Е., Шульгин А. Н., Тебайкин Д.С.

182

ГЕНЕРАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

Минаев А.С., Фёдоров В.В.

188

СЖАТИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ,**ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРИМЕНИМОСТИ**

Михайлов А.Ф.

191

КОНТРОЛЬ ПУТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ**

Мякушко Э.В., Тебайкин Д.С.

196

АВТОНОМНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО**МОНИТОРИНГА**

Тебайкин Д.С., Саманова А.И.

201

Секция 5.**ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ****В ИНТЕРЕСАХ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ****ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ****ПОПУЛЯРИЗАЦИИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ****ОБРАЗОВАНИИ**

Афанасьев Д.Б.

204

ИНТЕГРАЦИЯ САД И PLM-СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕБНОГО**ПРОЦЕССА**

Горбатов И.В., Курсевич Е.А., Абраменко Ю.С.

206

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ «УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА»

Губарева И.Г.

209

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ**КОМПЕТЕНЦИЙ МОЛОДЕЖИ С ПОМОЩЬЮ КОНСТРУКТОРА ПРОЕКТНОЙ****РАБОТЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССОВ РОСАТОМА**

Жилина В.С., Певнева Н.А., Попова А.И.

213

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КУРСА ESP В ОБУЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЕ**«ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ»****БУДУЩИХ СПЕЦИАЛИСТОВ IT-СФЕРЫ**

Захарова О.О.

215

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ГИБКИХ НАВЫКОВ У ШКОЛЬНИКОВ**В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА**

Карчугина Е.Н., Никитина Т.В.

218

	Стр.
БИТВА ГИГАНТОВ И НИШЕВЫХ ИГРОКОВ: УРОКИ SMM ДЛЯ ВУЗОВ ОТ УРАЛЬСКИХ ФИЛИАЛОВ НИЯУ МИФИ	
Линник О.В., Певнева Н.А.	220
ОТ УВЛЕЧЕНИЯ НАУКОЙ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ВЫБОРУ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	
Логутов К.Д.	223
СТРАТЕГИЧЕСКИЕ И ТАКТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЙ	
Малышева М.А.	227
ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ ФИЗИКИ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	
Никитина Т.В.	230
АРХЕТИП ГЕРОЯ И ТВОРЦА ВМЕСТО МУДРЕЦА: НОВАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА В УСЛОВИЯХ ЗАТО	
Певнева Н.А., Попова А.И.	233
МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ПРЕЗЕНТАЦИИ ПРОЕКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМ СКЛАДОМ УМА	
Певнева Н.А.	235
ПРЕОДОЛЕВАЯ ТРУДНОСТИ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «КОНСТРУКТОРА»	
Певнева Н.А.	240
ФОРМИРОВАНИЕ СТИМУЛОВ И МОТИВАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ	
Садовский А.А.	244
ОРГАНИЗАЦИИ	246
АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ	247

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЕРЕНОСНОЙ СУШИЛКИ ДЛЯ ФИЛАМЕНТА FDM-ТЕХНОЛОГИИ

Айсин В.Е., Хайдуков Е.И., Саманова А.И., Каримов Р.А.

¹ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
ve_aysin@mail.ru

Прототипы, изготовленные методом аддитивных технологий, становятся неотъемлемым инструментом, предоставляя возможность проводить эксперименты с более выгодной эффективностью и экономией ресурсов. Однако, пластик хранящийся от нескольких часов до нескольких месяцев, подвергается воздействию времени, и при пребывании в неподходящих условиях хранения, пластик начинает впитывать в себя влагу. В следствии была разработана переносная сушилка для филамента FDM-технологии.

Ключевые слова: разработка модели, сушилка, филамент FDM-технологии

DESIGN OF A PORTABLE DRYER FOR THE FDM TECHNOLOGY FILAMENT

Aysin V.E., Haydukov E.I., Samanova A.I., Karimov R.A.

*Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region
ve_aysin@mail.ru*

Prototypes made using additive technologies are becoming an integral tool, providing an opportunity to conduct experiments with more profitable efficiency and resource savings. However, plastic stored for several hours to several months is exposed to time, and when stored in unsuitable storage conditions, the plastic begins to absorb moisture. As a result, a portable dryer for the FDM technology filament was developed.

Keywords: Model development, dryer, FDM technology filament

В настоящее время 3D-печать активно внедряется в различные области, и создание проектов часто требует глубоких исследований. Однако, с увеличением объёма этих исследований и использованием значительных ресурсов, возникает потенциальная проблема неоправданности выгоды. В этом случае прототипы, изготовленные методом аддитивных технологий, становятся неотъемлемым инструментом, предоставляя возможность проводить эксперименты с более выгодной эффективностью и экономией ресурсов. Однако, пластик хранящийся от нескольких часов до нескольких месяцев, подвергается воздействию времени, и при пребывании в неподходящих условиях хранения, пластик начинает впитывать в себя влагу. Этот процесс имеет свои негативные последствия, начиная от адгезии(прилипания) пластика к стенкам экструдера, до возможного засорения сопла. Кроме того, от такого пластика страдает качество изделий, а также возникает опасность для здоровья человека в виде выделяющихся паров.

Цель работы: создание переносной сушилки для филамента FDM-технологии, способной высушить пластик и хранить его в специальном контейнере с влажностью, приближенной к нулю, для сохранения изначальных свойств.

Была разработана модель переносной сушилки, которая в следствии работы дорабатывалась и изменялась. Разработка была разделена на несколько частей: корпус сушилки, универсальная втулка и нагревающий элемент.

Температура в камере поддерживается благодаря нагревающему элементу, который располагается в радиаторе. Четыре вентилятора пропускали воздух через нагретый вентилятор, в следствии чего воздух в камере нагревался. Контроль температуры поддерживается термопарой, расположенной в камере.

Внутри сушилки катушка пластика фиксируется на вращающемся валу для равномерного нагрева, также для устранения излишков влаги внутри камеры сушки помещается силикагель, который активно впитывает влагу. Контроль нагрева и вращения вала обеспечивается благодаря микроконтроллеру Arduino Uno.

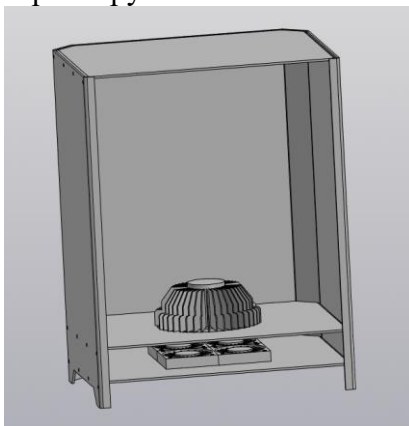


Рис. 1. Корпус сушилки.

Однако катушки филамента от разных компаний имеют различный внутренний диаметр, в следствии чего была разработана втулка с переменным диаметром, который настраивается вручную.

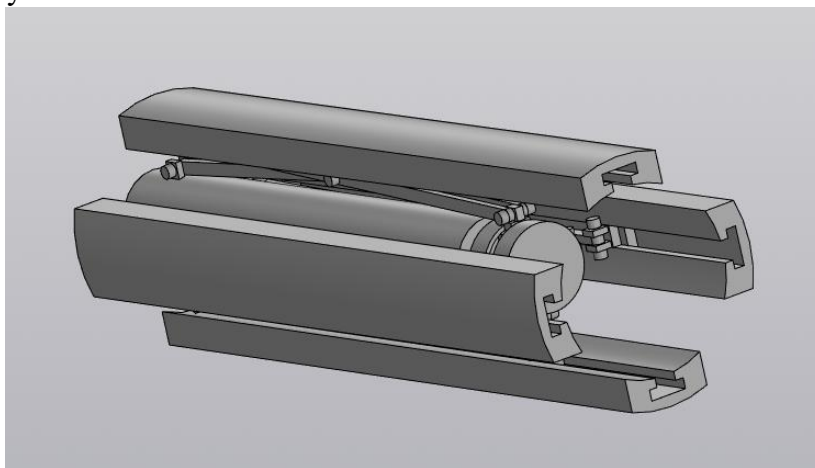


Рис. 2. Втулка с переменным диаметром.

В дальнейшем планируется разработка управляющей программы для сушилки, которая будет контролировать температуру в камере сушки.

Использованные источники:

1. Котомин, С. В. Полимерные материалы и пластики — свойства и применение: методические указания / С. В. Котомин, Р. О. , Я. Е. . — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 48 с. — ISBN 978-5-7038-4649-0.
2. Е. И. Байгильдеева, Д. В. Тунцев, Р. Г. Сафин- Технология и оборудование производства древесных плит и пластиков : учебное пособие / Е. И. Байгильдеева, Д. В. Тунцев, Р. Г. Сафин ; Казанский национальный исследовательский технологический университет. - Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2018. - 88 с. - ISBN 978-5-7882-2455-8.-8.
3. Миллс Н.- Конструкционные пластики - микроструктура, характеристики, применения : [учебно-справочное руководство] / Миллс Н. ; пер. с англ. Котомин С. В. ; ред. пер. Баженов С. Л. - Долгопрудный : Интеллект, 2011. - 509 с. : ил. - Библиогр.: с. 471-476. - ISBN 978-5-91559-047-1.

ПРОБЛЕМАТИКА И РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ МНОГОСТАДИЙНЫХ ЦИКЛОВ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ОПЕРАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ С ЧПУ

Акинцева А.В., Переверзев П.П.

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск

akintsevaav@susu.ru

pereverzevpp@susu.ru

В работе рассмотрена проблема применения и проектирования многостадийных циклов режимных параметров для операций механической обработки. Представлены возможные пути решения данной проблемы – разработка единой методологии комплексной структурно-параметрической оптимизации циклов и общей методологии построения аналитических моделей расчета силы резания, текущего значения глубины резания, текущего значения технологического размера и его погрешности при разных состояниях моделируемого процесса.

Ключевые слова: цикл, режим резания, стадии обработки, станок с ЧПУ, оптимизация

PROBLEMS AND SOLUTIONS OF THE ISSUE OF DESIGNING OPTIMAL MULTI-STAGE CYCLES OF OPERATING PARAMETERS FOR CNC MACHINING OPERATIONS

Akintseva A.V., Pereverze P.P.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «South Ural State University (national research university)», Chelyabinsk

The paper considers the problem of application and design of multi-stage cycles of mode parameters for mechanical processing operations. Possible ways of solving this problem are presented – development of a unified methodology of complex structural-parametric optimization of cycles and a general methodology for constructing analytical models for calculating cutting force, current value of cutting depth, current value of technological size and its error under different states of the simulated process.

Keywords: cycle, cutting mode, processing stages, CNC machine, optimization

Современная металлообрабатывающая промышленность базируется на широком и повсеместном применении станков с ЧПУ. Операции механической обработки на станках с ЧПУ характеризуются не только высокой концентрацией переходов, но и высокой концентрацией стадий обработки поверхности за одну установку заготовки (черновой, получистовой, чистовой и др.). Концентрация стадий обработки на станках с ЧПУ реализуются в виде многостадийного цикла изменения программных скоростей подач за время съема припуска или величины снятого припуска. Применение многостадийных циклов позволит повысить производительность операции и стабилизировать показатели точности и качества при обработке партии деталей.

В настоящий момент отсутствует какой-либо «цифровой инструмент», позволяющий рассчитывать оптимальные с точки зрения производительности многостадийные циклы. В результате на предприятиях вынуждены осуществлять ручной подбор стартовых режимов резания чаще всего в виде одноступенчатых циклов, требующих дальнейшей адаптации к производству путем обработки ряда пробных изделий. Отметим, что с целью стабильности выполнения требований чертежа режимы резания занижаются. Это приводит не только к

снижению производительности механообрабатывающих операций с ЧПУ и повышению количества выпускаемого брака, но и к увеличению временных и материальных затрат на технологическую подготовку производства. А также делает невозможным проведение полной цифровизации машиностроительных производств России.

Анализ библиографических источников показал, что имеющиеся в настоящий момент научные разработки имеют ряд общих существенных недостатков:

- отсутствует единая методология построения аналитических моделей, устанавливающих взаимосвязь между силой резания, глубиной резания, параметрами режима резания, физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, геометрическими и конструктивными параметрами режущего инструмента, производительностью, точностью (погрешностью диаметральных и линейных размеров, формы и взаимного расположения поверхностей) и качеством обработки и т.д.;

- не всегда и не в полной мере учитываются переменные технологические факторы, возникающие при обработке партии деталей на станках с ЧПУ: затупление режущего инструмента и его размерный износ, колебание припуска в партии детали и множество др.;

- не используются математические методы оптимизации, в результате проектируемые циклы являются рациональными;

- отсутствует возможность перевода разработанных моделей и методик в цифровой вид, что обеспечивало бы скорейшее проведение цифровизации машиностроительной отрасли.

В качестве решения предлагается разработать единую методологию комплексной структурно-параметрической оптимизации циклов и общую методологию построения аналитических моделей расчета силы резания, текущего значения глубины резания, текущего значения технологического размера при разных состояниях моделируемого процесса, погрешности технологического размера.

В основе единой методологии комплексной структурно-параметрической оптимизации многостадийных циклов параметров режима резания лежит следующий принцип. На рис. 1 представлен график зависимости трехступенчатого (многостадийного) цикла скорости программной радиальной (врезной) подачи от величины снятого припуска. Линиями различными по структуре показаны различные ограничения, скорость программной подачи представлена тремя ступенями, скорость фактической подачи (глубины резания) в виде штрихпунктирной кривой. Данный график справедлив для различных видов механической обработки (точение, фрезерование, шлифование и др.). Чем больше ступеней подач, тем ближе можно прижать траекторию фактической скорости подач к области ограничений. В этом случае средняя фактическая скорость подачи будет наибольшей, а цикл производительней. В идеале, бесступенчатый цикл самый производительный, но на практике он труднореализуемый. Обычно на производствах используются 2-х, 3-х, реже 4-х и 5-и ступенчатые циклы (каждая ступень соответствует определенной стадии обработки). Таким образом, можно осуществлять управление производительностью операции с помощью многостадийного цикла подач с обеспечением требований чертежа по точности и качества.

В качестве математического метода оптимизации используется метод динамического программирования, позволяющий накладывать ограничения по точности обработки, т.е. прогнозировать колебание показателей точности при изготовлении партии деталей с учетом влияния переменных технологических факторов. К рассматриваемым ограничениям при проектировании оптимального цикла также относятся технологические возможности оборудования, требования чертежа по качеству обрабатываемой поверхности и др. Критерием оптимальности проектируемого цикла может быть производительность операции, стойкость инструмента, себестоимость выпускаемой продукции, а также сочетание критериев оптимальности – максимальная производительности при повышенной стойкости инструмента.

Сложность задачи и невозможность расчета циклов «вручную», а также подбором путем обработки ряда пробных заготовок обусловлены, в том числе и тем, что скорость

фактической подачи (глубина резания) постоянно изменяется под действием упругих деформаций технологической системы. Это оказывает решающее влияние на точность и качество обработки. Поэтому проведение оптимизации многостадийного цикла становится возможным только при наличии аналитической модели процесса съема металла, устанавливающей взаимосвязь технологического размера и его погрешности с силой резания и др. основными технологическими параметрами. Важно, чтобы аналитическая модель имела возможность перевода в программный код, который является цифровым двойником операции механической обработки, достоверно описывающим процесс съема припуска с учетом влияния переменных технологических факторов. Отметим, что исходные аналитические модели должны давать возможность учитывать колебания припуска в партии детали, исходное состояние обрабатываемой поверхности, затупление и размерный износ режущего инструмента и т. д.

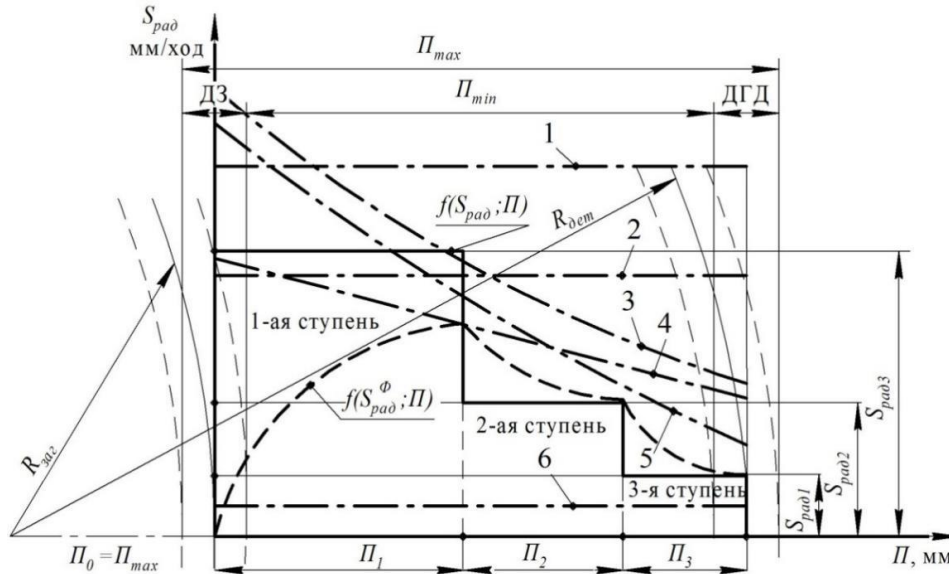


Рисунок 1 – Область допустимых значений фактических подач (глубины резания) цикла шлифования с ЧПУ с наложением областей ограничений: 1 – ограничение по максимальной подаче станка; 2 – ограничение по осыпаемости круга; 3 – ограничение по прижогу; 4 – ограничение по точности размеров; 5 – ограничение по шероховатости; 6 – ограничение по минимальной подаче станка; ДЗ – допуск на заготовку; ДГД – допуск на готовую деталь; $S_{\Phi rad}$ – фактически снятый припуск, мм/ход; S_{rad} – программное значение радиальной подачи, мм/ход; P – припуск, мм.

Таким, образом помимо создания единой методологии комплексной структурно-параметрической оптимизации многостадийных циклов параметров режима резания необходимо разработать общую методологию построения аналитических моделей расчета силы резания, текущего значения глубины резания, текущего значения технологического размера при разных состояниях моделируемого процесса, погрешности технологического размера. В настоящий момент разработана методика вывода силовых моделей для различных видов механической обработки на основании балансов скоростей и объемов снимаемого металла, с которой более подробно можно ознакомиться в работах [1-2].

Список использованных источников:

1. Акинцева, А.В. Модель расчета силы резания для плоского шлифования на основании балансов скоростей и объемов снимаемого металла / А.В. Акинцева, П.П. Переверзев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2024 – № 2(767). – С.35-43.
2. Akintseva, A.V. Modeling the interrelation of the cutting force with the cutting depth and the volumes of the metal being removed by single grains in flat grinding / A.V. Akintseva, P.P. Pereverzev // Obrabotka Metallov. – 2023. – Vol. 25 No. 4. – P.6-21.

РАДИАЛЬНЫЙ ПУСКОВОЙ ДАТЧИК ДЛЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

В.Д. Бугуев, Д.Т. Юсупов, А.И. Клёнов, М.А. Шистириков, К.С. Сидоров.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
vniitf@vniitf.ru

Аннотация. В работе предложена и экспериментально отработана конструкция герметичного радиального электроконтактного датчика, обеспечивающего стабильный и надёжный запуск регистрирующей аппаратуры, а также позволяющего оценить скорость подлёта лайнера к мишени.

Ключевые слова: баллистическая установка; лайнер; запуск измерительной аппаратуры; радиальный электроконтактный датчик; подлётная скорость лайнера.

RADIAL ACTUATING GAUGE FOR GAS GUNS

V.D. Buguey, D.T. Yusupov, A.I. Klenov, M.A. Shistirikov, K.S. Sidorov
FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Chelyabinsk region
vniitf@vniitf.ru

Abstract. A hermetic radial electric contact gauge has been designed and experimentally elaborated which provides stable and reliable running of the recording equipment and enables estimating the velocity of the flyer object approaching the target.

Keywords: gas gun; flyer object; measurement equipment running; radial electric contact gauge; flyer approach velocity.

Введение

Начиная с прошлого века и по сегодняшний день одним из востребованных инструментов для исследования динамических свойств материалов являются ударные волны. Применение ударной волны в качестве инструмента исследования позволяет изучать сжимаемость, фазовые превращения и ряд других явлений, происходящих в исследуемых материалах в области высоких давлений и температур. В качестве систем ударно-волнового нагружения, как правило, используются взрывные генераторы и баллистические установки для разгона лайнеров [1].

При использовании баллистических установок существует задача своевременного запуска устройств и приборов для регистрации ударно-волновых процессов в мишени. Длительность исследуемых процессов составляет несколько микросекунд, тогда как процесс разгона лайнера в канале баллистической установки занимает ~12 миллисекунд с неопределенностью ~0,1 мс. Производя запуск измерительной аппаратуры в момент начала разгона лайнера практически невозможно “попасть” в заданный временной интервал явления из-за указанной неопределенности. Поэтому целесообразно запускать измерительные методики непосредственно при подлёте лайнера к исследуемой мишени. Применяемые, в настоящее время, для данных целей, торцевые пусковые электроконтактные датчики (ЭКД) влекут за собой негативное возмущающее воздействие на лайнер.

Цель работы

Целью данной работы является разработка радиального пускового электроконтактного датчика, не оказывающего влияния на исследуемый процесс.

Конструкция датчика

В работе предложена и испытана конструкция радиальных электроконтактных датчиков. Датчик состоит из медного электрода, находящегося внутри изолятора, который помещается в никелевую трубку. На никелевую трубку замыкается медный электрод при воздействии на него лайнера. Полный комплект датчиков (8 штук) устанавливается в надульный измерительный отсек по следующей технологии:

В отверстие надульного измерительного отсека устанавливается уплотнительная резиновая шайба, служащая фиксатором датчика. Затем датчик вставляется в резьбовую втулку, которая вкручивается в измерительный отсек.

От никелевой трубки и центрального электрода выводятся проводники (кабель) на блок формирования сигналов и регистратор. Регистратор фиксирует моменты замыкания центрального электрода датчика о никелевую трубку. Электроконтактные датчики устанавливаются в двух плоскостях измерительного отсека по четыре датчика в каждой. Расстояние между плоскостями 20 мм, таким образом, зарегистрированные времена замыкания датчиков, позволяют рассчитать скорость лайнера. На рисунке 1 представлена модель надульного измерительного отсека.

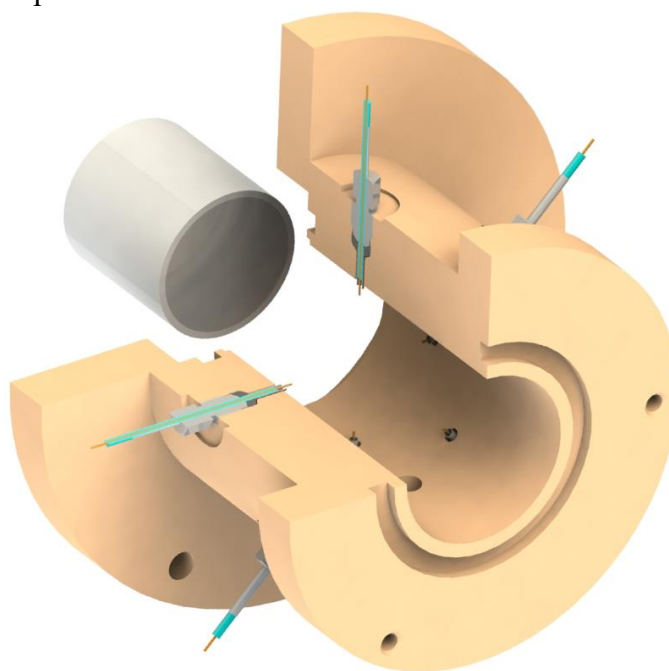


Рисунок 1 – Модель надульного измерительного отсека с установленными в нём радиальными электроконтактными датчиками

Данный тип датчиков имеет существенные преимущества перед торцевыми: может замыкаться любым материалом, например диэлектриком, а также замыкается пояском поддона лайнера, благодаря чему не вызывает возмущений в ударнике.

Отработка датчиков

Была проведена серия экспериментов на баллистической установке по отработке радиальных электроконтактных датчиков. На рисунке 2 показаны осциллограммы экспериментов, на основании которых можно сделать вывод о том, что все датчики сработали и по ним возможно оценить подлётную скорость лайнера. Также по радиальным электроконтактным датчикам был произведён электрический запуск измерительной аппаратуры (комплекс лазерно-гетеродинной методики).

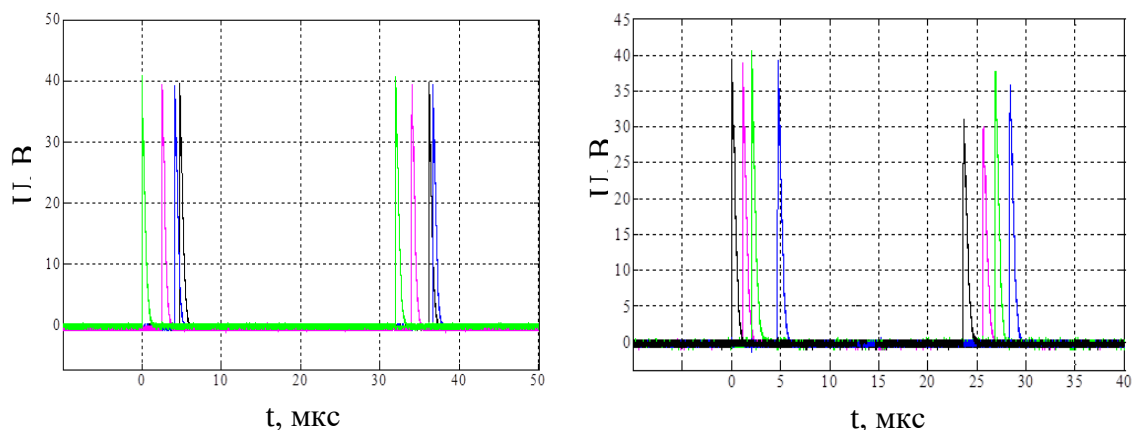


Рисунок 2 – Осциллограммы экспериментов

Заключение

В результате проделанной работы был разработан и испытан радиальный электроконтактный датчик. С помощью радиальных ЭКД возможно производить запуск регистрирующей аппаратуры различными методиками, а также получать оценочную информацию по подлётной скорости лайнера.

Преимущества по сравнению с колпачковыми (торцевыми) ЭКД:

- не занимают полезное место на поверхности мишени, которое могло бы быть использовано для исследуемого материала, большего количества каналов измерительных методик или датчиков другого типа;
- не вносят возмущения в ударник;
- могут замыкаться любым материалом, например диэлектриком;
- возможность применения данного типа датчиков совместно с другими методиками, где не допускается воздействие на образец.

Использованные источники:

1. Жерноклетов М.В., Михайлов А.Л., Тюпанова О.А. Экспериментальные методы в физике ударных волн и детонации: монография / Под ред. М.В. Жерноклетова. – Саров: ФГУП «РФЯЦ–ВНИИЭФ», 2020. с. 84–91.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ВЫСООПАСНОГО МАТЕРИАЛА В ЦЕЛЯХ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ

Гарипов А.Г.^{1,2}, Калашникова М.В.², Коробейников К.А.¹

¹ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

²ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им.академ.Е.И.Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

konstkor62.1962@mail.ru

В данной работе рассматриваются проблемы и решения, связанные с безопасной обработкой высокоопасных материалов, требующих специального оборудования для измельчения. Оценивается актуальность разработки конструкции, способной минимизировать риски, связанные с нарушением данной технологии в условиях высокой степени опасности. Особое внимание уделяется методам разрушения материалов, их переработке и практическим аспектам применения предложенной конструкции. Ключевым элементом исследования является необходимость сохранения физико-механических свойств материалов после процесса измельчения, что является критическим для дальнейшего их использования в производстве. Результаты исследования направлены на улучшение технологий обработки опасных веществ, минимизацию экологических рисков и поддержание качества конечного продукта.

Ключевые слова: переработка специализированного материала; инертная среда; физико-механические свойства; разработка измельчителя; жерновое измельчение материалов.

DEVELOPMENT OF A DESIGN FOR THE SAFE SREDDING OF HIGHLY HAZARDOUS MATERIAL FOR THE PURPOSES OF RECYCLING

Garipov A.G.^{1,2}, M.V. Kalashnikova², Korobeynikov K.A.¹

¹Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region.

²FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region.

konstkor62.1962@mail.ru

This research addresses the problems and solutions associated with the safe handling of highly hazardous materials that require specialized equipment for shredding. It assesses the relevance of developing a design capable of minimizing risks related to the loss of control technology and ensuring the safety of work processes in conditions of high danger. Special attention is given to methods of material destruction, their recycling, and the practical aspects of applying the proposed design. A key element of the research is the necessity to preserve the physical and mechanical properties of materials after the shredding process, which is critical for their further use in production. The results of the research are aimed at improving the technologies for processing hazardous substances, minimizing environmental risks, and maintaining the quality of the end product.

Keywords: recycling of specialized material; inert atmosphere; physical and mechanical properties; development of a shredder; stone millin of material.

Введение

В условиях современного производства особое внимание уделяется разработке эффективных и безопасных технологий переработки специализированных материалов. В данной работе представлена конструкция измельчителя, помещаемого в герметичный бокс. Основная цель работы заключается в приведении специализированного материала к

необходимой фракции, остановке гидролизного процесса, а также обеспечении безопасности работников при проведении манипуляций с потенциально опасными веществами.

Методы

Проектирование измельчителя, названного «диспергатор», основано на механических принципах разрушения материалов, что подтверждается литературным анализом исследований, проведённых в пищевой и горнодобывающей отраслях. Измельчитель оборудован двумя дисками: неподвижным и вращающимся. Диски оснащены выступающими билами, которые при вращении осуществляют удар и срез материала, что приводит к его разрушению. Входной материал подаётся через воронку, а зазор между дисками позволяет получить фракцию 0,5 мм из исходного продукта размером 30 мм.

Первый путь

В связи с существованием феноменологической проблемы, в расчётах геометрическая форма разрушаемого материала принимается за форму куба с ребром $b = 30$ мм. Поверхности бил (выступающих частей), с которыми происходит соударение принимаем за плоскости. Будем исходить из того, что разрушение происходит, когда длина трещины l достигает размера b , т.е. $l = b$, тогда для расчёта критической скорости согласно [3] v_k соударения поверхности била с частицей, при развитии в ней в результате удара напряжения нормального отрыва или поперечного сдвига, имеет вид

$$v_k = \frac{T}{\rho \cos \alpha} \times \sqrt{\frac{\pi \gamma E}{(1 - \mu^2) \times b^3}} \quad (1)$$

Поскольку в конструкции применяются два диска (один – подвижный, второй – неподвижный), разрушение будет происходить за счёт удара о поверхность била подвижного диска и удара о поверхность била неподвижного диска. В этом случае, согласно [3], при первом ударе в частице образуется трещина длиной l_1 , при втором длиной l_2 , а общая длина

$$l_R = l_1 + l_2 \quad (2)$$

Тогда согласно [3], при разрушении частицы материала в результате двух ударов с учётом того, что $l_R = b$

$$v_k = \frac{T}{\rho} \times \sqrt{\frac{\pi \gamma E}{b^3 \times [1 + (1 + k)^2]}} \quad (3)$$

В результате определяются критическая скорость соударения v_k , угловая скорость ω вращения диска, и количество оборотов n .

Второй путь

Рассмотрим схему дробления куска в виде куба по одной плоскости $abcd$.

Для дробления куска на e частей, т.е. со степенью дробления e по плоскостям, кусок должен быть раздроблен по $(e - 1)$ плоскостям, для чего необходимо, согласно [2], затратить работу

$$A_x = \frac{\sigma^2 \Delta}{2E} (e - 1)$$

Общая работа [2], затрачиваемая на дробление куска материала до конечного размера, равна

$$A = \frac{3\sigma^2 \Delta}{2E} (e - 1)$$

Третий путь

В процессе измельчения, в нашем случае, происходит не только удар, но и истирание. При определении работы, затрачиваемой на дробление истиранием, необходимо учитывать,

что разрушающими будут не только нормальные усилия, но и касательные, обуславливающие разрушение дробимого материала сдвигом.

Тогда, согласно [1], работа, затрачиваемая на дробление сдвигом объёма Δ со степенью дробления e

$$A = 0,25 \times \frac{\left(\frac{\sigma}{1+\mu}\right)^2 \times \Delta}{\frac{E}{2 \times (1+\mu)}}$$

В процессе исследования применяются три различных подхода, каждый из которых позволяет оценить угловую скорость диска необходимую для разрушения материала.

Первый подход заключается в расчёте критической скорости соударения выступающих элементов диска. Этот расчёт позволяет вывести угловую скорость вращения, необходимую для эффективного разрушения материала, и определить количество оборотов, требуемое для достижения заданной эффективной мощности.

Второй подход основан на оценке работы, необходимой для разрушения материала при ударе. Анализируя эту работу, мы также получаем угловую скорость и количество оборотов, что позволяет сделать выводы о механической эффективности процесса.

Третий подход включает в себя рассмотрение разрушения материала, происходящего не только в результате соударения, но и из-за сдвига, возникающего между дисками. Для этого метода работа рассчитывается по другому алгоритму, что даёт возможность более полно оценить энергетику процесса.

Важно отметить, что, несмотря на различные методики, все три подхода обеспечивают результаты, которые находятся в пределах 17% друг от друга. Это свидетельствует о высокой согласованности расчётов и подтверждает надёжность предложенной методики в оценке параметров измельчения.

Результаты

Проведённые расчёты показали, что для эффективного измельчения заданного материала средние значения критической скорости соударения $v_k = 4$ м/с, угловой скорости вращения диска $\omega = 38$ рад/с, что соответствует количеству оборотов $n = 365 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$, работы, затрачиваемой на дробление куска материала до конечного размера

$$A = 56 \text{ Дж.}$$

Выводы

Разработанная конструкция измельчителя имеет значительный потенциал в области переработки специализированных материалов, сочетая в себе высокую эффективность и безопасность использования. Перспективы дальнейших исследований включают оптимизацию конструкции для работы с различными типами материалов, а также расширение возможностей по переработке. Полученные результаты могут быть полезны как для инженеров, так и для исследователей, работающих в данной области, освещая новые подходы к безопасной переработке и утилизации опасных веществ.

Использованные источники:

- 1 Б.В. Клушанцев, А.И. Косарев, Ю.А. Муйземнек «Дробилки. Конструкция, расчёт, особенности эксплуатации». – М.: Машиностроение, 2020.-320 с.
- 2 Барабашкин В.П. Молотковые и роторные дробилки. Изд. 2-е перераб. И доп. М., «Недра», 2023, 144 с.
- 3 Машиностроение. Энциклопедия/ Ред. совет: К.В. Фролов (пред.) и др. – М.:М38 Машиностроение. Машины и оборудование пищевой и перерабатывающей промышленности. Т. IV-17/ С.А. Мачихин, В.Б. Акопян, С.Т. Антипов, и др.; Под ред. С.А. Мачихина.2023 – 736 с. Ил.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ SLM ПЕЧАТИ ДЛЯ ПРОТЕЗИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СЛУЧАЕВ

Гнеушев Н.В., Казакова М.М., Орлова Н.Ю.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.*

Аннотация: В статье рассматриваются перспективы применения аддитивных технологий, в частности селективного лазерного плавления (SLM), для изготовления сложных медицинских протезов, таких как протезы грудной клетки. Подчеркивается, что использование данных технологий позволяет создавать изделия с уникальной геометрией, объединять несколько деталей в одну, снижать массу и упрощать сборку, что повышает эксплуатационные свойства и надежность. В качестве примера анализируются различные варианты протезов грудины и ребер, сохраняющих или частично ограничивающих функциональную мобильность. Несмотря на высокую стоимость производства, SLM-технологии демонстрируют значительный потенциал для решения сложных медицинских задач, обеспечивая учет анатомических особенностей пациента и возможность использования биосовместимых материалов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, селективное лазерное плавление, SLM, протезирование, протез грудной клетки, функциональная мобильность, биосовместимые материалы, медицинские технологии, инновации, анатомические особенности.

POSSIBILITIES OF USING SLM PRINTING TECHNOLOGY FOR PROSTHETICS IN COMPLEX CASES

Gneushev N.V., Kazakova M.M., Orlova N.Yu.

*Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region*

Abstract: The article explores the prospects of using additive technologies, particularly selective laser melting (SLM), for manufacturing complex medical prostheses, such as chest prostheses. It is emphasized that the use of these technologies allows for the creation of items with unique geometry, combining multiple parts into one, reducing weight, and simplifying assembly, which enhances operational properties and reliability. As an example, various versions of sternum and rib prostheses are analyzed, which either preserve or partially limit functional mobility. Despite the high production costs, SLM technologies demonstrate significant potential for solving complex medical challenges, taking into account the anatomical features of the patient and enabling the use of biocompatible materials.

Keywords: additive technologies, selective laser melting, SLM, prosthetics, chest prosthesis, functional mobility, biocompatible materials, medical technologies, innovations, anatomical features.

В настоящее время появляется всё больше инновационных технологий в различных областях науки и техники. Одно из наиболее перспективных направлений - это использование аддитивных технологий для изготовления деталей и узлов. Данные технологии позволяют использовать принципиально новые, ранее недопустимые принципы конструирования, удаляя весь не работающий при эксплуатации металл, объединяя несколько деталей в одну, т.е. усложнения пространственную геометрии отдельных деталей можно значительно уменьшить количество сборочных единиц, массу изделия, упростить сборку и изделие в целом, повысить эксплуатационные свойства и надёжность, при этом трудоёмкость изготовления, как правило, значительно снижается, повышается эффективность изготовления. Аддитивные технологии, в

частности, селективное лазерное плавление (SLM технология) на настоящий момент изучены недостаточно полно, а также являются достаточно дорогими в производстве в сравнении с более простыми протезами поэтому изготовление большинства из них на настоящий момент не представляется возможным, но использование SLM технологии для особо сложных случаев, является допустимым.

В качестве примера рассмотрена возможность изготовления нескольких версий протеза грудной клетки (грудина и ребра). Как сохраняющих полную и частично ограниченную функциональность.

Характеристика протеза (рис.1) позволяют сохранить мобильность необходимую для адекватного функционирования отдела.



Рисунок 1 – Протез грудной клетки сохраняющий функциональную мобильность.

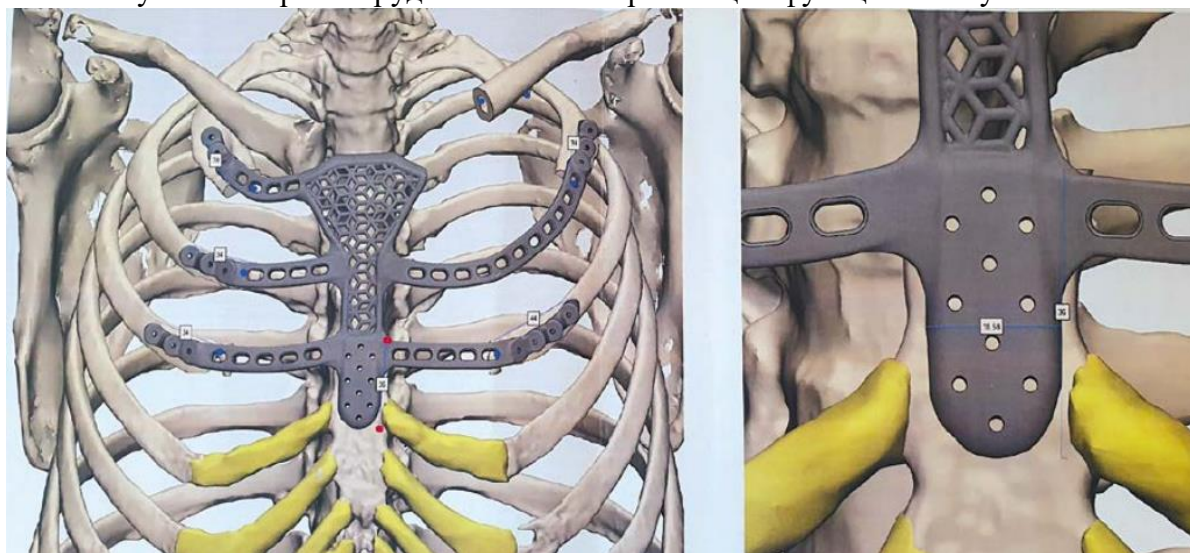


Рисунок 2 – Протез грудной клетки не сохраняющий полную функциональную мобильность.

Таким образом, можно сделать вывод, что на сегодняшний день данный тип протезов является приоритетным. Он учитывает анатомические особенности строения органов пациента и облегчает работу оперирующей бригады. Кроме того, он позволяет выбрать биосовместимый низкоаллергенный тип материала благодаря использованию технологии SLM при изготовлении.

Использованные источники:

1. Аддитивные технологии в машиностроении, Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М., 2015 <https://obuchalka.org/20190816112639/additivnie-tehnologii-v-mashinostroenii-zlenko-m-a-nagaicev-m-v-dovbish-v-m-2015.html>
2. Yasa E. , Kruth J. Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 4, 259-270, ISSN 1854-6250 Scientific paper [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/332611/2/APEM6-4_259-270.pdf
3. Современная онкология. 2022; 24 (3): 336–339. <https://modernonco.orscience.ru/1815-1434/article/view/101340>

УДАРНО-ВОЛНОВЫЕ СВОЙСТВА ГОРНЫХ ПОРОД

Епанешников О.А., Кучко Д.П., Юсупов Д.Т., Клёнов А.И., Шистириков М.А.,
Сидоров К.С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
vniitf@vniitf.ru

Аннотация. В работе представлен обзор научно-исследовательских работ по исследованию ударной сжимаемости горных пород, в частности кварцита и мрамора. Особенности поведения кварцита в условиях ударного сжатия. Представлены результаты экспериментальных работ по определению ударной сжимаемости мрамора на пороховой нагружающей установке, отработан метод исследования ударного сжатия, получены 2 точки на ударной адиабате мрамора.

Ключевые слова: ударная сжимаемость; ударно-волновые методы исследований; ударно-волновые свойства, пороховая нагружающая установка.

SHOCK-WAVE PROPERTIES OF ROCKS

Epaneshnikov O.A., Kuchko D.P., Yusupov D.T., Klenov A.I., Shistirikov M.A.,
Sidorov K.S.

FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Chelyabinsk region
vniitf@vniitf.ru

Abstract. A review of scientific works on investigating shock compressibility of rocks, namely quartzite and marble, is presented. Quartzite behaviour features under shock compression. The work gives the experimental results on determining marble shock compressibility using a powder gun. The method to investigate shock compression has been elaborated, and two points along the marble Hugoniot have been obtained.

Keywords: shock compressibility, shock-wave research methods, shock-wave properties, powder gun.

Ударно-волновые свойства горных пород исследуются с начала 60-х годов XX века. В значительной степени это связано с необходимостью в экспериментальной информации для расчёта действия мощных подземных взрывов, метеоритных ударов, космической защиты земли от астероидной опасности, взрывной стимуляции нефтеносных пластов и решения других прикладных задач.

В РФЯЦ-ВНИИТФ такие исследования интенсивно проводились до начала 1990-х годов. Затем, в связи с Договором о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ), интенсивность их снизилась, но решения некоторых фундаментальных задач и появление современных методов исследований подталкивают к продолжению работ [1]. Кроме вопросов геофизики, большой интерес к кварцу, как веществу из состава одной из основной горнообразующей породы Урала – кварциту, обусловлен его необычным поведением при ударно-волновом нагружении [2].

В настоящей работе представлены исследования ударной сжимаемости горной породы – кварцита в диапазоне давлений от 20 до 50 ГПа.

Также, в данной работе приведены результаты методических экспериментов, проведённых на пороховой нагружающей установке с целью получения экспериментальных данных по ударной сжимаемости мрамора в диапазоне давлений от 7 до 12 ГПа. Данные представлены на рисунке 1.

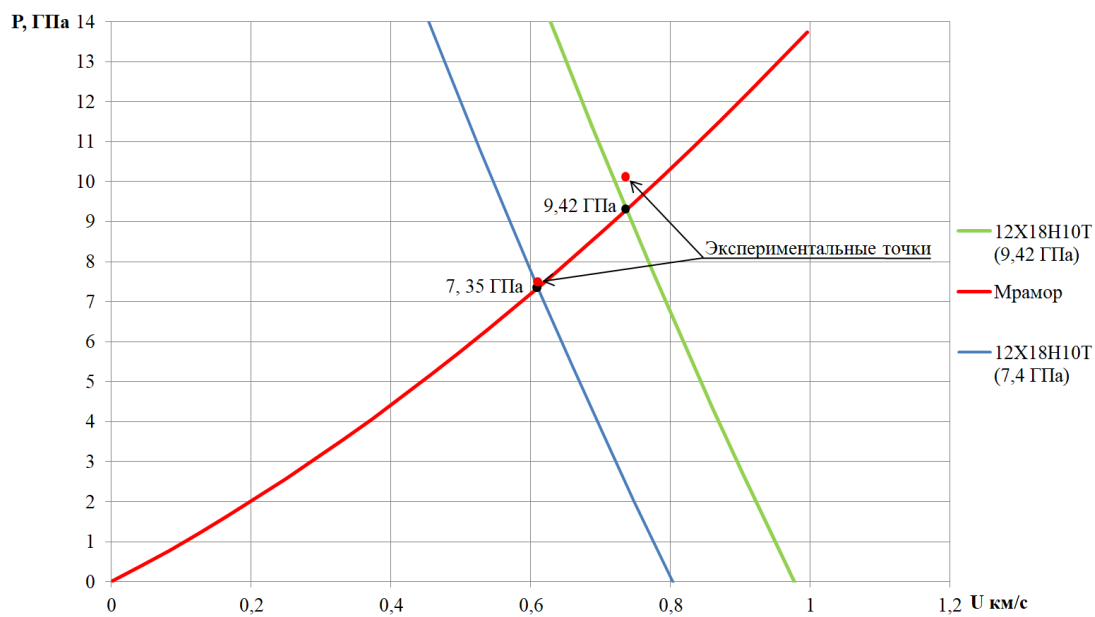


Рисунок 1 – Экспериментальные данные по ударной сжимаемости

Использованные источники:

1. Жерноклетов, М.В. Экспериментальные методы и средства в физике экстремальных состояний вещества: монография / Р.И. Илькаев, А.Л. Михайлов. – Москва: РАН, 2021.–484с.
2. Жугин, Ю.Н. О некоторых особенностях динамической сжимаемости кварца / Н.А. Овечкин, К.К. Крупников, Е.В. Абакшин. – Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 1996. – 18 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФЛЮЕНСА НЕЙТРОНОВ МЕТОДАМИ ФОТОННОЙ ДОЗИМЕТРИИ

Иванова М.С.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

В данной работе апробирован способ регистрации нейтронов с использованием термолюминесцентных детекторов. Для исключения влияния сопутствующего гамма-излучения был использован метод, основанный на использовании двух детекторов с разным эффективным атомным номером, что позволило доказать пренебрежимо малый вклад гамма-квантов в измерения. Метод был опробован при воздействии нейтронов с энергией 14 МэВ. Полученные результаты позволили установить соотношение между флюенсами нейтронов и гамма-кванты и соответствующей поглощенной дозой. Также с помощью численного моделирования были получены коэффициенты эффективных ионизационных потерь и структурных повреждений (i- и d- керма).

Ключевые слова: нейтронное излучение, термолюминесцентные детекторы, поглощенная доза, фотонная дозиметрия, регистрация нейтронов

NEUTRON FLUENCE DETERMINATION BY PHOTONIC DOSIMETRY

Ivanova M.S.

*Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics», Snezhinsk, Russia
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
Physical-Technology Institute (SPhTI) –National Research Nuclear University MEPhI»,
Snezhinsk, Russia*

In this work, a method of neutron registration using thermal luminescence detectors is tested. To eliminate the influence of the accompanying gamma radiation, a method based on the use of two detectors with different atomic number was used, which allowed to prove negligently low contribution of gamma-quantum in the measurements. The method was tested with neutrons of energy 14 MW. The results obtained allowed to establish a relationship between neutron fluences and gamma-quanta and corresponding absorbed dose. Also, the effective ionization loss and structural damage coefficients were obtained by numerical modelling

Key words: neutron radiation, thermal luminescence detectors, absorbed dose, photon dosimetry, detecting neutrons

Технологическое развитие и уменьшение топологических размеров микроэлектроники привели к значительному увеличению влияния радиационных эффектов, обусловленных локальной ионизацией, вызванной, в том числе и потоком нейтронов. Например, в работах [1-4] приводятся данные по одиночным сбоям ячеек статического оперативного запоминающего устройства при воздействии быстрых нейтронов. Из данных работ следует, что в микросхемах с проектными нормами менее 1 мкм вероятность проявления одиночных радиационных эффектов от нейтронов крайне высока [5]. Одним из источников для определения чувствительности к нейтронному излучению являются нейтронные генераторы (D-T, D-D реакции). Характерные значения флюенса нейтронов, при которых проявляются данные эффекты составляют $\sim 10^9$ част/см². При этом характерный диапазон измеряемых флюенсов

нейтронов стандартными методиками при проведении радиационных испытаний составляет 10^{12} - 10^{15} част/см²

Оценки, выполненные с помощью численного моделирования, показывают, что диагностику нейтронов можно осуществлять с использованием стандартных детекторов, используемых для фотонной дозиметрии. Проблема данного подхода состоит в том, что поглощенная доза в детекторах будет определяться не только нейтронами, но и сопутствующим гамма-излучением. Для решения этой проблемы в работе использовали детекторы с различной чувствительностью к нейтронам. В качестве детекторов использовали стандартные аттестованные термолюминесцентные детекторы ПСТ (80% P₂O₅; 10,5% MgO; 9,5% Al₂O₃, $\rho = 2,57$ г/см³); и детекторы, изготовленные из аланина (C₃H₇NO₂, $\rho = 1,26$ г/см³), сигнал с которых измерялся с помощью спектрометра электронного парамагнитного резонанса.

Апробацию метода осуществляли на генераторе нейтронов НГ-12И [6] при воздействии нейтронов с энергией 14 МэВ (D-T реакция). Предварительную калибровку дозовой чувствительности аланиновых детекторов осуществляли на установке ИС-1М [7] - изотопном источнике гамма-квантов ⁶⁰Co

Поглощенная доза смешанного излучения определяется суммой: $D = D_\gamma + D_n$, где $D_n = k_n \cdot F_n$ - нейтронный компонент поглощенной дозы, F_n - флюенс нейтронов, k_n - коэффициент чувствительности к нейтронному излучению; $D_\gamma = k_\gamma \cdot F_\gamma$, - гамма компонент поглощенной дозы, F_γ - флюенс гамма-квантов, k_γ - коэффициент чувствительности к гамма-излучению.

Таким образом, использование двух типов детекторов: аланиновых и ПСТ детекторов позволяет составить систему уравнений:

$$\begin{cases} D_{\text{ПСТ}} = k_{\text{ПСТ}\gamma} \cdot F_\gamma + k_{\text{ПСТ}n} \cdot F_n \\ D_A = k_{A\gamma} \cdot F_\gamma + k_{An} \cdot F_n \end{cases}$$

где $D_{\text{ПСТ}}$, D_A - показания ПСТ и аланиновых дозиметров; $k_{\text{ПСТ}\gamma}$, $k_{\text{ПСТ}n}$, $k_{A\gamma}$, k_{An} - коэффициенты чувствительности ПСТ и аланиновых дозиметров соответственно к гамма-излучению и нейтронам. В случае если известны коэффициенты чувствительности к нейтронному и гамма-излучению, то из данной системы уравнений можно определить их флюенсы. Для вычисления коэффициентов $k_{\text{ПСТ}\gamma}$, $k_{\text{ПСТ}n}$, $k_{A\gamma}$, k_{An} было проведено численное моделирование методом Монте-Карло в программе ПРИЗМА. Значения k_{An} и $k_{\text{ПСТ}n}$ для нейтронов с энергией 14 МэВ равны $7,38 \cdot 10^{-9}$ рад·см²/част и $3,27 \cdot 10^{-9}$ рад·см²/част соответственно. Коэффициенты чувствительности детекторов к различным энергиям гамма-квантов представлены на рисунке 1.

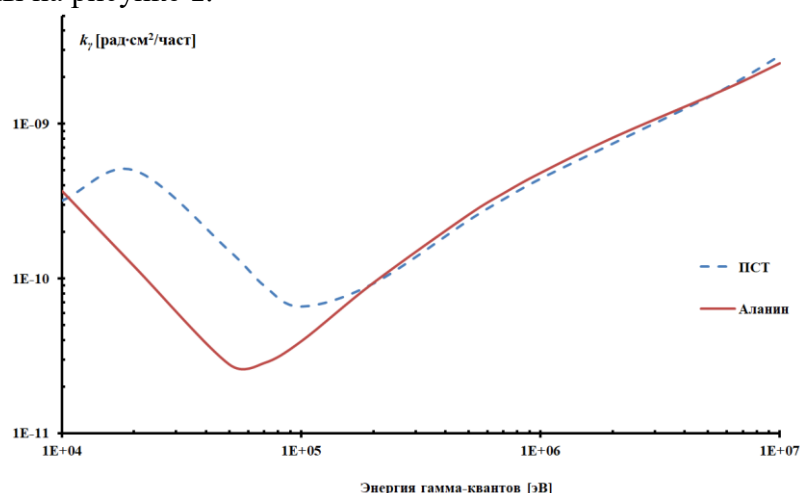


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента чувствительности детекторов от энергии гамма-квантов

В работе [8] показано, что вторичное излучение гамма-квантов, которое образуется при взаимодействии нейтронов с различными материалами, как правило, выше 0,2 МэВ. Как видно из рисунка коэффициенты $k_{\text{ПСТ}}$ и $k_{\text{АУ}}$ для этого диапазона близки.

Измерения проведенные на генераторе нейтронов НГ-12И с учетом предложенного метода показали, что $F_n \gg F_\gamma$. С учётом чувствительности к нейтронному излучению, доза от нейтронов во много раз превышает таковую от гамма-квантов. Таким образом, на данной установке для регистрации нейтронов возможно использование детекторов ПСТ без дополнительных детекторов. Учитывая характеристики ПСТ и его чувствительность к нейтронам можно показать, что диапазон регистрируемых флюенсов данным методом будет составлять от 10^9 до 10^{14} нейтр/см².

Заключение

В данной работе предложен способ регистрации нейтронных потоков при наличии сопутствующего гамма-излучения. Способ основан на применении детекторов, имеющих различную чувствительность к нейтронному излучению. Значения флюенсов нейтронного- и гамма-излучений находили из решения системы уравнений. Коэффициенты, входящие в систему уравнений, получали из результатов численного моделирования.

Апробацию метода осуществляли на генераторе нейтронов энергии 14 МэВ НГ-12И. Было показано, что на данной установке вклад в показания детекторов от гамма-квантов пренебрежимо мал по сравнению с нейтронами. Следовательно, на данной установке для регистрации нейтронов можно использовать фотонную дозиметрию без вспомогательных детекторов. Учитывая характеристики ПСТ и его чувствительность к нейтронам можно показать, что диапазон регистрируемых флюенсов данным методом будет составлять от 10^9 до 10^{14} нейтр/см². Результаты работы являются основой для создания методики диагностики нейтронных полей с использованием фотонных детекторов.

Использованные источники:

- [1] A. Hands et al., Single event effects in power MOSFETs and SRAMs due to 3 MeV, 14 MeV and fission neutrons. - IEEE Transactions on Nuclear Science. 2011. V. 58. № 3. pp. 952-959.
- [2] W. Chen et al, Single-Event Upsets in SRAMs With Scaling Technology Nodes Induced by Terrestrial, Nuclear Reactor, and Monoenergetic Neutrons. - IEEE Transactions on Nuclear Science. 2019. V. 66, №. 6, pp. 856-865.
- [3] JIN Xiao-Ming et al., Predictive approach of SEU occurrence induced by neutron in SRAM and EEPROM. - Nuclear science and techniques. 2015. V. 26, №5, pp. 85-89.
- [4] JIN Xiao-Ming et al., Single event upset on static random access memory devices due to spallation, reactor, and monoenergetic neutrons. - Chinese Physics B. 2019. V. 28, №10.
- [5] О.В. Ткачёв, С.М. Дубровских, К.Д. Кокшарова, А.С. Кустов, О.А. Мингазов. Влияние плотности потока нейтронов на сечение одиночных радиационных эффектов в мощных моп-транзисторах. ВАНТ. Физика радиационного воздействия на радиационную аппаратуру, №2-2022, стр 19.
- [6] В. В. Намаконов, Д. М. Габбасов, В. П. Пасечников. Монитор потока нейтронов с энергией 14 МэВ импульсного канала нейтронного генератора НГ-12И. Приборы и техника эксперимента, 2020, № 2, с. 5–8. УДК 539.107.5. DOI: 10.31857/S0032816220010243
- [7] С.А. Андреев, Н.М. Вагина, А.Е. Лыжин, В.П. Шукайло, О.В. Ткачев, А.В. Павленко «Экспериментальная база РФЯЦ – ВНИИТФ. Испытательные установки. Современное состояние и перспективы развития» Ядерные и электрофизические установки – источники мощных ионизирующих излучений: сборник трудов научно-технической конференции 5–18 июня 2021. – Снежинск: Издательство РФЯЦ – ВНИИТФ, 2022. – 456 с. Ил.
- [8] Андреев С.А., Габбасов Д.М., Зацепин О.В., Намаконов В.В., Соколов Ю.А., Хатунцев К.Е., Хмельницкий Д.В. ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАММА-НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ 14 МЭВ-НЕЙТРОНОВ С КОНСТРУКЦИОННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ. Серия: Ядерно-реакторный константы, выпуск 2, 2018. УДК 539.172

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ УЗЛА ТЕРМОКОМПЕНСАЦИИ НА ОСНОВЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПО ТЕХНОЛОГИИ SLM

Изгагин Г.Б.¹, Казаков И.А.¹, Пильщиков А.А.², Гнеушев Н.В.² Орлова Н.Ю.²
¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», Челябинская обл., г. Снежинск
² ФГАОУ ВО «Снежинский физико – технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл., г. Снежинск

Аннотация. Статья посвящена оптимизации узла термокомпенсации для аддитивного производства (SLM). Предложены варианты снижения трудоемкости и упрощения конструкции за счет объединения деталей и топологической оптимизации. Показаны преимущества SLM для создания функционально-интегрированных изделий.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (SLM), аддитивные технологии, оптимизация конструкции, термокомпенсация, топологическая оптимизация, CAE-анализ, снижение трудоемкости, объединение деталей, функциональный анализ, пружина, сборка, транспортировочный узел.

OPTIMIZATION OF THERMAL COMPENSATION UNIT DESIGN BASED ON MANUFACTURING CAPABILITIES OF SLM TECHNOLOGY

Izgagin G.B.¹, Kazakov I.A.¹, Pilshchikov A.A.², Gneushev N.V.², Orlova N.Yu.²
² FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk
¹ Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI, Chelyabinsk region

Abstract. The article is dedicated to the optimization of a thermal compensation assembly for additive manufacturing (SLM). Options for reducing labor intensity and simplifying the design through part consolidation and topology optimization are proposed. The advantages of SLM for creating functionally integrated products are demonstrated.

Keywords: Selective Laser Melting (SLM), Additive Manufacturing, Design Optimization, Thermal Compensation, Topology Optimization, CAE Analysis, Labor Intensity Reduction, Part Consolidation, Functional Analysis, Spring, Assembly, Transportation Assembly.

В настоящее время появляется всё больше инновационных технологий в различных областях науки и техники. Одно из наиболее перспективных направлений - это использование аддитивных технологий для изготовления деталей и узлов. Данные технологии позволяют использовать принципиально новые, ранее недопустимые принципы конструирования, удаляя весь не работающий при эксплуатации металл, объединяя несколько деталей в одну, т.е. усложнения пространственную геометрии отдельных деталей можно значительно уменьшить количество сборочных единиц, массу изделия, упростить сборку и изделие в целом, повысить эксплуатационные свойства и надёжность, при этом трудоёмкость изготовления, как правило, значительно снижается, повышается эффективность изготовления. Аддитивные технологии, в частности, селективное лазерное плавление (SLM технология) на настоящий момент изучены недостаточно полно, поэтому изготовление основных деталей, специфичных изделий ЯОК на настоящий момент не представляется возможным, но использование SLM технологии для вспомогательных, и транспортировочных конструкций является допустимым.

В качестве примера рассмотрена возможность уменьшения трудоёмкости изготовления узла термокомпенсации, используемого при транспортировке изделия. Исходная конструкция узла представлена на рисунке 1.

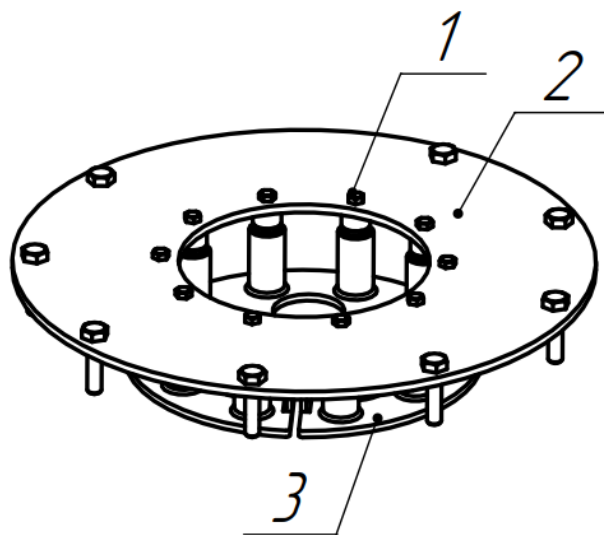


Рисунок 1 - Конструкция узла термокомпенсации

1 - болт, 2 – крышка, 3 – корона

Узел состоит из крышки (поз.2) на которую монтируется подборка – корона (поз.3), фиксирующаяся 10 болтами (поз.1), которые необходимы для сборки узла. После установки узла в рабочую область болты демонтируются.

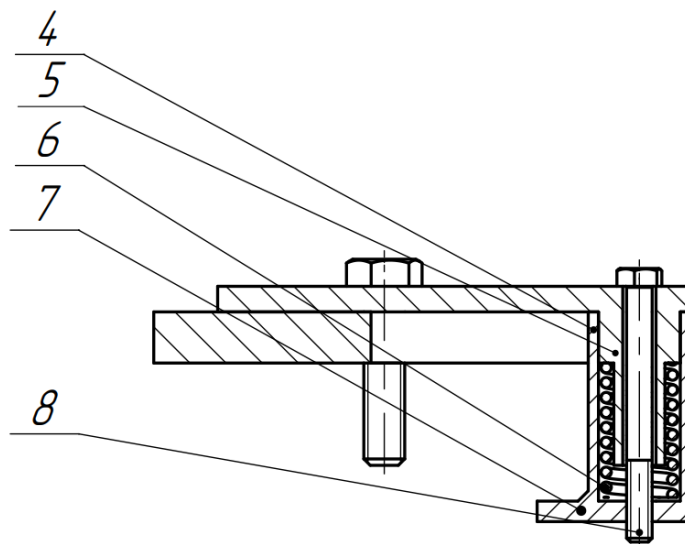


Рисунок 2 – Фрагмент под сборки Корона

4 –цилиндр фиксирующий. 5 – проставка, 6 – пружина, 7 – основание, 8 – болт

Цилиндры закрепляются на основании с помощью сварных швов. Внутри каждого из 10 цилиндров располагается проставка (поз.5) и пружина (поз.6), которая при сборке узла взводится, винтом (поз.1).

Таким образом, узел состоит из 43 деталей. Каждая деталь в отдельности является технологичной. При сборке узла необходима сварка и специальное приспособление для сжатия пружин. Поэтому изготовление данного транспортировочного узла термокомпенсации имеет высокую трудоёмкость изготовления

Для уменьшения трудоёмкости и себестоимости изготовления рассмотрены варианты изменения конструкции на основании изменения технологии изготовления. SLM технология позволяет изготавливать детали более сложной пространственной геометрии, при уменьшении трудоёмкости изготовления.

При оптимизации предлагается рассмотреть два варианта оптимизации конструкции.

Первый вариант – объединение нескольких деталей узла в одну, с сохранением пружин, тем самым удастся отказаться от использования сварки.

Второй вариант – отказ от использования пружин, и пересмотр конструкции таким образом, чтобы полученная в процессе переработки деталь, обеспечивала (свойства идентичные свойствам пружин).

Для первого варианта конструкции с использованием принципов производства по SLM технологии, проведена топологическая оптимизация короны. Полученные варианты представлены на рисунке 3.

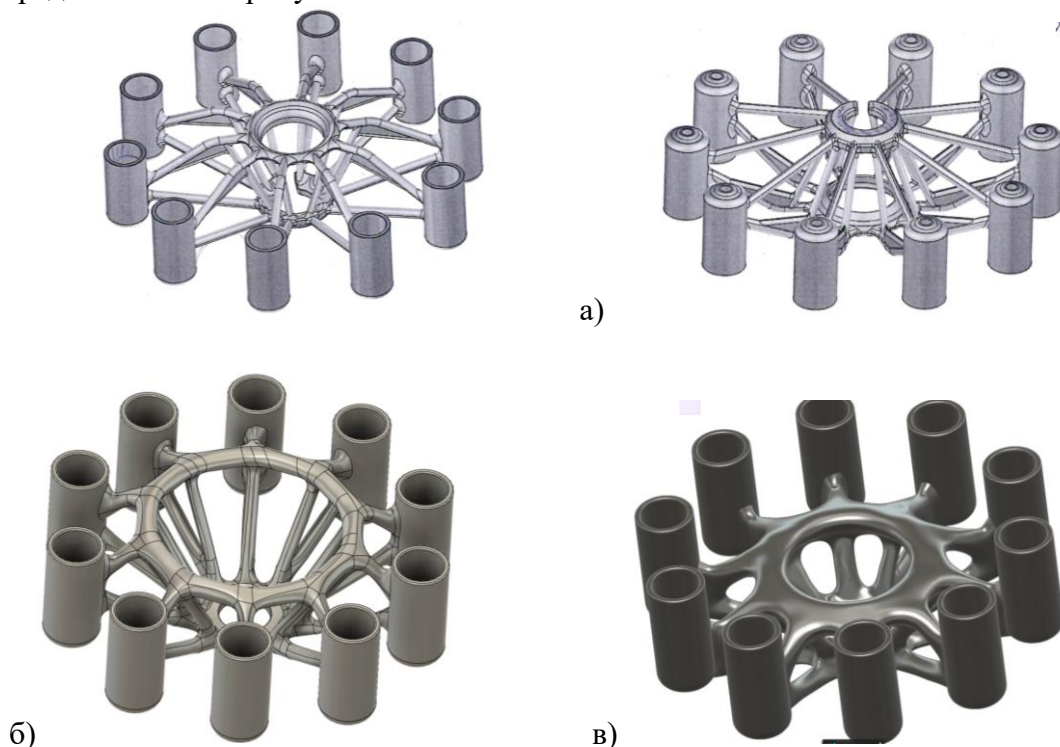


Рисунок 3 - Модернизированная конструкция по первому варианту оптимизации

Разработанная конструкция заменяет полностью подставку «Корона» (поз.3), но при этом остаются без изменения детали «Крышка» (поз.2), «Болт» (поз.1) и «Пружина» (поз.6), исключается технологическая операция приваривания цилиндров к основанию, что уменьшает трудоёмкость изготовления, но при этом остаётся достаточно большое количество деталей в сборке (10 пружин, 10 болтов, 1 крышка).

Все выше представленные конструкции были рассчитаны на прочность с использованием CAE систем. Основными критериями являются, нагрузка создаваемая пружинами равна 4000 Н, и коэффициент запаса прочности должен составлять не менее 1,5. Пример результатов расчёта приведён на рисунке 5.

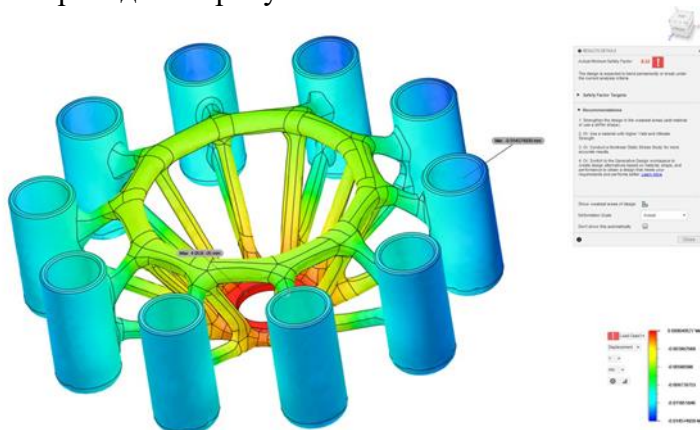


Рисунок 5 - Результаты прочностного расчёта в CAE.

При создании управляющих программ перед изготовлением по технологии SLM было выявлено, что для печати разработанных конструкций необходимо достаточно большое количество, поддерживающий структур, а, следовательно, большой объём постобработки. Для исключения этого рассмотрена возможность модернизации конструкции и замена рёбер на плоскости, которые будут иметь меньшую толщину, что уменьшит количество вспомогательных поддерживающих структур, при этом масса изделия не увеличивается. Условия печати улучшатся за счёт более равномерного отвода тепла из зоны печати.

Следующим этапом модернизации является исключение фиксирующих цилиндров и болтов поз. 8. Цилиндры служат направляющими для сборки крышки и «короны». Функциональное назначение болтов – взведение пружин при сборке узла и установке узла на изделие. После установки узла термокомпенсации в рабочее положение болты извлекаются.

Цилиндры можно заменить на оси с диаметром подходящим для размещения на них пружин. На верхней части цилиндров выполнит резьбу. В крышке вместо «проставок» фиксирующихся сваркой, выполнить отверстия под оси. Данный вариант упростит конструкцию крышки и исключит использования болтов для взведения пружин. Оси будут одновременно выполнять функцию взведения, и служить направляющими. При этом трудоёмкость изготовления детали «Корона» по технологии SLM не изменится.

Таким образом, можно сделать вывод, выполняя анализ функционального назначения деталей в узле можно выполнить объединение деталей с последующей оптимизацией конструкции, что позволит уменьшить количество деталей, упростить сборку и последующую эксплуатацию за счёт использования при изготовлении технологии SLM.

Использованные источники:

1. Аддитивные технологии в машиностроении, Зленко М.А., Нагайцев М.В., Довбыш В.М., 2015 <https://obuchalka.org/20190816112639/additivnie-tehnologii-v-mashinostroenii-zlenko-m-a-nagaicev-m-v-dovbish-v-m-2015.html>
2. Louvis E. et. Al. Selective laser melting of aluminium components. Journal of Materials Processing Technology. Volume 211, Issue 2, 1 February 2011, Pages 275–284. Department of Engineering, The University of Liverpool, Liverpool L69 3GH, United Kingdom.
3. Yasa E. , Kruth J. Application of laser re-melting on Selective laser melting parts. Catholic University of Leuven, Dept. of Mech. Eng, Heverlee, Belgium. Advances in Production Engineering & Management 6 (2011) 4, 259-270, ISSN 1854-6250 Scientific paper [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://lirias.kuleuven.be/bitstream/123456789/332611/2/APEM6-4_259-270.pdf

СИНТЕЗ И ПРИМЕНЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ СО СТРУКТУРОЙ ДЕЛАФОССИТА КАК КАТАЛИЗАТОРОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ

Колмогорцев² А.М., Панова¹ И.Е., Макогон¹ А.Г., Белая¹ Е.А.

¹ ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск.

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

a-216@yandex.ru

В работе приведены результаты исследования фотокаталитической деструкции метиленового голубого красителя с использованием алюминатов меди и серебра в качестве фотокатализатора. Представлены методики получения алюминатов меди и серебра со структурой делафоссита смесей: золь-гель синтез и метод ионного обмена в расплаве.

Ключевые слова: фотокатализ, золь-гель технология, структура делафоссита, органические красители, очистка вод.

SYNOPSIS AND APPLICATION OF COMPOUNDS WITH DELAFOSSITE STRUCTURE AS CATALYST FOR DECOMPOSITION OF ORGANIC POLLUTANTS

A.M. Kolmogortsev², I.E. Panova¹, A.G. Makogon¹, E.A. Belaya¹

¹ FSAE IHE "Chelyabinsk State University",
Chelyabinsk, Russia

² Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Snezhinsk, Russia

The paper presents the results of a study of photocatalytic destruction of methylene blue dye using copper and silver aluminates as a photocatalyst. The methods for obtaining copper and silver aluminates with a delafossite mixture structure are presented: sol-gel synthesis and the ion exchange method in the melt.

Key words: photocatalysis, sol-gel technology, delafossite structure, organic dyes, water purification.

Органические красители и другие сложные ароматические соединения, которые находятся в стоках промышленных предприятий, загрязняют водоемы и представляют серьезную угрозу для природной среды [5]. В основном токсичность и процессы обесцвечивания таких компонентов вызывают резкие изменения и неблагоприятные последствия в водной системе. Следовательно, небиоразлагаемость, сложная структура и различные токсичные воздействия являются актуальной проблемой промышленных агломерация. Чтобы преодолеть эту проблему, использовались обычные методы очистки, такие как обесцвечивание и восстановления или деградации сложных органических молекул [1], [6], но они оставались неэффективными. В последние десятилетия для уничтожения красителей использовались каталитическое окисление и биологическое разложение [2], [7]. Однако эти методы часто ограничены из-за более длительного времени обработки, возможного вторичного загрязнения и высокой дороговизны. В то же время, органические красители: ксантоновые красители, метиленовый голубой (МГ), 4-нитрофенол вызвали огромные проблемы там, где методы восстановления требуют эффективных адсорбентов. Преимущественно, такие высокостабильные структуры красителей делают процесс неэффективным, что приводит к неполному восстановлению и удалению. Что еще более важно, наноразмерные материалы как эффективные адсорбенты и катализаторы восстановления, синтезированные простыми методами, появились для замены различных каталитических материалов [4], [3]. Такие композиционные материалы, включающие

металлические наноструктуры, вызвали большой интерес в очистке сточных вод. Улучшенные свойства этих наноразмерных катализаторов: большее отношение поверхности к объему, улучшенная кинетика переноса заряда металл-носитель, сокращенное время реакции, способствуют полной деградации сложных красителей в сточных водах.

В настоящей работе получены алюминаты серебра и меди со структурой делафоссита, а также композиты на основе серебра и алюмината серебра и произведена оценка их фотокаталитических свойств.

Образцы алюмината меди получали золь-гель методом. Для этого эквимольное соотношение нитратов алюминия и меди растворяли в изопропиловом спирте и перемешивали на магнитной мешалке. Затем к полученному раствору добавили раствор лимонной кислоты с последующим перемешиванием в течение 30 мин. В результате получили мольное соотношение $\text{Cu}^{2+}:\text{Al}^{3+}:\text{H}_3\text{Cit}$ как 1:1:4. После при перемешивании нагревали полученный раствор на магнитной мешалке до образования однородных гелей синего цвета. Полученные гели прокачивали в муфельной печи с помещением образцов в предварительно нагретую печь до 1000 °С в течение 6 ч.

Образцы $\alpha\text{-AgAlO}_2$ были синтезированы в два этапа.

1 этап: получение $\alpha\text{-LiAlO}_2$

Смесь $\text{Al}(\text{OH})_3$ и Li_2CO_3 (мольное соотношение 2:1) измельчали в агатовой ступке в изопропиловом спирте в течение 1 ч, а затем сушили. Далее ее прессовали в таблетку, помещали в фарфоровый тигель и нагревали в муфельной печи на воздухе от комнатной температуры до 650 °С в течение 8 ч. Затем образцы измельчали в агатовой ступке, промывали дистиллированной водой и высушивали при температуре 100 °С.

2 этап: полученный порошок $\alpha\text{-LiAlO}_2$ (LAO) смешивали с AgNO_3 и KNO_3 в молярном соотношении 1:2:3 в агатовой ступке. Смесь тщательно измельчали в течение 60 мин и нагревали на воздухе в сушильном шкафу при температуре 320 °С в течение 6 ч. Полученную смесь промывали дистиллированной водой для удаления непрореагировавших реагентов. Дополнительно часть полученного образца промывали 1М раствором азотной кислоты для полного удаления примесных фаз.

Химический состав (таблица 1) полученных соединений оценивали с помощью метода рентгенофлуоресцентного анализа, который выполнялся на электронном микроскопе Jeol JSM 7001F с присоединенным энергодисперсионным рентгенофлуоресцентным спектрометром Oxford INCA X-max 80

Таблица 1. Состав полученных образцов по данным энергодисперсионного анализа.

Образцы	Содержание элементов, ат %			
	Cu	Ag	Al	O
CuAlO_2	25,2	-	24,9	49,9
$\alpha\text{-AgAlO}_2$	-	25,9	26,2	48,5
$\text{Ag}_{0,22}/\alpha\text{-AgAlO}_2$	-	29,2	23,9	46,9

Фотокаталитическую активность полученных образцов оценивали по классической схеме окисления метиленового голубого. Источником ультрафиолетового излучения выступала ультрафиолетовая лампа ELS-PLD-25/UVCB/E27/CL с максимальной длиной волны излучения 253,7 нм.

Для проведения анализа исследуемые образцы алюмината серебра, предварительно смешивали с растворами МГ (10 мг/л), из расчета концентрации фотокатализатора 0,2000 г/400 мл раствора.

Степень деградации красителя оценивали по изменению оптической плотности растворов относительно «раствора без облучения» при длине волны 663 нм.

Построили кинетические кривые фотодеструкции исследуемых растворов МГ под действием разных образцов алюмината серебра. Результаты приведены на рис. 1

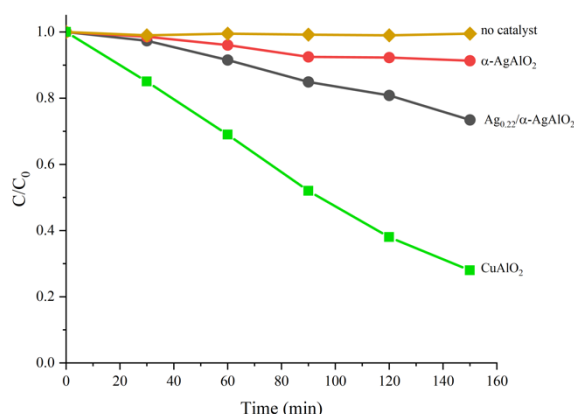


Рис. 1. Кривые фотодеструкции водной суспензии МГ с полученными образцами.

Необходимо отметить, что присутствие дополнительной фазы металлического серебра в алюминате серебра приводит к увеличению фотокаталитической активности. В тоже время, наибольшая деградация МГ происходит, если использовать в качестве фотокатализатора алюминат меди со структурой делафоссита.

Использованные источники:

1. Brillas E., Martínez-Huitle C. A. Decontamination of wastewaters containing synthetic organic dyes by electrochemical methods. An updated review //Applied Catalysis B: Environmental. – 2015. – Vol. 166. – P. 603-643.
2. Ismail G. A., Sakai H. Review on effect of different type of dyes on advanced oxidation processes (AOPs) for textile color removal //Chemosphere. – 2022. – Vol. 291. – P. 132906.
3. Kumari P., Alam M., Siddiqi W. A. Usage of nanoparticles as adsorbents for waste water treatment: an emerging trend //Sustainable Materials and Technologies. – 2019. – Vol. 22. – P. e00128.
4. Lu F., Astruc D. Nanocatalysts and other nanomaterials for water remediation from organic pollutants //Coordination Chemistry Reviews. – 2020. – Vol. 408. – P. 213180.
5. Perelo L. W. In situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments //Journal of hazardous materials. – 2010. – Vol. 177. – №. 1-3. – P. 81-89.
6. Robinson T. et al. Remediation of dyes in textile effluent: a critical review on current treatment technologies with a proposed alternative //Bioresource technology. – 2001. – Vol. 77. – №. 3. – P. 247-255.
7. Tantak N. P., Chaudhari S. Degradation of azo dyes by sequential Fenton's oxidation and aerobic biological treatment //Journal of Hazardous Materials. – 2006. – Vol. 136. – №. 3. – P. 698-705.

КАТИОНООБМЕННЫЙ СИНТЕЗ ПОРОШКОВ YAG

Колмогорцев² А.М., Шидловская¹ П.К., Шергин¹ А.В., Белая¹ Е.А.

¹ ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск.

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

polinka.shidlvskaya@mail.ru

В данной работе исследован процесс получения алюмоиттриевого граната (YAG, $Y_3Al_5O_{12}$) методом катионного обмена с использованием предварительно синтезированного катионита на основе сульфированного полистирола. Подобраны оптимальные условия синтеза, время ионного обмена и режим термообработки, обеспечивающие максимальный выход монофазного YAG. Фазовая чистота и структура синтезированных образцов подтверждена рентгенофазовым анализом.

Ключевые слова: алюмоиттриевый гранат, катионный обмен, сульфированный полистирол, оптимальные условия, рентгенофазовый анализ.

CATION EXCHANGE SYNTHESIS OF YAG

Kolmogortsev² A.M., Shidlovskaya¹ P.K., Shergin¹ A.V., Belaya¹ E.A.

¹ FSAE IHE “Chelyabinsk State University”,
Chelyabinsk, Russia

² Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Snezhinsk, Russia

polinka.shidlvskaya@mail.ru

In this work, the process of producing yttrium aluminum garnet (YAG, $Y_3Al_5O_{12}$) by the cation exchange method using a pre-synthesized cation exchanger based on sulfonated polystyrene was investigated. Optimal synthesis conditions, ion exchange time and heat treatment mode were selected to ensure maximum yield of monophasic YAG. The phase purity and structure of the synthesized samples were confirmed by X-ray phase analysis.

Keywords: yttrium aluminum garnet, cation exchange, sulfonated polystyrene, optimal conditions, X-ray phase analysis.

Алюмоиттриевый гранат является перспективным материалом для различных применений. Благодаря особенностям своего кристаллического строения он идеально подходит для внедрения в его структуру ионов редкоземельных элементов (РЗЭ), придающих данному материалу новые оптические свойства, применяемые в лазерной технике и искусственных источниках освещения. На сегодняшний день существует множество способов синтеза YAG [1], однако их основным недостатком является высокая температура термообработки, часто превышающая 1500°C, что увеличивает вероятность образования кластеров и примесных фаз, таких как $YAlO_3$ (YAP, структура перовскита), $Y_4Al_2O_9$ (YAM, моноклинная структура), которые приводят к ухудшению люминесцентных свойств граната [2].

Использование катионообменного метода позволяет снизить температуру синтеза и более точно контролировать состав YAG, потенциально способствуя формированию нанокристаллического материала с улучшенными оптическими свойствами, однако в литературе уделено мало внимания подбору оптимальных условий, при которых формируются монофазные продукты с высоким выходом и контролируемой стехиометрией.

В настоящей работе проведен катионообменный синтез $Y_3Al_5O_{12}$ и подобраны оптимальные условия для получения монофазных продуктов.

На первом этапе был синтезирован катионит на основе сульфированного полистирола. Схема синтеза представлена на рисунке 1.

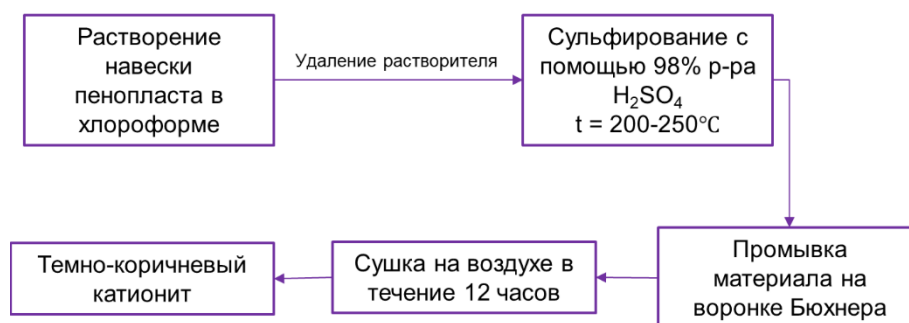


Рис. 1. Схема синтеза катионита

Далее проводили катионообменный синтез. Для этого брали в стехиометрических соотношениях навески $Al(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$ и $Y(NO_3)_3$, растворяли в 100 мл дистиллированной воды при постоянном перемешивании и добавляли катионит. Полученный раствор перемешивали в диапазоне от 15 минут до 1 часа с использованием магнитной мешалки. Далее катионит с адсорбированными катионами сушили при $120^\circ C$ в течение 12 часов, а затем прокаливали в муфельной печи при $800-1000^\circ C$ в течение 3–5 часов.

С помощью рентгенофазового анализа было установлено, что для получения монофазных образцов с наилучшим выходом требуется термическая обработка при $850^\circ C$ в течение 5 часов. Для получения 1 г продукта необходимо использовать 10 г катионита, при этом время его нахождения в растворе катионов должно составлять 30 минут.

Использованные источники:

1 Berends A. C., van de Haar M. A., Krames M. R. YAG: Ce^{3+} phosphor: from micron-sized workhorse for general lighting to a bright future on the nanoscale // Chemical Reviews. – 2020. – Т. 120. – №. 24. – С. 13461–13479.

2 Kolitsch, U. Phase equilibria and crystal chemistry in the $Y_2O_3-Al_2O_3-SiO_2$ system / U. Kolitsch, H.J. Seifert, T. Ludwig, F. Aldinger // Journal of materials research. – 1999. – V. 14, № 2. – P. 447–455.

МЕТАЛЛ-ОРГАНИЧЕСКИЕ КАРКАСЫ НА ОСНОВЕ ДИАЦЕТИЛЕНОВЫХ ЛИНКЕРОВ: СИНТЕЗ, СТРОЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Осипов А.А.¹, Жеребцов Д.А.¹, Найферт С.А.¹, Раджакумар К.¹, Ефремов А.Н.¹,
Спиридонова Д.В.², Адонин С.А.³

¹ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск,
Челябинская обл.

²Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования», Санкт-Петербургский
государственный университет, Санкт-Петербург.

³Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия
aaosipov@susu.ru

Металл-органические каркасы (МОК) представляют собой класс пористых материалов, имеющих широкий спектр практических применений. В настоящей работе описаны два металл-органических каркаса, имеющих в своём составе линкеры с диацетиленовым фрагментом – диацетилендибензоат лантана $[\text{La}_2(\text{DADBA})_3(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{DMF}$ (1) и диацетилендисалицилат натрия-гексаметилбензидиния $[\text{Na}_2(\text{DADSA})_2(\text{HMB})(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (2). Соединение (1) образует трехмерную сеть с каналами вытянутой ромбической формы, которые заполнены растворителем. Благодаря данному факту МОК (1) может иметь развитую площадь поверхности. Соединение (2) является примером редкого класса двухкатионных МОК.

Ключевые слова: металл-органические каркасы, диацетилены, рентгено-структурный анализ

METAL-ORGANIC FRAMEWORKS BASED ON DIACETYLENE LINKERS: SYNTHESIS, STRUCTURE AND THEORETICAL APPLICATION

Osipov A.A.¹, Zharebtsov D.A.¹, Naifert S.A.¹, Rajakumar K.¹, Efremov A.N.¹,
Spiridonova D.V.², Adonin S.A.³

¹South Ural State University, Chelyabinsk, Chelyabinsk Region.

²Resource Centre for X-ray Diffraction Studies, St Petersburg State University, St Petersburg

³A.E. Favorsky Irkutsk Institute of Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk
aaosipov@susu.ru

Metal-organic frameworks (MOFs) are a class of porous materials with a wide range of practical applications. This paper describes two metal-organic frameworks containing linkers with a diacetylene fragment, lanthanum diacetylenedibenzoate $[\text{La}_2(\text{DADBA})_3(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{DMF}$ (1) and sodium diacetylenedisalicylate hexamethylbenzidinium $[\text{Na}_2(\text{DADSA})_2(\text{HMB})(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (2). Compound (1) forms a three-dimensional network with elongated rhombic-shaped channels that are filled with solvent. Due to this fact, the MOF (1) can have a developed surface area. Compound (2) is an example of a rare class of bicationic MOFs.

Keywords: metal-organic frameworks, diacetylenes, X-ray structural analysis

Металл-органические каркасы (МОК, metal-organic framework, MOF) – это координационные полимеры, состоящие из катионов металлов и связанных с ними органических линкеров (лигандов) с образованием пористой структуры. МОК могут использоваться для хранения газов, селективной сорбции органических загрязнителей, детекции загрязнителей, гетерогенного катализа [1]. Кроме того, в литературе приведены примеры использования МОК для сорбции органических соединений, что может

применяться для улавливания радиоактивных органических иодидов из ядерных отходов [2], а также для удаления солей U(VI) из морской и сточных вод [3].

Чаще всего в качестве линкеров используют дикарбоксилаты, содержащие фениленовые фрагменты (терефталаты, бифенилдикарбоксилаты), тетракарбоксилаты ([1,1':3',1''-терфенил]-3,3'',5,5''-тетракарбоксилаты) и др. Перспективно использовать диацетиленовое звено для построения линейного линкера, имеющего жесткую структуру. Данные свойства (линейность, жесткость), а также большая длина и малый объем могут позволить образовать МОК с порами большого диаметра и объема [4] в сравнении, например, с дифенилдикарбоксилатными линкерами. В качестве модификации диацетиленов можно проводить их реакции с бромом или с мягкими нуклеофилами (метиламином, сероводородом, метилмеркаптаном и др.), которые будут приводить к образованию соответственно тетрабром-производных или пятичленного цикла (N-метилпиррол, тиофен, метилтиофен и др.).

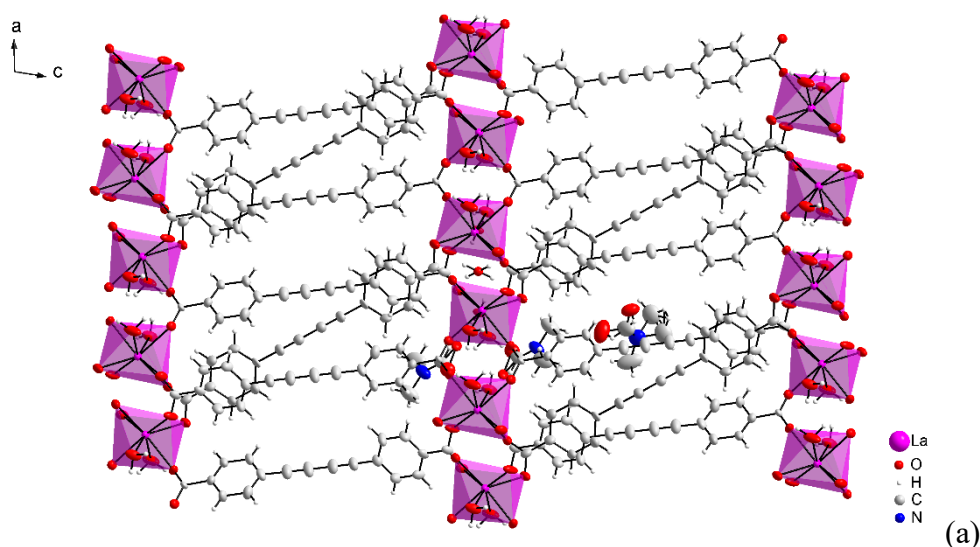
Нами были синтезированы два металл-органических каркаса на основе диацетиленовой групп: $[\text{La}_2(\text{DADBA})_3(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot 4\text{DMF}$ (**1**), где DADBA – диацетилендibenзойная кислота, DMF – N,N-диметилформамид; $[\text{Na}_2(\text{DADSA})_2(\text{HMB})(\text{H}_2\text{O})_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (**2**), где DADSA – диацетилендисалициловая кислота, HMB – гексаметилбензидиний. Соединение **1** было синтезировано сольвотермальным способом из раствора DMF, кристаллы **2** были выращены из водного раствора.

В структуре соединения **1** катионы лантана соединены между собой в 1D цепочки с помощью анионов–DADBA; каждая карбоксильная группа соединяет два соседних катиона, выполняя роль μ_2 -мостика. В структуре присутствуют два типа молекул воды: сорбционная, которая заполняет поры наряду с DMF и координационная, которая дополняют координационное окружение лантана до искаженной квадратной антипризмы. В структуре присутствуют два типа открытых пор: небольшие овальные и более крупные ромбические размером около 4×31 Å.

Соединение **2** является редким примером двухкатионного МОК, в котором катионы натрия играют важную роль в создании каркаса. Роль катиона HMB является вспомогательной – он компенсирует заряды двух из четырех анионов, позволяя им создавать дополнительные связи между катионами натрия. Ионы DADSA связывают катионы натрия в две независимые идентичные двумерные сети, которые расположены в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Наличие пор в структурах соединений **1** и **2** позволяет рассматривать данные координационные полимеры как вещества с высоким потенциалом применения в качестве адсорбентов и компонентов газовых сенсоров.

Работа поддержана грантом Российского научного фонда (проект № 23-13-00045).



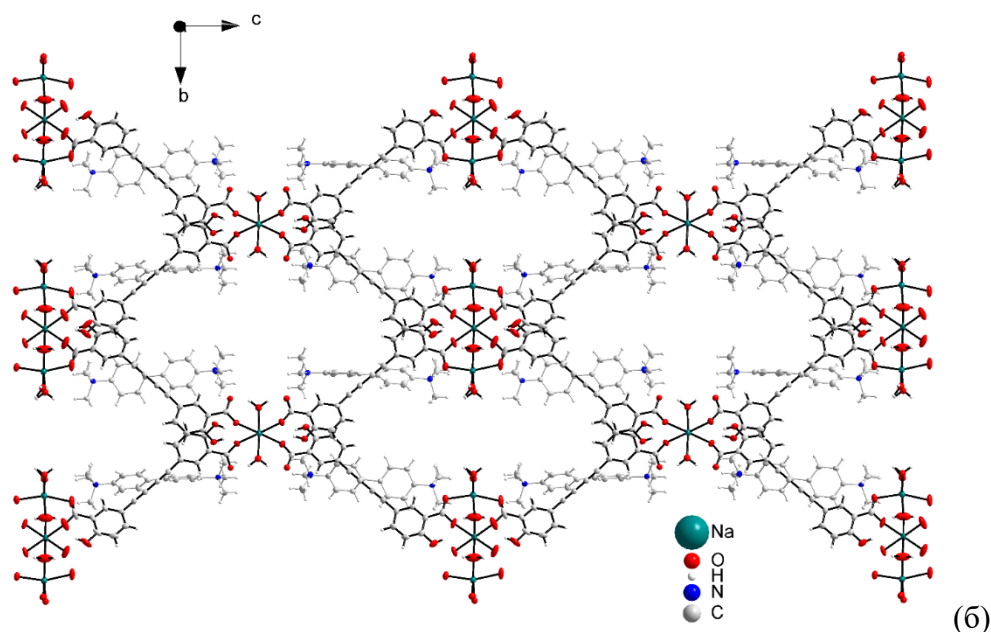


Рисунок 1. Структуры соединений 1 (а) и 2 (б)

Использованные источники:

1. Jiao, L. Metal–organic frameworks: Structures and functional applications / L. Jiao, J. Seow, W. Skinner et al. // *Materials Today*. – 2019. – V. 27. – P. 43–68.
2. Li, B. Capture of organic iodides from nuclear waste by metal-organic framework-based molecular traps / B. Li, X. Dong, H. Wang et al. // *Nature communications*. – 2017. – V. 8, N. 1. – P. 485.
3. Mei, D. Adsorption of uranium (VI) by metal-organic frameworks and covalent-organic frameworks from water / D. Mei, L. Liu, B. Yan // *Coordination Chemistry Reviews*. – 2023. – V. 475. – P. 214917.
4. Kanthapazham, R. Structures of hexa-methyl-[1,1'-biphenyl]-4,4'-diammonium salts / R. Kanthapazham, A.A. Osipov, D.A. Zhrebtssov et al. // *Acta Cryst.* – 2024. – V. B80. – 751–759.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОТОЧНОГО ПОСЛОЙНОГО КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА SLM ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ И СОКРАЩЕНИЯ ДОРОГОСТОЯЩИХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ

Пильщиков А.А., Теплых Н.А., Болдырев А.С., Брагин Ф.В., Андреев А.С., Бобров М.А.
ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
aapilshchikov@mephi.ru

Аннотация: В работе рассмотрены возможности использования высокоточного послойного оптического контроля при аддитивном производстве металлических изделий методом селективного лазерного плавления (SLM). Основное внимание уделено жаропрочным никелевым сплавам и нержавеющей сталям, подверженным дефектам пористости, трещинам и геометрическим отклонениям. Показано, что при разрешении около 0,01 мм на пиксель удастся выявлять большинство дефектов непосредственно в процессе печати, что дает возможность оперативно корректировать параметры или останавливать процесс. Сочетание оптического мониторинга с методами машинного обучения и компьютерного зрения обеспечивает надежное и автоматизированное распознавание дефектов. Благодаря этому существенно сокращается потребность в дорогостоящих методах послепечатного контроля, таких как компьютерная томография (КТ) и ультразвуковая дефектоскопия. Представлен анализ эффективности данного подхода, указывающий на перспективы массового внедрения высокоточного послойного контроля в промышленном производстве для снижения затрат и ускорения сертификации изделий.

Ключевые слова: аддитивные технологии; селективное лазерное плавление; послойный оптический контроль; контроль дефектов; машинное обучение; компьютерное зрение; жаропрочные никелевые сплавы; нержавеющей стали.

APPLICATION OF HIGH-PRECISION LAYER-BY-LAYER MONITORING OF THE SLM PROCESS FOR DEFECT DETECTION AND THE REDUCTION OF COSTLY INSPECTION METHODS

Pilshchikov A.A., Teplykh N.A., Boldyrev A.S., Bragin F.V., Andreev A.S., Bobrov M.A.
Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
"MEPhI"
aapilshchikov@mephi.ru

Abstract: This paper explores the possibilities of using high-precision layer-by-layer optical inspection in additive manufacturing of metal parts using Selective Laser Melting (SLM). The focus is on heat-resistant nickel alloys and stainless steels, which are prone to defects such as porosity, cracks, and geometric deviations. It is shown that with a resolution of around 0.01 mm per pixel, most defects can be detected during the printing process, allowing for immediate parameter adjustments or halting of the process. Combining optical monitoring with machine learning and computer vision methods enables reliable and automated defect recognition. This significantly reduces the need for costly post-production inspection methods such as computed tomography (CT) and ultrasonic testing. The paper presents an analysis of the effectiveness of this approach, indicating the potential for widespread implementation of high-precision layer-by-layer inspection in industrial production to reduce costs and accelerate product certification.

Keywords: additive manufacturing; selective laser melting; layer-by-layer optical inspection; defect detection; machine learning; computer vision; heat-resistant nickel alloys; stainless steels.

Введение:

Аддитивные технологии, в частности селективное лазерное плавление (Selective Laser Melting, SLM), активно применяются для изготовления деталей из жаропрочных никелевых сплавов и нержавеющей сталей. Однако одной из важнейших проблем остаются дефекты, возникающие во время процесса печати: пористость, горячие трещины, непровары и др. [1].

Традиционно для выявления внутренних дефектов после изготовления детали используют компьютерную томографию (КТ), которая отличается высокой стоимостью и ограничивает массовое применение технологии SLM [2]. В качестве альтернативы или дополнения к КТ сегодня развивается послойный оптический контроль, позволяющая получать изображения с высоким разрешением (порядка 0,01 мм/пикс) для in situ анализа качества наплавленных слоев [3].

Контроль дефектов на каждом слое:

Пористость и непровары. Большинство пор, связанных с неполным проплавлением порошка или с газовыми включениями, может быть зафиксировано на снимках слоев в виде темных артефактов или нетипичных текстур [4]. Исследования показывают, что при разрешении ~10 мкм на пиксель возможно выявление пор размером от 30–50 мкм [5]. Методы машинного обучения (Machine Learning – ML) и компьютерного зрения (Computer Vision – CV) позволяют автоматизировать распознавание этих дефектов и близко приблизиться к результатам КТ [6].

Трещины. Жаропрочные никелевые сплавы обладают повышенной склонностью к горячим трещинам при локальном плавлении [7]. Послойный оптический контроль выявляет трещины на поверхности слоя как тонкие линии-разрывы структуры. Разрешение ~10–20 мкм/пикс достаточно, чтобы регистрировать большинство опасных микротрещин [5].

Контроль геометрии. Послойный контроль также позволяет анализировать форму каждого слоя и сравнивать её с эталоном CAD-модели [8]. Это даёт возможность вовремя обнаружить отклонения, вызванные тепловыми деформациями, непроваром или отрывом детали от платформы.

Практическая реализация и опыт внедрения:

В рамках работ Снежинского физико-технического института (СФТИ) разработана Интеллектуальная система мониторинга процесса селективного лазерного плавления. Её основная задача — автоматизировать контроль каждого слоя сразу после нанесения порошка и после его сплавления лазером. На текущем этапе применяется встроенная 2 Мп камера, что даёт ограниченное разрешение, однако система уже успешно обеспечивает:

- Оповещение оператора при обнаружении крупных дефектов (пропуск порошка, отрыв детали от подложки).
- Возможность оперативно остановить печать во избежание поломки оборудования.
- Интеграцию с технологическим процессом для корректировки режимов печати.

Далее ведётся разработка решения, позволяющего повысить разрешение до ~10 мкм/пикс. Для анализа снимков такого уровня планируется использование ряда алгоритмов ML, в том числе:

- falstflow — для обнаружения трещин, сферических пор и аномальной текстуры в условиях ограниченной размётки данных;
- Swin-transformer — для семантической сегментации слоёв и точного определения геометрии наплавленных участков за счёт механизма self-attention.

Система прошла приёмочные испытания на производственных площадках с установками, спроектированными Госкорпорацией «Росатом»; ведётся тестирование и адаптация на других предприятиях. Таким образом, даже при умеренном разрешении уже достигается значительное сокращение риска брака и снижается нагрузка на операторов, а с повышением качества оптических систем ожидается выявление дефектов на уровне микроразмеров, что позволит ещё более эффективно конкурировать с КТ или вовсе её заменять.

Возможность замены дорогостоящих методов контроля:

Снижение потребности в КТ. Несмотря на высокую точность КТ, её применение для каждой детали из высокоплотных металлов экономически и временно затратно [2]. Надёжные результаты послойного мониторинга позволяют в ряде случаев заменить сплошной контроль КТ на выборочный, при этом сохраняя высокую гарантию качества [3], [9].

Минимизация других методов неразрушающего контроля. Послойный контроль в процессе печати способна сократить использование ультразвукового контроля и рентгенографии, так как большая часть дефектов обнаруживается «на лету» [4]. Поверхностные методы (магнитопорошковая и капиллярная дефектоскопия) могут проводиться выборочно, если система за время печати не зафиксировала признаков трещин или других дефектов [6].

Аналитические и ML-инструменты. Для обработки больших массивов изображений, возникающих при SLM (по одному кадру на каждый слой), используются свёрточные нейронные сети и алгоритмы обнаружения аномалий [1], [5]. Предварительная маркировка дефектов по данным КТ даёт возможность обучить модели с точностью распознавания пор и трещин более 90% [6]. Это открывает путь к интегрированным системам, где послойный контроль заменяет послепечатные проверки [2], [3].

Выводы:

1. Послойный оптический контроль с разрешением около 0,01 мм/пикс в сочетании с методами машинного обучения позволяет надёжно выявлять поры и трещины в жаропрочных никелевых сплавах и нержавеющей сталях *прямо в процессе SLM*.

2. Даже при разрешении ~2 Мп уже достигается значительное снижение брака и уменьшение нагрузки на операторов, а повышение разрешения до 10 мкм/пикс открывает возможности сокращения или полноценной замены дорогостоящих методов послепечатного контроля, таких как КТ.

3. Использование алгоритмов (falstflow, Swin-transformer и др.) даёт автоматизированный и достоверный анализ дефектов, снижая вероятность упущенных аномалий.

4. Реализация послойного контроля ускоряет процесс сертификации и сокращает затраты на производство, что способствует масштабированию применения SLM в высоконагруженных отраслях (авиация, атомная энергетика, нефтегазовая промышленность).

Список источников:

- 1 Yadav P. et al. In Situ Monitoring Systems of the SLM Process: On the Need to Develop Machine Learning Models for Data Processing // Crystals, 2020.
- 2 Snow Z.K. Flaws in Powder Bed Fusion Additive Manufacturing: Formation Mechanisms, Detection Methods, and Effect on Fatigue. PhD Dissertation, Penn State, 2021.
- 3 Phase3D (Компания). In-Situ Inspection: A Gateway to Cost-Effective and Reliable AM (Обзор), 2023.
- 4 Aydogan B. et al. Review of In Situ Detection and Ex Situ Characterization of Porosity in LPBF Metal AM // Metals, 2024.
- 5 Abdelrahman M. et al. Optical Monitoring in Laser Powder Bed Fusion for Defect Detection: A Review. 2017.
- 6 Schmitt A.M. et al. Powder Bed Monitoring Using Semantic Image Segmentation to Detect Failures during 3D Metal Printing // Sensors, 2023.
- 7 Raghavan N., Dehoff R. Numerical Modeling of Thermal Behavior and Melt Pool Characteristics // Acta Materialia, 2017.
- 8 Tapia G. et al. Formulation of Thermal Imaging–Based Layerwise Monitoring for Metal AM // Additive Manufacturing, 2018.
- 9 Kobryn P., Semiatin S. The Laser Additive Manufacturing Process: Fundamentals and Modeling of Complex Material Behavior // JOM, 2019.

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Пьянков Д.А., Орлов А.А.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.*

danila_danka@mail.ru, orlov74@yandex.ru

В данной работе изложены теоретические и практические результаты исследований процесса управления режимами резания при растачивании отверстий в условиях современного машиностроения. Среди прочего, особое внимание уделяется многопроходной обработке, для которой разработана методика определения оптимальности с акцентом на максимальную производительность.

Ключевые слова: цифровое машиностроение, станки с числовым программным управлением, режимы резания, многопроходная обработка, растачивание отверстий.

INCREASING THE PRODUCTIVITY OF DRILLING HOLES IN MODERN ENGINEERING

Pyankov D.A., Orlov A.A.

*Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk Region*

danila_danka@mail.ru, orlov74@yandex.ru

This paper presents the theoretical and practical results of research on the process of controlling cutting modes when drilling holes in modern mechanical engineering. Among other things, special attention is paid to multi-pass processing, for which a methodology for determining optimality has been developed with an emphasis on maximum productivity.

Keywords: digital engineering, numerically controlled machines, cutting modes, multi-pass machining, hole boring.

Введение

Станки с числовым программным управлением (далее – ЧПУ) широко используются в современном машиностроении, так как являются основным средством автоматизации различных операций, в том числе – растачивания отверстий. Однако при этом наблюдаются большие колебания припуска на обработку вдоль контура обрабатываемой поверхности заготовки. Изменение припуска в широких пределах приводит к непостоянности силы резания, что в свою очередь является причиной возникновения дополнительной погрешности обработки [1].

В современных САМ системах или управляющих программах для обеспечения точности и качества обработки, технологу необходимо указывать адаптированные под конкретную технологическую систему режимы резания, однако в большинстве справочников приводятся лишь их диапазонные значения. Следовательно, назначаемые технологом режимы резания оказываются существенно зависимыми от его опыта и профессиональной подготовки, из-за чего могут требовать в дальнейшем многократных корректировок.

Поэтому, основная задача данной работы заключается в разработке методики расчета, которая поможет в определении количества технологических переходов, глубины резания и величины подачи. Это необходимо для обеспечения заданной точности и повышения производительности при растачивании отверстий на станках с ЧПУ.

Методика определения глубины резания

Глубина резания в машиностроении определяется в зависимости от величины припуска.

Согласно расчетно-аналитической методике профессора Кована [2], минимальная глубина резания, как и минимальное значение припуска, может определяться по формуле, имеющей вид:

$$t_{min} = R_{z(i-1)} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}, \quad (1)$$

где i – номер перехода; $R_{z(i-1)}$ – шероховатость, которую необходимо удалить с предыдущего перехода; T_{i-1} – глубина дефектного слоя, полученного на предшествующем переходе; ρ_{i-1} – оставшееся с предыдущего перехода пространственное отклонение обрабатываемой поверхности относительно базовой; $\varepsilon_i = \Delta_{баз} + \Delta_{зак}$ – погрешность установки заготовки в приспособление на выполняемом переходе.

В свою очередь, максимальная глубина резания равняется максимальной величине припуска и учитывает колебания всех допусков технологических размеров, входящих в уравнение размерной цепи.

$$t_{max} = t_{min} + \sum TA_i, \quad (2)$$

где i – порядковый номер звена; $\sum TA_i$ – сумма звеньев, которые входят в уравнение на данное замыкающее звено.

Модель управления подачей для обеспечения заданной точности

Согласно исследованиям, одной из ключевых составляющих погрешности обработки на операциях растачивания являются погрешности от упругих деформаций элементов технологической системы [3]. К данным элементам может относиться оправка с резцом, закрепленная консольно. Величина упругих деформаций от действия сил резания может быть достаточно большой, приводящей к вибрации станка, ухудшению качества поверхности обрабатываемых деталей и не обеспечению точности размеров.

В течение технологического перехода примерная стабилизация упругих деформаций технологической системы может быть реализована на станке с ЧПУ путем закономерного изменения силы резания за счет изменения подачи. Поэтому, на основе эмпирических зависимостей на силы резания разработана математическая формула, функционально связывающая подачу с точностью заготовки, конечной точностью детали и жесткостью технологической системы. В сущности, формула является математической моделью управления подачей для обеспечения заданной точности механической обработки.

$$S = \sqrt[3]{\frac{K_1 * \Delta_{дет} * i}{C_p * K_p * \Delta_{заг}}}, \quad (3)$$

где: $\Delta_{дет}$ – допуск размера детали; K_1 – коэффициент, учитывающий долю упругих деформаций в суммарной погрешности обработки Δ_{Σ} ; $\Delta_{заг}$ – допуск заготовки; C_p – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства материала обрабатываемой заготовки; K_p – коэффициент, учитывающий факторы, не вошедшие в формулу (величины углов резца, материал резца и др.); i – жесткость технологической системы; y – коэффициент учитывающий степень влияния подачи на силу; S – подача.

В дальнейшем предполагается проверка полученной зависимости на адекватность в условиях реальной обработки на станке.

Методика выбора оптимального количества технологических переходов

В формуле (3) присутствуют величины $\Delta_{заг}$ и $\Delta_{дет}$ – допуск заготовки до обработки и допуск детали после обработки соответственно. Точность заготовки и детали всегда обозначается определенным качеством.

В соответствии с этим перед началом механической обработки возникает необходимость выбора рационального количества технологических переходов для данной операции.

При решении этой задачи нужно учитывать ряд ограничений по точности и шероховатости детали, а также ограничения, связанные с режимами резания, адаптированными под конкретную технологическую систему, включающую в себя параметры прочности механизма подачи станка, мощности привода главного движения и другие. Также существуют ограничения, связанные с возникающими в процессе обработки силовыми нагрузками. Они рассчитываются с использованием аналитических силовых зависимостей.

При назначении режимов резания наилучшим показателем оптимальности и эффективности технологической операции является ее себестоимость. Одним из способов снижения себестоимости является повышение производительности обработки, в частности, за счет уменьшения основного времени обработки на операцию. Функцией цели является минимальное значение времени обработки, иными словами, необходимо стремиться, чтобы оно являлось экстремумом по минимальному значению [4].

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где L – длина пути, пройденная инструментом в направлении подачи; n – частота вращения шпинделя; S – подача на оборот.

Следовательно, выбор рационального количества переходов, а также режимов резания (глубин резания t и подач S) сводится к дискретной задаче отыскания кратчайшего по времени пути из начальной вершины графа, определяющей качество точности заготовки до обработки, в конечную вершину, определяющую точность готовой детали. Иными словами, необходимо рассчитать время обработки для всех возможных вариантов количества переходов, а затем сравнить полученные результаты между собой и выбрать наиболее оптимальный.

Сформулированная задача по оптимизации была решена при помощи метода динамического программирования [5]: Функциональное уравнение динамического программирования имеет следующий вид:

$$T_{i,j} = \min (T_{i,j} + \tau_{l,k}^{i,j}), T_{N,M} = 0, \quad (5)$$

где $T_{i,j}$ – время кратчайшего пути из начальной вершины графа с координатами N, M в вершину с координатами i, j , $\tau_{l,k}^{i,j}$ – время пути из вершины с координатами l, k в вершину с координатами i, j .

С помощью смоделированного на компьютере процесса формирования точности обработки детали в условиях выполнения операции на одном станке одним инструментом, были получены выводы, что заданная точность обработки может обеспечиваться либо путём обработки на малых минутных подачах за один переход, либо за несколько переходов с постепенным уточнением.

При этом возможны ситуации, когда обработка за несколько технологических переходов будет осуществляться быстрее, чем за один. Таким образом, с помощью рассмотренной методики всегда можно найти оптимальное и удовлетворяющее заданным условиям количество переходов, при которых значение функции цели будет минимальным.

Заключение

Разработанная методика назначения количества переходов, глубин резания и управления подачей на каждом переходе позволяет обеспечить требуемую точность обработки при минимальных затратах основного времени. Методика удовлетворяет современным запросам машиностроения в области операций растачивания, она может применяться в качестве блока системы автоматического управления (САПР), а также непосредственно внедряться в программу станка с ЧПУ.

Таким образом, по итогам теоретических и практических исследований в работе были приведены расчетные методики и математические модели для определения оптимального количества технологических переходов, глубины резания и управления подачей с целью повышения точности и производительности обработки.

Список литературы:

1. Мартыновская, С. Н. Технология машиностроения : учебное пособие / С. Н. Мартыновская. — Красноярск : СибГУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2020 — Часть 1 — 2020. — 148 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/165916> (дата обращения: 28.01.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Галкин, М.Г. Практика технологического размерного анализа : учебно-методическое пособие / М.Г. Галкин, А.С. Смагин.— Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016.— 107,[1] с.
3. Преображенская, Е. В. Обеспечение точности изделий : учебное пособие / Е. В. Преображенская, Н. С. Баранова. — Москва : РТУ МИРЭА, 2021. — 91 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/182574> (дата обращения: 28.01.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
4. Гузеев, В. И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением : справочник / В. И. Гузеев, В. А. Батуев, И. В. Сурков; под ред. В. И. Гузеева. - 2-е изд. - М. ; Тамбов : Машиностроение : ИПЦ Тамбов. гос. техн. ун-та, 2007. - 365 с.
5. Кангин, В. В. Математическое моделирование процессов в машиностроении : Учебное пособие / В. В. Кангин, В. Н. Меретюк. - Старый Оскол : ТНТ, 2018. - 267 с.

МЕТОД УЧЕТА ВЛИЯНИЯ НАКЛОНА УДАРНИКА ОТНОСИТЕЛЬНО ОБРАЗЦА В УДАРНО-ВОЛНОВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Савенко Е.М.^{1,2}, Кадочников Д.Ю.¹, Дегтярев А.А.¹

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

² ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск

E-mail: vnitf@vnitf.ru

В работе предлагается метод по нахождению временных поправок, вызванных наклоном плоскости ударника по отношению к плоскости образца, в ударно-волновых экспериментах на баллистических установках.

Ключевые слова: наклон ударника, ударно-волновой эксперимент, систематическая погрешность, баллистическая установка

Method for considering the influence of the inclination of the impactor relative to the sample in shock-wave experiments

Savenko E.M.^{1,2}, Kadochnikov D.Yu.¹, Degtyarev A.A.¹

¹ FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia

² South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia

E-mail: vnitf@vnitf.ru

In this paper, we propose a method for finding time corrections induced with inclination of the impactor plane relative to the sample plane in shock-wave experiments using ballistic facility.

Keywords: inclination of impactor, shock-wave experiment, systematic error, ballistic facility

Условие идеального совпадения плоскостей взаимодействующих поверхностей в ударно-волновых экспериментах является одним из значимых факторов снижения погрешности определения момента удара [1]. Наклон ударника относительно образца приводит к неоднородности распределения нагрузки и искажению временных характеристик процесса, таких как момент генерации ударной волны и синхронизация измерений. Это создает систематические ошибки, требующие корректного учета для повышения точности интерпретации данных. Разработка подходов к компенсации таких погрешностей актуальна как для фундаментальных исследований, так и для прикладных задач, где даже незначительные временные сдвиги в регистрации могут привести к существенным ошибкам в определении динамических параметров [2, 3].

Идея метода учета наклона заключается в искусственном выравнивании ударника (или фронта ударной волны) в пространстве. Для достижения этой цели создается трехмерная сетка координат {x, y, z}, на которой располагаются точки регистрации ударника (или выхода ударной волны на поверхность).

Координаты x и y представляют собой полярные координаты. Координата z представляет расстояние, которое преодолевает ударник (или ударная волна) за время задержки. Время задержки рассчитывается как разность показания датчика от среднего значения всех показаний.

Точки с полученными координатами аппроксимируются уравнением плоскости (1) ($P=0,95$). Для построения плоскости необходимо три или более точек.

$$z = Ax + By + C. \quad (1)$$

Временная поправка, используемая для параллельного переноса точек путем проекции их с полученной плоскости на плоскость среднего значения Z, рассчитывается по формуле (2).

$$\Delta t'_i = \frac{Z - (Ax_i + By_i + C_i)}{W}, \quad (2)$$

где W – подлетная скорость ударника (или скорость ударной волны), i – номер датчика.

В работе были рассмотрены эксперименты по определению ударного сжатия алюминиевого сплава АК6 с использованием пневматических баллистических установок. Регистрация осуществлялась методикой PDV. В результате применения метода учета наклона точность определения скорости ударной волны улучшилась в среднем в семь раз.

Использованные источники:

1. Экспериментальные методы в физике ударных волн и детонации: монография / Под ред. М. В. Жерноклетова – Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2020. – с. 154-167.
2. Башурин В.П. Расчетное моделирование механизмов стабилизации полета плоского ударника / В.П. Башурин, Л.В. Ктиторов, А.С. Лазарева // Сб. тез. докл. Междунар. конф. «XIX Харитоновские тематические научные чтения». Саров, 2017. – с. 219-220.
3. Патент №2672808 Российская Федерация МПК G01B 7/00 (2006.01) Устройство для определения положения в пространстве и скорости движущейся плоской поверхности: №2017142051: заявл. 01.12.2017; опубл. 19.11.2018 / Тарасов И.Б., Зубанков А.В., Казаков А.В., Кашина О.В., Кружикова Е.В.; заявитель Госкорпорация «Росатом», ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ».

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ И РАДИАЦИОННОЙ УСТОЙЧИВОСТИ
МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ ХРАНЕНИЯ УЦ САО ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ
БЕЗОПАСНОСТИ ЯТЦ**

Старовойтов Н.П., Монстаков Д.А., Сухинин П.И.
ФГУП «ПО «Маяк», Озерск, Челябинская область

В работе проведены результаты предложенного варианта системы хранения цементного компаунда, предусматривающего использование в качестве каркаса ячеистую структуру, состоящую из полимерного материала. Получены зависимости изменения теплофизических параметров образцов полимеров и цементных компаундов от различных доз облучения. Выявлено, что с увеличением дозы облучения увеличивается скорость газовыделения из цементных образцов. Показано, что прочностные свойства цементного компаунда с сухой смесью У-3 с щелочным модельным раствором удовлетворяют требованиям НП-019 до дозы 1 МГр.

Ключевые слова: цементирование, САО, термогравиметрический анализ, дифференциально-сканирующая калориметрия, взрывопожаробезопасность, газовыделение в цементном компаунде, температура плавления полимера, кристалличность.

**SAFETY ANALYSIS OF THE USE OF NEW PROMISING HEAVY DILUENTS IN
RADIOCHEMICAL PRODUCTION
INVESTIGATION OF THERMAL AND RADIATION STABILITY OF MATERIALS IN
STORAGE SYSTEM CI MLW WHILE ENSURING SAFETY OF NFL**

Starovoitov N.P., Monstakov D.A., Sukhinin P.I.
FSUE "PO "Mayak", Ozersk, Chelyabinsk region

The paper presents the results of the proposed variant of cement compound storage system which provides for the use of a cellular structure consisting of a polymer material as a frame. The dependences of changes in the thermophysical parameters of polymer and cement compound samples on various radiation doses. It was revealed that with an increase in the radiation dose, the rate of gas release from cement samples increases. It shown that the strength properties of a cement compound with a dry mixture of U-3 and an alkaline model solution meet the requirements of NP-019 up to a dose of 1 MGr.

Keywords: cementation, MLW, thermogravimetric analisys, differential scanning calorimetry, explosion and fire safety, gas release in cement compound, polymer melting point, crystallinity.

В качестве материалов, рассматриваемых для долговременного хранения, предлагается использовать полиолефиновый полимер полипропилен (каркас) и цемент (отверждение РАО). В ходе проведения отверждения и последующего хранения РАО материалы подвергнутся термическим и радиационным воздействиям, негативно влияющим на их прочностные характеристики. Так, при облучении материалов в случае полимеров изменяется кристалличность, происходят сшивки и разрушения молекулярных цепей, что приводит к изменению механических характеристик материала. Во время облучения твердого цемента происходит образование радиолитического водорода с последующим осушением и разрушением компаунда. При отсутствии достоверной информации о стойкости материалов к облучению возможно нарушение целостности конструкции и последующий выход радионуклидов в свободный объем системы хранения и переоблучение персонала. Также молекулярный водород, накапливающийся в свободном объеме системы хранения при определенной концентрации опасен по причине взрыва гремучего газа. Таким образом, проведение термоаналитических измерений позволит определить радиационную и термическую стойкость материалов, рассматриваемых для использования в участке цементировании жидких РАО.

Для приготовления модельного раствора щелочных накопленных высокоактивных отходов использовались реактивы марок ч.д.а. и х.ч. Измеренный состав модельного раствора, имитирующего растворную часть НВАО, приведен в таблице 9.

Таблица 1 – Измеренный состав модельного раствора

Показатели	Концентрация компонента в растворе, г/дм ³							
	Na ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	AlO ₂ ⁻	CrO ₄ ²⁻	SiO ₃ ²⁻	K ⁺	Cs ⁺
Значения	96,645	110,9	35,9	6,022	0,408	0,2	0,688	0,462
Погрешность	±6,765	-	-	±0,422	±0,029	±0,014	±0,048	±0,032

Концентрацию компонентов Na⁺, AlO₂⁻, CrO₄²⁻, SiO₃²⁻, K⁺ и Cs⁺ определяли при помощи масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой, NO₃⁻ фотометрическим методом, NO₂⁻ методом ионной хроматографии в соответствии с действующими методиками ФГУП «ПО «Маяк».

В исследовании использовалась сухая цементная смесь состава У-3, предназначенная для приготовления цементного компаунда с сильно щелочной средой. Состав смеси приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание компонентов в сухой цементной смеси У-3

Компонент	Содержание, % масс.
Шлак доменный гранулированный молотый	89,7
Бентонит ПБМБ	10,0
Суперпластификатор «Полипласт СП-1»	0,3

Изменение прочности образцов цементного компаунда под действием внешнего γ -излучения показано на рисунке 1.

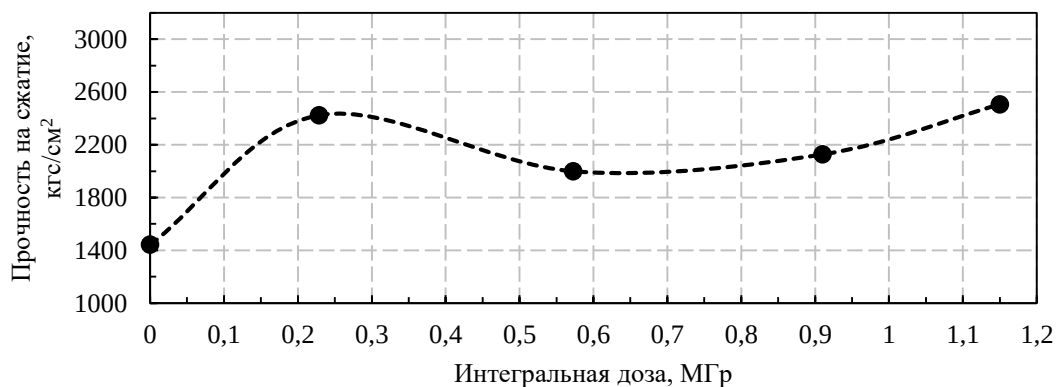


Рисунок 1 – Изменение прочности образцов цементного компаунда под действием внешнего γ -излучения

Для определения содержания влаги в цементных компаундах и температуры плавления пластиков исследуемых производителей проведен термический анализ на термоанализаторе, параллельно регистрирующем изменение массы образца и экзо-, а также эндотермические процессы.

Условия проведения экспериментов:

- платиновые тигли с небольшими отверстиями в крышках (цемент);
- керамические тигли (Al_2O_3) с небольшими отверстиями в крышках (полимер);
- диапазон температур для образцов цемента от 40 °С до 1000 °С;
- диапазон температур для образцов полимера от 40 °С до 800 °С;
- атмосфера печи: аргон (защитный), скорость продува 20 см³/мин.

Зная интервалы высвобождения воды из цемента по кривым ДСК и масс-спектрам, можно найти количество выделившегося радиолитического водорода по кривым термогравиметрии. Примем, что вся разница масс воды между контрольным (необлученным) образцом и облученными кривыми ТГ выделилась по реакции в результате гамма-излучения.

Найдя количество воды в молях в 1 мг цементного образца и исходя из разницы масс при 400 °С, рассчитали объем радиолитического водорода в 1 мг цемента в зависимости от поглощенной дозы. Далее по результатам расчетов построили кривую изменения выделения водорода в зависимости от облучения, представленную на рисунке 2.

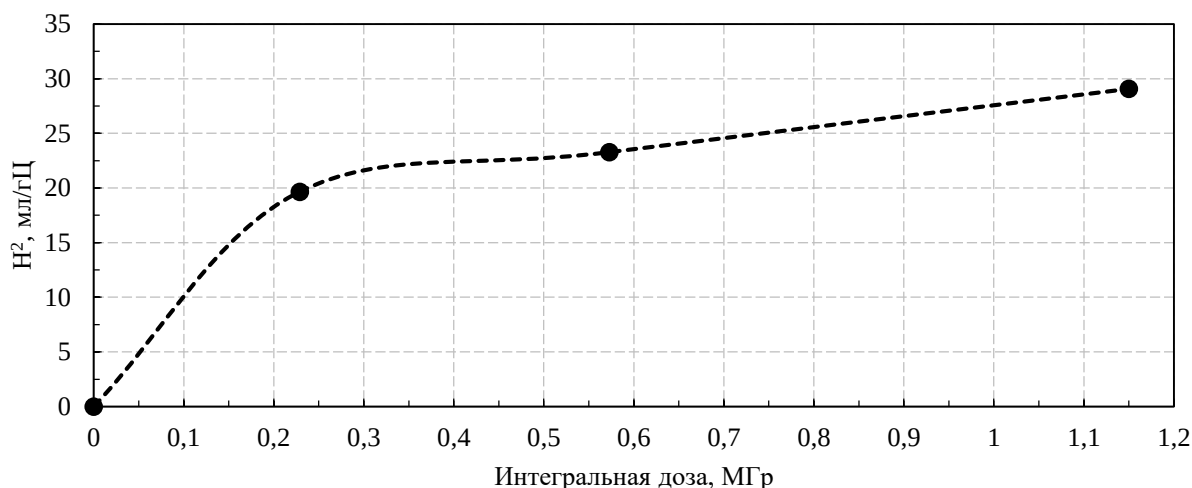
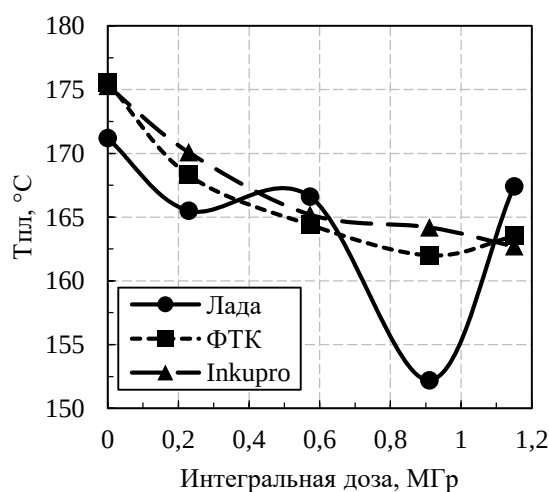
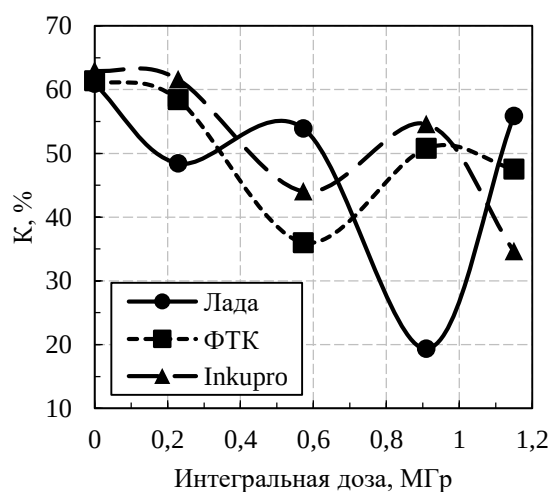


Рисунок 3 – Образование H_2 в зависимости от дозы облучения



Температуры плавления



Кристалличность

Рисунок 3 – Термические параметры полимерных образцов в зависимости от полученной дозы облучения

Изучено влияние внешнего гамма-излучения на стабильность материалов системы хранения среднеактивных отходов (образцов полимеров и цементных компаундов). Проведен выбор оптимального материала каркаса ячеистой структуры на основании выбранных критериев.

Предложенная методика определения динамики выделения радиолитического водорода для данного цементного состава У-3 в зависимости от полученной дозы использована впервые. Получены зависимости изменения теплофизических параметров, физико-механических характеристик образцов полимеров и цементных компаундов от различных доз облучения. Выявлено, что с увеличением дозы облучения скорость газовыделения из цементных образцов изменяется. Полученные результаты свидетельствуют, что рассмотренный вариант системы хранения и планируемые к применению материалы на ФГУП «ПО «Маяк» соответствуют требованиям НП-019 [1] по термической и радиационной устойчивости до поглощенной дозы 10^6 Гр.

Использованные источники:

1 Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии «Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требование безопасности» НП-019-15: утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25.06.2015 № 242.

**ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ
ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ
ИЗДЕЛИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Шарапов И.К.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

Учитывая возросшие требования к точности тепловых расчетов теплообмена в изделиях (контейнеры, технологическое оборудование и т.п.) в процессе их эксплуатации в НИИК РФЯЦ - ВНИИТФ проводится комплекс работ по уточнению теплофизических характеристик материалов и элементов изделий.

В докладе представлены результаты натурных климатических испытаний, рассмотрена разработанная в НИИК установка для определения коэффициента степени черноты и влияние климатических факторов на изменение этого коэффициента при длительных климатических испытаниях.

**CONDUCTING EXPERIMENTAL STUDIES TO CLARIFY THE THERMOPHYSICAL
CHARACTERISTICS OF MATERIALS AND PRODUCT ELEMENTS USED IN NUCLEAR
TECHNOLOGIES.**

Sharapov I.K.

FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia

Taking into account the increased requirements for the accuracy of thermal calculations of heat exchange in products (containers, technological equipment, etc.) during their operation, the RFNC - VNIITF carries out a complex of works to clarify the thermophysical characteristics of materials and product elements.

The report presents the results of field climate tests, examines the installation developed at the NIIK for determining the coefficient of blackness degree and the influence of climatic factors on the change in this coefficient during prolonged climatic tests.

СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ СТОЛБЕ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА. ПОСТАНОВКА НА ЭКСПЕРИМЕНТ С НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТЬЮ

Бартош К. Е., Журавлев Е. А., Захаров М. А., Садыков Р. Н., Садыков Н. Р.
ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
bartosh_k@list.ru

Исследовано гравитационное течение сыпучих материалов(СМ) в вертикальной трубе круглого на основе модели вязкой жидкости из предположения, что вязкость среды пропорциональна давлению в рассматриваемой точке. При стационарном движении теоретически получена и экспериментально подтверждена зависимость давления от вертикальной координаты и распределение в поперечном сечении вертикальной компоненты скорости среды. Показано, что давление на некотором расстоянии от свободной поверхности выходит на предельное значение.

Ключевые слова: сыпучие материалы, вязкость, скорость, гравитационное течение, гидродинамика сыпучих материалов.

THE PARTICLE VELOCITY AND PRESSURE DISTRIBUTION IN A VERTICAL CYLINDRICAL COLUMN OF BULK MATERIAL. EXPERIMENTING WITH AN INCLINED PLANE

Bartosh K. E., Zhuravlev E. A., Zakharov M. A., Sadykov R. N., Sadykov N. R.
Snezhinsk Institute of Physics and Technology, Snezhinsk, Chelyabinsk Region, Snezhinsk
bartosh_k@list.ru

The gravitational flow of bulk materials(BM) in a circular vertical pipe is investigated based on a viscous fluid model based on the assumption that the viscosity of the medium is proportional to the pressure at the point under consideration. In stationary motion, the pressure dependence on the vertical coordinate and the cross-sectional distribution of the vertical velocity component of the medium are theoretically obtained and experimentally confirmed. It is shown that the pressure at a certain distance from the free surface reaches the limit value.

Keywords: bulk materials, viscosity, velocity, gravitational flow, hydrodynamics of bulk materials.

В различных отраслях промышленности, сельского хозяйства применяются разнообразные сыпучие (зернистые) материалы. С подобного рода материалами приходится иметь дело в сельском хозяйстве, при производстве строительных материалов, металлургии, добыче и переработке полезных ископаемых. Для рациональной организации использования сыпучих материалов необходимо учитывать особенности взаимодействия частиц, зависящих от характера их движения как на рабочих органах соответствующего оборудования, так и в устройствах для проведения вспомогательных операций, например, загрузке, транспортировке и т.д. В случае песка предполагается, что вязкость пропорциональна давлению. Выразить максимальную скорость вязкого течения материала через величину массового расхода. Провести расчеты и эксперимент на длинной цилиндрической трубе, внутренняя полость которой обклеена наждачной бумагой.

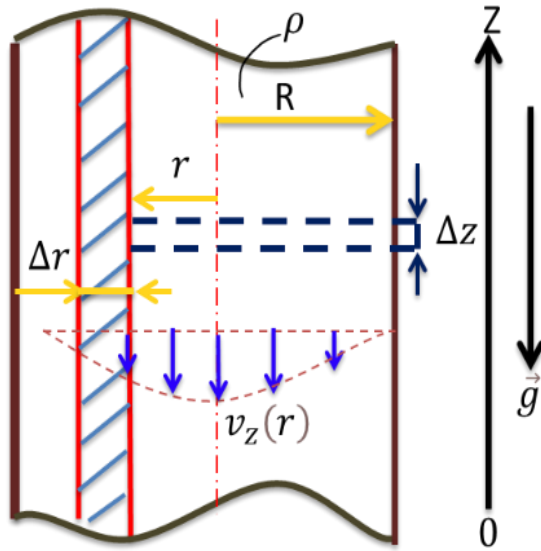


Рис. 1. Схема - цилиндрическая труба.

Применительно к цилиндрической трубе условие равновесия тонкого слоя Δz :

$$\Delta F_{1,z} + \Delta F_{2,z} + \Delta F_{3,z} + \Delta F_{4,z} = 0 \quad (1)$$

$$\Delta F_{1,z} = \eta(z) \frac{dv_z(r)}{dr} \Delta S \Big|_{r+\Delta r}, \quad \Delta F_{2,z} = -\eta(z) \frac{dv_z(r)}{dr} \Delta S \Big|_r, \quad \Delta F_{3,z} = -2\pi\rho g r \Delta r \Delta z,$$

$$\Delta F_{4,z} = 2\pi r [p(z) - p(z + \Delta z)] \Delta r$$

Из (1) следуют решения для скорости и давления с учётом краевых условий:

$$v_z(r) = \alpha \left(\frac{r^2 - R^2}{4} \right) \quad (2)$$

$$p(z) = \frac{\rho g}{\xi} + \left[p_0 - \frac{\rho g}{\xi} \right] \exp[\xi(z - H)] \quad (3)$$

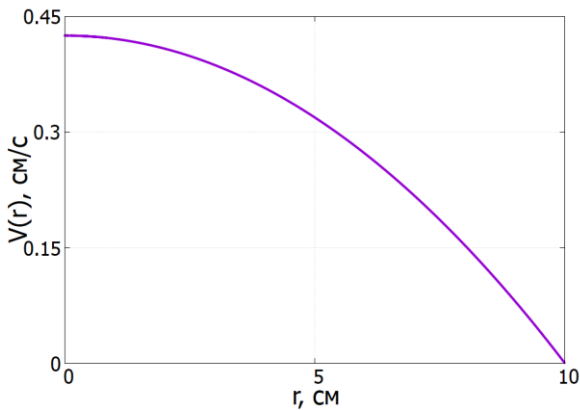


Рис. 2. Распределение скорости

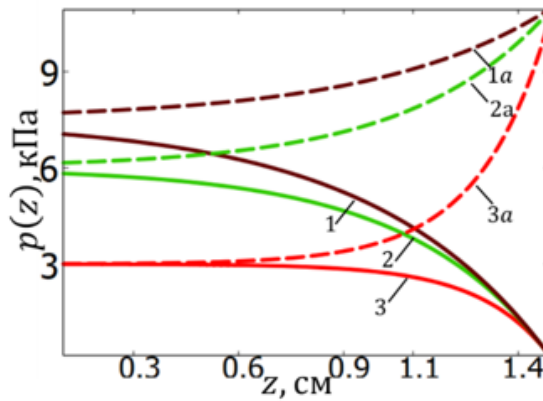


Рис. 3. Распределение давления при $\frac{\rho g}{\xi} = 3, 6, 7.5$ кПа.

На рис. 4 приведены экспериментальные установки в случае цилиндрической трубы и в случае трубы с квадратным сечением. Для серии трех независимых экспериментов $N = 1, 2, 3$ представлены результаты времени прохождения Δt_i различных i — участков столба высотой $\Delta H_i = z_{i-1} - z_i$, где z_0, z_1, z_2, z_3, z_4 равны 180, 145, 110, 75, 40 см, соответственно.

N	$\Delta t_1, \text{с}$	$\Delta t_2, \text{с}$	$\Delta t_3, \text{с}$	$\Delta t_4, \text{с}$
1	15.4	16.5	16.0	16.1
2	16.2	16.8	17.1	16.9
3	17.3	17.4	17.6	17.7
$\Delta t_i = \langle \Delta t_i \rangle \pm \Delta \tau, \text{с}$	$16.3 \pm 0,3$	$16.9 \pm 0,8$	$16.9 \pm 1,4$	$16.9 \pm 1,3$

Таб. 1. Время прохождения Δt_i различных i — участков столба СМ для трех пусков $N = 1, 2, 3$ в трубе круглого сечения.

N	$v_1, \text{см/с}$	$v_2, \text{см/с}$	$v_3, \text{см/с}$	$v_4, \text{см/с}$
1	2.27	2.12	2.13	2.17
2	2.16	2.08	2.05	2.07
3	2.02	1.99	1.99	1.98
$v_i = \langle v_i \rangle \pm \Delta v_i$	2.15 ± 0.21	$2.06 \pm 0,12$	2.06 ± 0.12	2.07 ± 0.17
$\mathcal{M}_1, \text{кг/с}$	0.274	0.265	0.265	0.265

Таб. 2. Результаты прямых измерений величины массового расхода СМ $\mathcal{M}_1$ и результаты косвенных измерений величины скорости v_i в трубе круглого сечения.

Использованные источники:

1. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика: Учебное пособие. Гидродинамика. М.: 1988. 736 с. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. (т. VI).
2. Долгунин В. Н. Быстрые гравитационные течения зернистых материалов: техника измерения, закономерности, технологическое применение / В. Н. Долгунин, В. Я. Борщев. М.: «Издательство Машиностроение-1», 2005.
3. Ландау Л. Д. Теоретическая физика: В 10 т.Т.6. Гидродинамика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. М.: Наука, 1986.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОЧИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОМБИНАТОРОВ ВОДОРОДА

Безгодов Е.В., Пасюков С.Д., Никифоров М.В., Тараканов А.А., Давлетчин Ю.Ф.,
Попов И.А., Мошкин Д.Л., Рякин А.А.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
e.v.bezgodov@vniitf.ru

В случае возникновения тяжелых аварий на АЭС с легководным теплоносителем возможен выход больших количеств водорода в результате пароциркониевой реакции. В целях исключения взрывных последствий на АЭС начали устанавливать пассивные каталитические рекомбинаторы водорода (ПКРВ). В настоящее время отсутствуют общепринятые методики испытаний ПКРВ, которые бы позволили проводить сравнения рабочих характеристик ПКРВ, независимо проверять поставляемую на АЭС продукцию и воспроизводить результаты испытаний. Целью работы являлась разработка универсальных методов исследования работы ПКРВ в условиях аварий. В работе представлен обзор существующих методов, приведены определения характеристик ПКРВ, принципы их измерения, критерии обнаружения, указаны конструктивные особенности экспериментальных установок и постановок опытов. Разработанные методы предназначены для определения пределов безопасной эксплуатации ПКРВ на АЭС и валидации расчетных моделей ПКРВ для применения в кодах обоснования водородной безопасности. Методы были экспериментально отработаны при испытаниях рекомбинатора РВК-500.

Ключевые слова: БМ-П, водородная безопасность, взрывобезопасность, ПКРВ, АЭС, ВВЭР

EXPERIMENTAL METHODS FOR INVESTIGATING THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF HYDROGEN RECOMBINERS

E.V. Bezgodov, S.D. Pasyukov, M.V. Nikiforov, A.A. Tarakanov, Yu.F. Davletchin, I.A. Popov,
D.L. Moshkin, A.A. Ryakin
FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia
e.v.bezgodov@vniitf.ru

In the event of severe accidents at nuclear power plants (NPPs) with a light-water coolant, large amounts of hydrogen may be released as a result of the steam-zirconium reaction. In order to avoid explosive consequences, passive autocatalytic recombiners (PARs) have been installed at NPPs. Currently, there are no generally accepted test methods for PAR that would allow comparisons of PAR performance, independently verify products supplied to NPPs, and reproduce test results. The aim of the work was to develop universal research methods for the operation of PARs in the conditions of accidents. The paper provides an overview of existing methods, provides definitions of the characteristics of PARs, principles of the measurement, detection criteria, design features of the experimental installations and settings. The developed methods are designed to determine the limits of safe operation of PARs at NPPs and to validate PARs calculation models for use in hydrogen safety justification codes. The methods were experimentally tested during tests of the RVK-500 recombiner.

Keywords: BM-P, hydrogen safety, explosion safety, PAR, NPP, VVER

На атомных электростанциях (АЭС) с легководным теплоносителем в ходе тяжелой аварии возможен выход большого количества водорода под герметичное ограждение (ГО) реактора в результате пароциркониевой реакции. Горение водородосодержащей смеси может повлечь повреждение ГО и выход радиоактивных продуктов за пределы АЭС. Эта проблема стала особенно актуальной после аварии на японской АЭС Фукусима Дайичи-1. Примером

средства противодействия накоплению водорода под ГО является пассивный каталитический рекомбинатор водорода (ПКРВ). Принцип работы ПКРВ основан на протекании экзотермических реакций окисления водорода на катализаторе с платиной, расположенного в нижней части металлического корпуса, усиливающего процесс поглощения водорода при возникновении естественной конвекции. Главным недостатком устройства является существование предела по концентрации водорода, при котором возможно воспламенение окружающей рекомбинатор смеси.

В целях обоснования водородной безопасности на АЭС необходимо знать рабочие характеристики ПКРВ, в том числе для определения их количества и точек оптимального размещения под ГО. Характеристиками являются производительность (масса рекомбинируемого водорода в единицу времени), стартовая концентрация водорода (предельная концентрация, при которой происходит старт ПКРВ) и предел беспламенной работы (предельная концентрация, при которой происходит воспламенение смеси, инициированное работой ПКРВ). Методы исследований работы ПКРВ, применяемые на различных установках, существенно отличаются друг от друга. Имеются различия и в интерпретации характеристик. К тому же в настоящее время в России отсутствуют аттестованные и одобренные Ростехнадзором методики испытаний, которые могли бы подтвердить характеристики ПКРВ, устанавливаемых на АЭС, и их безопасное функционирование. Для отечественных рекомбинаторов необходимы данные об их работе в более широком диапазоне условий, вероятных при аварии: малое содержание кислорода, наличие пара, высокое содержание водорода, воздействие внешних потоков.

Поэтому возникла необходимость разработки методов определения характеристик ПКРВ в условиях, характерных при ТА на АЭС с ВВЭР. Полученные с их помощью экспериментальные данные важны для проверки ПКРВ, а также для валидации их моделей. Эти меры позволят повысить уровень безопасности и конкурентоспособность отечественных АЭС.

В работе представлен обзор публикаций по изучению работы рекомбинаторов водорода. Выявлено отсутствие структурированного описания подходов к тестированию ПКРВ и количественных критериев по ряду характеристик. Установлено, что перечень моделируемых сценариев не полный. Для устранения «пробелов» проведены исходные экспериментальные исследования в одиночной камере БМ-П. Эксперименты позволили выявить ключевые характеристики ПКРВ, указали на необходимость физического выделения области испытания ПКРВ и отделения от нее области подготовки газов и охлаждения смеси. Обнаружено явление технологического характера, влияющее на предел поджига, которому не уделялось внимание в последнее время в экспериментах с ПКРВ [1].

Выработано требование к установке, заключающееся в применении двух камер с обеспечением циркуляции смеси между ними. В рамках данного подхода расширено количество режимов, воспроизводимых на установке и характерных для аварий на АЭС. Применение двух камер позволило испытывать более производительные ПКРВ по сравнению с одной камерой при том же рабочем объеме установок.

В качестве старта ПКРВ принят критерий, срабатывающий при снижении концентрации водорода на выходе в момент усиления конвективного потока. Показана его взаимосвязь со скоростью нарастания температуры выходного газа. Введено понятие времени выхода ПКРВ на рабочий режим, показывающее задержку от старта до нормальной работы ПКРВ. Впервые предложено проводить эксперименты при разной скорости роста концентрации водорода (СРКВ) для определения влияния времени выдержки ПКРВ в смеси с водородом на его запуск.

Уточнены методы определения производительности. Показано, что применение двух камер с трубопроводами снижает неопределенность вычисления производительности. Введено понятие стационарной (номинальной) производительности, получаемой при работе ПКРВ в слабоменяющихся условиях в смеси на входе. Впервые предложено рассмотреть отклонение производительности от стационарной при быстром изменении концентрации

водорода вследствие тепловой инерционности ПКРВ. Для этого внедрено два режима подачи водорода в установку – стационарный РИС и импульсный РИП.

При рассмотрении вопроса поджига смеси от ПКРВ выделено два механизма воспламенения – частицей и от нагретого катализатора с двумя стадиями горения – внутри ПКРВ и выход пламени. В целях оптимизации экспериментальной программы в силу стохастичности поджига частицей возможность образования этих частиц исследуется в маломасштабной установке.

Разработана типовая экспериментальная программа, направленная на получение данных по целому комплексу исследуемых характеристик и режимов взаимодействия рекомбинатора с окружающей средой, соответствующих аварийным условиям на АЭС с ВВЭР. Она включает эксперименты при разных температурах насыщенного паром среды, обеднение по кислороду, относительной влажности, эксперименты в режимах РИС, РИП, разной СРКВ, от состояния катализатора и режима взаимодействия ПКРВ с внешним газовым потоком.

Проведена отработка экспериментальных методов для серийного ПКРВ – РВК-500 [2]. Методика может быть использована при разработке стандартов по рекомбинаторам водорода, при квалификационных, сертификационных испытаниях рекомбинаторов, для независимого контроля продукции, для валидации расчетных моделей ПКРВ, применяемых для обоснования водородной безопасности. Методика в дальнейшем будет расширена для ресурсных испытаний ПКРВ, испытаний в условиях воздействия загрязняющих поверхность веществ, борной кислоты, аэрозолей, монооксида углерода и др.

Список использованных источников:

1. Bezgodov E., Davletchin Yu., Kryukov V. et. al. Start-up behavior and the ignition limit of passive hydrogen recombiners with various catalytic elements // Nucl. Eng. Des., 2022. V. 389. № 111664.
2. Bezgodov E.V., Nikiforov M.V., Pasyukov S.D. al. Experimental results for RVK-500 recombiner tested in conditions typical for pressurized water NPP severe accidents // Nucl. Eng. Des., 2024. V. 422. № 113157.

ВИДОИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, ПРИХОДЯЩИХ НА СОСТАВНЫЕ УЗЛЫ КОНСТРУКЦИИ

Боровский И.О., Минаев И.В., Никульшин М.В., Табатчиков А.А.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
M.V.Nikulshin@vniitf.ru

При разработке новых видов вооружения параметры механических нагрузок, испытываемых составными узлами изделия в ходе его эксплуатации и применения, как правило, неизвестны. Данные по механическим нагрузкам, действующим на составные узлы изделия, формируются разработчиком изделия на основании максимально возможных величин механических нагрузок для изделий-аналогов, полученных в ходовых испытаниях, либо, при отсутствии таковых – в соответствии с действующими стандартами и т.п. При этом зачастую разработчиком изделия не учитывается видоизменение параметров механических нагрузок, испытываемых составными узлами изделия, которое связано с конструктивными особенностями, как самого изделия, так и элементов крепления в нем составных узлов.

В работе приведены результаты расчетных и экспериментальных исследований видоизменения параметров механических нагрузок, приходящих на составные узлы изделия при действии вибрационных и виброударных нагрузок, а также жесткостных и динамических характеристик изделия и его составных узлов.

Ключевые слова: составной узел изделия, элементы крепления узла, вибрационное воздействие, жесткостная характеристика, параметры механических нагрузок, динамический отклик.

CHANGE IN PARAMETERS OF MECHANICAL STRESSES AFFECTING THE MULTICOMPONENT DESIGN ASSEMBLIES

Borovsky I.O., Minaev I.V., Nikulshin M.V., Tabatchikov A.A.
Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics», Snezhinsk, Russia
M.V.Nikulshin@vniitf.ru

When new types of weapons are developed, parameters of mechanical stresses affecting the multicomponent assemblies of these devices during their operation and application are usually unknown. To assess the mechanical stresses affecting the multicomponent assemblies of a new device, the developer uses the data on maximum possible levels of mechanical stresses experienced by the analogous devices during their running trials or, in the absence thereof, in accordance with the existing standards and other similar regulations. At that, the developer often fails to take into account the change in parameters of mechanical stresses experienced by the multicomponent assemblies of this device due to design features of both the device and the fixing elements that fasten together multicomponent assemblies of the device.

The paper presents computational and experimental data on the change in parameters of mechanical stresses affecting the multicomponent assemblies of the device subjected to vibrations and vibrational shocks, as well as stiffness and dynamic properties of the device and its multicomponent assemblies.

Keywords: device multicomponent assembly, assembly fixing elements, vibration action, stiffness property, mechanical stresses parameters, dynamic response

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ОТСЕКА ХРАНИЛИЩА СРЕДНЕАКТИВНЫХ ОТХОДОВ ЦЕМЕНТНЫМ КОМПАУНДОМ

Быков А.А.

ФГУП ПО «Маяк», Озерск, Челябинская обл.

cpl@po-mayak.ru

Аннотация. Радиационная безопасность при заполнении отсека комплекса цементирование среднеактивных отходов обеспечивается не превышением допустимых температур для цементного компаунда и конструктивных элементов сотово-ячеистой системы хранения.

В настоящей работе приведены результаты численного моделирования распределения температуры в цементном компаунде при заполнении сотово-ячеистой системы хранения среднеактивных отходов одиночного отсека комплекса цементирование, результаты стационарного теплового расчета полностью заполненного отсека хранилища для расчетного объемного энерговыделения, связанного с распадом радионуклидов, входящих в состав среднеактивных отходов.

По результатам моделирования рекомендован оптимальный режим заполнения хранилища порциями 0,5 м³ цементного компаунда, сливаемыми раз в 15 минут с последующей выдержкой в течение пяти суток после заполнения каждого яруса. Данный режим обеспечивает не превышение регламентирующих значений температуры.

Ключевые слова: среднеактивные отходы, численное моделирование, теплофизика, сотово-ячеистая, цементный компаунд

NUMERICAL SIMULATION OF FILLING AN INTERMEDIATE-LEVEL WASTE STORAGE COMPARTMENT WITH CEMENT COMPOUND

A.A. Bykov

FSUE Mayak Production Association, Ozyorsk, Chelyabinsk region.

cpl@po-mayak.ru

Abstract. When filling a compartment of the intermediate-level waste cementation complex, radiation safety is ensured by keeping temperatures of cement compound and of structural elements of the honeycomb cellular storage system within their permissible limits.

The paper presents the results of numerical simulation of cement compound temperature distribution during filling the honeycomb cellular storage system for intermediate-level waste of a single compartment of the cementation complex as well as the results of stationary thermal behavior calculations performed for a completely filled storage compartment to obtain the design volumetric energy release associated with the decay of radionuclides contained in intermediate-level waste.

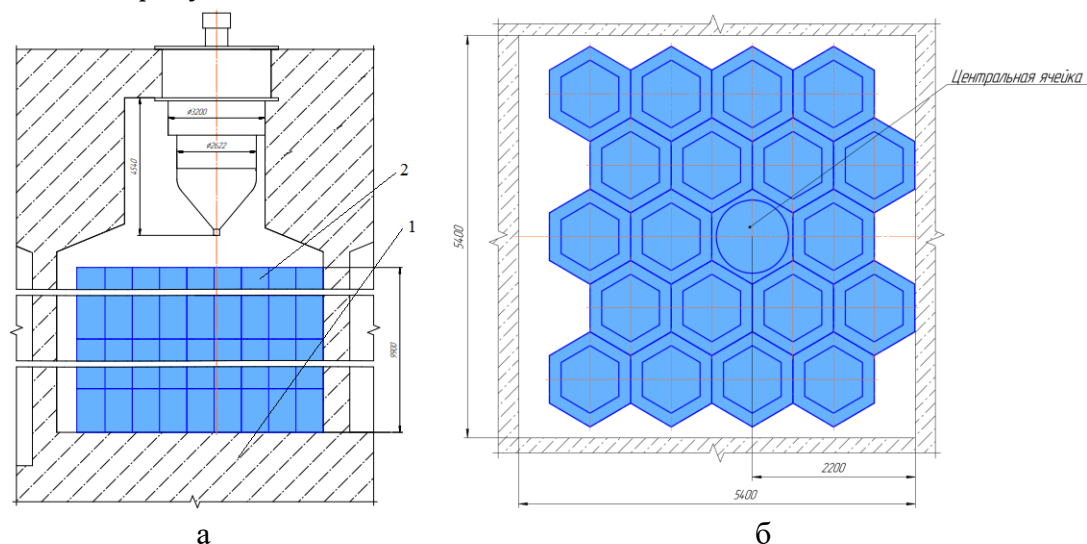
Based on the simulation results, the optimal storage filling mode is recommended which consists of adding cement compound in portions of 0.5 m³, their draining every 15 minutes and subsequent 5-day cooling when filling of each tier is completed. This mode ensures that temperature values are kept within the specified limits.

Keywords: intermediate-level waste, numerical simulation, thermal physics, honeycomb cellular, cement compound

В настоящее время на ФГУП ПО «Маяк» разрабатывается проект захоронения жидких среднеактивных отходов (далее САО). Проект предусматривает заполнение цементным компаундом, содержащим жидкие САО, отсека хранилища, с последующим его отверждением. Твердение цементного компаунда сопровождается разогревом за счет экзотермической реакции гидратации вяжущего. Поэтому, требуется подобрать режим

заполнения хранилища таким образом, чтобы исключить возможность разогрева цементного компаунда до температур, ведущих к разрушению структуры отвержденных САО и ослаблению конструкционных материалов.

Система хранения представляет собой наборную конструкцию из 220 ячеек высотой в 11 ярусов, каждый ярус состоит из 20 сот-ячеек, материал изготовления ячеек – гомополимер полипропилена. Полный объем системы хранения – 198 м³. Рисунок отсека хранилища цементного компаунда в вертикальном и горизонтальном разрезе представлен на рисунке 1.



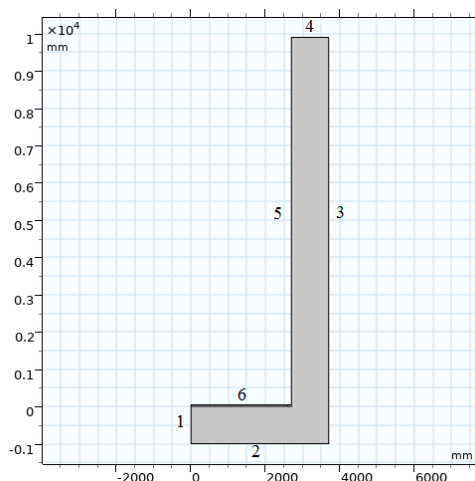
а – вертикальный разрез; б – горизонтальный разрез

1 – бетонное основание отсека хранилища; 2 – сотово-ячеистая система хранения цементного компаунда

Рисунок 1 – Рисунок хранилища цементного компаунда

Заполнение сотово-ячеистой системы хранения цементным компаундом предполагается порциями 0,5 м³, сливаемыми раз в 15 минут с последующей выдержкой в течение пяти суток после заполнения каждого яруса.

Расчетная модель отсека хранилища представлена на рисунке 2. Обоснование выбора данной модели, математическая модель расчета при непрерывном заполнении хранилища приведены в работе [3].



1 – ось симметрии; 2 – нижняя торцевая стенка отсека; 3 – внешняя боковая стенка отсека; 4 – верхняя торцевая стенка отсека; 5 – внутренняя боковая стенка отсека; 6 – дно отсека

Рисунок 2 – Расчетная модель хранилища в осесимметричной постановке

При построении математической модели тепловых процессов в отсеке хранилища использовались описанные ниже упрощения и граничные условия:

1. Цементный компаунд и сотово-ячеистая система хранения рассматривалась как гомогенное вещество с эффективной теплопроводностью:

$$\lambda_{eff} = \frac{\sum \delta_i}{\sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}}, \quad (1)$$

где δ_i – толщина i -го слоя многослойной стенки, м;
 λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя многослойной стенки.

2. На внешних стенках отсека – границы 3, 4 и верхнем слое цементного компаунда – граница 6, задавались условия конвективного теплообмена с окружающей средой. Начальная температура отсека и окружающей среды принята равной 20 °C.

3. На нижней торцевой стенке отсека – граница 2, консервативно заданы условия отсутствия теплообмена.

4. Движение верхней границы 6 цементного компаунда задавалось параметрическим изменением геометрии расчетной области. Шаг соответствовал высоте заливки одной порции цементного компаунда.

5. Энерговыведение в цементном компаунде задавалось суммой энерговыведений: за счет распада радионуклидов входящих в состав CAO и за счет экзотермической реакции гидратации вяжущего цементной смеси:

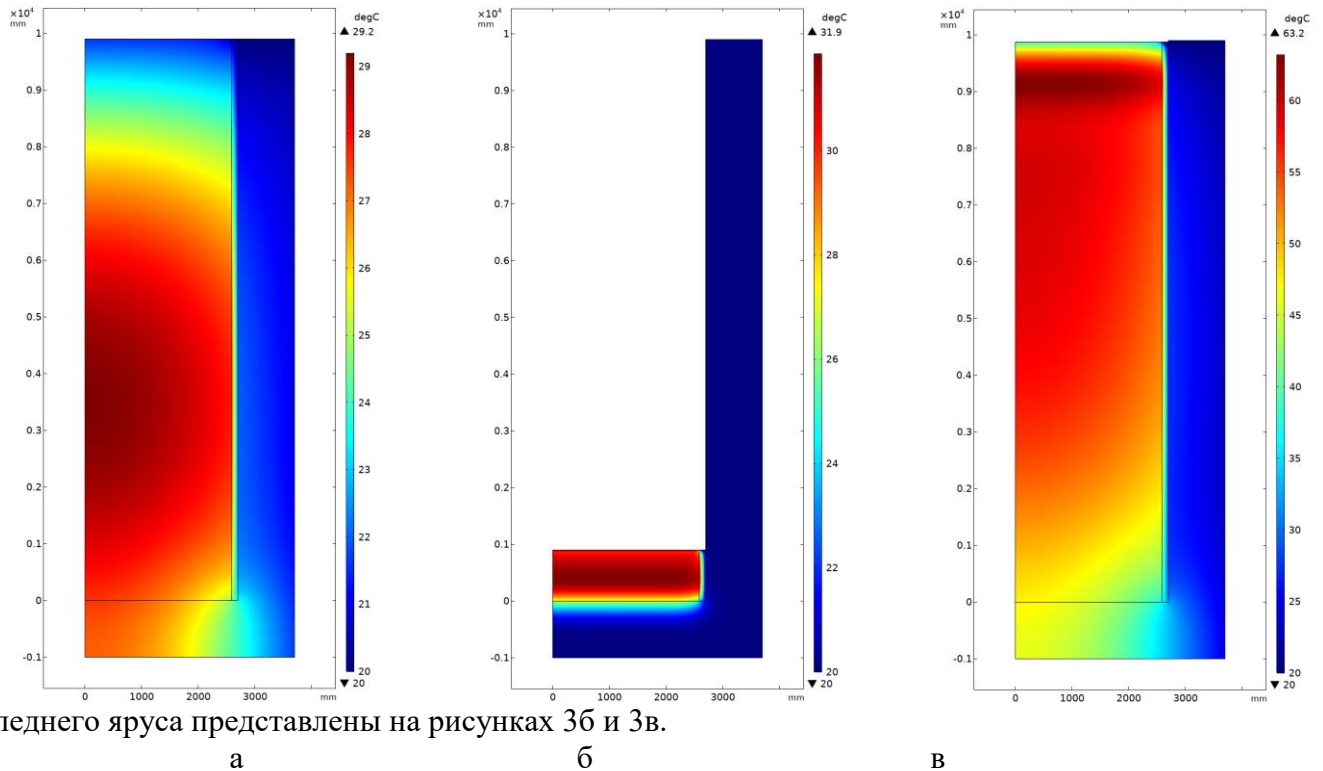
$$q_v = q_{active} + q_{exo}, \quad (2)$$

где q_{active} – объемное энерговыведение радионуклидов, Вт/м³;
 q_{exo} – объемное энерговыведение экзотермической реакции, Вт/м³.

6. Для стационарного расчета энерговыведение в цементном компаунде задавалось энергией распада радионуклидов входящих в состав CAO – q_{active} , Вт/м³.

Моделирование выполнено в программном комплексе Comsol Multiphysics 4.2a [1].

Результаты стационарного теплового расчета приведены на рисунке 3а, результаты теплофизического расчета во время заполнения отсека цементным компаундом для первого и



последнего яруса представлены на рисунках 3б и 3в.

а – стационарный расчет, б – заполнение первого яруса, в – заполнение последнего яруса.

Рисунок 3 – Результаты численного моделирования

Результаты численного моделирования подтвердили безопасность выбранного режима выполнения технологических операций по заполнению отсека хранения САО, а также эксплуатацию отсека в течение длительного периода времени. Расчетная температура цементного компаунда и бетонного основания не превышает предельно допустимую температуру 90 °С для цемента и 105 °С для конструкционного материала гомополимера полипропилена в любой момент времени осуществления технологических операций.

Использованные источники:

1. Comsol Multiphysics 4.2a. Лицензия № 17073360.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. – Москва: Издательство АСВ, 2003. – 500с.
3. Понькин, Е. Результаты численного моделирования разогрева отсека хранилища среднеактивных отходов в ходе заполнения цементным компаундом. / Е. Понькин, П. Козлов, О. Слюнчев, К. Кирьянов // Вопросы радиационной безопасности. – 2011. – № 4 (64) – с. 11 – 17.
4. Уонг Х. Основные формулы и данные по теплообмену для инженеров : пер. англ. Справочник / Х. Уонг – Москва: Атомиздат, 1979. – 219 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ДЕЗАКТИВАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЛЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Габбасова Н.Р., Кузнецова Н.А., Сахненко О.А.

ФГУП «Производственное объединение «Маяк», Озерск, Челябинская область
cpl@po-mayak.ru

В работе рассмотрен процесс проведения высокотемпературной дезактивации (далее – ВТД). Исследовано влияние температуры процесса ВТД, продолжительности обработки, а также состава солевой композиции на эффективность дезактивации образцов, загрязненных в реальных условиях. Оценено поведение отдельных радионуклидов в процессе высокотемпературной дезактивации. Определены коррозионные потери нержавеющей стали в зависимости от температуры и продолжительности обработки.

Ключевые слова: дезактивация, высокотемпературная дезактивация, солевые композиции, сульфатнохлоридные смеси, радиоактивное загрязнение, коэффициент дезактивации

SIMULATION OF HIGH-TEMPERATURE DECONTAMINATION BASED ON USING SALT COMPOSITIONS

Gabbasova N.R., Kuznetsova N. A., Kozina Yu.V.

FSUE Mayak Production Association, Ozyorsk, Chelyabinsk region
cpl@po-mayak.ru

The paper considers the process of high-temperature decontamination (hereinafter referred to as HTD). Effects of HTD temperature, treatment duration as well as salt composition on the efficacy of decontamination of samples contaminated in real conditions have been investigated. Behavior of some radionuclides during HTD process has been evaluated.

Keywords: decontamination, high-temperature decontamination, salt compositions, sulphate-chloride mixtures, radioactive contamination, decontamination factor

На ФГУП ПО «Маяк» достаточно масштабно и эффективно для отмывки емкостного и крупногабаритного оборудования используются жидкостные методы дезактивации и их модификации. Для очистки локальных участков загрязнений оборудования, поверхностей помещений, строительных конструкций зданий и сооружений применяются «сухие» методы дезактивации с помощью пленкообразующих композиций. В середине 80-х годов был разработан высокотемпературный метод дезактивации. Данный метод имел очевидные достоинства, а именно: высокую эффективность и небольшое количество образующихся вторичных радиоактивных отходов, однако, широкого распространения он не получил ввиду высокой энергоемкости.

Наиболее эффективным является способ высокотемпературной дезактивации с применением различных солевых композиций. Существует несколько способов нанесения смесей на загрязненную поверхность: погружение в смесь расплавленных солей, нанесение солевых композиций на поверхность и дальнейший расплав в печи, система «пламенного впрыскивания» [1]. С учетом технических возможностей, наиболее доступным на сегодняшний день является метод высокотемпературной дезактивации, в котором солевые композиции наносят на металлические поверхности в виде обмазок, паст или сухих составов.

Было принято решение смоделировать данный метод на образцах металлических отходов радиохимического производства ФГУП «ПО «Маяк». Он и был принят за основу для оценки возможности дезактивации металлических изделий и технологической оснастки [2].

Для отработки режимов высокотемпературной дезактивации использовали образцы стали марки 12X18H10T, находившиеся в выпарном аппарате. За время выдержки в оборудовании образцы контактировали не только с технологическими средами, но и со штатными дезактивирующими растворами. В качестве солевых композиций выбрали смеси, состав которых указан в таблице 1.

Солевая композиция	Состав, %			
	Na ₂ SO ₄	NaCl	KCl	K ₂ SO ₄
№ 1	25	25	25	25
№ 2	-	40	-	60

Табл.1 – Состав солевых композиций

Дезактивацию образцов проводили в муфельной нагревательной печи марки МП-2УМ. Перед помещением в печь на образцы последовательно наносили пленкообразующий состав 12 % - поливиниловый спирт толщиной 1-2 мм, а затем солевые композиции, предварительно измельчив и перемешав их в нужных пропорциях. После выдержки в печи в течение 10-30 мин, охлаждения образцов и отделения окалина в воде, сушки, проводили контроль остаточного уровня загрязненности поверхности. При проведении опытов варьировали различные параметры проведения дезактивации: температура (рис.1) и время проведения (рис.2). За результат принимали среднее значение трех измерений. В качестве основного показателя эффективности дезактивации использовали величину (долю) остаточного загрязнения образцов в процентах, рассчитанную как отношение загрязнения образцов до и после обработки.

Также проводились коррозионные испытания. Коррозионные потери оценивали по потере массы с единицы площади образца за время выдержки в муфельной печи. Результаты представлены в таблице 2.

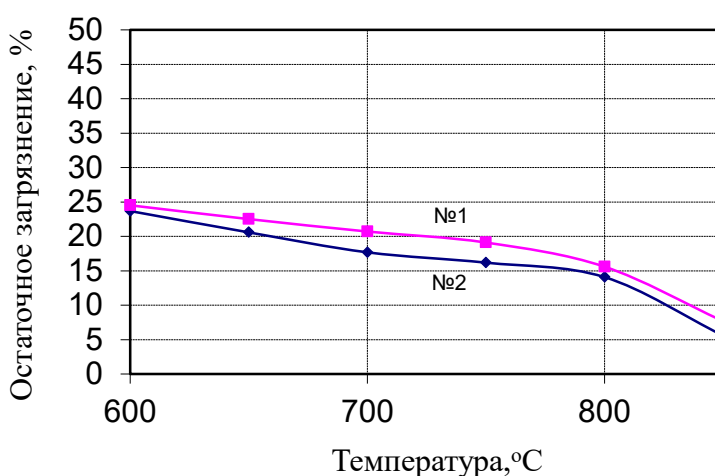
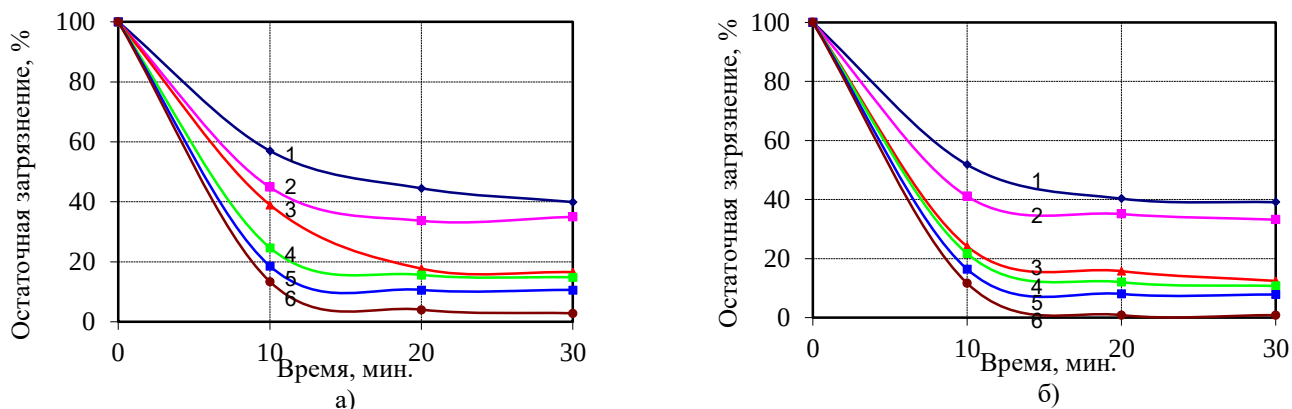


Рис.1 – Результаты ВТД при различных температурах проведения опыта

Анализируя полученную зависимости можно сделать вывод, что обе солевые композиции близки по эффективности. С увеличением температуры повышается и эффективность дезактивации. Так, при максимальной температуре 850°C остаточное загрязнение составило от 5,6 % до 7,7 % для бета-излучающих радионуклидов (от 4500 до 6500 част./ (см²·мин)). Однако, за один цикл, равный 20 мин дезактивировать образцы до допустимых значений не удалось даже при температуре 850°C.

С целью оценки эффективности удаления отдельных радионуклидов с загрязненных поверхностей проведен гамма-спектральный анализ исходных загрязнений, находящихся на поверхности образцов и окалина образовавшейся после двух циклов дезактивации (рис.3).

Анализируя результаты, представленные на рисунке 2, можно констатировать, что при всех исследуемых температурах дезактивация проходит неравномерно. Особенно активно процесс идет в течение первых 10 минут, затем скорость постепенно снижается и к 15-ти минутам практически стабилизируется.



1- 600°C; 2- 650°C; 3- 700°C; 4- 750°C; 5- 800°C; 6- 850°C

Рис.2 - Влияние времени обработки на эффективность дезактивации составом а) № 1; б) № 2

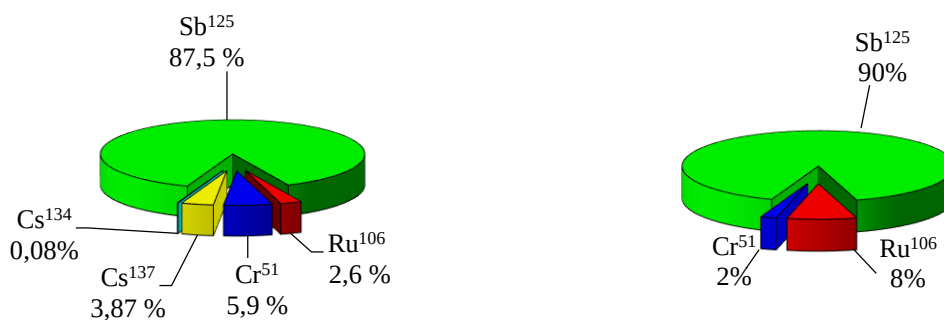


Рис.3 Гамма-спектральный состав загрязнений, находящихся а) на поверхности исходных образцов; б) в окалине

Из приведенных на рисунке 3 данных следует, что основным радионуклидом, определяющим загрязненность исследуемых образцов, является Sb-125, вклад остальных радионуклидов сравнительно невелик. Данный радионуклид почти полностью перешёл в окалину.

Солевая композиция	Условия проведения опыта	Убыль массы образца, г/м ²	
		1 цикл	2 цикл
№1	T = 850°C	726,9	132,7
№2	20 минут	528,7	151,1

Табл.2 – Результаты коррозионных испытаний

Анализ результатов из таблицы 2 показывает, что разница в скоростях коррозии между двумя солевыми композициями незначительна.

В результате проведения работы было установлено, что при использовании сухой солевой композиции, состоящей из хлорида натрия и сульфата калия за один цикл дезактивации при температуре 850°C удаляется до 95 % радионуклидов. Для полной дезактивации необходимо проведение двух циклов ВТД. В результате дезактивации образуются твердые радиоактивные отходы в количестве, не превышающем 0,1 % от веса обрабатываемых материалов.

Использованные источники:

1. Высокотемпературная дезактивация металлических отходов: пособие/ сост.: Мамаев Л.А., Храбров С.Л. – Москва, 2001. – 8 с.
2. Оценка эффективности высокотемпературного метода дезактивации: отчёт сост.: Пранкович Д.М., Фетисов И.В. – Озерск, 2001. – 28 с.

ПОСТАНОВКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ДЛЯ КАЛИБРОВКИ КИНЕТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЕТОНАЦИИ

Глущенко А.Г., Шишкин Н.Я., Горопашный Я.М., Лобачев А.С., Аверин А.Н.,
Грибанов Д.А., Долгих С.М., Гармашев А.Ю.

*Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский
Федеральный Ядерный Центр – Всероссийский НИИ технической физики
имени академика Е.И. Забабахина», г. Снежинск*

Представлена постановка и реализация газодинамических экспериментов, в каждом из которых реализуются недосжатый, нормальный и пересжатый режимы детонационного превращения. Проведены экспериментальные исследования развития и распространения детонационного процесса в ВВ на основе октогена при его одновременном задействовании четырьмя инициаторами из ВВ на основе тэна. В работе представлена эволюция формы детонационного фронта, полученная при вариации толщин ВВ на основе октогена от 5 до 30 мм. Определены границы перехода регулярного режима взаимодействия к нерегулярному, сопровождающемуся образованием волны Маха, при двойном и четверном столкновениях детонационных волн, а также величина разгонного участка детонационного фронта в ВВ на основе октогена под инициаторами из ВВ на основе тэна.

Ключевые слова: ВЗРЫВЧАТОЕ ВЕЩЕСТВО, ДЕТОНАЦИОННАЯ ВОЛНА, ВОЛНА МАХА, ОКТОГЕН, ТЭН.

FORMULATION AND IMPLEMENTATION OF GAS DYNAMIC EXPERIMENTS FOR CALIBRATION OF KINETIC DETONATION MODELS

A.G. Glushchenko, N.Ya. Shishkin, Ya.M. Goropashny, A.S. Lobachev, A.N. Averin,
D.A. Gribanov, S.M. Dolgikh, A.Yu. Garmashev

*Federal State Unitary Enterprise "Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute
of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin, Snezhinsk*

The paper presents the formulation and implementation of gas dynamic experiments, each of which implements under-compressed, normal and over-compressed modes of detonation transformation. Experimental studies have been conducted on the development and spread of the detonation process in an octogen-based explosive when four initiators from an explosive based on ten simultaneously activate it. The paper presents the evolution of the detonation front shape obtained by varying the thickness of an octogen-based explosive from 5 to 30 mm. The boundaries of the transition from a regular mode of interaction to an irregular one, accompanied by the formation of a Mach wave, during double and quadruple collisions of detonation waves, as well as the size of the acceleration section of the detonation front in an octogen-based explosive under the initiators of an explosive based on ten.

Keywords: EXPLOSIVE, DETONATION WAVE, MACH WAVE, OCTOGEN, TEN.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие особое внимание уделяется вопросам адекватного численного моделирования физических процессов. В частности, в задачах газовой динамики при моделировании детонации взрывчатых веществ (ВВ) зачастую используются уравнения состояния продуктов взрыва (ПВ) совместно с рядом эмпирических подгоночных параметров, подбираемых по специально поставленным газодинамическим экспериментам, что значительно уменьшает область применения таких моделей. Разработка моделей, корректно учитывающих кинетику детонационного превращения ВВ, позволяет использовать их для широкого круга прикладных задач. Для калибровки таких моделей полезно иметь экспериментальные данные по параметрам детонационного превращения ВВ в

нестационарных режимах, т.е. в режимах, в которых временные производные плотности, давления и скорости отличны от нуля. Таким режимам детонации соответствуют недосжатые и пересжатые ДВ [1].

В настоящей работе представлена постановка и реализация газодинамических экспериментов, в каждом из которых реализуются недосжатый, нормальный и пересжатый режимы детонационного превращения.

ПОСТАНОВКА ЭКСПЕРИМЕНТОВ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для инициирования детонации диска из ВВ на основе октогена в экспериментах использовались четыре цилиндрических столбика $\varnothing 8 \times 10$ мм из пластичного ВВ на основе тэна. На рисунке 1 представлена схема постановки экспериментов.

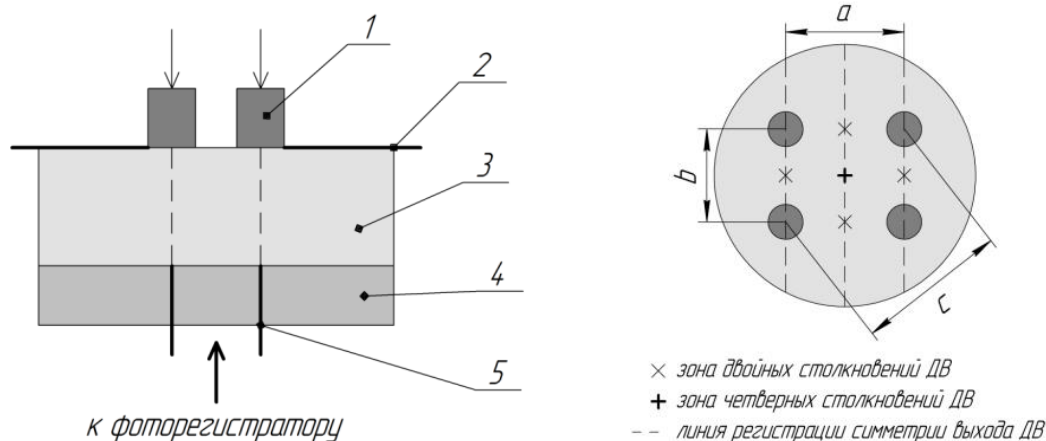


Рисунок 1 – Схема постановки экспериментов:

1 – иницииатор из пластичного ВВ $\varnothing 8 \times 10$ мм, 2 – волоконно-оптический датчик; 3 – диск из ВВ на основе октогена $\varnothing 60$ мм; 4 – диск из оргстекла; 5 – волоконно-оптический датчик.

В опытах с помощью сверхскоростных фотохронографов регистрировалась симметрия выхода ДВ на границу диска из ВВ на основе октогена, противоположную плоскости инициирования. Для этого поверхность диска из ВВ на основе октогена через воздушный зазор граничила с оргстеклянным диском, сокращающим длительность регистрируемого свечения вследствие помутнения оргстекла от ударно-волнового воздействия [2]. Такая постановка позволяет реализовать в одном эксперименте следующие режимы детонационного превращения ВВ на основе октогена:

- 1) недосжатый режим: под относительно слабыми инициирующими столбиками из ВВ на основе тэна вблизи границы инициирования;
- 2) нормальный режим: под относительно слабыми инициирующими столбиками из ВВ на основе тэна на некоторой глубине от границы инициирования;
- 3) пересжатый режим: в областях двойного и четверного взаимодействия ДВ.

При этом в областях взаимодействия нескольких ДВ форма фронта не описывается простыми волнами с применением принципа Гюйгенса. При определенных углах столкновения ДВ регулярный режим их взаимодействия переходит к нерегулярному с образованием волны Маха [3-5] распространяющейся между сталкивающимися фронтами ДВ.

Регистрация симметричных профилей детонационного фронта осуществлялась:

- по линиям «инициатор-двойные столкновения» (крайние линии рисунок 1 справа);
- по линии «двойные-четверные столкновения» (средняя линия рисунок 1 справа).

В опытах также регистрировались:

- времена выхода ДВ на наружную поверхность каждого иницииатора на границе с диском из ВВ на основе октогена с помощью волоконно-оптических датчиков (2);
- времена выхода ДВ на границу диска из ВВ на основе октогена под проекцией центра каждого иницииатора с помощью волоконно-оптических датчиков (5).

Регистрация сигналов волоконно-оптическими датчиками осуществлялась парой фотодиод-осциллограф в аналоговом виде. По разнице средних времен срабатывания волоконно-оптических датчиков (2) и (5), с учетом временной поправки на кривизну детонационного фронта в инициаторах, определенной в специальной серии экспериментов, оценивалась средняя скорость детонационного превращения диска из ВВ на основе октогена.

В итоге проводилась серия из 6 экспериментов, в которых варьировалась толщина диска из ВВ на основе октогена: от 5 мм до 30 мм с шагом 5 мм. В таблице 1 представлены основные параметры использованных в экспериментах ВВ, а также геометрические параметры сетки расположения инициаторов.

Таблица 1

Основные параметры ВВ

ВВ	ВВ на основе тэна	ВВ на основе октогена
ρ_0 , г/см ³	1,52	1,87
$D_{\text{дет.}}$, км/с	7,8	8,6
УРС «холодного ВВ»	$D = 1,27 + 1,85U$	$D = 2,52 + 2,21U - 0,24U^2$
a, мм	13,20	-
b, мм	9,30	-
c, мм	16,15	-

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На графиках зависимости рисунка 2 представлена эволюция симметричных профилей детонационного фронта в ВВ на основе октогена под инициаторами из пластичного ВВ на основе тэна, расположенными по прямоугольной сетке 13,2×9,3 мм. Сплошная кривая соответствует усредненному по крайним линиям регистрации (см. рисунок 1 справа) симметричному профилю детонационного фронта. Пунктирная кривая – симметричному профилю детонационного фронта, соответствующему центральной линии регистрации (см. рисунок 1 справа).

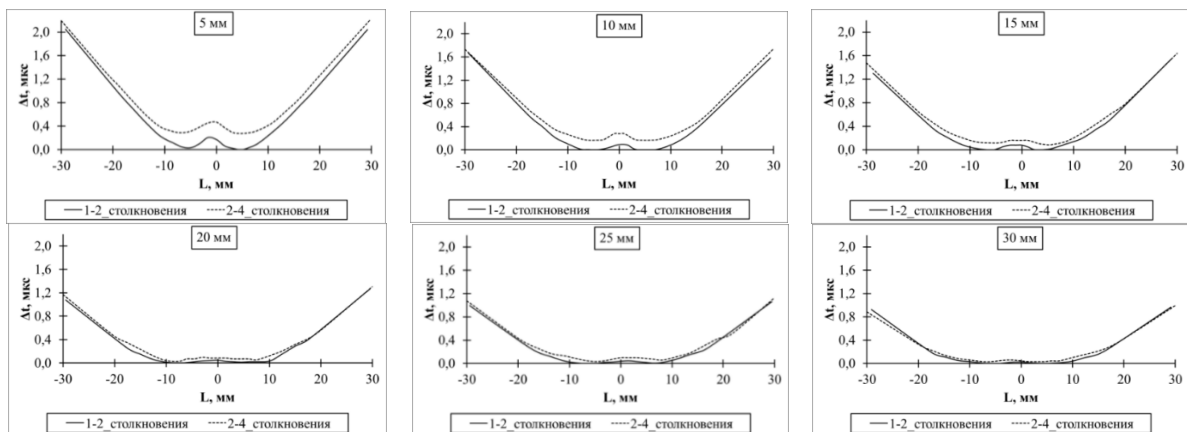


Рисунок 2 – Симметричные профили детонационного фронта под инициаторами из пластичного ВВ на основе тэна на разных базах измерений

Иницирование ВВ на основе октогена реализуется непосредственно под центром инициаторов. Отставание детонационного фронта в зоне взаимодействия двух ДВ с увеличением толщины ВВ экспоненциально уменьшается с 0,21 мкс до 0,03 мкс на линии «1-2 столкновения» и с 0,29 мкс до 0,03 мкс на линии «2-4 столкновения». Отличие связано с разницей путей до зоны двойных столкновений вследствие использования прямоугольной сетки расположения инициаторов (см. рисунок 1 справа и таблицу 1). Отставание детонационного фронта в зоне взаимодействия четырех ДВ с увеличением толщины ВВ экспоненциально уменьшается с 0,47 мкс до 0,06 мкс. На рисунке 3а представлены графики этой зависимости.

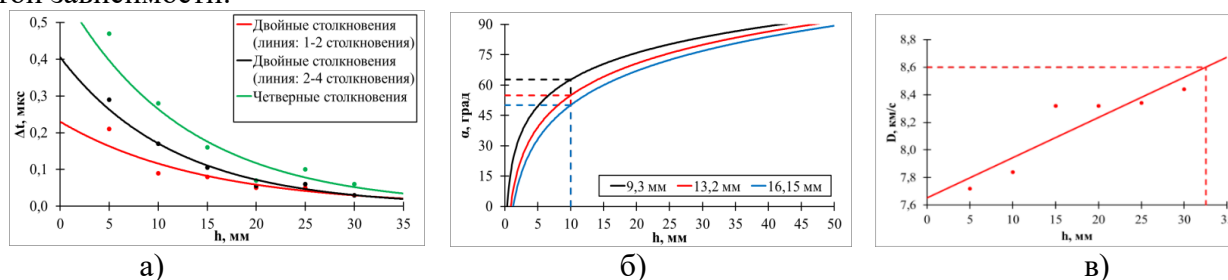


Рисунок 3 – а) Отставание детонационного фронта в зонах взаимодействия ДВ; б) – Зависимость угла взаимодействия ДВ от толщины ВВ на основе октогена; в) – Средняя скорость взрывчатого превращения ВВ на основе октогена под инициаторами из ВВ на основе тэна

Характерная для маховской волны ножка Маха – плоский участок детонационного фронта, образующийся в зоне взаимодействия ДВ – была зарегистрирована при толщинах ВВ на основе октогена 10 мм и 15 мм, как при двойном, так и при четверном столкновениях ДВ (см. рисунок 2). На рисунке 3б представлены графики зависимости угла взаимодействия ДВ от толщины ВВ на основе октогена для расстояний между инициаторами, реализованных в данной геометрии экспериментов (см. рисунок 1 справа и таблицу 1). Под углом взаимодействия ДВ понимается угловой размер между плоскостью взаимодействия и касательной линией, проведенной из точки пересечения фронтов ДВ.

Для двойного столкновения ДВ переход регулярного режима взаимодействия к нерегулярному, сопровождающемуся образованием волны Маха, происходит при углах $\alpha \geq 54,92^\circ$. Для четверного столкновения ДВ – при углах $\alpha \geq 50,11^\circ$. При толщинах ВВ, больших 15 мм, образованная маховская волна догоняет опережающие участки детонационного фронта.

На рисунке 3в представлена зарегистрированная в экспериментах зависимость средней скорости взрывчатого превращения ВВ на основе октогена от его толщины под инициаторами из ВВ на основе тэна.

Изменение средней скорости взрывчатого превращения ВВ на основе октогена под инициаторами из ВВ на основе тэна аппроксимировалось линейной зависимостью. По ней оценивалась величина разгонных участков детонации, т.е. значение толщины слоя из ВВ на основе октогена, с которой детонация начинает распространяться стационарно (см. таблицу 1). Для инициаторов из ВВ на основе тэна разгонный участок детонации составил $\sim 32,5$ мм.

ВЫВОДЫ

В работе представлена постановка и реализация газодинамических экспериментов, в каждом из которых реализуются недосжатый, нормальный и пересжатый режимы детонационного превращения.

Получена эволюция временных профилей детонационного фронта, образованного четырьмя расходящимися ДВ в ВВ на основе октогена. Отставание детонационного фронта в зоне столкновений ДВ экспоненциально убывает с увеличением толщины ВВ.

Для четверного столкновения ДВ угол взаимодействия ДВ, при котором наблюдается образование маховской волны, составляет $\sim 50^\circ$, для двойного столкновения ДВ $\sim 55^\circ$.

По средней скорости детонационного превращения на разных базах оценена величина разгонного участка детонации в ВВ на основе октогена под инициаторами из ВВ на основе тэна. Она составляет ~ 32,5 мм.

Полученные экспериментальные результаты могут быть использованы для калибровки моделей, учитывающих кинетику детонационного превращения ВВ.

Список литературы:

1. *Таржанов В.И.* На границах известного. Избранные труды. – Снежинск:РФЯЦ-ВНИИТФ, 2024. – 435с.ISBN 978-5-605089-4-8.
2. *Андреев С.Г., Бойко М.М., Селиванов В.В.* Экспериментальные методы физики взрыва и удара: Монография / Под ред. заслуженного деятеля науки РФ, д.т.н., профессора В.В. Селиванова. –М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 752 с.ISBN 978-5-9221-1496-7.
3. *Забабахин Е.И.* Некоторые вопросы газодинамики взрыва. – Снежинск:РФЯЦ-ВНИИТФ, 1997. – 200с.ISBN 5-85165-327-2.
4. *Семенов А.Н. и др.* //Классификация разновидностей отражения ударной волны от клина. Часть 1. Границы и области существования различных типов отражения / ЖТФ 2009г. т. 79, №4. С. 46-51.
5. *Семенов А.Н. и др.* //Классификация разновидностей отражения ударной волны от клина. Часть 2. Экспериментальное и численное исследование разновидностей маховского отражения / ЖТФ 2009г. т. 79, №4. С. 52-58.

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ПАЯНОГО СОЕДИНЕНИЯ ГЕРМОРАЗЪЕМОВ

Горбокони́н Н.В.¹, Минаев И.В.¹, Тулаева Н.Н.^{1,2}

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.,

²ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск,
Челябинская обл.

m.v.nikulshin@vniitf.ru

ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF THE SOLDER JOINT OF HERMETIC CONNECTORS

Gorbokonin N.V.¹, Minaev I.V.¹, Tulaeva N.N.^{1,2}

¹FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

²Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИТФ для проведения физических экспериментов используются проходные электрические герметичные разъемы различных типов. Герметизирующими элементами электрических вводов в корпусе герморазъема являются контактные переходы, изготовленные по технологии металlostеклянных спаев.

Работа посвящена оценке прочности элементов герморазъема, герметизация которых обеспечивается при помощи данной технологии.

В работе представлены результаты численного моделирования образования натяга вследствие охлаждения элементов паяного соединения нескольких вариантов конструкций герморазъемов.

Рассмотрено напряженно-деформированное состояние элементов паяного соединения после последовательного процесса нагрева и охлаждения.

Проведена оценка предельного давления при рассмотрении возможного скольжения элементов друг относительно друга в ослабленном сечении, а также при возникновении обширных областей пластической деформации в силовых элементах герморазъемов.

Ключевые слов: герморазъем, гермопереход, паяное соединение, металlostеклянный спай, численное моделирование, натяг, прочность

**ВАЛИДАЦИЯ МОДЕЛЕЙ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ
ПО УДАРНОМУ НАГРУЖЕНИЮ КРЕШЕРНЫХ СИСТЕМ**

Доценко В.В., Жабунина О.Ю., Лушина Ю.Ю., Никульшин М.В.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
M.V.Nikulshin@vniitf.ru

В работе выполнена валидация моделей материалов для креперных систем – конус-крепера из сплава АМгб и вкладыш-крепера из пенопласта ПС-1, на основе результатов ударных испытаний. В ходе численного моделирования ударного нагружения креперов в программе «ЛОГОС-Прочность» и КПО исследовалось их состояние при использовании различных моделей материалов. На основе сравнения результатов расчётов с экспериментом определены модели материалов для креперов, в случае использования которых полученные расчётные данные близки к экспериментальным.

Ключевые слова: крепер, ударное нагружение, импульс ускорения, модель материала, деформированное состояние

**VALIDATION OF MATERIAL MODELS AGAINST EXPERIMENTAL DATA
ON IMPACT LOADING OF CRUSHER SYSTEMS**

Dotsenko V.V., Zhabunina O.Yu., Lushina Yu.Yu., Nikulshin M.V.
FSUE «RFNC – VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia
M.V.Nikulshin@vniitf.ru

In the work, the material models for crusher systems have been validated against the experimental results. A crusher cone made of AMg6 alloy and a crusher insert made of PS-1 foam plastic were used as crusher systems. The crusher states were investigated by numerical simulation using different material models in the LOGOS-Prochnost (LOGOS-Strength) code and commercially available software (CAS). The calculation results were compared with the experimental data, and the material models for the crushers were identified which exhibited a close agreement between the obtained calculation results and the experiments.

Keywords: crusher, impact loading, acceleration pulse, material model, deformed state

В настоящее время численный анализ прочности является неотъемлемой частью процесса проектирования конструкций. В расчётных моделях при численном моделировании состояния конструкции под действием нагрузок вводится приближённое описание механических свойств материалов, т.к. многие аспекты поведения материалов до сих пор изучены недостаточно для достоверного математического описания их поведения при внешних и внутренних воздействиях (отсутствуют уравнения состояния материалов, константы и т.п.). Для повышения точности оценки состояния конструкций требуется проведение специальных опытов на образцах материалов и валидация их моделей на основе полученных экспериментальных данных.

В данной работе рассмотрены модели упруго-пластических материалов и пеноматериалов, рекомендуемых для описания поведения металлов и пенопласта. Их валидация выполнена на базе экспериментальной отработки креперных систем.

Рассмотрены два варианта креперов (рисунок 1) – конус-крепер из сплава АМгб и вкладыш-крепер из пенопласта ПС-1.

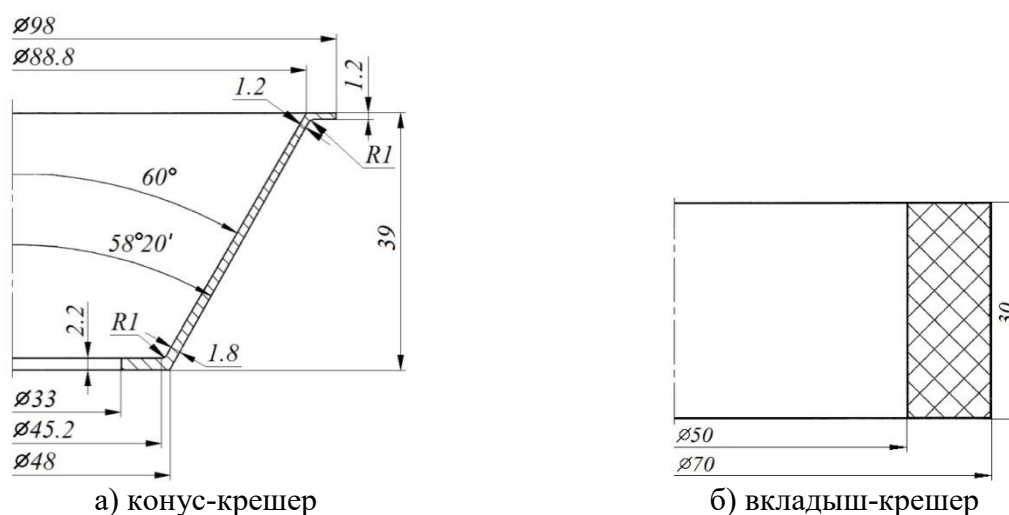


Рис. 1 Схемы крешеров

Нагружение крешеров с грузом-имитатором при проведении численных расчётов и испытаний принято в виде ударного импульса ускорения полусинусоидальной формы с амплитудой $a = 0.98 \text{ мм/мс}^2$ ($n = 100 \text{ ед.}$) длительностью $\tau = 15.3 \text{ мс}$. Испытания проводились с использованием специально разработанного экспериментального макета, в котором масса груза-имитатора составила 30 кг. Численные расчёты выполнены в программе «ЛОГОС-Прочность» версии 5.3.23.87 [1] и КПО.

В ходе выполнения расчётов исследовалось состояние крешеров в условиях действия импульса ускорения при использовании различных моделей материалов. Их валидация на основе сравнения расчётных и экспериментальных результатов ударного нагружения проведена по трём критериям:

- согласование видов деформированного состояния крешера по результатам расчётов и эксперимента;
- согласование расчётных и экспериментальных значений остаточной высоты крешера;
- согласование графиков расчётных и экспериментальных ускорений в центре массы (ЦМ) груза.

Для конус-крешера из сплава АМгб при расчётах рассмотрены следующие модели материала:

- упруго-пластическая модель с билинейной диаграммой деформирования – Plastic_kinematic;
- упрощённая упруго-пластическая модель Джонсона-Кука с параметрами в соответствии с монографией [2] – Simplified_Johnson_Cook;
- упруго-пластическая модель с кусочно-линейной диаграммой деформирования, заданной в виде диаграммы при статическом растяжении или истинной диаграммы по отчёту [3], – Piecewise_linear_plasticity.

В результате сравнения расчётных и экспериментальных данных выявлено, что наиболее близкое состояние конус-крешера к экспериментальному поведению получено в случае применения модели материала Piecewise_linear_plasticity с истинной диаграммой деформирования по отчёту [3].

Для вкладыш-крешера из пенопласта ПС-1 в расчётах использовались следующие модели материала:

- упруго-пластическая модель с кусочно-линейной диаграммой деформирования – Piecewise_linear_plasticity;
- упруго-пластическая модель с различными характеристиками на сжатие и растяжение – Plasticity_compression_tension;
- модель пористого сильно сжимаемого пеноматериала – Low_density_foam;
- модель пористого разрушаемого пеноматериала – Crushable_foam;

- модель пористого пеноматериала с учётом давления сжатого воздуха – Closed_cell_foam;
- модель ячеистых материалов и пеноматериалов – Honeycomb.

Анализ полученных результатов расчётов и испытаний позволил заключить, что при использовании рассмотренных моделей материала для пенопласта ПС-1 не удалось добиться полного соответствия результатов расчёта экспериментальным данным. Наиболее близкие к эксперименту результаты по виду деформирования и графику ускорения в ЦМ груза получены в ходе применения моделей материалов Crushable_foam – при расчётах по обеим программам, и Closed_cell_foam – при расчёте в КПО.

Таким образом, в результате выполненной валидации моделей материалов рассмотренных крешерных систем определено, что для конус-крешера из сплава АМгб расчётные и экспериментальные данные согласуются при использовании модели материала Piecewise_linear_plasticity с истинной диаграммой деформирования по отчёту [3]. А для вкладыш-крешера из пенопласта ПС-1 наибольшее соответствие результатов расчёта по виду деформирования и графику ускорения в ЦМ груза экспериментальным данным наблюдается в случаях применения моделей материалов Crushable_foam – при расчётах по обеим программам, и Closed_cell_foam – при расчёте в КПО. Валидация моделей пенопласта ПС-1 будет продолжена после получения новых экспериментальных данных.

Список использованных источников:

- 1 Руководство пользователя программного комплекса «ЛОГОС» версии 5.3.23.87.
- 2 Высокоскоростная деформация материалов различной физической природы: монография / А.М. Брагов, Л.А. Игумнов, А.Ю. Константинов, А.К. Ломунов. – Н. Новгород, 2020.
- 3 Степенная аппроксимация диаграммы деформирования и деформационный критерий прочности: Отчёт о научно-исследовательской работе / ФГУП РФЯЦ ВНИИТФ; руководитель В.М. Сысоев. – Снежинск, 2007. – ПС 07.10997/3. – Отв. исполн. Б.Г. Рубцов.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЗРЫВОПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ СОРБЦИОННОМ ИЗВЛЕЧЕНИИ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ

Дудкин В.А., Казаков В.А., Коренев С.В., Старовойтов Н.П.
ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск, Челябинская область

Методами адиабатической калориметрии исследовано термическое разложение анионита АМ-4ВП в нитратной форме. Проведена оценка взрывопожаробезопасности сорбционной системы для извлечения ценных компонентов в соответствии с нормативными требованиями РБ-125-17. Определены значения критических температур теплового взрыва и зависимости удельного газовыделения от температуры и концентрации азотной кислоты. Проведена оценка отклонений параметров технологического процесса на взрывопожароопасность сорбционной системы. Проведенные исследования позволяют рекомендовать анионит АМ-4ВП как замену ВП-1АП в основной сорбционной технологии.

Ключевые слова: сорбция, анионит, адиабатическая калориметрия, критическая температура, период индукции, взрывопожаробезопасность

ENSURING EXPLOSION AND FIRE SAFETY DURING SORPTION EXTRACTION OF VALUABLE COMPONENTS

Dudkin V.A., Kazakov V.A., Korenev S.V., Starovoitov N.P.
FSUE Mayak PA, Ozersk, Chelyabinsk region

The thermal decomposition of AM-4VP anionite in nitrate form has been studied by adiabatic calorimetry. An assessment of the explosion and fire safety of the sorption system for the extraction of valuable components was carried out in accordance with the regulatory requirements of RB-125-17. The values of the critical temperatures of the thermal explosion and the dependence of the specific gas release on the temperature and concentration of nitric acid are determined. The deviations of the technological process parameters on the explosion and fire hazard of the sorption system were evaluated. The conducted studies allow us to recommend AM-4VP anionite as a replacement for VP-1AP in the main sorption technology.

Keywords: sorption, anionite, adiabatic calorimetry, critical temperature, induction period, explosion and fire safety

В радиохимической технологии широко используются сорбционные методы выделения и разделения радиоактивных элементов с использованием анионитов. Анализ радиационных аварий в сорбционных системах с участием анионитов [1-3], которые привели к выходу радиоактивных веществ в окружающую среду и значительным материальным затратам на ликвидацию последствий аварий, показывает, что причиной разрушения сорбционных колонн и выброса их содержимых являлись экзотермические процессы взаимодействия анионита с азотнокислыми окислителями сопровождающиеся значительным тепло- и газовыделением.

На ФГУП «ПО Маяк» продолжается поиск сорбционных материалов для замены анионита ВП-1АП (снят с производства в связи с высокой токсичностью одного из компонентов синтеза), использующихся для извлечения ценных компонентов. В настоящее время перспективным сорбентом представляется макропористый анионит на основе сополимера 4-винилперидина и дивинилбензола АМ-4ВП. В соответствии с нормативными требованиями [4] возникла необходимость проведения оценки взрывопожаробезопасности сорбционного извлечения ценного компонента – плутония-238.

Для определения стартовой температуры теплового взрыва, а также определения зависимости удельного газовыделения от температуры и концентрации азотной кислоты в

сорбционной системе воспользовались методом адиабатической калориметрии при помощи адиабатического калориметра в соответствии с методом Heat Wait Search («Нагрев» - «Ожидание» - «Поиск»). В данном методе образцы сорбента в растворе азотной кислоты с молярными концентрациями 0,5, 7, 8, 10 моль/дм³ (отношение Т:Ж (твердой фазы к жидкости) равно 1,1:1,0) нагревались в титановой колбе поэтапно до начальной температуры («Нагревание») и выдерживались при ней для стабилизации («Ожидание»). За периодом стабилизации следует адиабатический период («Поиск»), во время которого ведется наблюдение за экзотермической активностью. Если скорость саморазогрева в конце периода поиска оказывается больше, чем предел обнаружения экзотермического эффекта, то система остается в адиабатическом режиме и температура образца будет увеличиваться, так как скорость химической реакции возрастает. Если скорость саморазогрева меньше предела обнаружения, то инициируется следующий этап нагрева («температурный шаг»). Обработку полученных данных проводили с использованием программного обеспечения Proteus.

Условия проведения экспериментов на адиабатическом реакционном калориметре представлены в табл. 1.

Табл. 1. Параметры проведения эксперимента

Параметр	Значение
Объем титановой колбы с образцом, см ³	9,4
Температурный диапазон, °C	от 30 до 400
Предельная температура, °C	445
Температурный шаг, °C	2,0
Предел обнаружения экзотермической реакции, °C/мин	0,02

Результат эксперимента по определению стартовой температуры теплового взрыва для образца сорбента в растворе азотной кислоты с молярной концентрацией 10 моль/дм³ представлен на рисунке 1.

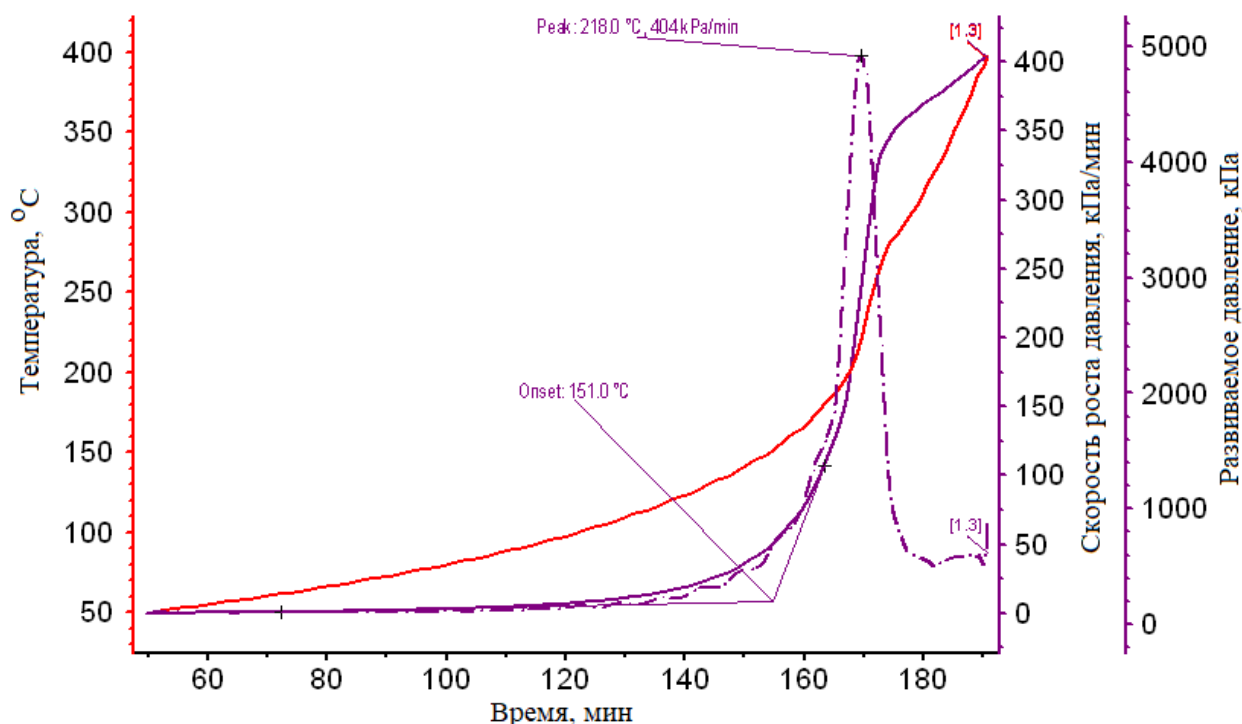


Рисунок 1 – Результаты эксперимента

На рисунке 1 приведен обнаруженный экзотермический участок от температуры 50,0 °C до 398,0 °C. В соответствии с результатами эксперимента стартовая температура

теплового взрыва составила 151,0 °С, максимальная скорость роста давления составила 404 кПа/мин при достижении критической температуры 218 °С. Результаты экспериментов для образцов сорбента в растворе азотной кислоты с молярной концентрацией 0,5, 7, 8, 10 моль/дм³ представлены в табл. 2.

Табл. 2. Результаты экспериментов

Молярная концентрация раствора, моль/дм ³	Диапазон температур экзотермической реакции, °С	Стартовая температура теплового взрыва, °С (скорость роста температуры в точке, °С/мин)	Максимальная скорость роста давления, кПа/мин при значении температуры
0,5	193-398	251,8 (4,54)	35,8 при 281,3 °С
7	49-398	179,9 (2,73)	375 при 222,1 °С
8	50-398	166,9 (2,36)	380 при 206,5 °С
10	49-397	151,0 (2,47)	404 при 218,0 °С

Зная скорость роста давления, развиваемое в титановой колбе, получили зависимость удельной объемной скорости газовыделения для образца сорбента в растворе азотной кислоты.

Результаты расчета зависимости удельной скорости газовыделения для образца сорбента в растворе азотной кислоты с молярной концентрацией 10 моль/дм³ от температуры представлены на рисунке 2.

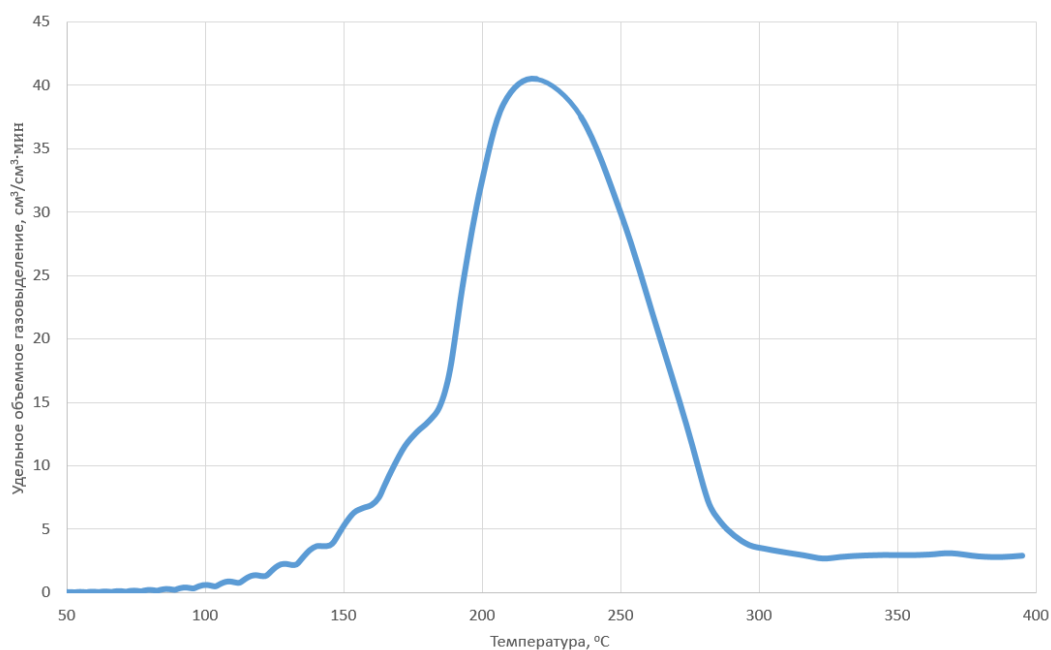


Рисунок 2 – Зависимость удельной объемной скорости газовыделения для образца сорбента в растворе азотной кислоты с молярной концентрацией 10 моль/дм³ от температуры

Результаты расчетов максимальной удельной скорости газовыделения сорбента приведены в табл. 3.

Табл. 3. Результаты расчетов

Молярная концентрация раствора, моль/дм ³	Максимальная удельная скорость газовыделения сорбента, см ³ (газа)/см ³ (сорбента) мин
0,5	2,75
7	26,0
8	30,0
10	40,5

Анализируя данные представленные в таблице 3, можно сделать вывод, что при увеличении молярной концентрации азотной кислоты максимальная удельная скорость газовыделения также увеличивается и достигает значения равного 40,5 см³/см³·мин при концентрации азотной кислоты равной 10 моль/дм³.

В ходе анализа технологического процесса определили, что наиболее опасным периодом в технологическом процессе является период времени, в течение которого отсутствует проток сорбционного раствора через сорбент, насыщенный плутонием. Охлаждение раствора и сорбента в этом случае осуществляется только посредством пропускания охлаждающей воды через «рубашку» колонны. При этом из-за низких теплопроводящих свойств сорбента происходит его разогрев до высоких температур, особенно в центральной части колонны.

Теплофизический расчет колонны проводили с учетом данных по распределению плутония по высоте колонны, а также объемному тепловыделению в слое, представленным в табл. 4.

Табл. 4. Распределение плутония и удельное объемное тепловыделение

Номер слоя	Содержание сорбированного плутония в слоях анионита, %	Удельное объемное тепловыделение в слое, Вт/м ³
1	15,5	33587
2	13,6	29470
3	13,8	29903
4	13,9	30120
5	12,3	26653
6	8,5	18418
7	6,4	13868

Для нахождения времени простоя сорбционных колонн с сорбентом (сорбционный раствор в колонну не поступает), насыщенным плутонием (продолжительность нагрева), был проведён нестационарный теплофизический расчёт (с использованием метода конечных элементов для решения уравнений теплопроводности в дифференциальной форме) при помощи программного комплекса Comsol Multiphysics. Для этого была создана осесимметричная конечно-элементная математическая модель сечения сорбционной колонны, которая включает в себя:

- геометрические размеры сорбционных колонн;
- распределение сорбированного плутония, а соответственно объемного тепловыделения по высоте колонн;
- сорбционный раствор над слоем сорбента;
- теплофизические параметры веществ;
- охлаждение колонны за счет воды в «рубашке» охлаждения.

Результаты нестационарных теплофизических расчетов представлены на рисунках 3, 4. Граничная температура для определения времени простоя принималась равной 70 °С. Максимальные температуры наблюдаются в верхней части колонн, соответствующие областям с максимальной объемной плотностью тепловыделения. Максимальное рассчитанное время простоя сорбционной колонны составило 1,6 ч.

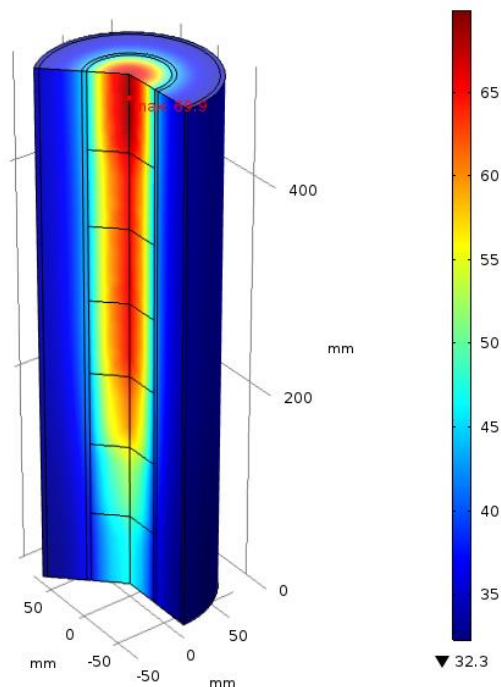


Рисунок 3 – Температурное поле сорбционной колонны при достижении температуры равной 70 °С

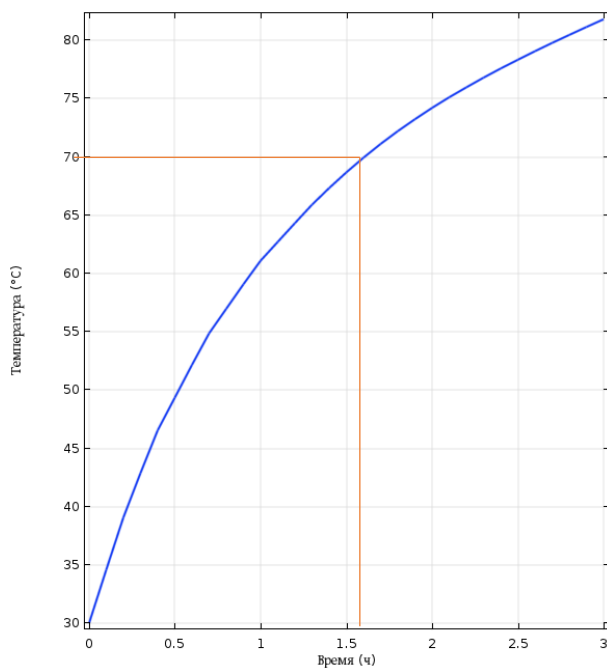


Рисунок 4 – Рост температуры в колонне при прекращении подачи сорбционного раствора

Таким образом, в настоящей работе методом адиабатической калориметрии исследовано термическое разложение анионита АМ-4ВП в нитратной форме. Определены значения критических параметров теплового взрыва и зависимости удельного газовыделения от температуры и концентрации азотной кислоты, а также проведена оценка отклонений параметров технологического процесса на взрывопожароопасность сорбционной системы.

На основании проведенных исследований считаем возможным рекомендовать применение анионита АМ-4ВП, как замену ВП-1АП в основной сорбционной технологии.

Использованные источники:

1 Milest F. W. Isot. Radiat. Technol. 1969. – Vol .6, N 4. P. 428-440.

2 Calmon C. Chem. Eng. 1980. – Vol. 87, N 23. P. 271-274.

3 Глаголенко Ю.В. Анализ причин разгерметизации сорбционной колонны на установке по получению плутония-238 радиоизотопного завода ПО «Маяк». ЦНИИАтоминформ, 1996.

4 Руководство по безопасности. Оценка взрывопожаробезопасности сорбционных систем при переработке отработавшего ядерного топлива: РБ-125-17: утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17.03.2017 № 89.

АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ТЯЖЕЛЫХ РАЗБАВИТЕЛЕЙ В РАДИОХИМИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Казаков В.А.¹, Старовойтов Н.П.¹, Монстаков Д.А.¹, Дудкин В.А.¹, Тананаев И.Г.^{1,2}

¹ФГУП «ПО «Маяк», г. Озерск, Челябинская область

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Приморский край

В работе приведены результаты исследования термической стабильности и определены параметры взрывопожаробезопасности для новых экстракционных смесей на основе фторированных разбавителей БК-1 и БК-2. Полученные результаты позволили рассчитать удельную скорость газовыделения. Показано, что новые разбавители являются стойкими к азотной кислоте. Значительные экзотермические процессы заметны лишь при концентрации азотной кислоты более 10 моль/дм³. На основании проведенных исследований сделан вывод, что применение карбонатов фторированных спиртов марок БК1 и БК-2 в качестве разбавителей ТБФ вместо углеводородных соединений (например, C₁₃) не ухудшает условий взрывопожаробезопасности технологического процесса.

Ключевые слова: экстракция, ТБФ, азотная кислота, органический разбавитель, взрывопожаробезопасность, температура вспышки, скорость газовыделения, давление

SAFETY ANALYSIS OF NEW PROMISING HEAVY DILUENTS APPLICATION IN RADIOCHEMICAL PRODUCTION

Kazakov V.A.¹, Starovoitov N.P.¹, Monstakov D.A.¹, Dudkin V.A.¹, Tananaev I.G.^{1,2}

¹ FSUE Mayak PA, Ozyorsk, Chelyabinsk region

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Primorsky Krai

The paper presents the results of a thermal stability study and determines the parameters of explosion and fire safety for new extraction mixtures based on fluorinated diluents BK-1 and BK-2. The obtained results made it possible to calculate the specific rate of gas emission and to demonstrate that the new diluents are nitric acid resistant. It has been shown that the new diluents are resistant to nitric acid. Significant exothermic processes are noticeable only at concentrations of nitric acid above 10 mol/dm³. The above study evidences that the fluorinated alcohol carbonates BK1 and BK2, used as TBP diluents instead of hydrocarbon compounds (e.g. C₁₃), do not affect negatively (или have no negative effect on) the explosion and fire safety of the technological process.

Keywords: extraction, TBF, nitric acid, organic diluent, explosion and fire safety, flash point, gas release rate, pressure

На ФГУП «ПО Маяк» продолжается поиск альтернативных органических разбавителей для экстракционных смесей на основе ТБФ, использующихся для экстракции урана либо урана и плутония в PUREX-процессе различного дизайна. В настоящее время представляют интерес два соединения класса перфторалкилкарбонатов – бис-(2,2,3,3-тетрафторпропил) карбонат (далее – БК-1) и бис-(2,2,3,3,4,4,5,5-октафторамил) карбонат (далее – БК-2) – потенциально обладающие более приемлемыми эксплуатационными показателями. Структурные формулы данных разбавителей приведены на рисунке 1 [1].

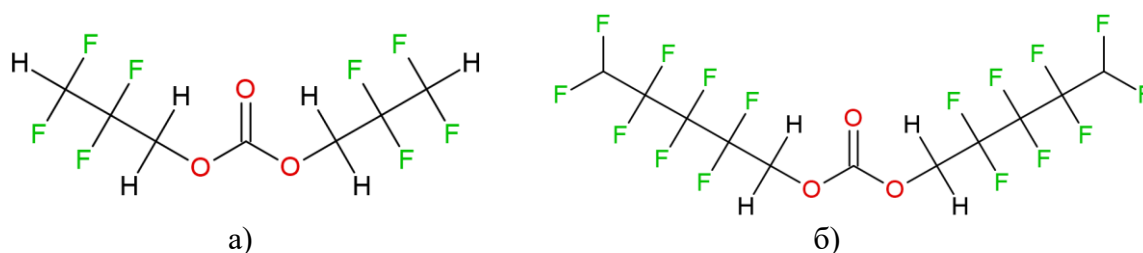


Рис. 1. Структурные формулы БК-1 (а) и БК-2 (б)

Взрыво- и пожаробезопасность (далее – ВПБ) экстракционных производств в значительной степени зависит от применяемых органических веществ – экстрагентов и разбавителей – и определяется их теплофизическими свойствами (температурами вспышки, воспламенения и самовоспламенения), а также их термической стабильностью в условиях производственного процесса. Вопросы обеспечения ВПБ применения экстракционных смесей с разбавителями БК-1 и БК-2 остаются в настоящее время недостаточно исследованными.

В настоящей работе были исследованы следующие смеси:

- смеси БК-1 или БК-2 с 5 моль/дм³ азотной кислотой;
- смеси растворов ТБФ (объемная доля 30 %) в БК-1 или БК-2 с азотной кислотой различной концентрации.

При этом определяли следующие параметры для экстракционных смесей:

- температура вспышки в открытом тигле;
- стартовая и максимальная температуры экзотермы,
- стартовое и максимальное давление на участке экзотермы,
- максимальная скорость изменения давления,
- удельная скорость газовыделения.

Температуру вспышки разбавителей определяли на автоматическом регистраторе температуры вспышки нефтепродуктов «Вспышка-А». Для образцов использовали методику определения в открытом тигле по ГОСТ-4333 [2].

Экзотермические участки для исследуемых смесей в зависимости от температуры определяли на адиабатическом реакционном калориметре АРТАС-264 при помощи метода «Heat Wait Search». В данном методе исследуемые образцы нагревали в титановой колбе поэтапно до некой начальной температуры и выдерживали при ней для стабилизации. За периодом стабилизации следует адиабатический период, во время которого проводили наблюдение за экзотермической активностью. Если фиксировался саморазогрев смеси, то внешний нагрев отключали. Прибор регистрировал изменение давления и температуры до окончания экзотермической реакции. Затем начинался этап поиска следующего экзотермического участка. Обработку полученных данных осуществляли с использованием программного обеспечения Proteus.

Для расчета удельных скоростей газовыделения исследуемых смесей в зависимости от температуры использовали полученные экспериментальные зависимости скорости роста давления от температуры.

В ходе оценки параметров ВПБ установлено, что температура вспышки разбавителей БК-1 и БК-2 не была зафиксирована вплоть до 128 °С. Экспериментальные значения температуры вспышки в открытом тигле для ряда компонентов использующихся на ФГУП «ПО «Маяк» экстракционных смесей приведены в таблице 1.

Табл. 1. Экспериментальные значения температуры вспышки в открытом тигле для компонентов экстракционных смесей

Наименование продукта	Температура вспышки в открытом тигле, °С
Разбавители БК-1, БК-2	Отсутствует до 128
Разбавитель С ₁₃	95
Спирт-теломер п ₃	84
ТБФ	148

Ранее специалисты ФГУП «ПО «Маяк» проводили исследования экстракционных систем на основе краун-эфиров известного разбавителя спирта-теломера п₃ с 5 моль/дм³ азотной кислотой [3] и смесей ТБФ (объемная доля 30 %) в С₁₃ [4] с азотной кислотой различной концентрации. Исследована была динамика газовыделения и экспериментально определены кинетические параметры термохимического взаимодействия азотной кислоты с компонентами органических растворов.

Результаты расчетов параметров ВПБ для всех исследованных в настоящей работе смесей на основе БК-1 и БК-2 в сравнении с ранее изученными представлены в таблице 2.

Табл. 2. Результаты расчетов для экстракционных смесей

Исследованная смесь	T _{ст} , °C	T _{max} , °C	P _{ст} , кПа	P _{max} , кПа	VP _{max} , кПа/мин	W _{удmax} , дм ³ /мин (на 1 дм ³ _{р-ра})
БК-1+ 5М HNO ₃	77	119	293	300	0,13	0,016
БК-2+ 5М HNO ₃	70	143	100	450	0,29	0,037
п ₃ + 5М HNO ₃	90	153	200	817	0,43	0,056
30 % ТБФ в С ₁₃ + 5 М HNO ₃	95	239	181	3863	130	14,25
30 % ТБФ в С ₁₃ + 10 М HNO ₃	90	260	596	5274	386	37,40
30 % ТБФ в БК-1 + 5 М HNO ₃	75	102	134	234	0,11	0,02
30 % ТБФ в БК-1 + 10 М HNO ₃	85	130	235	527	0,43	0,05
30 % ТБФ в БК-1 + 12 М HNO ₃	86	200	222	2778	9,13	1,05
30 % ТБФ в БК-2 + 5 М HNO ₃	66	73	99	137	0,16	0,02
30 % ТБФ в БК-2 + 10 М HNO ₃	86	153	210	956	1,03	0,12
30 % ТБФ в БК-2 + 12 М HNO ₃	83	185	267	2094	3,49	0,40
Примечание: T _{ст} , T _{max} - стартовая и максимальная температуры экзотермы; P _{ст} , P _{max} - стартовое и максимальное давление на участке экзотермы; VP _{max} - максимальная скорость изменения давления; W _{удmax} - удельная скорость газовыделения						

В соответствии с полученными данными можно сделать вывод, что применение азотной кислоты с концентрацией 5 моль/дм³ в экстракционных системах на основе разбавителей БК-1 и БК-2 не приводит к значительному газовыделению и росту давления.

Известно, что на инициирование экзотермической реакции влияет концентрация азотной кислоты, что неоднократно было установлено специалистами ФГУП «ПО «Маяк» при исследовании двухфазных экстракционных смесей. Показано, что карбонаты фторированных спиртов достаточно стойки к азотной кислоте. Значительные экзотермические процессы заметны лишь при концентрации азотной кислоты более 10 моль/дм³. В сравнении с экстракционными смесями с разбавителем С₁₃, исследуемые системы не имеют залпового ускорения экзотермической реакции, а максимальные скорости роста давления в системах с разбавителями БК даже в присутствии 12 моль/дм³ азотной кислоты не превышали 10 кПа/мин.

На основании проведенных исследований, можно сделать вывод, что применение БК1 и БК-2 в качестве альтернативных разбавителей вместо углеводородных соединений и смесей в системах с ТБФ не только не ухудшает условий ВПБ технологического процесса, но значительно улучшает соответствующие параметры.

В настоящее время для радиохимических предприятий, где используются экстрагенты на основе углеводородных разбавителей существует ограничение – молярная концентрация азотной кислоты, используемая на предприятии, независимо от передела этого использования во избежание аварийных ситуаций в случае ошибки персонала или автоматики при подаче крепкой кислоты в технологический процесс, должна быть не более 10 моль/дм³ [5]. Проведенные исследования параметров теплового взрыва смесей азотной кислоты высокой концентрации (до 12 моль/дм³) при использовании в качестве экстрагента раствора ТБФ в тяжелых фторированных разбавителях БК-1 и БК-2, позволяют рассмотреть возможность получения разрешения на увеличение допустимой к использованию концентрации азотной кислоты, например, на этапе растворения отработавшего ядерного топлива.

Использованные источники:

- 1 Максимов, Б.Н. Промышленные фторорганические продукты: Справ. изд. / Б.Н. Максимов, В.Г. Барабанов, И.Л. Серушкин и др. – Химия, 1990. – 464 с.
- 2 ГОСТ 4333-2021. Нефтепродукты. Методы определения температуры вспышки и воспламенения в открытом тигле. – Введ. 01.07.2022.
- 3 Ворошилов, Ю.А. Стендовые испытания технологии совместного извлечения радионуклидов ¹³⁷Cs и ⁹⁰Sr из жидких высокоактивных отходов экстрагентом на основе краун-эфиров / Ю.А. Ворошилов, М.В. Логунов, К.В. Смольянихин, Н.Г. Яковлев. // Вопросы радиационной безопасности. – 2013. – № 2. – С. 23-33.
- 4 Старовойтов, Н.П. Исследование поведения облученных экстракционных систем ТБФ – углеводородный разбавитель – HNO₃ и других перспективных смесей / Н.П. Старовойтов, М.В. Логунов, Р.Э. Абдулвагидов, В.А. Казаков, В.А. Дудкин // Биосферная совместимость атомной энергетики 2024. [Электронный ресурс]: тезисы докладов VI Всероссийской научной конференции, Екатеринбург, 12–13 марта 2024 г. – С. 45-46.
- 5 СТО Ц 054-2022. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность производственных процессов радиохимического, реакторного, химико-металлургического, химического и изотопного производств. Общие требования. – Озерск: ФГУП «ПО «Маяк», 2022.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИ-ИНФОРМИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ В ЧАСТНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ

Калыргина А.А., Комоско В.В.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

Аннотация: Физически-информированные нейронные сети (PINNs) — метод глубокого обучения для решения дифференциальных уравнений в частных производных (PDE). Представлен комплексный подход к улучшению эффективности обучения PINNs, включающий предобработку данных, модификацию архитектуры и оптимизацию алгоритмов. Результаты демонстрируют решение задач с низкой погрешностью в норме L2.

Ключевые слова: PINNs, глубокое обучение, PDE, предобработка, архитектура, оптимизация, погрешность, норма L2.

APPLICATION OF A PHYSICALLY INFORMED NEURAL NETWORK FOR SOLVING PARTIAL DIFFERENTIAL EQUATIONS

Kalyrgina A.A., Komosko V.V.

Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI, Chelyabinsk Region

Annotation: Physically Informed Neural Networks (PINNs) is a deep learning method for solving partial differential equations (PDEs). A comprehensive approach to improving the efficiency of PINNs training is presented, including data preprocessing, architecture modification, and algorithm optimization. The results demonstrate the solution of problems with a low error in the L2 norm.

Keywords: PINNs, deep learning, PDE, preprocessing, architecture, optimization, error, L2 norm.

Физически-информированные нейронные сети (Physics-Informed Neural Networks, PINNs [1]) представляют собой мощный метод глубокого обучения, который позволяет эффективно объединять имеющиеся данные, заданные в виде начальных и граничных условий, а также ограничения в виде дифференциальных уравнений в частных производных (PDE). В отличие от классических численных методов, к которым относятся методы конечных разностей, конечных элементов и конечных объемов, которые требуют дискретизации пространства и сложных вычислительных схем, PINNs используют нейросетевую аппроксимацию для решения уравнений, что делает их более гибкими и пригодными для работы с разреженными данными и сложными геометриями. Благодаря этой способности, PINNs находят применение в различных областях науки и инженерии, таких как вычислительная механика, биофизика, квантовая механика и другие.

Однако, несмотря на высокий потенциал, практическая эффективность PINNs может значительно снижаться из-за различных проблем при обучении. В данной работе представлен комплексный подход к повышению эффективности обучения физически-информированных нейронных сетей. Основное внимание уделяется трем ключевым направлениям: предобработке данных, модификации архитектуры сети и оптимизации алгоритмов обучения. Для улучшения сходимости и стабилизации градиентов вводится безразмерное преобразование переменных, критически важное для систем с сильно различающимися диапазонами величин [2]. В архитектурном аспекте предложены встраивание признаков

Фурье (Fourier Feature Embeddings), устраняющее спектральное смещение через случайные проекции [3], и факторизация случайных весов (Random Weight Factorization), улучшающая устойчивость к шуму [4]. Алгоритмические улучшения включают причинно-следственное обучение (Causal Training), предотвращающее "катастрофу забывания" в эволюционных задачах [5], поэтапное обучение (Curriculum Training) с постепенным усложнением поддоменов [6], и адаптивное взвешивание потерь, балансирующее вклад PDE, граничных условий и данных [7].

В таблице 1 представлены задачи, которые были решены с помощью PINNs, а также погрешность решения на конечный момент времени в норме L2.

Таблица 1 - Погрешность решения различных дифференциальных уравнений

Задача	Погрешность, L2
Уравнение теплопроводности	$1.38 \cdot 10^{-4}$
Уравнение Аллена-Кана	$5.80 \cdot 10^{-4}$
Волновое уравнение	$1.65 \cdot 10^{-3}$
Уравнение Навье-Стокса	$5.41 \cdot 10^{-4}$

Литература:

1. Maziar Raissi, Paris Perdikaris, and George E Karniadakis. Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. *Journal of Computational Physics*, 378:686–707, 2019.
2. Kapoor, T., Wang, H., Nunez, A., & Dollevoet, R. (2023). Physics-Informed Neural Networks for Solving Forward and Inverse Problems in Complex Beam Systems. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, 35 (5), 5981-5995.
3. Tancik, M., Srinivasan, P. P., Mildenhall, B., Fridovich-Keil, S., Raghavan, N., Singhal, U., Ramamoorthi, R., Barron, J. T., and Ng, R. Fourier features let networks learn high frequency functions in low dimensional domains. In *Neural Information Processing Systems*, 2020.
4. Sifan Wang, Hanwen Wang, Jacob H Seidman, and Paris Perdikaris. Random weight factorization improves the training of continuous neural representations. *arXiv preprint arXiv:2210.01274*, 2022.
5. Sifan Wang, Shyam Sankaran, and Paris Perdikaris. Respecting causality is all you need for training physics-informed neural networks. *arXiv preprint arXiv:2203.07404*, 2022.
6. Aditi S Krishnapriyan, Amir Gholami, Shandian Zhe, Robert M Kirby, and Michael W Mahoney. Characterizing possible failure modes in physics-informed neural networks. *arXiv preprint arXiv:2109.01050*, 2021.
7. Sifan Wang, Xinling Yu, Paris Perdikaris. When and why PINNs fail to train: a neural tangent kernel perspective. *J. Comp. Physics*, 2022.

ВЕРИФИКАЦИЯ РАСЧЕТНЫХ МЕТОДИК ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ И ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЗАЗОРОВ ПЕРЕМЕННОЙ ТОЛЩИНЫ

Койнов О.В., Исаева Е.П.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.,
m.v.nikulshin@vniitf.ru

VERIFICATION OF CALCULATION METHODS FOR DETERMINING HEAT TRANSFER AND THERMAL CONDUCTIVITY COEFFICIENTS FOR GAPS OF VARIABLE THICKNESS

Koinov O.V., Isaeva E.P.

FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

Для описания процесса теплообмена во внутренних полостях и зазорах конструкций необходимо корректно определять величину коэффициента теплоотдачи. В общем случае коэффициент теплоотдачи является функцией формы и размеров тела, скорости, температуры и теплофизических параметров среды. Коэффициент теплоотдачи может быть определен по критериальным уравнениям, основанным на обобщении опытных данных. Для упрощения расчетов процесс конвективного теплообмена в зазорах может рассматриваться в виде явления теплопроводности с использованием эквивалентного коэффициента теплопроводности.

В данной работе рассмотрены подходы к определению коэффициента теплоотдачи в зазорах и полостях. Проведено исследование по определению эквивалентного коэффициента теплопроводности через воздушный зазор.

В работе представлены результаты расчетного моделирования процесса нагрева конструкции с переменным воздушным зазором и внутренним источником тепла.

Отработана методика по определению коэффициента теплоотдачи во внутреннюю полость, используя значения температуры стенок и толщину воздушного зазора конструкции.

Данный метод позволяет упростить и ускорить проведение предварительных или оценочных расчетов, а также провести расчетную оценку температурных полей при любых граничных условиях для различных конструкций.

Ключевые слова: коэффициент теплоотдачи, эквивалентный коэффициент теплопроводности, критерий Нуссельта, число Грасгофа, число Прантля, расчетное моделирование

МОДЕЛИРОВАНИЕ АППАРАТОВ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАСТВОРЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ НЕРАСТВОРЕННОГО ОСАДКА

Кутузова К.С.¹, Мастюк Д.А.^{1,2}, Макеева И.Р.^{1,2}, Дырда Н.Д.¹, Федорин А.В.¹

1. ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

2. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск, Челябинская обл.

kutuzovaks@vniitf.ru

В ходе данной работы проведено гидродинамическое моделирование распределения нерастворимого осадка в аппаратах электрохимического растворения. Основной целью расчетного моделирования аппаратов являлся выбор конструкции и режимов перемешивания, которые бы обеспечивали равномерное распределение твердых частиц. В результате проведенных расчетов получено распределение твердой фазы внутри трех аппаратов электрохимического растворения, определен режим работы с наибольшей равномерностью распределения частиц внутри объема каждого аппарата. Также была рекомендована конструкция аппарата, моделирование которой показало наиболее равномерное распределение твердой фазы.

Ключевые слова: гидродинамическое моделирование, аппарат электрохимического растворения, численное моделирование, распределение твердой фазы.

SIMULATION OF ELECTROCHEMICAL DISSOLUTION DEVICES TO DETERMINE THE OPTIMAL MIXING MODE

Kutuzova K.S., Mastyuk D.A., Makeeva I.R., Dyrda N.D., Fedorin A.V.

1. FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia

2. South Ural State University, Chelyabinsk, Chelyabinsk region

kutuzovaks@vniitf.ru

In the course of this work, hydrodynamic modeling of the distribution of insoluble sediment in electrochemical dissolution devices was carried out. The main purpose of the calculation modeling of the devices was to choose the design and mixing modes that would ensure a uniform distribution of solid particles. As a result of the calculations carried out, the distribution of the solid phase within three electrochemical dissolution devices was obtained, the mode of operation with the greatest uniformity of the distribution of particles within the volume of each apparatus was determined.

Keywords: hydrodynamic simulation, electrochemical dissolution devices, numerical simulation, distribution of solid phase.

Аппарат электрохимического растворения рассматривается как один из узлов технологии переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ). Для обоснования и оптимизации режимов работы оборудования, обоснования безопасности проведения процессов, улучшению мер по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности необходима оценка технологического и аппаратного оформления технологических процессов. Гидродинамические и теплофизические расчеты являются неременной частью расчетной оценки как работоспособности разрабатываемого оборудования, так и безопасности. Проведение таких расчетов позволит значительно снизить затраты на макетирование и проведение стендовых испытаний. Для достижения поставленной цели дорабатываются ранее созданные модели трех конструкций аппарата электрохимического растворения.

В настоящей работе проведена серия гидродинамических расчетов перемешивания ОЯТ-содержащих растворов в трех аппаратах электрохимического растворения. Одним из требований при работе аппарата являлось поддержание равномерности распределения нерастворенного осадка в пространстве анодной камеры.

В работе представлены результаты трехмерного гидродинамического моделирования трех вариантов конструкции аппарата электрохимического растворения. Целью моделирования являлось определение режима перемешивания и выбор аппарата, при котором обеспечивалось равномерное распределение твердой фазы по всему раствору с минимальным присутствием зон ее накопления.

Трехмерные многофазные гидродинамические расчеты проводились с использованием программного пакета OpenFOAM [1]. Моделирование проводилось в приближении многофазной многоскоростной среды. Различные фазы математически описывались как взаимопроникающие континуумы. При этом дискретные частицы рассматриваются как отдельная сплошная фаза, учитывающая такие физические характеристики, как распределение размеров и показатель несферичности частиц [2].

В результате работы были определены распределения концентраций твердой фазы, что позволило оценить эффективность работы рассмотренных вариантов конструкций при различных режимах работы. Также были даны рекомендации по выбору конструкции и режиму эксплуатации.

Использованные источники:

1. OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox / User Guide 2016.
2. Л.В. Быков, А.М. Молчанов, Д.С. Янышев, Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики, Учебное пособие Издание второе, исправленное и дополненное.

**ПОДХОД К РАСЧЕТУ ЗАДАЧ ПОГЛОЩЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
В ЗАКРИТИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ КОНЕЧНО-
АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА К УРАВНЕНИЮ ГЕЛЬМГОЛЬЦА
В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «СИНАРА»**

Латыпов. А.А., Лебедев С.Н., Овечкин А.А.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия

Данная работа рассматривает математическую модель поглощения лазерного излучения в закритической области для расчёта задач по моделированию начала процесса испарения мишени при наличии резкой границы класса «металл-вакуум».

В работе исследуемая модель формально разделена на два части на этапе трассировки лучей лазерного излучения: расчёт траекторий лучей по законам геометрической оптики и распределение энергии в области закритической плотности электронов в момент отражения от края этой области согласно законом волновой оптики. В данной работе анализируется второй этап трассировки лучей, а именно, наличие зависимостей от выбранного масштаба области и сетки коэффициентов поглощения и отражения, получаемых в ходе второго этапа при помощи одномерного уравнения Гельмгольца.

В докладе приводятся результаты численных исследований о работоспособности элемента модели по расчёту поглощения энергий в области закритической плотности. Также продемонстрировано качественное соответствие с полученным аналитическим решением для случая конечной области при однородном профиле диэлектрической проницаемости.

**AN APPROACH TO NUMERICAL SIMULATION OF LASER RADIATION
ABSORPTION IN THE POSTCRITICAL ZONE WITH USE OF FINITE-ANALYTICAL
METHOD FOR THE HELMHOLTZ EQUATION IN THE SINARA SOFTWARE
PACKAGE**

Latypov A.A., Lebedev S.N., Ovechkin A.A.
FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

The paper discusses a mathematical model of laser absorption in the post-critical zone to simulate the beginning of target evaporation in the presence of a sharp metal-vacuum boundary [Ошибка! Закладка не определена.].

The model is formally divided into two stages of ray tracing: 1) the reconstruction of ray trajectories by the laws of geometric optics [Ошибка! Закладка не определена.], and 2) the calculation of the energy distribution in the post-critical electron density zone at the moment of reflection from the edge of the zone according to the laws of wave optics. The paper focuses on the second stage and analyzes the absorption and reflection coefficients obtained with the one-dimensional Helmholtz equation for their dependence on the chosen scale and mesh.

The paper provides numerical results verifying the efficiency of a model element that computes energy absorption in the post-critical zone. Also, qualitative agreement is demonstrated with the analytical solution obtained for a finite zone with a homogeneous profile of dielectric permittivity.

Использованные источники:

1. Basko M.M., Tsygvintsev I.P., A hybrid model of laser energy deposition for multidimensional simulations of plasmas and metals // Comput. Phys. Commun., 2017. Vol. 214. PP. 59-70..
2. T.B. Kaiser, Phys.Rev. E **61**, 895(2000), 895-905. Doi:10.1103/PhysRevE.61,895.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЗРЫВОЗАЩИТНОГО ГЕРМОКОНТЕЙНЕРА

Никульшин М.В.¹, Минаев И.В.¹, Коробейников К.А.², Степанов И.Ю.^{1,2}

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская область.,

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская область

M.V.Nikulshin@vniitf.ru

В данной работе рассмотрено напряженно-деформированное состояние взрывозащитного гермоконтейнера (ВГК). Получены результаты расчетов штатной камеры (конфигурация соответствует эксперименту). Определены максимальные напряжения в полюсе крышки штатной модели камеры. Получены максимальные значения накопленной пластической деформации.

Ключевые слова: взрывозащитный, гермоконтейнер, деформации

STRESS-STRAIN STATE OF AN EXPLOSION-PROTECTIVE HERMAL CONTAINER

Nikulshin M.V.¹, Minaev I.V.¹, Korobeinikov K.A.², Stepanov I.Y.^{1,2}

¹FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

²Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI, Chelyabinsk region.

M.V.Nikulshin@vniitf.ru

In this work, an unstable deformed state of the explosion-protective hermal container was observed. The results of calculations of a standard camera (the configuration corresponds to the experiment) were obtained. The maximum voltages at the poles of the cover of the standard model of the camera are determined. The maximum values of accumulated plastic strain were obtained.

Keywords: explosion-protective, hermetic container, deformation

На рисунке 1 изображена геометрическая модель ВГК.

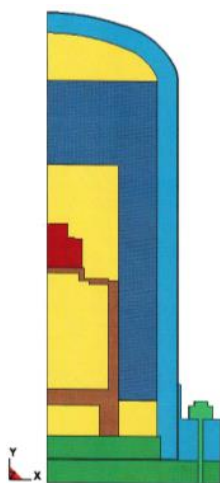


Рисунок 1 – Геометрическая модель камеры ВГК

При построении конечно-элементной модели использовались твердотельные элементы. В таблице 1 представлены физико-механические свойства материалов.
Таблица 1 – Физико-механические характеристики материалов

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Модуль упругости Е, МПа	Коэффициент Пуассона μ	Предел текучести σ_t , МПа	Модуль упрочнения Е', МПа
09Г2С	7800	$2.0 \cdot 10^5$	0.3	325	595
30ХГСА				880	1220
Сталь 10				205	476

Заданные граничные условия соответствуют ограничению перемещений узлов перпендикулярно плоскости симметрии. Ограничения перемещений узлов вдоль оси Y не задавалось. Болты моделировались с эквивалентной площадью сечения равной суммарной площади всех болтов.

Проведено сравнение численного расчета с экспериментом. Разрушение вставки в эксперименте схоже с полученным разрушением в расчете. Так же прослеживается сходство пиков скоростей по времени и по амплитуде.

На рисунке 2 представлено распределение эквивалентных напряжений в модели камеры в момент времени 0.68 м/с.

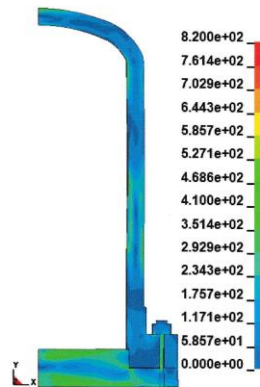


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений, МПа

На рисунке 3 изображено распределение накопленной пластической деформации в модели камеры с зарядом 1.5 кг ТЭ в момент времени 0.68 м/с.

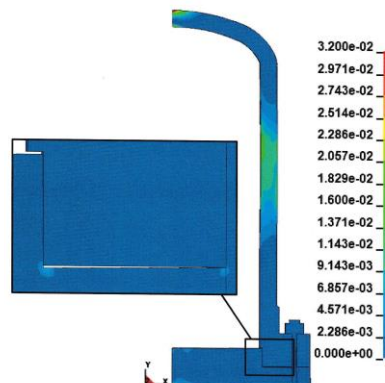


Рисунок 3 – Распределение пластических деформация, ед. отн. деф.

Рассмотрен штатный вариант ВГК со взрывчаткой 2 кг ТЭ.

С целью уменьшения массы ВГК рассмотрен вариант камеры, когда толщина поддона уменьшена в 2 раза, а толщина стенок уменьшена на 5 мм.

Для снижения деформаций в поддоне камеры и уменьшения раскрытия стыка между поддоном и фланцем цилиндрического корпуса рассмотрен вариант с применением стального цилиндра радиусом 100 мм и толщиной 90 мм, расположенного под днищем камеры.

Максимальные значения накопленной пластической деформации в расчетных моделях приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов

Вариант исполнения камеры	Накопленная пластическая деформация, %		
	Полюс крышки камеры	Стенка камеры	Поддон камеры
Штатный вариант ВГК, 1.5 кг ТЭ	3.2	1.7	1.9
Штатный вариант ВГК, 2 кг ТЭ	3.2	3.2	2.6
“Облегченный” вариант ВГК, 1.5 кг ТЭ	2.6	2.4	1.8
“Облегченный” вариант ВГК, 1.5 кг ТЭ Со стальным цилиндром	2.7	2.4	2.3

Максимальное раскрытие стыка между поддоном и фланцем цилиндрического корпуса составляет:

- в штатном варианте ВГК, 1.5 кг ТЭ – 1 мм;
- в штатном варианте ВГК, 2 кг ТЭ – 1.3 мм;
- в “облегченном” варианте ВГК, 1.5 кг ТЭ – 3.5 мм;
- в “облегченном” варианте ВГК, 1.5 кг ТЭ со стальным цилиндром – 0.4 мм;

Выводы:

В данной работе рассмотрено напряженно-деформированное состояние ВГК при детонации ВВ.

Рассмотрено четыре варианта исполнения камеры. Критерием безопасности эксперимента является сохранение герметичности камеры, во всех расчетных случаях герметичность камер сохраняется.

Определено максимальное раскрытие стыка между поддоном и фланцем цилиндрического корпуса в четырех расчетных случаях.

В дальнейшем можно рассмотреть детонацию более мощного ВВ, для нахождения критичного раскрытия стыка (что приведет к разгерметизации), в момент действия нагрузки, между поддоном и фланцем цилиндрического корпуса.

Список использованных источников:

1. Марочник сталей и сплавов. 5-е изд., стереотипное. / Ю. Г. Драгунов, А. С. Зубченко, Ю. В. Каширский и др. Под общей ред. Ю. Г. Драгунова и А. С. Зубченко – М.: Инновационное машиностроение, 2016. – 1216 с.
2. Применение метода конечных элементов в решении задач прикладной механики, А. О. Шимановский, А. В. Путятю. – Гомель: БелГУТ, 2008. – 61 с.

РАЗРАБОТКА СОСТАВА ЦЕМЕНТНОЙ МАТРИЦЫ ДЛЯ ИММОБИЛИЗАЦИИ ЩЕЛОЧНЫХ ВЫСОКОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ МЕТОДОМ СИМПЛЕКСНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

Парутин К.А., Шайдуллин С.М., Ремизова В.А., Козлов П.В.
ФГУП «ПО «Маяк», Озерск, Челябинская обл.
cpl@po-mayak.ru

В работе приведена характеристика высокоактивных отходов, накопленных на ФГУП «ПО «Маяк». Рассмотрен вариант переработки радиоактивных отходов методом цементирования. Получены данные по механической прочности – основному показателю качества цементного компаунда. Определена перспективная область концентраций компонентов сухой смеси для цементирования радиоактивных отходов с помощью математического метода планирования эксперимента на симплексе.

Ключевые слова: жидкие радиоактивные отходы, цементирование, доменный шлак, бентонит, метакраин, прочность на сжатие, симплекс.

DEVELOPMENT OF THE COMPOSITION OF A CEMENT MATRIX FOR THE IMMOBILIZATION OF ALKALINE HIGH-LEVEL WASTE USING THE SIMPLEX PLANNING METHOD

Parutin K.A., Shaidullin S.M., Remizova V.A., Kozlov P.V.
FSUE «PA «Mayak», Ozersk, Chelyabinsk region
cpl@po-mayak.ru

The paper describes the characteristics of high-level waste accumulated at FSUE «PA «Mayak». Options for processing radioactive waste by cementing are considered. Data on mechanical strength, the main quality indicator of a cement compound, has been obtained. A promising area of concentrations of dry mix components for cementing radioactive waste has been determined using mathematical method for planning an experiment on a simplex.

Keywords: liquid radioactive waste, cementing, blast furnace slag, bentonite, metakaolin, compressive strength, simplex.

В настоящее время на ФГУП «ПО «Маяк» разрабатывается технология переработки накопленных ВАО, полученных в результате предыдущей деятельности предприятия в период 1968-1986 годов. Суммарный объем накопленных ВАО – около 14,5 тыс. м³. Отходы находятся на хранении в комплексе, состоящем из 14 емкостей-хранилищ с рабочим объемом около 1200 м³ каждая [1].

Специалистами ФГУП «ПО «Маяк» разработана комплексная многовариантная схема извлечения и переработки растворной и осадочной частей отходов. Одним из вариантов переработки растворной части является фильтрация для удаления взвешенных частиц, дальнейшее сорбционное выделение радионуклидов цезия с последующим упариванием и цементированием очищенных растворов. Важным преимуществом данного способа отверждения является возможность иммобилизации разнообразных РАО: растворов, шламов пульпы ионообменных смол, тритиевых растворов, твердых отходов [2].

В настоящей работе проведено исследование цементной матрицы для иммобилизации щелочных РАО с получением компаунда, удовлетворяющего требованию по механической прочности к цементированным РАО в соответствии с НП-019-15 [3].

Исследование проводили с использованием модельного раствора, приготовленного с учетом результатов химического и радиохимического анализов растворной части отходов,

находящихся в одной из емкостей-хранилищ. Для отверждения раствора использовали сухую смесь на основе доменного шлака, бентонита и метакаолина.

Для определения оптимального состава цементной смеси принято решение использовать математический метод планирования. Одним из наиболее эффективных методов планирования, позволяющим при относительно малом числе экспериментов получить математическую модель в виде так называемого приведенного полинома, отражающего зависимость исследуемого свойства смеси от содержания в ней компонентов, является метод планирования эксперимента на симплексе [4].

На основании опыта использования симплекс-моделей в области исследований стеклообразных материалов ранее было установлено, что результаты экспериментов наиболее адекватно предсказывает модель четвертого порядка [5]. Поэтому для достижения поставленной цели решили применить симплекс-решетчатый план четвертого порядка, чтобы получить в дальнейшем полином, отражающий зависимость исследуемого свойства смеси от содержания в ней компонентов.

Исследуемые компаунды представляют собой сложную многокомпонентную систему, включающую более трех различных минералогических и сорбционных добавок. Поэтому получение математической модели, отражающей зависимость свойств цементного компаунда от всех компонентов, представляет сложную задачу.

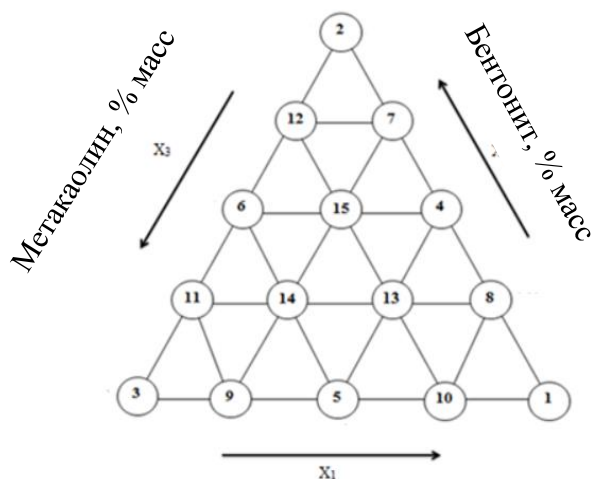
Координаты точек симплекс-решетчатого плана для исследуемой области (относительный состав образцов) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Координаты точек симплекс-решетчатого плана для исследуемой области (относительный состав образцов)

№ точки	Координаты точек симплекс-решетчатого плана		
	Доменный шлак+суперпластификатор, %	Бентонит, %	Метакаолин, %
1	0,95	0,05	0
2	0,80	0,20	0
3	0,80	0,05	0,15
4	0,875	0,125	0
5	0,875	0,05	0,075
6	0,80	0,125	0,075
7	0,8375	0,1625	0
8	0,9125	0,0875	0
9	0,8375	0,05	0,1125
10	0,9125	0,05	0,0375
11	0,80	0,0875	0,1125
12	0,80	0,1625	0,0375
13	0,875	0,0875	0,0375
14	0,8375	0,125	0,0375
15	0,8375	0,0875	0,0375

В качестве функции отклика рассматривали показатели механической прочности образцов цементного компаунда.

Для расчета параметров выбранной математической модели четвертого порядка требуется 15 экспериментальных точек Их расположение на симплексе представлено на рисунке 1.



Доменный шлак + суперпластификатор, % масс
Рисунок 1 – Симплекс-решетчатый план исследуемой области

По оси X_1 изменяется массовая доля компонентов доменного шлака и суперпластификатора, по оси X_2 – массовая доля бентонитовой глины, по оси X_3 – массовая доля метаколина.

На основании полученных расчетов и принятых условий синтезируются цементные компаунды запланированных составов.

По полученным значениям исследуемого свойства с помощью матричного уравнения (1) проводили расчет коэффициентов полинома для трехкомпонентной системы:

$$Y = b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3 + b_7x_1x_2(x_1 - x_2) + b_8x_1x_3(x_1 - x_3) + b_9x_2x_3(x_2 - x_3) + b_{10}x_1x_2(x_1 - x_2)^2 + b_{11}x_1x_3(x_1 - x_3)^2 + b_{12}x_2x_3(x_2 - x_3)^2 + b_{13}x_1^2x_2x_3 + b_{14}x_1^2x_2^2x_3 + b_{15}x_1x_2x_3^2 \quad (1)$$

Сухую смесь, содержащую сорбционную и пластифицирующую добавки, вводили в модельный раствор, приготовленный для испытаний. Цементное тесто получали путем механического перемешивания его составляющих до получения однородной массы. При получении текучего, но не жидкого состояния теста, его разливали по формам 6ФК-20, выполненных по ГОСТ 22685-89 [6], размерами $2 \times 2 \times 2$ из органического стекла.

По окончании сроков твердения (28 суток) образцы извлекали из форм, выдерживали на воздухе в течение 1 суток, а затем проводили испытания на механическую прочность. Испытания заключались в измерении минимальных усилий, приводящих к разрушению специально изготовленных контрольных образцов цементного компаунда в условиях статической нагрузки с постоянной скоростью нарастания усилий $2,0 \pm 0,5$ МПа/с и последующим вычислении напряжений при этих усилиях.

Зависимость предела прочности на сжатие образцов цементного компаунда от состава сухой смеси в симплекс-решетчатом плане представлена на рисунке 2.

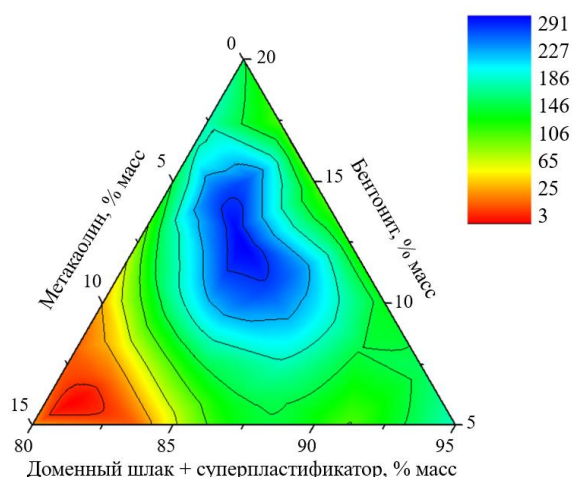


Рисунок 2 – Зависимость предела прочности на сжатие образцов цементного компаунда относительно состава сухой смеси

Как видно из построенной симплекс-модели, область концентраций компонентов сухой смеси, в которой получается наиболее прочный цементный компаунд, расположена в пределах, где массовая доля доменного шлака изменяется от 81 % до 87,5 %, бентонита – от 10 % до 16,25 %, а метакаолина – от 3,75 % до 6 %. В этой области происходит увеличение предела прочности сжатие цементного компаунда в 5-6 раз относительно нормативных значений.

Таким образом, методом математического планирования эксперимента на симплексе проведено исследование механической прочности цементных компаундов. Получена соответствующая математическая модель. На основании анализа результатов можно выделить область с наибольшим показателем предела прочности на сжатие цементного компаунда, удовлетворяющую требованиям НП-019-15 [3] и ГОСТ Р 51883-2002 [7].

Использованные источники:

1. Логунов М.В. Подходы к переработке высокоактивных пульп, накопленных на ФГУП «ПО «Маяк»/ М.В. Логунов, В.И. Карпов, Н.Е. Дружинина, И. Г. Тананаев // Вопросы радиационной безопасности, 2011 – №1. С.15–28.
2. Козлов П.В. Комплексная схема переработки растворной и осадочной частей накопленных ВАО сложного химического состава радиохимического производства ФГУП «ПО «Маяк»/ П.В. Козлов, С.М. Шайдуллин, Д.В. Маркова, М.В. Логунов, М.Б. Ремизов, С.А. Лукин, Е.Н. Зубриловский // Радиоактивные отходы. 2024. №4 (29). С.6 – 15.
3. НП-019-15. Сбор, переработка, хранение и кондиционирование жидких радиоактивных отходов. Требования безопасности. – Утв. 25.06.2015 г.
4. Зедгинидзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. – М.: Наука, 1986. – 390 с.
5. Беланова Е.А. Поиск области оптимальных составов цезийалюмофосфатных стекол в системе $\text{Cs}_2\text{O}-\text{Li}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ применительно к технологии изготовления ИИИ/ Е.А. Беланова, М.Б. Ремизов, А.Г. Харлова, С.С. Игнатовский // Пятая Российская школа по радиохимии и ядерным технологиям: Тезисы стендовых докладов. Озерск, 10-14 сентября 2012 г. – Озерск: РИЦ ВРБ ФГУП «ПО «Маяк», 2012 – С. 96 -97.
6. ГОСТ 22685-89 Формы для изготовления контрольных образцов бетона. Технические условия.
7. ГОСТ Р 51883-2002. Отходы радиоактивные цементированные. Общие технические требования. Введ. 01.01.2003.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ КОНСТАНТ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВАНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Помыкалов Е.В., Ковалев Ю.М., Яловец А.П.

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск.
pomykalovev@susu.ru

В работе рассматривается определение упругих констант для энергетического материала (ЭМ) при механических нагрузках. Предложена математическая модель описывающая упругопластические течения сплошных сред в переменных Лагранжа в цилиндрической осесимметричной геометрии. Проведено математическое моделирование воздействия ударника на энергетический материал. Предложенная математическая модель хорошо описывает результаты экспериментов по механическому нагружению энергетического материала. Экспериментальные данные по динамике ударника позволяют определить упругие константы исследуемого образца взрывчатого вещества.

Ключевые слова: взрывчатое вещество, модель Прандтля-Рейса, пуансон.

DETERMINATION OF ELASTIC CONSTANTS OF ENERGY MATERIAL BASED ON EXPERIMENTAL DATA

E.V. Pomykalov, Yu.M. Kovalev, A.P. Yalovets

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
pomykalovev@susu.ru

The paper considers the determination of elastic constants for an energetic material (EM) under mechanical loads. A mathematical model describing the elastoplastic flows of continuous media in Lagrange variables in cylindrical axisymmetric geometry is proposed. Mathematical modeling of the impact of the impactor on the energy material is carried out. The proposed mathematical model well describes the results of experiments on the mechanical loading of energy material. Experimental data on the dynamics of the impactor make it possible to determine the elastic constants of the explosive sample under study.

Keywords: explosive, Prandtl-Reis model, punch.

Для оценки возможности возникновения аварийных ситуаций при механических воздействиях на энергетический материал (ЭМ) важно знать возможные механизмы инициирования «горячих точек» внутри ЭМ. Этим вопросам посвящено достаточно большое количество работ, как экспериментального, так и теоретического характера [1,2]. Однако, в силу многообразия возможных механизмов образования «горячих точек» в настоящее время не существует универсального критерия безопасности.

Одним из возможных механизмов инициирования «горячих точек» внутри ЭМ, который рассматривается в данном исследовании, может являться образование разогретого тонкого сдвигового слоя в ЭМ, возникающего в зоне контакта ЭМ с инертным ударником за счет трения, которое может приводить к сильному разогреву, плавлению и воспламенению ЭМ в локальной области.

Для проведения математического моделирования, позволяющего описать процесс образования сдвигового слоя, необходимо иметь данные об упругих константах образца ЭМ, а именно модуле сдвига μ и пределе текучести Y .

Для получения необходимого набора экспериментальных данных, позволяющих определять упругие постоянные исследуемого материала, сотрудниками ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», был проведен ряд экспериментов по изучению

воздействия ударника на ЭМ. Схема экспериментального узла, на котором проводились эксперименты, представлена на рис. 1.

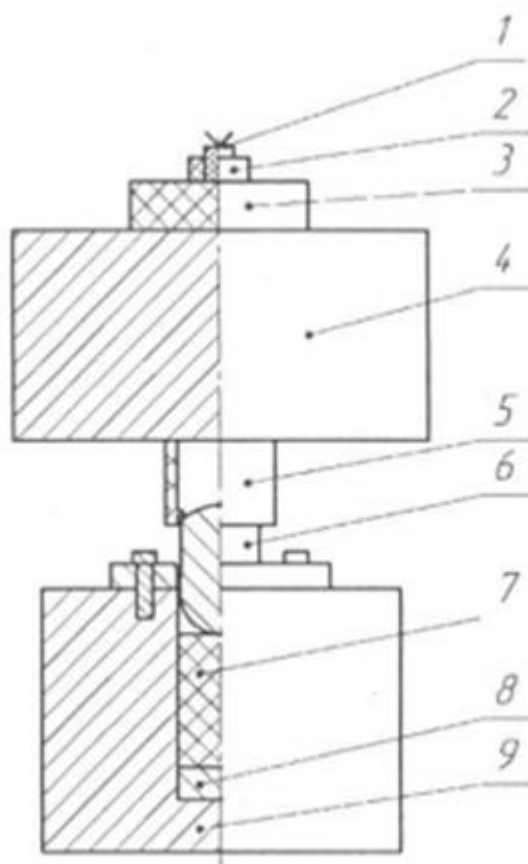


Рис. 1. Схема экспериментального узла. 1 – электродетонатор; 2 – розетка; 3 – активный заряд ВВ; 4 – груз ударник; 5 – установочное кольцо; 6 – пуансон; 7 – исследуемый образец из ВВ; 8 – прокладка; корпус.

Для проведения опытов исследуемый образец энергетического материала диаметром 60мм, высотой 50 мм (поз.7), устанавливался в корпус из стали, массой 6 кг, диаметром 110 мм, высотой 90мм (поз.9). Пуансон (поз.6) из стали массой 1,4 кг устанавливается в направляющую (поз.5). Над пуансоном на расстоянии ~ 45мм устанавливался груз-ударник (поз.4) из стали массой 2 кг. На ударнике располагался активный заряд (поз.3), который обеспечивал разгон груза с определенной скоростью.

Результаты экспериментов представлены в табл.1.

Таблица 1

№ опыта	Исследуемый образец	Глубина внедрения пуансона, мм	Результат
1	ВВ	3.3	взрыв отсутствует
2	ВВ	4.83	взрыв
3	ВВ	5.31	взрыв
4	ВВ	5.40	взрыв
5	ВВ	3.08	взрыв отсутствует

В качестве математической модели для описания упругопластических течений в исследуемом материале была выбрана математическая модель Прандтля-Рейса, которая хорошо описывает поведение ударных волн в упругопластических средах [3].

Система дифференциальных уравнений механики сплошных сред (МСС), описывающая упругопластические течения сплошных сред в переменных Лагранжа в

цилиндрической осесимметричной геометрии решалась численно методом, представленным в работе [4], с уравнениями состояния материала [5,6] и граничными условиями, которые учитывают взаимодействие ударника с материалом.

Выбор численного метода для решения данной системы уравнений механики сплошной среды, описанный в [4], не случаен. Особенностью данного метода является отказ от аппроксимации конечными разностями производных по времени. Конечноразностная аппроксимация применяется только к пространственным производным. В этом случае система уравнений МСС сводится к системе обыкновенных дифференциальных уравнений, которые допускают приближенное аналитическое решение для некоторого временного интервала. Такой подход к решению уравнений МСС обеспечивает с высокой точностью выполнение законов сохранения и высокую устойчивость решения.

При численном моделировании массовая плотность образца ЭМ соответствует плотности октогена, скорость ударника составляла 13.26 м/с. Масса ударника равна 3.4 кг, температура ЭМ 300 К. Глубина внедрения пуансона в эксперименте составляла 3.3 мм.

На рис.2 приводятся сравнение результатов численного расчета и динамики, полученной в ходе эксперимента. Кинетическая энергия ударника расходуется на деформацию материала и с течением времени скорость ударника уменьшается вплоть до остановки. Запасенная упругая энергия в материале вызывает обратное движение ударника. Момент времени был выбран так, что отразившийся от поверхности ЭМ ударник обеспечил релаксацию упругих напряжений в ЭМ. В этом случае геометрия отпечатка оставалась в дальнейшем неизменной. Расчеты проводились при значении коэффициента трения $k_f = 0.3$.

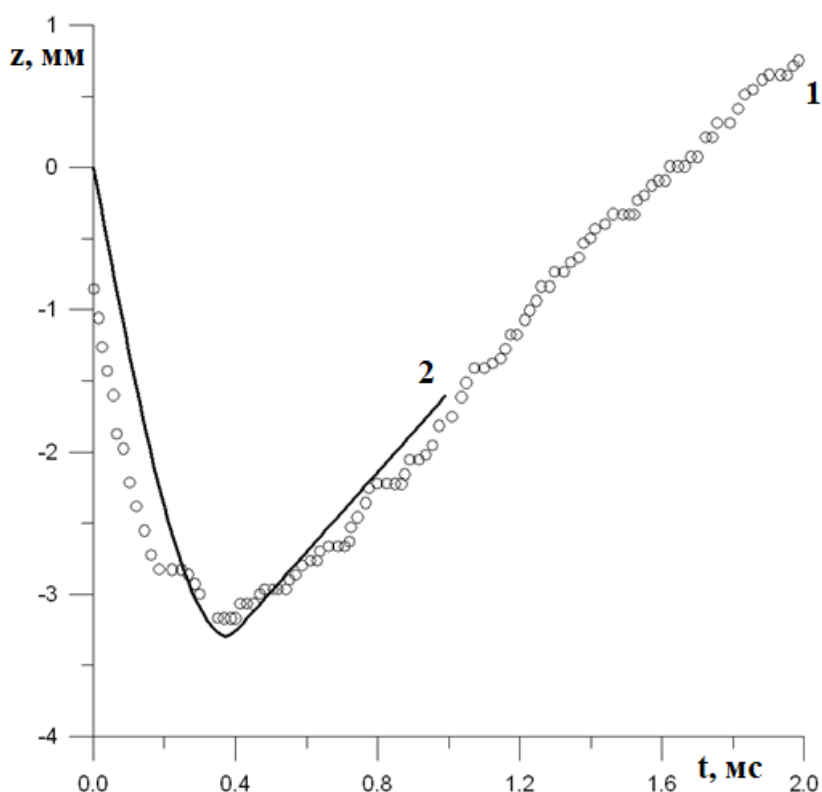


Рис.2. Сравнение динамики погружения пуансона в эксперименте №1 с результатами численного моделирования. 1 – эксперимент; 2 – расчет.

Анализ полученных профилей и экспериментальных данных показал, что “кратер” полученный в ходе численного моделирования с упругими константами $Y = 0.0845$ ГПа и $\mu = 18$ ГПа наиболее близок к геометрии поверхности ЭМ после взаимодействия с ударником. Также угол наклона прямой соответствующей остаточной скорости совпадает с экспериментом.

Таким образом, результаты расчетов глубины внедрения пуансона при скорости ударника 13.26 м/с не противоречит данным полученным в эксперименте, что подтверждает адекватность найденных упругих констант образца ЭМ.

Использованные источники:

1. Ударно-волновые явления в конденсированных средах / Г.И. Канель, С.В. Разоренов, А.В. Уткин, В.Е. Фортов. - Москва: Янус-К, 1996. – 408 с.
2. Мейдер Ч. Численное моделирование детонации. Москва: Мир, 1985. – 384с.
3. Klinacheva, N. L. Modelling of Shock Wave Experiments on Two-Fold Compression of Polymethyl Methacrylate / N. L. Klinacheva, E. S. Shestakovskaya, A. P. Yalovets // Journal of Computational and Engineering Mathematics. – 2022. – Vol. 9, No. 2. – P. 26-38.
4. Яловец, А.П. Расчет течений среды при воздействии интенсивных потоков заряженных частиц // ПМТФ. – 1997. - №1. – с. 151-166.
5. Ковалев, Ю.М. Уравнения состояния для описания изотермического сжатия некоторых молекулярных кристаллов нитросоединений // Инженерно-физический журнал. - 2020. - Т. 93, № 1. - С. 229-239.
6. Ковалев, Ю. М. Уравнения состояния для расчета давлений ударно-волнового сжатия пентаэритриттетранитрата (ТЭНа) / Ю. М. Ковалев, Е. В. Помыкалов // Инженерно-физический журнал. – 2023. – Т. 96, № 4. – С. 1053-1061.

ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ И ДАВЛЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ТРУБЕ КВАДРАТНОГО СЕЧЕНИЯ

Садыков Р.Н., Бартош К.Е., Захаров М.А., Журавлев Е.А., Садыков Н.Р.
 ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
 исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
 n.r.sadykov@rambler.ru

Исходя из условия зависимости вязкости от давления при гидродинамическом движении сыпучего материала (СМ) получена зависимость скорости v_z от поперечной координаты в вертикальной трубе квадратного сечения. Для этого экспериментально определена величина массового расхода СМ в трубе. Показано, что для определения зависимости давления p от вертикальной координаты z необходимо рассмотреть задачу стационарного движения СМ по наклонной плоскости. Полученные экспериментальные результаты подтверждают расчётно-теоретические результаты.

Ключевые слова: Сыпучие материалы, вязкое течение, вертикальная цилиндрическая труба, эксперимент, численные расчеты

VISCOUS FLOW OF BULK SOLIDS AND PRESSURE DISTRIBUTION IN A VERTICAL PIPE OF SQUARE CROSS SECTION

Sadykov R.N., Bartosh K.E., Zakharov M.A., Zhuravlev E.A., Sadykov N.R.
 Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
 Physical-Technology Institute (SPhTI) – National Research Nuclear University MEPhI»,
 Snezhinsk, Russia
 n.r.sadykov@rambler.ru

Based on the condition of viscosity dependence on pressure during hydrodynamic flow of bulk solids, the dependence of the velocity v_z on the transverse coordinate in a vertical pipe of square cross section was obtained. For this purpose, the value of the mass flow rate of bulk material in the pipe was experimentally determined. It is shown that in order to determine the dependence of pressure p on the vertical coordinate z , it is necessary to consider the problem of stationary motion of bulk material along an inclined plane. The obtained experimental results confirm the calculated and theoretical results.

Key words: The bulk materials, viscous flow, vertical cylindrical pipe, experiment, numerical calculations.

Задача движения СМ является актуальной. Закономерности такого движения проявляются в песочных часах; при возникновении и движения снежных лавин, оползней; при транспортировке растворов по гибким трубам на верхние этажи или крыши зданий; при погрузке зерна, картофеля, строительных материалов фиксированной массы через конические бункеры [1]. В докладе [2, 3] предложено, что вязкость СМ зависит от гидростатического давления $\eta(z) = Kp(z)$ в СМ, где $K = \text{const}$. В этом случае симметричный безследовой тензор вязких напряжений второго ранга размерности три будет иметь вид [4]

$$\sigma_{ij} = \eta \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial v_k}{\partial x_k} \right), \quad \sigma_{ii} = 0 \leftrightarrow \sum_{i=1}^3 \sigma_{ii} = 0, \quad (3)$$

Где δ_{ik} – дельта-Кroneкера, e_{ijk} – антисимметричный тензор Леви-Чивита ранга три; тензор напряжений не содержит симметричный $\sigma_{ij}^{(1)}$ и антисимметричный $\sigma_{ij}^{(2)}$ тензоры второго ранга

$$\sigma_{ij}^{(1)} = \eta_1 \delta_{ij} \partial v_k / \partial x_k = \eta_1 \delta_{ij} \operatorname{div} \mathbf{v} = 0, \quad \sigma_{ij}^{(2)} = \eta_2 (\partial v_i / \partial x_j - v_j / \partial x_i) = \eta_2 e_{ijk} (\operatorname{rot} \mathbf{v})_k = 0. \quad (4)$$

С учетом вязкой силы, несжимаемости СМ $\rho = \text{const}$ ($\operatorname{div} \mathbf{v} = \partial v_k / \partial x_k = 0$), силы тяжести и перепада давления запишем в стационарном случае уравнение Навье-Стокса [4]

$$\rho v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \eta \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_k} + \frac{\partial v_k}{\partial x_i} \right) \right\} - \frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \delta_{i3}, \quad (5)$$

где δ_{ik} – дельта-символ Кронекера, $i, k = 1, 2, 3$. Исходя из метода разделения переменных в стационарном случае из уравнения (5) следуют уравнения для скорости $v_z(x, y)$ и давления $p(z)$ СМ при $\eta = Kp$ в длинной вертикальной трубе квадратного сечения

$$\Delta_{\perp} v_z(x, y) = \left(\rho g + \frac{dp}{dz} \right) / (Kp) = \alpha, \quad p(z = H_0)|_{t=0} = p_0, \quad (6)$$

z – вертикальная, а x, y – поперечные координаты, соответственно; H_0 – высота столба СМ при $t = 0$; $\alpha = \text{const}$; $-h/2 \leq x \leq h/2, -h/2 \leq y \leq h/2$; $\Delta_{\perp} = \partial^2 / \partial x^2 + \partial^2 / \partial y^2$; $p_0 = \text{const}$; уравнение $\Delta_{\perp} v_z = \alpha$ – это уравнение Лапласа; $v_z(x = \pm h/2, y = \pm h/2) = 0$. Из (6) следует, во-первых, решение для p в столбе СМ

$$p(z) = \rho g / (K\alpha) + [p_0 - \rho g / (K\alpha)] \exp\{K\alpha[z - H_0]\}, \quad 0 \leq z \leq H, \quad (7)$$

Из экспериментальных результаты в [2, 3] следует, что высота H свободной поверхности столба СМ в трубе зависит от времени по закону $H = H(t) = H_0 - Vt$, где $V = \text{const}$, т. е. решение для давления может быть выражена через координату $z' = z - Vt$, т. е. давление в столбе СМ будет зависеть от глубины $(H - z')$ от свободной поверхности СМ.

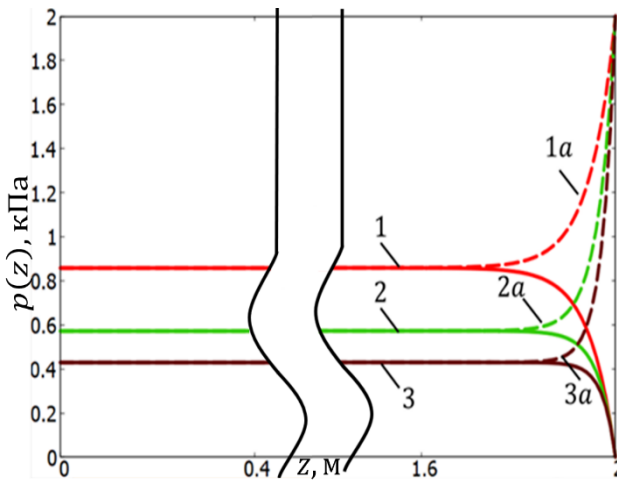


Рис.1. Зависимость давления от глубины слоя z СМ при $H = 2$ м.

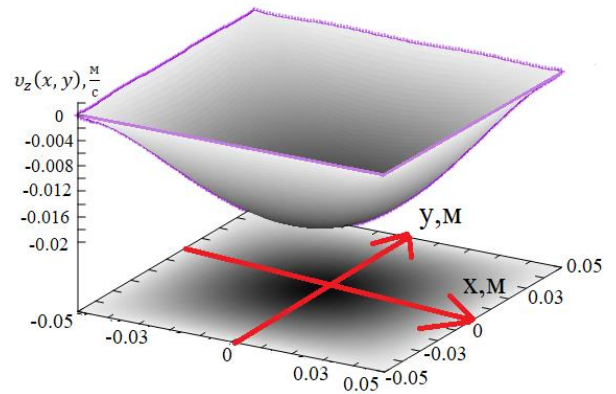


Рис. 3. Распределение продольной компоненты скорости сыпучего материала в трубе квадратного сечения.

Решение для скорости в вертикальной трубе квадратного сечения в [5] представлено в виде суммы двух функций $v_z(x, y) = v_z^{(1)}(x, y) + v_z^{(2)}(x, y)$, где $\Delta_{\perp} v_z^{(1)} = \alpha$ (см. (6)), $\Delta_{\perp} v_z^{(2)} = 0$. В результате получим

$$v_z \left(x = \pm \frac{h}{2}, y = \pm \frac{h}{2} \right) = 0, \quad v_z^{(1)} = \frac{\alpha}{4} (x^2 + y^2) + \Lambda; \\ v_z^{(2)} \left(x, y = \pm \frac{h}{2} \right) = -v_z^{(1)} \left(x, y = \pm \frac{h}{2} \right) \text{ или } v_z^{(2)} \left(x = \pm \frac{h}{2}, y \right) = -v_z^{(1)} \left(x = \pm \frac{h}{2}, y \right), \quad (8)$$

где $\Lambda = \text{const}$. Решение для $v_z^{(2)}$ будем искать в виде суммы ряда произведения функции косинуса на гиперболический синус, в результате чего удовлетворим условиям для $v_z^{(2)}$ из (8).

На рис. 2 приведена асчетная зависимость продольной компоненты скорости $v_z(x, y)$ сыпучего материала в трубе квадратного сечения от x, y Экспериментальная величина массового расхода $\mathcal{M}_{\text{экс}}^{(1)} = 0.326 \text{ кг/с}$. Для определения двух неизвестных коэффициентов α и

K в (62) необходимо два условия. Первое условие – это сравнить экспериментально полученную величину массового расхода $\mathcal{M}_{\text{экс}}^{(1)}$ с расчетной величины массового расхода $\mathcal{M}_{\text{рас}}^{(1)}$

$$\mathcal{M}_{\text{рас}}^{(1)} = \rho \iint v_z(x, y) dx dy. \quad (9)$$

В результате с учетом (6) вычислим величину α . Второе условие можно получить, если рассмотреть стационарного движения СМ по наклонной плоскости.

Пусть угол наклона плоскости θ . Пусть оси координат OX и OY лежат в плоскость движения СМ, а ось OZ – перпендикулярно плоскости движения. Мысленно выделим в толще СМ параллелепипед с длиной сторон L_x, L_y, L_z . Тогда в тензорных обозначениях на параллелепипед будет действовать сила вдоль оси координаты x_i , где $x_1 = x, x_2 = y, x_3 = z$

$$F_i = \oint \sigma_{ij} dS_j = K \oint \frac{d}{dx_j} (p \sigma_{ij}) dV, \quad (10)$$

Где σ_{ij} – тензор вязких напряжений (см. [3] или (3) при $\text{div} \mathbf{v} = \partial v_k / \partial x_k = 0$)

$$\sigma_{ij} = \eta (\partial v_i / \partial x_j + \partial v_j / \partial x_i). \quad (11)$$

При стационарном движении СМ по наклонной плоскости в силу однородности пространства давление $p = p(x_3)$ и продольная скорость $v_1(x_3)$ будут зависеть только от поперечной координаты x_3 , т. е. не будет зависеть от продольной координаты x_1 . Окончательно получим силу F_1 , которая действует на параллелепипед со сторонами L_x, L_y, L_z

$$F_1 = K \oint \frac{d}{dx_j} (p \sigma_{1j}) dV = K \oint \frac{d}{dx_j} \left[p \left(\frac{\partial v_1}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_1} \right) \right] dV = K \oint \frac{d}{dx_3} \left[p \frac{\partial v_1}{\partial x_3} \right] dV. \quad (12)$$

Исходя из краевых условий $v_1(x_3 = 0) = 0, (\partial v_1 / \partial x_3)|_{x_3=H} = 0$ из (12) получим решение

$$v_1(x_3) = (x/K) \tan \theta. \quad (12)$$

Расчетная величина массового расхода равняется

$$\mathcal{M}_{\text{рас}}^{(2)} = \rho \frac{H^2 \tan \theta}{2K}. \quad (13)$$

Теперь если определить массовый расход экспериментально при движении СМ по наклонной плоскости, то мы с учетом (13) можем вычислить величину K . Зная величины K и α , мы можем рассчитать в соответствии с (7) распределение давления.

На данный момент поставлен эксперимент в трубе квадратного сечения. Эксперимент стационарного движения СМ по наклонной плоскости предполагается сделать в ближайшее время.

Полученные оценки из разумных предположений показывают, что стационарное давление равняется $p_{\text{ст}} \sim \rho g a = 1.6 \text{ кПа}$. Такие давления малы по сравнению с давлениями, которые возникают в случае подземных взрывов [6].

Литература:

1. Шваб А.В., Марценко А.А., Марценко М.С., Моделирование гидродинамики высококонцентрированной гранулированной среды в смесительном бункере. // Вестник Томс. Гос. Университета: Математика и механика. 2013. №4(24). С. 127-132.
2. Садыков Н. Р., Бартош К. Е., Журавлев Е. А., Захаров М. А., Садыков Р. Н. СБОРНИК ТЕЗИСОВ V Молодежной научно-технической конференции ИССЛЕДОВАНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ. РАЗВИТИЕ. 1-3 октября. 2024. Снежинск. С. 13.
3. Бартош К. Е., Садыков Н. Р., Журавлев Е. А., Захаров М. А., Садыков Р. Н. СБОРНИК ТЕЗИСОВ V Молодежной научно-технической конференции ИССЛЕДОВАНИЯ. ТЕХНОЛОГИИ. РАЗВИТИЕ. 1-3 октября. 2024. Снежинск. С. 36.
4. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Теоретическая физика: Учебное пособие. Гидродинамика. М.: 1988. 736 с. Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит. (т. VI).
5. Будаков Б. М., Самарский А. А., Тихонов А. Н. Сборник задач по математической физике. М.: Учебное пособие: 1980. 688 с. Наука. Гл. ред. физ.-мат. Лит.
6. Вахрамеев Ю.С. Некоторые соотношения подобия для движения сыпучей уплотняющейся среды. Прикладная математика и механика. 1970. т. 34, вып. 5.

О ВЫСОКОТОЧНОМ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ РЯДА СОВРЕМЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Симоненко В.А.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

Аннотация:

Рассматривается развитие физико-математического моделирования и высокоточных расчетно-теоретических исследований в области физики высоких плотностей энергии и высокоинтенсивных процессов, начиная с ядерно-физических открытий середины XX века и создания первого ядерного оружия до современных исследований в области безопасности водородной энергетики и моделирования сложных ядерно-физических процессов методом Монте-Карло.

Особое внимание уделяется практическому применению накопленных знаний в различных областях: от оборонной промышленности до исследования астрофизических процессов и природных явлений. Подчеркивается важность современных вычислительных средств и программных комплексов для решения сложных физических задач, а также необходимость дальнейшего развития технологий неаналогового моделирования.

Ключевые слова: физико-математическое моделирование, высокоточные расчеты, физика высоких плотностей энергии, высокоинтенсивные процессы, ядерная физика, водородная энергетика, метод Монте-Карло, астрофизические процессы, вычислительные технологии, неаналоговое моделирование.

ON HIGH-PRECISION PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF A NUMBER OF MODERN RESEARCHES AND TECHNOLOGICAL PROCESSES

Simonenko V.A.

FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

Abstract:

The development of physical and mathematical modeling and high-precision computational and theoretical research in the field of physics of high energy densities and high-intensity processes is considered, starting from the nuclear physics discoveries of the mid-20th century and the creation of the first nuclear weapons to modern research in the field of safety of hydrogen energy and modeling complex nuclear physics processes using the Monte Carlo method.

Special attention is paid to the practical application of accumulated knowledge in various fields: from the defense industry to the study of astrophysical processes and natural phenomena. The importance of modern computing tools and software systems for solving complex physical problems is emphasized, as well as the need for further development of non-analog modeling technologies.

Keywords: physico-mathematical modeling, high-precision calculations, physics of high energy densities, high-intensity processes, nuclear physics, hydrogen energy, Monte Carlo method, astrophysical processes, computational technologies, non-analog modeling.

В смысловом отношении доклад состоит из двух частей. Первая – «высокоточное физико-математическое моделирование», а вторая – предполагает «ряд современных исследований и технологических процессов». Нечётко определённых эпитет «высокоточное» к последующему абстрактно-сформулированному направлению исследований «физико-математическое моделирование» мало уточняет название. В действительности предполагается параллельное усовершенствование физико-химических и ядерно-физических моделей рассматриваемых процессов, включая проведение необходимых экспериментальных

исследований и разработку специализированных теоретических моделей, а также использование адекватного математического аппарата для их описания, разработку специализированных методов исследования и при необходимости создание программных комплексов для получения соответствующих численных решений. Вторая часть названия указывает на конкретно целевую научную или технологическую направленность исследований.

Начну с проблематики, с которой в марте 1961 г. началась моя работа на заключительном этапе обучения в МИФИ. Я настраивался на написание диплома в Курчатовском институте: уже были определены руководитель и тема, но подчиняясь суровым законам того времени, вынужден был отправиться на Урал в НИИ-1011, так тогда назывался ВНИИТФ. Прибыв на место 10 марта, я более двух недель вынужден был потратить на оформление и ожидание приезда моего непосредственного руководителя М.Н. Нечаева и Е.И. Забабахина. После краткого собеседования Е.И. предложил мне в качестве темы дипломной работы рассмотреть влияние нелинейной теплопроводности на фокусировку сферической сходящейся ударной волны. Хотя фокусировка автомобильной сферической волны для меня была абсолютно новой проблемой, тема мне понравилась масштабами рассматриваемых процессов. Часть работы в ней – критерий учёта влияния теплопроводности и конфигурацию возникающей волновой структуры фронта надо было рассматривать аналитически, другую – формирование протяжённой тепловой волны и эволюцию фронтов при фокусировке – с использованием результатов численного моделирования, которое выполнялось в математическом подразделении института. Работал я напористо и, несмотря на большой объём, дипломную работу завершил за пару месяцев до установленного срока. Е.И. предложил написать по ней статью. Я представил ему довольно обширный текст. Он сократил его до нескольких печатных страниц. В таком виде она и была опубликована [1], хотя некоторые методические моменты мне до сих пор представляются интересными, поэтому я надеюсь их всё-таки опубликовать. Тем временем мне было предложено совершенно новое долгосрочное направление работы – сильные взрывы в плотных средах, по которому в дальнейшем я защитил кандидатскую и докторскую диссертации.

Примерно в 1964 г. руководитель математического подразделения А.А. Бунатян попросил меня прочесть лекции по мною же составленной программе, полезные для группы, в которую входили наши лаборанты, в вечернем филиале №6 МИФИ. С тех пор с некоторыми перерывами я читаю такой курс, адаптируя его под состав аудитории и потребности времени под условным названием «Физика высоких плотностей энергии и высокоинтенсивных процессов». Дело в том, раскрытие возможностей использования ядерной энергии, на многие порядки превосходящей энергии химических взаимодействий, открыло грандиозные перспективы, как научные, так и технологические, которые на сразу стали ясны. В пределах доклада невозможно представить то, что не вмещается в два семестра лекций по две пары в неделю.

В докладе мы рассмотрим лишь отдельные направления развития, за которыми стоят ФМ модели и задачи. Подчеркну, что по причине многоцелевой практической направленности тематика является компилятивной, и включает в себя избранные разделы термодинамики, механики сплошных сред, статистической физики, физики плазмы и ряда примыкающих дисциплин. При этом мы опираемся на знания, полученные на ранних курсах, и рассчитываем на дополнительные знания и общую эрудицию слушателей, которая, полагаю, значительно шире и глубже, чем была во времена моей молодости (60-ые годы прошлого века). Современные технические средства и интернет позволяют этот рост существенно усиливать. В таком же стиле я стараюсь вести занятия и в настоящее время. Косвенным свидетельством такой возможности для меня были курсовые работы, выполненные, в частности, в минувшем семестре магистрантами группы ЯФ-14м.

Для углублённого понимания изучаемого материала рекомендую при рассмотрении новых направлений касаться исторических условий возникновения. Давайте условно пройдем за минуту три века стремительного развития науки и технологий, и начнём с событий первой

половины 20-го века. Формированию рассматриваемого направления предшествовало время фундаментальных и прикладных ядерно-физических (ЯФ) открытий. Вспомним работы, которые привели к открытию электрона, атомного ядра, нейтрона, изотопов, позитрона. Особый импульс развитию ЯФ в Европе, в США и в СССР дало открытие делений ядер урана. Оно создало условия для разработки двух важнейших приложений регулярного и взрывного получения ядерной энергии, на пять и более порядков превосходящей энерговыделение химических реакций. В нашей стране в первую очередь стали рассматривать возможности регулярного получения ядерной энергии с последующим превращением в электрическую. Однако началась вторая мировая война, поэтому неизбежно было обращено внимания на возможность создания взрывных устройств небывалой разрушительной силы.

Особо остановимся на работах в Великобритании, где собрались многие учёные из европейских стран, в которых к власти пришли нацисты. К этому времени стало ясно, что природный уран содержит два изотопа – 238 и 235, содержание последнего в природе составляет лишь 0,7 %. Оказалось, что именно он хорошо делится на медленных нейтронах. Два беженца из Европы – Р. Пайерлс и О. Фриш в 1940 г. в Бирменгенском университете сделали убедительные оценки возможности создания взрывного устройства с использованием $^{92}\text{U}^{235}$ в виде двух кратких Меморандумов, и представили их руководству – М. Олифанту. В верхах документ был воспринят серьёзно. В силу тяжёлых полу-фронтовых условий на Британских островах к 1942 г. сложилась идея создавать взрывное устройство объединёнными усилиями в США подальше от области боевых действий. Вначале в США, несмотря на поддержку президента Рузвельта, работы велись только по направлению регулярного получения энергии. Однако доводы Меморандума, привезённого из Британии, там тоже нашли убедительными, и в апреле 1943 г. было принято решение об организации Манхэттенского проекта, задачей которого было создание взрывных ядерных устройств с привлечением учёных из Великобритании, Канады и отдельных учёных, которые эмигрировали из Германии. В самой Германии такие работы в 1942 г. были свёрнуты, уступив место неотложным задачам для потребностей фронта.

В нашей стране работы по взрывному направлению в 1940 г. предлагали начать ученые из ХФТИ Ф. Ланге, В. Шпинев, В. Маслов, но академик А.К. Хлопин, как эксперт, счёл их преждевременными, и они не получили поддержки (информацию по отечественным работам см. в [2]). Опасность взрывного направления в правительственных кругах была осознана в 1943 г., когда стало ясно, что открытые публикации по соответствующим направлениям прекращены, а в США и в Германии по данным разведки такие работы проводились. На территории нашей страны велись напряжённые боевые действия, поэтому исследовательские возможности были сильно ограничены.

Тем временем в США соответствующие работы разворачивались широким фронтом. Был открыт новый трансурановый элемент – плутоний и его изотоп $^{94}\text{Pu}^{239}$, сечение деления которого на тепловых нейтронах было больше, чем у $^{92}\text{U}^{235}$. Деление его также сопровождалось выходом нейтронов, пригодных для организации цепной реакции. В ходе работ по Манхэттенскому проекту в США было занято 130 000 человек, в том числе 14 лауреатов нобелевских премий. В результате к 1945 г. было создано два типа взрывных устройств. Первый – импловизионного типа на плутонии в двух экземплярах – Gadget, испытанный 16 июля 1945 г. на полигоне в Аламогордо, и Fat Man, применённый 9 августа 1945 г. при бомбардировке Нагасаки. В конструкции его использовалась блочная схема, разработанная Фон Нейманом. Второй – «пушечного» типа с использованием урана-235, без испытания был применён при бомбардировке Хиросимы. Об испытании первого устройства президент Трумэн сообщил Сталину в 24 июля на Потсдамской конференции. В историческом плане интерес представляет книга Р. Сербера [4] – первого руководителя теоретического отдела, ученика Р. Оппенгеймера. Она раскрывает уровень знаний, с которыми участники проекта приступали к работе в Лос Аламосе в марте 1943 г.

Информация Трумэна послужила сигналом для начала активной программы работ в нашей стране. История отечественных работ описана в двенадцати томах «Атомный проект

СССР», изданных под общей редакцией Л.Д. Рябева [2]. Начало работ по направлению современного понимания физики высокоинтенсивных процессов закладывалось в Сарове в 1950-х годах. Главным конструктором был назначен Ю.Б. Харитон, а непосредственным руководителем научных и конструкторских работ был наш первый научный руководитель К.И. Щёлкин. В команду входили Я.Б. Зельдович, А.Д. Сахаров, Е.И. Забабахин, Ю.А. Романов, Л.В. Альтшулер, К.К. Крупников, С.Б. Кормер, В.М. Некруткин и др. В 1949 г. было испытано устройство, в котором применялась физическая схема устройства Gadget, однако технологические решения абсолютно отличались. Параллельно проводились исследования ударной сжимаемости плотных веществ с использованием наработок, предназначенных для натурной системы.

С позиций настоящего времени представляется весьма ценным вклад Е.И. Забабахиной, который в 1944 г. при окончании Военно-воздушной академии им. Жуковского обратил внимание на сходящуюся ударную волну и попросил генерал-майора Д.А. Вентцеля быть руководителем в адъюнктуре при выполнении работы по теме «Исследования сходящейся детонационной волны». В 1947 г. он защитил диссертацию. Результаты её были использованы в институте химической физики, а затем в КБ-11, куда он был переведён в 1948 г., и были проверены при испытании 1949 года. А в 1951 году была успешно испытана полностью оригинальная отечественная система, предложенная Забабахиным, Альтшулером и Крупниковым. Последующие ценные шаги были сделаны при создании термоядерных систем. Подчеркнём, что помимо углублённого понимания термодинамических свойств веществ при высоких давлениях формировалось понимание тепловых процессов при высоких плотностях энергии.

С образованием нашего института в 1955 г. работы получили дополнительный импульс и продолжались в «соревновательном» режиме по исследованию свойств веществ при сверхвысоких давлениях, по развитию и совершенствованию физических моделей веществ, алгоритмов их математического описания и создания соответствующих программных средств для описания высокоинтенсивных процессов. В частности, в 1957 г. нашим институтом был проведен уникальный эксперимент под руководством Е.Н. Аврорина. Параллельно создавались и развивались экспериментальные базы, методы исследований, проводились соответствующие эксперименты и накапливались данные для проверки достоверности теоретических представлений и программных комплексов [5]. Именно работы по созданию и испытаниям импульсных систем способствовали формированию физики высоких энергий и облегчили расширение области исследований в применении к астрофизическим условиям. В докладе показаны некоторые примеры таких работ.

В силу ряда политических решений работы по оборонному направлению на границе 1990-х годов существенно сократились. Это дало возможность уделять внимание ряду важных общенаучных применений накопленных знаний. В частности, были оценены опасности столкновений с Землёй малых астрономических тел – астероидов и комет. Проанализированы такие опасные события в истории Земли. Были рассмотрены возможные способы предотвращения таких опасностей. Были исследованы некоторые события планетарного значения: на Земле – образование столкновительных кратеров на поверхности и на дне океана, образование и распространение волн цунами, формирование шевронных дюн, распространение поверхностной волны Релея, образование полей диатрем и кимберлитовых трубок при фокусировке волны Релея; на Марсе – образование долины Эллады и Патерры Альба, образование ряда вулканов. Рассматривались некоторые астрофизические процессы: вынос энергии из звезды типа Солнце с магнитным полем, термоядерные вспышки на поверхности нейтронной звезды в двойной системе малой массы с образованием гамма-всплесков, ускорение заряженных частиц до высоких энергий при взрывах сверхновых.

Отдельно отметим исследования последних 15 лет. В первую очередь нам предложили в 2010 г. включиться в работы по обеспечению безопасности при тяжёлых авариях (ТА) на АЭС с ВВЭР, которые возникают при потере теплоносителя в реакторной установке. В частности, было обращено наше внимание на распространение режимов горения под

герметичной оболочкой и на работу рекомбинаторов водорода. Кроме того, нам было предложено включиться в работы по анализу топливного цикла энергетических ядерных реакторов, а также включиться в работы по созданию математических моделей и программных средств для описания процессов переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) и замыкания ядерного топливного цикла.

А в 2019 г. было предложено расширить круг наших задач в сторону безопасности «технологий водородной энергетики». Для рассмотрения их был создан специальный отдел. Однако состав решаемых задач оказался шире возможностей одного отдела, поэтому работы пришлось выполнять совместно с другими подразделениями института и научными коллективами вне института. Они ведутся по трём направлениям: (1) моделирование технологий замыкания ядерного цикла и вопросы его безопасности, (2) некоторые вопросы реакторной физики, включая жидкосолевой реактор – дожигатель минорных актинидов и (3) вопросы безопасности технологий «водородной энергетики». На данном этапе работ наиболее напряженными являются работы по созданию предприятий для получения водорода с использованием энергии ядерных реакторов в виде электрической энергии (ВВЭР) или тепловой (ВТГР). Самым напряженным является последний случай. Сырьём для такого получения водорода является природный газ, переработка которого осуществляется методом паротеплового риформинга. При этом химико-технологическая часть производства может содержать более 10 опасных химических реакторов. Для рентабельности производства необходима высокая производительность, что может приводить к крупномасштабным авариям. В частности, наиболее сложными задачами являются многообразие режимов горения различных газовых составов и переход горения в детонацию, а также сверхзадача – исключение возможности повреждения реакторов соседних химических переделов при самых сложных запроектных авариях.

В заключение остановлюсь на направлении, важном для современных применений, которое уже давно развивается в нашем институте, но в последнее время результаты применения его стали приобретать большое значение благодаря существенному расширению вычислительных мощностей и технологий программирования. Развитие его также предполагает использование прецизионных физико-математических моделей как при описании ЯФ процессов переноса квантов, нейтронов, а в дальнейшем и заряженных частиц, так и в части использования более богатого математического аппарата. Речь идёт о расширении возможности программных комплексов Монте Карло (МК) путём включения в него дополнительных расчётных модулей. Подчеркну, что МК-технология сама по себе обладает уникальными возможностями передавать фактически все геометрические и композиционные детали сложнейших систем. В частности, такие потребности возникают при моделировании работы ядерных реакторов, больших физико-технологических систем, в которых требуются знания радиационных потоков и доз на больших расстояниях от источников и др. Принципиальные вопросы такого расширения МК-моделирования уже рассматривались классиками фактически в ранних работах по методу МК [6], но реальные возможности, как уже отмечалось, стали появляться в последнее время, и будут улучшаться в дальнейшем. В частности, по таким вопросам в институте подготовлена к защите диссертация Д.Г. Модестова [7]. В ней применительно к задачам переноса нейтральных частиц – фотонов и нейтронов – анализируются и используются возможности физических моделей и на основе фундаментальных положений создаются алгоритмы решения задач не аналогового моделирования с использованием метода отбора и весовых множителей. Разработаны алгоритмы для описания соответствующих сложных процессов, подготовлены прецизионные данные для расчётов, проанализированы подходы, опубликованные другими организациями, и продемонстрированы достоинства разработанной технологии. В то же время представляется целесообразным продолжать поиск обобщающих закономерностей технологии не аналогового моделирования.

Литература:

1. Е.И. Забабахин, В.А. Симоненко, Сходящаяся ударная волна в теплопроводном газе, ПММ, 1965, т. 29, № 2.
2. Л. Физматлит. «Атомный проект СССР» Документы и материалы, Под общей редакцией Д. Рябева, изд. Наука.
3. R. Rhodes, The Making of the Atomic Bomb, A Touchstone Book? Published by Simon & Schuster, Inc, 1987.
4. Р. Сербер, Лос Аламосский букварь. R. Serber, The Los Alamos Primer. The First Lectures on How To Build An Atomic Bomb Annotated by Robert Serber. Edited with an Introduction by Richard Rhodes. The Frish-Peierls Memorandum, University of California Press, 1992.
5. Е. Н. Аврорин, Б. К. Водолага, В. А. Симоненко, В. Е. Фортон. Мощные ударные волны и экстремальные состояния вещества. УФН, 1993, т.163. - №5, с. 1-34. Е. Н. Аврорин, В. А. Симоненко, Л. И. Шибаршов. Физические исследования при ядерных взрывах. УФН, 2006, т.176, №4, с. 449-454
6. И.М. Соболев, Численные методы Монте-Карло. Изд. «Наука», Физматлит, М., 1973. Дж. Спанье, Э. Гелбырд, Метод Монте-Карло и задачи переноса нейтронов, Атомиздат 1972.
7. Д.Г. Модестов. Весовой множитель и методы отбора, Моделирование когерентного рассеяния фотонов. ВАНТ. Сер. Математическое моделирование физических процессов (ММФП), 2010. Вып. 1, с. 24-54.; Использование приближения мгновенных столкновений для моделирования переноса медленных нейтронов, ВАНТ 2008, ММФП, 3, 48-54. Моделирование переноса медленных нейтронов, в программе «ПРИЗМА». ВАНТ 2012, Сер. «Физика ядерных реакторов, вып. 3, с. 60-69.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНИМОСТИ РЕЗУЛЬТАТОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВСПЫШКИ В ОТКРЫТОМ ТИГЛЕ ПРИ УСТАНОВЛЕНИИ ПРЕДЕЛА БЕЗОПАСНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЛЯ ЭКСТРАКЦИОННЫХ СИСТЕМ

Старовойтов Н.П.¹, Казаков В.А.¹, Дудкин В.А.¹, Монстаков Д.А.¹, Козлов П.В.¹
Логунов М.В.¹, Тананаев И.Г.^{1,2}

¹ ФГУП «ПО «Маяк», Озерск, Челябинская область

² Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Приморский край

В настоящее время на заводе РТ-1 для переработки отработавшего ядерного топлива (ОЯТ) различных типов энергетических реакторов, используется Пурекс-процесс, предполагающий совместное извлечение урана и плутония из азотнокислых растворов ОЯТ в экстрагент, представляющий собой смесь парафиновых углеводородов на базе разбавителя C10 - C13 с трибутилфосфатом (ТБФ). Смеси экстрагента с окислителями, прежде всего с азотной кислотой, представляют потенциальную опасность в отношении возникновения неуправляемых экзотермических реакций, ведущих к тепловому взрыву. В связи с этим проблемы безопасности являются ключевыми. В данной работе проведена исследовательская работа по сбору доказательной базы применимости результатов определения температуры вспышки в открытом тигле при установлении предела безопасной эксплуатации для экстракционных систем завода РТ-1. В ходе экспериментов установлено, что по мере эксплуатации экстрагента, приготовленного на базе разбавителя C10 - C13, представляющего собой смесь парафиновых углеводородов, температура вспышки, несмотря на накопление в экстрагенте (по умолчанию) продуктов разложения, имеет тенденцию к росту, превышая начальные значения. Сделано предположение, что в процессе работы часть наиболее растворимых легких фракций разбавителя C10 с минимальной температурой вспышки из органической фазы удаляется, обогащаясь фракцией разбавителя C13. И этот процесс превалирует над тенденцией к накоплению продуктов разложения, снижающих температуру вспышки.

Ключевые слова: экстрагент, трибутилфосфат, смесь парафиновых углеводородов, безопасность, температура вспышки, открытый тигель, calorimetрия, предел безопасной эксплуатации, температура самовоспламенения, стартовая температура, экзотерма, газовыделение, тепловой взрыв

JUSTIFICATION OF THE APPLICABILITY OF OPEN CUP FLASH POINT RESULTS IN ESTABLISHING SAFE OPERATING LIMITS FOR EXTRACTION SYSTEMS

Starovoytov N.P.¹, Kazakov V.A.¹, Dudkin V.A.¹, Monstakov D.A.¹, Kozlov P.V.¹
Logunov M.V.¹, Tananaev I.G.^{1,2}

¹ Federal State Unitary Enterprise "Production Association "Mayak", Ozersk, Russia

² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Primorsky Krai

Currently, the RT-1 plant uses the PUREX process for processing spent nuclear fuel (SNF) from various types of power reactors. This process involves the combined extraction of uranium and plutonium from nitric acid solutions of SNF into an extractant, which is a mixture of paraffin hydrocarbons based on a C10 - C13 diluent with tributyl phosphate (TBP). Mixtures of the extractant with oxidizers, primarily with nitric acid, pose a potential hazard in terms of the occurrence of uncontrolled exothermic reactions leading to a thermal explosion. In this regard, safety issues are key.

In this paper, a research study was conducted to collect evidence on the applicability of the results of determining the flash point in an open crucible when establishing the safe operating limit for the extraction systems of the RT-1 plant. During the experiments it was established that during the operation of the extractant prepared on the basis of the C10 - C13 diluent, which is a mixture of paraffin hydrocarbons, the flash point, despite the accumulation of decomposition products in the extractant (by default), tends to increase, exceeding the initial values. It was assumed that during operation, part of the most soluble light fractions of the C10 diluent with a minimum flash point is removed from the organic phase, enriched with the C13 diluent fraction. And this process prevails over the tendency to accumulate decomposition products that reduce the flash point.

Key words: extractant, tributyl phosphate, mixture of paraffin hydrocarbons, safety, flash point, open crucible, calorimetry, safe operating limit, autoignition temperature, starting temperature, exotherm, gas evolution, thermal explosion

Использование парафина, содержащего фракции C_{10} - C_{13} (по ТУ 0255-021-05766480-2006), в экстракционных технологических процессах завода РТ-1 привело к снижению температуры вспышки экстракционной смеси относительно значения температуры вспышки, на основании которого ранее был установлен предел безопасной эксплуатации в технологической документации и отчете об обосновании безопасности завода.

В технологической документации завода РТ-1 ограничения по температуре проведения экстракционных процессов установлены исходя из температуры вспышки в закрытом тигле.

В соответствии с действующим на федеральном государственном унитарном предприятии «Производственное объединение «Маяк» стандартом организации [2] предел безопасной эксплуатации должен быть установлен исходя из температуры вспышки в закрытом тигле, однако, по [1] (пункт 6.4.5) допускается устанавливать иные значения пределов безопасной эксплуатации при наличии соответствующего обоснования (заключения) о взрывопожаробезопасности, оформленного в виде заключения компетентной организации или рекомендации.

Для решения вопросов по обеспечению взрывопожаробезопасности была проведена исследовательская работа по сбору доказательной базы применимости результатов определения температуры вспышки в открытом тигле при установлении предела безопасной эксплуатации для экстракционных систем завода РТ-1.

В ходе работы были изучены экстракционные системы, используемые в технологических процессах завода РТ-1.

Температура вспышки, определенная на приборе «Вспышка А» в открытом тигле для экстракционной смеси 10 % ТБФ в разбавителе C_{13} , составила 90 °С, для аналогичной смеси с содержанием ТБФ 30 % – 99 °С.

В [2] величина предела безопасной эксплуатации принимается на 10 °С ниже величины $T_{всп}$, наименьшей температуры жидкости, при которой происходит воспламенение паровоздушных смесей.

В соответствии с этим за величину предела безопасной эксплуатации следует принять для экстракционной смеси 10 % ТБФ в разбавителе C_{13} значение температуры экстрагента в процессе экстракции 80 °С, для экстракционной смеси 30 % ТБФ в разбавителе C_{13} 89 °С.

На адиабатическом реакционном калориметре АРТАС 264 были проведены исследования параметров теплового взрыва.

Для смеси 30 % ТБФ в разбавителе C_{13} в контакте с 5 моль/дм³ азотной кислоты температурный диапазон, где обнаружена экзотерма, составил от 100 °С до 191 °С. Стартовое значение температуры начала неуправляемой экзотермической реакции (теплового взрыва) составило 121 °С.

Для предварительно облученной до 0,5 МГр смеси 30 % ТБФ в разбавителе C_{13} с 5 моль/дм³ HNO_3 , температурный диапазон, где обнаружена экзотерма, составил от 92 °С до 205 °С. Стартовое значение температуры теплового взрыва составило 113 °С. Полученная

закономерность подтверждает факт ухудшения показателей ВПБ экстракционных систем при воздействии на них внешнего облучения без промывки. Безопасной температурой или пределом безопасной эксплуатации с учетом стартового значения температуры теплового взрыва для облученной экстракционной смеси 30 % ТБФ в разбавителе C_{13} равной 113 °С нужно считать значение меньшее или равное 90 °С [3].

Таким образом, результат по установлению предела безопасной эксплуатации с применением [3] по температуре вспышки в открытом тигле и с применением калориметрии через понятие «стартовая» температура теплового взрыва получен одинаковый. На основании полученных экспериментальных данных в дальнейшем можно рекомендовать устанавливать предел безопасной эксплуатации с применением [3] по температуре вспышки в открытом тигле.

Эксперимент по определению $t_{всп}$ исследуемых чистых реагентов и продуктов оборотного экстрагента первого и второго экстракционных циклов, приготовленных на базе разбавителя C_{10} , из отделения цеха завода РТ-1, отобранных из аппарата первого экстракционного цикла и аппарата второго цикла соответственно, проводили на регистраторе «Вспышка-А».

Значения, полученные на данном приборе для продуктов, отобранных в разный период времени работы аппарата, приведены в таблице 1. Построены гистограммы зависимости температуры вспышки от даты отбора, представленные на рисунке 1, допускаемая абсолютная погрешность определения температуры вспышки ± 5 °С.

Как видно из данных таблицы 1, все исследованные вещества относятся к категории горючих жидкостей.

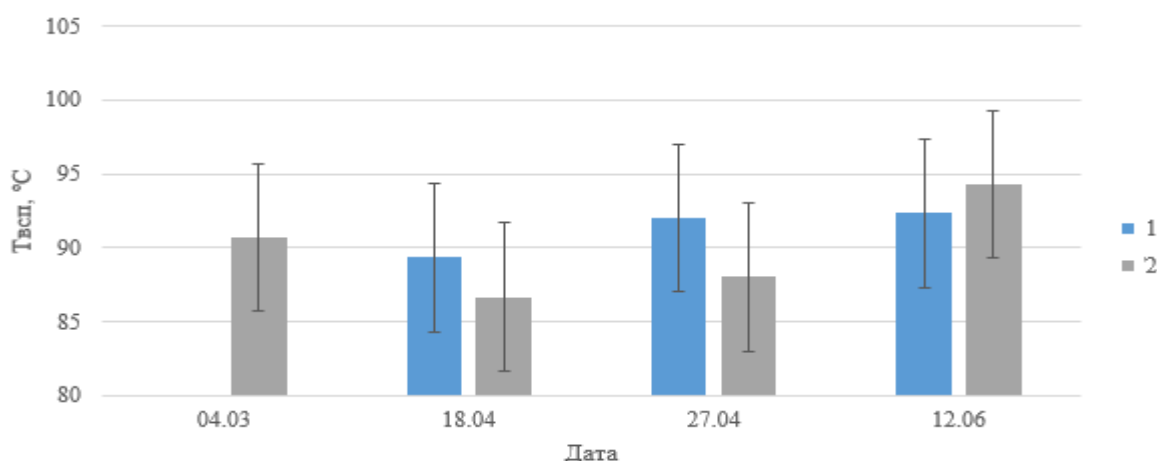


Рисунок 1 – Гистограмма зависимости температуры вспышки от даты отбора (продолжительности эксплуатации) оборотного экстрагента, приготовленного на базе разбавителя C_{10}

Таблица 1 – Экспериментальные значения температуры вспышки в открытом тигле

Таблица 1. Экспериментальные значения температуры вспышки в открытом тигле					
Дата замера	Номер пробы с датой отбора	Количество замеров	Наименование продукта	Температура вспышки в открытом тигле по ГОСТ 4337-87, °C	
05.02.2024	1642	1	Чистый разбавитель экстрагента (парафин) с уменьшенной долей фракции C ₁₃ и увеличенной долей фракции C ₁₀	80	80
		2		80	
05.02.2024	1643	1	ТБФ	161	161
		2		161	
05.02.2024	1635	1	30 % раствор ТБФ в разбавителе С-10	83	83
		2		83	
05.02.2024	1636	1	10 % раствор ТБФ в разбавителе С-10	81	81
		2		81	
04.03.2024	315 от 04.03.2024	1	1	Нет	Нет*
		2		Нет	
		3		Нет	
	316 от 04.03.2024	1	2	91	91
		2		90	
		3		91	
22.04.2024	2011 от 18.04.2024	1	1	90	89
		2		88	
		3		90	
	2062 от 18.04.2024	1	2	88	87
		2		90	
		3		82	
		1		96	
		2		90	
		3		90	
03.05.2024	3074 от 27.04.2024	1	1	90	92
		2		90	
		3		90	
	3086 от 27.04.2024	1	2	90	88
		2		88	
		3		86	
26.06.2024	415 от 10.06.2024	1	1	93	92
		2		93	
		3		91	
	516 от 10.06.2024	1	2	93	94
		2		97	
		3		93	
* В пробах присутствует водная фаза, поэтому вспышка не фиксируется.					

Установлено, что значения вспышки в открытом тигле для чистых реагентов выше на 15-20 °C максимальных температур процессов экстракционного передела, которые составляют от 60 °C до 65 °C.

Приведенная гистограмма (см. рисунок 1) свидетельствует, что по мере эксплуатации экстрагента, приготовленного на базе разбавителя C₁₀ - C₁₃, представляющего собой смесь парафиновых углеводородов, температура вспышки, несмотря на накопление в экстрагенте (по умолчанию) продуктов разложения, имеет тенденцию к росту, превышая начальные значения. Сделано предположение, что в процессе работы часть наиболее растворимых легких фракций разбавителя C₁₀ с минимальной температурой вспышки из органической фазы удаляется, обогащаясь фракцией разбавителя C₁₃. И этот процесс превалирует над тенденцией к накоплению продуктов разложения, снижающих температуру вспышки.

Таким образом, на основании анализа полученных данных (см. таблица 1) с точки зрения образования пожароопасных газовых смесей к реэкстракторам первого и второго экстракционных циклов и в других технологических процессах отделений цеха завода РТ-1 применимы ограничения, связанные с определением значения температуры вспышки в открытом тигле. В случае применения разбавителя C_{10} наименьшая величина $T_{всп}$ для свежего экстрагента составляет 81 °С. Учитывая экспериментально подтвержденный факт, что за время эксплуатации температура вспышки в открытом тигле оборотного экстрагента, приготовленного на базе разбавителя C_{10} , постепенно повышается на 10 °С и более, применяемые организационно-технические мероприятия по обеспечению ВПБ экстракционных и реэкстракционных процессов, а также в связи с тем, что стандарт организации [1] содержит допущение о возможности устанавливать отличные от приведенных в [2] пределов безопасной эксплуатации при наличии соответствующего обоснования, допускается принять предел безопасной эксплуатации для экстрагента, приготовленного на базе разбавителя C_{10} , равным 81 °С и установить температуру проведения реэкстракционных процессов не более 75 °С при условии постоянного термометрирования в экстракторах и при температуре проведения экстракционного процесса не более 70 °С.

Использованные источники:

- 1 СТО Ц 054–2022. Система стандартов безопасности труда. Взрывопожаробезопасность производственных процессов радиохимического, реакторного, химико-металлургического, химического и изотопного производств. Общие требования. – Озерск: ФГУП «ПО «Маяк», 2022.
- 2 Положение об оценке пожаровзрывобезопасности технологических процессов радиохимических производств. РБ-060-10.
- 3 ГОСТ 12.1.044–89 (ИСО 4589-84). Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2000.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОЖАРА НА БАЛЛОНЫ С ВОДОРОДОМ ПОД ВЫСОКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Стаханов В. В., Шлейтанов Б. А., Давлетчин Ю. Ф., Шарапов И. К., Ушков А. В.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Россия
stakhanovvv@vniitf.ru

При возникновении пожара вблизи баллона с водородом под высоким давлением возможен разрыв баллона с образованием огненного шара, в результате чего окружающему оборудованию наносится ущерб от барического и термического воздействия. Целью текущей работы являлось проведение экспериментального исследования воздействия пламени на баллон с водородом под высоким давлением. Эксперименты проводились с двумя типами баллонов с водородом под давлением 15 и 30 МПа. В результате были получены данные по давлению разрыва и времени нахождения баллонов с водородом в очаге пожара.

Ключевые слова: водород, баллон высокого давления, взрыв, огненный шар

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF FIRE EFFECT ON HIGH-PRESSURE HYDROGEN VESSELS

V. V. Stakhanov, B. A. Shleytanov, Yu. F. Davletchin, I. K. Sharapov, A. V. Ushkov
FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia
stakhanovvv@vniitf.ru

When the fire occur close by high-pressure hydrogen vessel, it may be ruptured with fireball formation, and, as a result, the facility are damaged by shock and thermal load. The aim of this work is experimental investigation of fire effect on the high-pressure hydrogen vessel. Experiments are carried out with two type of vessels at 15 and 30 MPa. As a result, the data of rupture pressure and imperishability time for vessel in fire are measured.

Keywords: hydrogen, high-pressure vessel, explosion, fireball

Для хранения и транспортировки водорода используются баллоны высокого давления, в частности, разрабатываются баллоны для содержания водорода под давлением вплоть до 70 МПа [1]. В случае возникновения пожара вблизи баллона с водородом, из-за нагрева давление в баллоне возрастает, и, при отсутствии или отказе сбросного клапана, может произойти взрыв с образованием огненного шара [2]. При взрыве на объекты окружающей среды оказывается барическое воздействие ударной волны, воздействие осколков баллона и термическое воздействие от огненного шара. Для оценки безопасности и потенциального ущерба при аварии на объектах с баллонами важным становится определение характеристик баллона, а именно давления, при котором происходит разрыв баллона, и времени его достижения в условиях протекающей аварии, как, например, в работах [3,4]. Подробный обзор исследований особенностей поведения резервуаров с водородом в очаге пожара представлен в работе [5].

Целью работы являлось проведение экспериментов по воздействию пламени на типовые баллоны, в которых моделируется аварийная ситуация возникновения пожара вблизи баллона. Исследовались два типа водородных баллонов с рабочим давлением газа 15 и 30 МПа, параметры которых приведены в таблице 1. Эксперименты проводились в пожарном стенде, в нижней части которого осуществлялась подача керосина для поддержания пожара. Снаружи осуществлялась скоростная видеосъемка в видимом и инфракрасном диапазоне. В экспериментах проводилось измерение температуры пламени и на поверхности баллона, давления газа в баллоне.

Таблица 1 – Характеристики исследуемых баллонов

Характеристика	Баллон 40-150У	Баллон БМК
Размеры	L=1,37 м, D=0,22 м	L=0,98 м, D=0,42 м
Масса	58,5 кг	74 кг
Номинальное рабочее давление	14,7 МПа	39,2 МПа
Внутренний объем	40 л	80 л
Материал стенки	Сталь 40	Внешняя – базальтовый ровинг НРБ-13, внутренняя – алюминиевый сплав АМгб

Были определены значения давления газа в баллоне, при котором происходит разрыв в условиях пожара (рисунок 1, таблица 2).

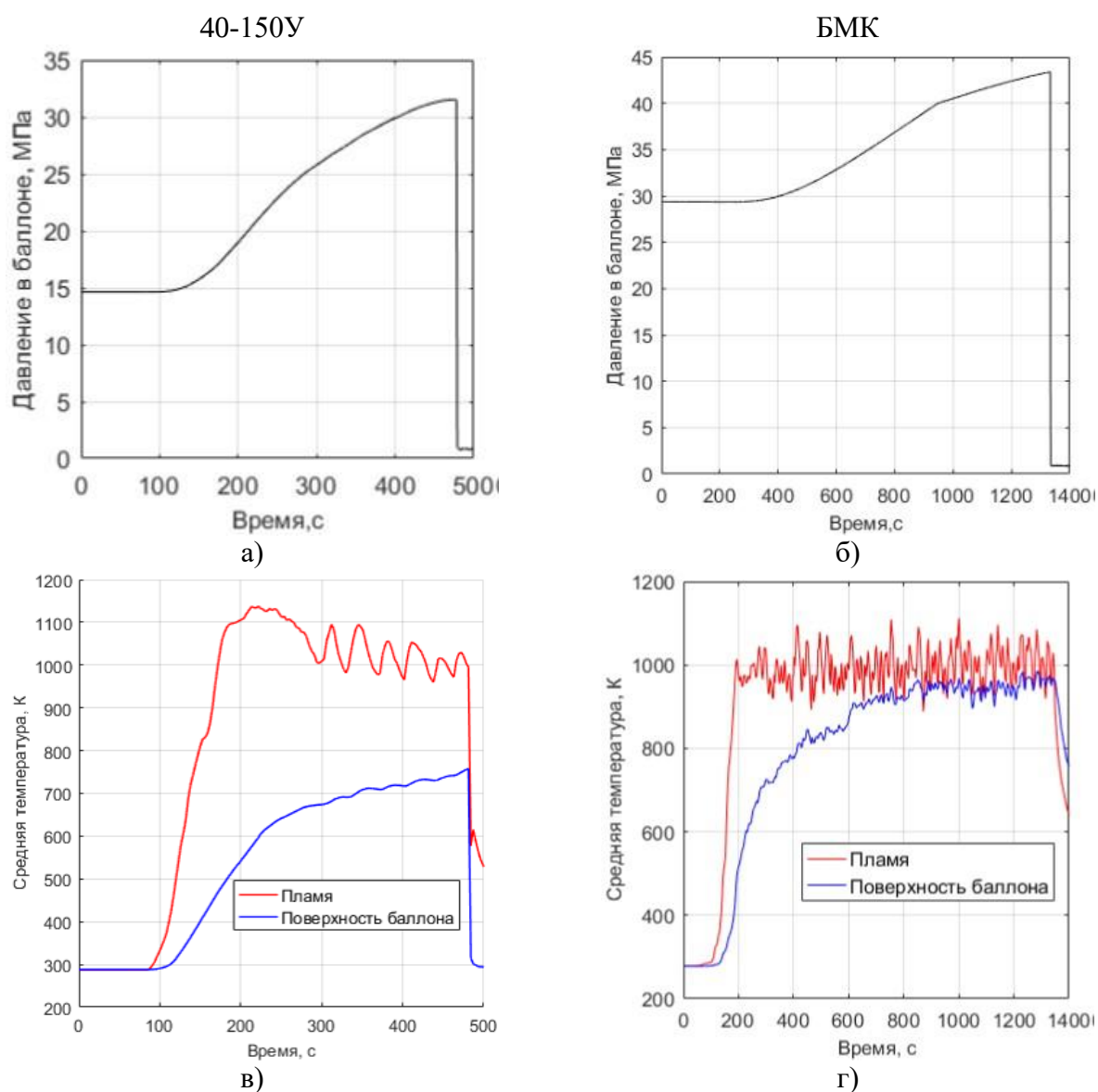


Рисунок 1 – Данные по изменению давления газа и температуры в экспериментах с баллонами 40-150У (а, в) и БМК (б, г).

Таблица 2 – Результаты экспериментов с баллонами

Баллон	Начальное давление в баллоне, МПа	Давление разрыва, МПа	Время нахождения в пожаре до разрыва, с	Температура поверхности баллона в пожаре, К
40-150У	14,7	31,5	478	≈750
БМК	29,4	43,5	1333	≈1000

Рост давления в баллоне с водородом, находящимся в пожаре, приводит к его последующему разрыву с возникновением ударной волны и огненного шара, как на рисунке 2а, способному привести к разрушению близлежащих конструкций. Дополнительно излучение от огненного шара способно нанести ущерб в виде ожогов или стать причиной загорания легковоспламеняемых материалов.



Рисунок 2 – Кадры огненного шара при взрыве баллона БМК: а) видеокамера, б) ИК камера.
1 – стенка пожарного стенда, 2 – баллон БМК, 3 – пламя, 4 – взвесь

Полученные данные могут быть использованы для валидации расчетных методик, моделирующих поведение баллона в условиях пожара. Дополнительно, проведенные эксперименты с баллонами представляют основу для разработки постановок испытаний с размещением измерительных средств для количественного определения трех типов воздействий: 1) барических нагрузок при разрыве баллона и после возникновения огненного шара; 2) термических нагрузок при воздействии огненного шара; 3) механических нагрузок при разрыве баллона и от частиц или осколков баллона.

Список использованных источников:

1. В.Н. Фатеев, О.К. Алексеева и др. / Проблемы аккумулирования и хранения водорода / CHEMICAL PROBLEMS – 2018, Н. 4 (16), с. 453 – 483
2. Комаров А. А., Шангарев Р. Р. Определение поражающих факторов при авариях, сопровождаемых огненными шарами // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2020. Т. 3. С. 20–25.
3. Halm D, et al., Composite pressure vessels for hydrogen storage in fire conditions: Fire tests and burst simulation, International Journal of Hydrogen Energy, V. 42, I. 31, 2017, pp. 20056–20070
4. Chuanchuan Shen, Li Ma, Gai Huang, Yingzhe Wu, Jinyang Zheng, Yan Liu, Jun Hu, Consequence assessment of high-pressure hydrogen storage tank rupture during fire test, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 55, (2018), pp. 223–231.
5. Шебеко Ю.Н. Особенности поведения резервуаров с сжиженным водородом в очаге пожара. Пожаровзрывобезопасность. 2024. Т. 33. № 2. С. 50–58.

ОБЗОР НЕКОТОРЫХ МОДЕЛЕЙ МНОГОФАЗНЫХ ТЕЧЕНИЙ И МЕЖФАЗНЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ

Томилов Ю.А.^{1,2}, Щенникова Е.М.^{1,2}

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. акад. Е.И. Забабахина», г. Снежинск, Челябинская обл.,

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», г. Снежинск, Челябинская обл.

tomilovyua@vniitf.ru

В докладе представлен обзор ряда моделей многофазных течений и межфазных взаимодействий. Рассматриваются такие модели, как модель Лагранжевых капель [1], крупных капель, жидкой пленки [2] и т.д. Применение этих моделей демонстрируется на примере расчета фонтана воды, проведенного в Star-CCM+.

Данные модели позволяют описывать сложные процессы, в которых взрывоопасная смесь может воспламениться в присутствии мелкодисперсных капель. Примером может служить работа спринклерной системы АЭС при тяжелой аварии, моделирование которой имеет важное значение для обоснования безопасности АЭС.

Ключевые слова: многофазное течение, межфазные взаимодействия, Лагранжевы частицы, жидкая пленка, крупные капли, межфазный переход, поверхностное натяжение

REVIEW OF SOME MODELS OF MULTIPHASE FLOWS AND INTERPHASE INTERACTIONS

Y. A. Tomilov^{1,2}, E.M. Shchennikova^{1,2}

¹ FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Russia

² FSAEE HE «Snezhinsk physicotchnical institute of National research nuclear university MEPHI»,
Snezhinsk, Russia

tomilovyua@vniitf.ru

The report provides an overview of several models of multiphase flows and interphase interactions. Models such as the Lagrangian droplets [1], blobs, liquid film [2] etc., are discussed. The application of these models is demonstrated through the calculation of water fountain, conducted in Star-CCM+.

These models allow for the description of complex processes in which an explosive mixture can ignite in the presence of finely dispersed droplets. An example is the operation of a sprinkler system in a nuclear power plant during a severe accident, the modeling of which is of great importance for justifying the safety of the nuclear power plant.

Keywords: multiphase flow, interphase interaction, Lagrangian particles, fluid film, blobs, interphase transition, surface tension

Общие понятия

- Многофазное течение – это термин, обозначающий течение и взаимодействие нескольких фаз в пределах одной системы, в которой между фазами существуют отчетливые интерфейсы.
- Фаза – это термодинамически равновесное состояние вещества, качественно отличное по своим свойствам от других равновесных состояний того же вещества. Фазой может быть твердое тело, жидкость или газ. С точки зрения моделирования физических явлений понятие

«Фаза» трактуется более широко, что обуславливает появление некоторых других фаз, речь о которых пойдет далее.

- Существует две основные стратегии моделирования течений различных фаз – Эйлера и Лагранжева.
- В Эйлеровом подходе фаза является непрерывной, и она проходит через объем ячейки расчетной сетки. Для каждой ячейки решаются уравнения переноса массы и других переменных.
- Лагранжевы модели представляют фазы как дискретные частицы, для которых решаются уравнения движения частиц для определения их положения в пространстве и времени.
- Межфазное взаимодействие – это совокупность моделей, описывающих влияние одной фазы на другую фазу в расчете многофазного течения.

Постановка расчета

В качестве примера рассмотрим расчет истечения фонтана. Из цилиндрической трубы в окружающий воздух истекает вода со скоростью 5 м/с. На поверхности земли и трубы подачи воды скорость задавалось равной нулю, на остальных границах – давление 1 атм.

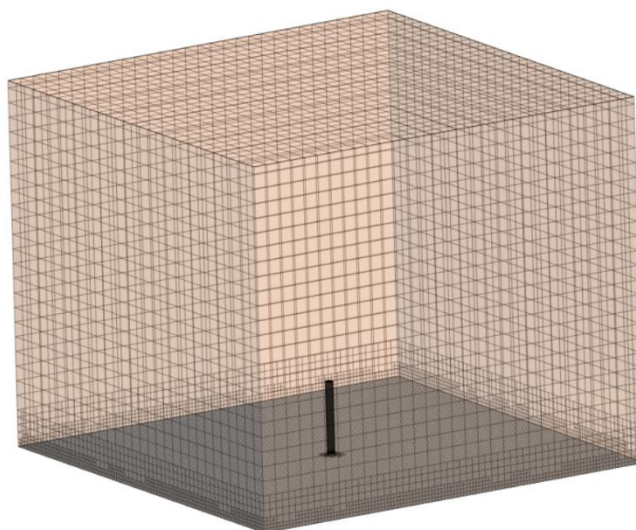


Рисунок 1 – Геометрия и сетка расчетной области

Фазы и межфазные взаимодействия, моделируемые в расчете, а также применяемые для этого модели

- *Эйлера фаза VOF – Воздух*
- *Эйлера фаза VOF – Вода*

Фаза VOF [3] – это непрерывная фаза, для которой решаются уравнения сохранения массы, импульса и энергии. Она подходит для моделирования течений нескольких несмешивающихся сред на расчетных сетках, способных разрешать интерфейс между фазами смеси. Данный подход реконструирует движение интерфейса между фазами.

Пространственное распределение каждой фазы в определенный момент времени задается с помощью объемных долей. Метод вычисления таких распределений состоит в решении уравнения переноса объемной доли фазы.

- *Межфазное взаимодействие* Фазы VOF – Воздуха и Фазы VOF – Воды – Свободная поверхность
Вода истекает из цилиндрической трубы в окружающий воздух, таким образом образуется крупномасштабный интерфейс между водой и воздухом – свободная поверхность. Затем происходит дробление струи воды на отдельные крупные капли.

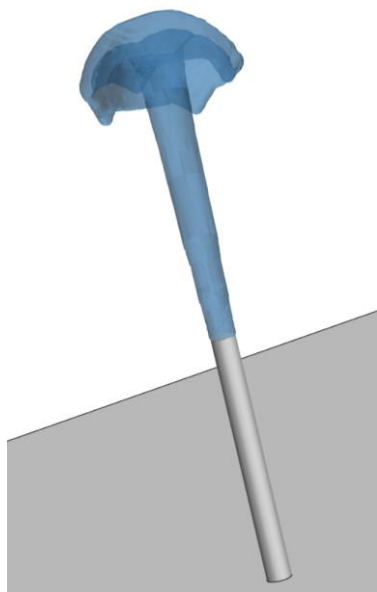


Рисунок 2 – Свободная поверхность

Данное межфазное взаимодействие моделируется с помощью следующего набора моделей:

Модель **Поверхностное Натяжение**

Несмешиваемость двух сред является результатом работы сил когезии между их молекулами, и зависит от природы сред. Сила поверхностного натяжения – это сила, действующая на единицу длины линии, которая ограничивает поверхность жидкости.

Экспериментально определенный коэффициент поверхностного натяжения выражает легкость, с которой среды могут быть перемешаны.

Модель **Обнаружение Крупных Капель** позволяет обнаруживать разрешаемые сеткой крупные капли фазы VOF. Модель идентифицирует ячейки, в которых объемная доля отдельной фазы больше или равна заданной пороговой объемной доле.

Как только обнаруживается крупная капля, она рассматривается как сферическая частица со свойствами, такими как масса, скорость, объем и диаметр.

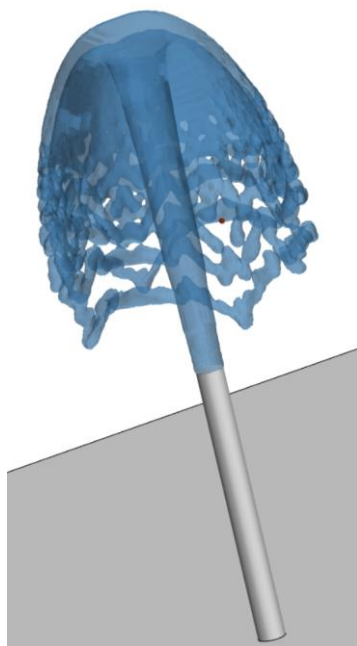


Рисунок 3 – Крупные капли

- *Межфазное взаимодействие Фазы VOF – Воды и Лагранжевой фазы – Капель воды*

Когда диаметр крупных капель VOF становится меньше заданного порогового значения (в данном случае – 5 см), они переходят в Лагранжевы частицы, чьи траектории отслеживаются с помощью модели Лагранжева Многофазность. Переход осуществляется с помощью модели **Разрешаемый Переход из Эйлеровой в Лагранжеву фазу**.

Локальное измельчение сетки вдоль свободной поверхности выполняется с помощью модели **Адаптивное Измельчение Сетки (AMR)**. Когда крупные капли VOF переходят в Лагранжевы капли, AMR заглубляет сетку. Это позволяет экономить расчетные ресурсы.

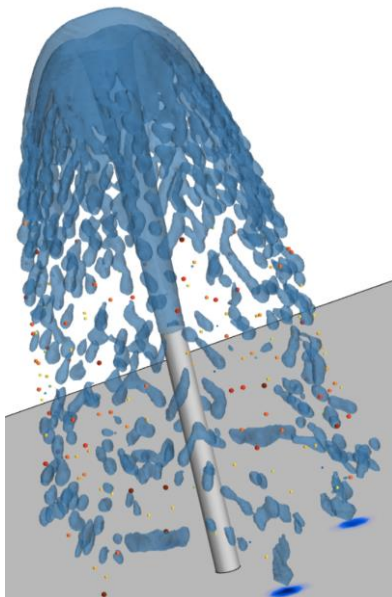


Рисунок 4 – Лагранжевы капли

- *Лагранжева фаза – Капли воды – сферические частицы*

Модели Лагранжевой фазы предназначены для моделирования и отслеживания траекторий дисперсных частиц в непрерывной фазе, включая связанные с этим явления переноса тепла и массы, такие как испарение капель.

Частицы не разрешаются Эйлеровой сеткой, они являются бессеточными, а моделируется взаимодействие между фазами.

Модель **Односторонняя связь** подразумевает, что непрерывная фаза влияет на частицы посредством слагаемых, таких как аэродинамическое сопротивление в уравнении сохранения импульса и перенос тепла в уравнении сохранения энергии. Однако обратное влияние отсутствует. С моделью **Двусторонняя Связь** учитывается обратное влияние, и Лагранжевы источниковые слагаемые появляются в уравнениях непрерывной фазы. Обычно это важно при высоком содержании частиц. Сила взаимодействий зависит от размера, плотности и числа дисперсных частиц.

Модель **Сила Аэродинамического Сопротивления** вычисляет силу, действующую на частицу вещества в зависимости от ее скорости относительно непрерывной фазы. Для формулировки силы сопротивления используется Коэффициент Аэродинамического Сопротивления, в данном примере вычисляемый с помощью корреляции Шиллера-Наумана [4].

Если дисперсная фаза является летучей, растворяемой или реагирующей, то между фазами происходит перенос массы. Данное явление сопровождается межфазным переносом тепла. Межфазный перенос массы влечет за собой изменение размера дисперсных частиц. Столкновения между частицами также могут иметь обратный эффект, то есть, размер частиц увеличивается за счет их слияния.

- *Фаза жидкой пленки – Вода*

Когда Лагранжевы капли или Эйлеровы крупные капли воды падают на землю, они образуют жидкую пленку.

Модель **Жидкая Пленка** прогнозирует динамические характеристики пристеночных пленок с помощью приближений пограничного слоя и предполагаемые профили скорости и температуры по глубине пленки.

Жидкие пленки моделируются с помощью тонких оболочек, находящихся на поверхности стенок, на которых образуется пленка.

Расчет с моделью Жидкая Пленка может включать в себя такие процессы, как падение капель на пленку, срыв капель с пленки вследствие неустойчивостей, испарение, конденсация и кипение. Также возможно смоделировать химические реакции между компонентами жидкой пленки.

Модель Жидкая Пленка решает уравнения переноса массы, импульса, энергии и компонентов в тангенциальном направлении. Толщина пленки получается из решения уравнения сохранения массы.



Рисунок 5 – Жидкая пленка

Модель **Поверхностное Натяжение**

На интерфейсе между жидкой пленкой и газовой фазой поверхностное натяжение возникает под воздействием более сильного притяжения молекул жидкости друг к другу, по сравнению с притяжением к молекулам газа. Данное натяжение выражается с помощью экспериментально определенного коэффициента поверхностного натяжения.

- *Межфазное взаимодействие Лагранжевой фаза – Капель воды и Фазы жидкой пленки – Воды*
Модель **Падение Капель на Пленку**

Жидкие капли могут падать на сухую стенку для образования жидкой пленки или же они могут падать на уже существующую жидкую пленку. В обоих случаях масса, импульс и энергия капель переносятся в пленку.

- *Межфазное взаимодействие Фазы VOF – Воды и Фаза жидкой пленки – Воды*

В зависимости от значения объемной доли воды на интерфейсе и размером ячеек вблизи оболочечной области между воздухом и жидкой пленкой может произойти переход из жидкой пленки в фазу VOF.

Модель **Разрешаемая Жидкая Пленка** контролирует переход между фазой Жидкая Пленка и фазой VOF в зависимости от локальных условий течения и сеточного разрешения.

Переход между фазами зависит от объемной доли жидкости (общей для фазы жидкой пленки и фазы VOF) на интерфейсе и объемной доли перехода, заданной для интерфейса.

Жидкая пленка переходит в фазу VOF, если общая объемная доля в соседней ячейке больше, чем заданная объемная доля перехода. Фаза VOF переходит в жидкую пленку, если общая объемная доля меньше, чем заданная объемная доля перехода.

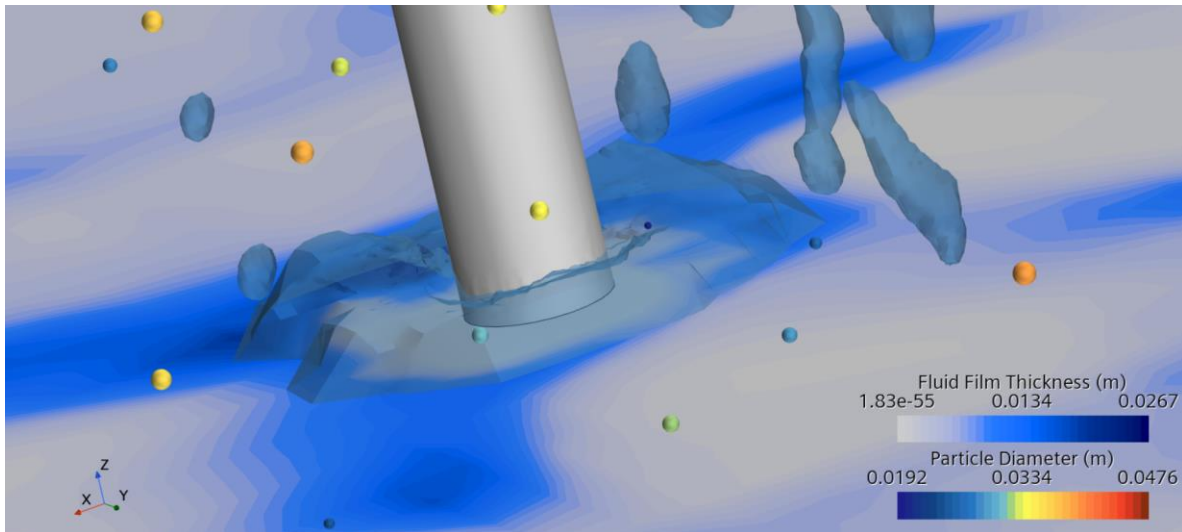


Рисунок 6 – Разрешаемая жидкая пленка

- Межфазное взаимодействие Фазы VOF – Воздуха и Фазы жидкой пленки – Воды
Модель **Поверхностное Натяжение**.

Заключение

В данном докладе представлена лишь малая часть моделей, реализованных в расчетном коде STAR-CCM+. Все эти модели дают возможность проводить моделирование сложных многофазных течений, что может найти применение в различных сферах промышленности.

Использованные источники:

1. Bai, C. 1996. "Modeling of spray impingement processes", Ph.D Thesis, University of London.
2. Bai, C. and Gosman, A.D. 1996. "Mathematical modeling of wall films formed by impinging sprays", SAE Technical Paper Series 960626.
3. Численные методы в механике жидкости и газа (Сб. науч. тр.) / АН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т теорет. и прикл. механики; Под ред. Б.Г. Кузнецова. — Новосибирск: ИТПМ, 1980. — 148 с. ил.; 20.
4. Schiller, L., and Naumann, A. 1933 "Ueber die grundlegenden Berechnungen bei der Schwerkraftaufbereitung", VDI Zeits., 77(12), pp. 318–320.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ БАЛЛИСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ГАЗОВОЙ ПУШКИ

Черногузова Е.А.¹, Ушакова О.В.², Ищенко А.Н.²

¹ *Российский Федеральный Ядерный Центр - Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики имени академика Е.И. Забабахина*

² *Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет»
vniitf@vniitf.ru*

Описана одноступенчатая газовая пушка калибром 44 мм. С целью расчетного прогнозирования параметров заряжания ГП 44 выполнена расчетно-экспериментальная верификация параметров выстрела газовой установки, обеспечивающей разгон метаемых объектов массой до 100 г в диапазоне скоростей от 0,2 до 1,5 км/с. Расчеты выполнены с использованием программы «Qgunshot» разработки НИИ ПММ ТГУ.

Ключевые слова: экспериментальные данные, газовая пушка, устройства ствольного типа, масса МО, баллистические расчеты, давление, QGunShot

EXPERIMENTAL VALIDATION OF GAS-GUN BALLISTIC CALCULATION

E.A.Chernoguzova¹, O.V.Ushakova², A.N. Ischenko²

¹ *Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – All-Russia Research Institute of Technical Physics named after Academician E.I. Zababakhin», Russia 456770, Snezhinsk, Vasilieva str. 13, P.O. box 245*

² *Federal State Autonomous Educational Establishment of Higher Education «National Research Tomsk State University», Russia 634050, Tomsk, Lenina av. 36*

The 44-mm one-stage gas gun is described. The shot parameters of the gas gun were computationally and experimentally validated to predict the loading parameters for the 44-mm gas gun accelerating the flyer objects up to 100 g at the velocities ranging from 0.2 km/s to 1.5 km/s. The calculation was performed using Qgunshot code developed by Tomsk State University.

Keywords: experimental data, gas gun, barrel-type devices, flyer object mass, ballistic calculation, pressure, QGunShot

Современное состояние средств вычислительной техники, объем предоставляемых ресурсов делает все более доступным создание обладающих большой функциональностью программных комплексов. Этому также способствует развитие современных средств разработки программного обеспечения, нацеленных на создание программных продуктов, которые могут выступать как элемент технологии в изучении внутрибаллистических процессов и, в конечном итоге, разработке более совершенных метательных устройств.

Развиваемые при выстреле из ЛГП максимальные давления и температуры рабочего газа существенно превосходят уровень, достигаемый в одноступенчатых пушках, что еще более ограничивает возможность экспериментальных методов исследования внутрибаллистических процессов. В некоторых случаях прямые измерения невозможны, поэтому математическое моделирование исследуемых явлений и сопоставление его результатов с экспериментом становится единственным источником информации о протекании процесса. Современному состоянию рассматриваемых проблем посвящены работы [1,2,3], где имеется достаточно подробная библиография [4].

Современные возможности численного моделирования газодинамических задач предъявляют более высокие требования к точности экспериментальных данных. Прогресса в этом добиваются, в том числе за счет применения нагружающих устройств ствольного типа. В РФЯЦ-ВНИИТФ введен в эксплуатацию и используется комплекс нагружающих

баллистических установок, позволяющий в широких пределах варьировать условия нагружения образцов из исследуемых материалов.

Планирование экспериментов требует проведения предварительных исследований для построения таблицы стрельб. Также для подготовки к выстрелу удобно использовать специальное программное обеспечение, учитывающее многофакторность процесса разгона метаемого объекта в баллистических установках и верифицированное по результатам выстрелов (по таблице стрельб).

Цель работы: Расчетное прогнозирование баллистических режимов пневматической пушки калибра 44 мм.

Задачи работы:

- верификация баллистических расчетов газовой пушки калибра 44 мм по экспериментальным данным;
- оценка возможности использования программного комплекса.

Ранее специалистам ВНИИТФ и НИИ ПММ ТГУ разработано и верифицировано программное обеспечение для пороховых и двухступенчатых легкогазовых пушек.

ГП в настоящее время является одним из наиболее распространенных устройств, позволяющих получить в лабораторных условиях скорости метания для натурного моделирования аэродинамических и аэрофизических явлений, протекающих при высокоскоростном полете в разреженной атмосфере, а также изучения высокоскоростного соударения твердых тел. При этом характерной особенностью форсированных режимов эксплуатации ГП являются экстремальные значения температуры и давления внутриканальной среды.

Пушка состоит из ускорителя газового, соединенного со стволом с помощью переходников. Между ускорителем газовым и переходником устанавливается разрывная мембрана. Ствол и ускоритель газовый в сборе устанавливаются на 2 подставки. Выстрел производится в полость камеры измерительной.

Достоинства одноступенчатой пушки следующие:

- простота управления скоростью снаряда;
- возможность использования ударников, изготовленных из различных материалов;
- в процессе разгона сохраняется состояние ударника.

Подлетная скорость измерялась методиками ЭКД и ЛГМ. На панели устанавливается 2 типа датчиков: Лазерные датчики скорости и электроконтактные. С помощью лазерных датчиков измерялась подлетная скорость метаемого объекта (МО). С помощью электроконтактных датчиков измерялся интервал времени между замыканиями датчиков, установленных на 2х уровнях. По этому интервалу определялось среднее значение подлетной скорости МО. Скорость измерялась на двух типах МО: из полиэтилена и магниевового сплава МА 14.

Таблица 1 - Верификация расчетов

№ опыта	Рабочий газ	Рпр, атм/г	Wэксп., м/с	Wрасч., м/с
1	воздух	2,288	708	705,6
2	воздух	2,307	705	705,6
3	воздух	1,421	643	623,3
4	воздух	1,436	636	622,5
5	воздух	1,589	655	637,4
6	воздух	1,627	682	641,3
7	воздух	0,995	595	556,7
8	воздух	0,879	557	534,3
9	воздух	0,636	450	478,3
10	воздух	0,660	458	480,8
11	воздух	0,636	378	400,4
12	воздух	0,435	630	651,9
13	воздух	0,413	384	395,4

14	воздух	1,921	639	663,2
15	воздух	1,431	636	627,6
16	воздух	1,704	534	563,9
17	гелий	2,417	1090	1090,3
18	гелий	1,411	870	870,2
19	гелий	1,290	865	865,6
20	гелий	1,867	922	922,4
21	гелий	1,854	971	971,4

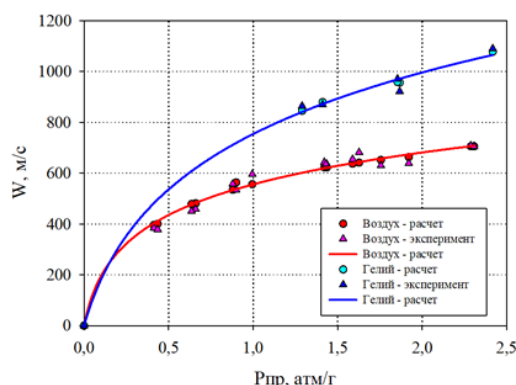


Рисунок 1 – верификация расчетов

Целью теоретического изучения процесса выстрела является получение информации о внутрибаллистическом процессе. Это – пространственно-временные распределения газодинамических величин, характеризующих состояние газов, которые не могут быть получены непосредственно из эксперимента (давление, скорость, плотность и температура), а также расчетные зависимости от времени давления в сечении датчика $P_{сн}(t)$ и скорости снаряда.

Программный комплекс предназначен для теоретического исследования внутрибаллистических процессов в ствольных газодинамических метательных устройствах.

В ходе выполненной работы:

- верифицированные параметры модели обеспечивают достоверность расчетов с отклонением от 0,1 до 7%, что позволяет сделать вывод об адекватном описании процессов, происходящих в ходе выстрела из пневматической установки;
- возможность использования данного программного комплекса как инструмента прогнозирования безопасных режимов эксплуатации и баллистических возможностей;
- проведены расчеты внутренней баллистики и скорости МО с использованием верифицированной модели газовой пушки.

Использованные источники:

1. Златин Н.А. Баллистические установки и их применение в экспериментальных исследованиях/ Н.А. Златин, А.П. Красильщиков, Г.И. Мишин, Н.Н. Попов/ Под ред. Н.А. Златина и Г.И. Мишина.- М.: Наука, 1974.-344 с.
2. Bogdanoff D.W. CFD Modelling of Bore Erosion in Two-Stage Light Gas Guns. NASA TM – 112236, August 1998. – 35 p.
3. Жаровцев В.В. Математическое моделирование и оптимальное проектирование баллистических установок. Комаровский Л.В., Погорелов Е.И.. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 256 с.
4. Хоменко Ю.П. Математическое моделирование внутрибаллистических процессов в ствольных системах. / Ищенко А.Н., Касимов В.З., –Новосибирск: Издательство СО РАН, 1999. – 256 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗОТЕРМИЧЕСКОГО СЖАТИЯ МОНОКРИСТАЛЛА β - ОКТОГЕНА

Шестаков М.А., Ковалев Ю.М.

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», Челябинск,
Челябинская обл.

E-mail: shestakovma@susu.ru

В данной работе рассматривается подход к построению полуэмпирических уравнений состояния молекулярных кристаллов нитросоединений, описывающих изотермическое сжатие монокристалла β - октогена по известному изотермическому модулю объемного сжатия и теплоте сублимации кристалла, полученных из экспериментов не связанных с процессом изотермического сжатия.

Ключевые слова: уравнение состояния, молекулярный кристалл, изотермическое сжатие, энергия Гельмгольца, приближение Дебая, характеристическая температура Дебая, коэффициент Грюнайзена.

MODELING OF ISOTHERMAL COMPRESSION OF A β - HMX SINGLE CRYSTAL

Shestakov M.A., Kovalev Yu.M.²

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

E-mail: shestakovma@susu.ru

In this paper, we consider an approach to constructing semi-empirical equations of state for molecular crystals of nitro compounds that describe isothermal compression of a β - HMX single crystal using the known volume isothermal compression modulus and the heat of sublimation of the crystal obtained from experiments not related to the isothermal compression process.

Keywords: equation of state, molecular crystal, isothermal compression, Helmholtz energy, Debye approximation, Debye characteristic temperature, Gruneisen coefficient.

Внедрение новых методов регистрации быстропротекающих процессов, с одной стороны, и развитие вычислительной техники, с другой стороны, привело к тому, что математическое моделирование стало одним из наиболее эффективных методов исследования и анализа физических процессов, позволяющих получать полную и достоверную информацию. Все математические модели механики сплошных сред замыкаются уравнениями состояния.

В настоящее время, несмотря на достаточно большое количество публикаций [1] с результатами экспериментальных, теоретических и работ по численному моделированию теплофизических свойств веществ, показано, что проблемы построения уравнений состояния (УРС) продолжают оставаться одним из центральных направлений исследований. В последние десятилетия в связи с совершенствованием компьютерной техники и применением ее для исследования термодинамических свойств веществ активное развитие получили квантово-механические методы расчета уравнений состояния и молекулярно-динамическое моделирование. Однако при изучении термодинамических свойств веществ при использовании отмеченных методов приходится сталкиваться с ограничениями размеров системы порядка 100 нм и рядом трудностей при их реализации, основная из которых заключается в необходимости выбора адекватной математической модели меж-частичного взаимодействия [2]. Однако, они не могут быть использованы при решении динамических задач, когда требуется проводить вычисления термодинамического состояния среды на каждом временном слое и в каждой точке пространства.

В этой ситуации особое значение приобретают методы построения математических моделей полуэмпирических уравнений состояния, для которых необходимо определить, из теоретических соображений, форму функциональной зависимости одного из термодинамических потенциалов, а коэффициенты, входящие в термодинамический потенциал, определять на основании результатов термодинамических экспериментов. При построении математических моделей полуэмпирических уравнений состояния молекулярных кристаллов принято считать, что давление и внутреннюю энергию можно разделить на две составляющие: тепловую [3] и «холодную» [4]. Тепловая составляющая в уравнениях состояния определяется кинетической энергией атомов, входящих в состав молекул кристалла, а холодная составляющая – изменением потенциальной энергии взаимодействия, как внутри молекулы, так и между молекулами, в зависимости от объема молекулярного кристалла. Достоверность построенных уравнений состояния должна обязательно проверяться путем независимой верификации тепловой и «холодной» составляющих давления и внутренней энергии по известным экспериментальным данным.

Целью настоящего исследования является верификация уравнения состояния, полученного в работе [4], на примере монокристалла β - октогена (β - НМХ) [5].

Рассмотрим изотермическое сжатие β - октогена. Уравнение состояния для изотермического сжатия молекулярных кристаллов, полученное в работе [4], имеет следующий вид:

$$P_C = 3K_{T_0} \left(x^{-(n+4/3)} - x^{-(n+1)} \right) \quad (1)$$

где $K_{T_0} = c_T^2 \rho_0$ - изотермический модуль объемного сжатия, c_T - изотермическая скорость звука при нормальных условиях, ρ - плотность, ρ_0 - плотность при нормальных условиях, $x = \rho_0 / \rho$ - степень сжатия, P_C - давление изотермического сжатия.

Оказалось, что еще до проведения экспериментов по изотермическому сжатию, могут быть определены все параметры (1). Изотермическая скорость звука c_T , вычисленная по правилу Рао [6], позволяет определить значение изотермического модуля сжатия K_{T_0} . Для β - октогена он равен 16.547 ГПа. Нахождение параметра n в уравнении состояния (1) подробно описано в работе [4]. Для значения изотермического модуля сжатия K_{T_0} равного 16.547 ГПа, показатель степени n равен 3,586. Значения теплоты сублимации H , температуры T_0 , характеристической температуры Дебая θ_D равны 618,74 кДж/кг [7], 298 К, 159,83 К [8] соответственно.

Экспериментальные данные, полученные в работе [5], были представлены в работе [7] в виде $D_t = a + bu_t$ диаграммы, которая позволяет определить зависимость давления P_t при изотермическом сжатии от степени сжатия x следующим образом:

$$P_t = \rho_0 a^2 (1 - x) / (1 - b(1 - x))^2, \quad (2)$$

где $a = 2,67$ км/с, $b = 2,6$ [7].

В третьем столбце табл. 1 приведены экспериментальные данные работы [5]. Для проведения сравнительного анализа в табл. 1 представлены также зависимости давления изотермического сжатия, рассчитанные по уравнению (1) и уравнению (2). Анализ данных, приведенных в табл.1, наглядно показывает, что уравнение (1) надежно описывает экспериментальные данные по изотермическому сжатию молекулярных кристаллов нитросоединений.

По результатам представленной работы можно сделать следующие выводы:

1. Анализ приведенных в табл. 1 данных показывает, что экспериментальные и расчетные значения давления изотермического сжатия находятся в пределах погрешности эксперимента и хорошо согласуются между собой в диапазоне давлений, обозначенном в работе [5];

2. Уравнение состояния для описания изотермического сжатия молекулярных кристаллов нитросоединений (1) опирается на минимальный набор экспериментальных данных, тем не менее, позволяет достаточно точно описывать эксперимент.

Таблица 1

Сравнение экспериментальных и расчетных значений давления при изотермическом сжатии β - октогена для УРС (1) и УРС (2)

п/н	x	$P_{\text{эксп.}}$, ГПа	P_C (1), ГПа	P_t (2), ГПа
1	1,000 (00)	0,00 (00)	0,00 (00)	0,00 (00)
2	0,924 (02)	1,61 (06)	1,60	1,60
3	0,899 (01)	2,47 (05)	2,92	2,51
4	0,881 (02)	3,24 (05)	3,83	3,39
5	0,871 (03)	4,03 (03)	4,41	3,96
6	0,856 (04)	4,82 (05)	5,39	4,99
7	0,848 (05)	5,42 (09)	5,97	5,64
8	0,843 (09)	6,31 (17)	6,36	6,08
9	0,837 (10)	6,74 (17)	6,85	6,66
10	0,827 (12)	7,47 (13)	7,75	7,75

3. Приведенный в данной работе подход позволяет определить поведение давления при изотермическом сжатии до проведения эксперимента.

Использованные источники:

1. Ударно-волновые явления в конденсированных средах / Г.И. Канель, С.В. Разоренов, А.В. Уткин, В.Е. Фортов. - Москва: Янус-К, 1996. – 408 с.
2. Нигматулин, Р.И. Широкодиапазонные уравнения состояния бензола и тетрадекана в упрощенной форме / Р.И. Нигматулин, Р.Х. Болотнова // Теплофизика высоких температур. 2017. - Т. 55, № 2. – С. 206 – 215.
3. Ковалев, Ю.М. Математическое моделирование тепловой составляющей уравнения состояния молекулярных кристаллов./ Ю.М. Ковалев// Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование. - 2013. - Т. 6, № 1. - С. 34 - 42.
4. Ковалев, Ю.М. Уравнения состояния для описания изотермического сжатия некоторых молекулярных кристаллов нитросоединений / Ю.М. Ковалев// Инженерно-физический журнал. - 2020. - Т. 93, № 1. - С. 229 - 239.
5. Olinger, B. The Liner and Volume Compression of HMX and RDX to 9 GPa (90 kilobars) / B. Olinger, B. Roof, H. Cady H. // Symposium (International) on High Dynamic Pressures. – Paris: Commissariat a l’Energie Atomique. 1978. –pp. 3 - 8.
6. Воскобойников, И.М. Обобщенная ударная адиабата органических жидкостей. / И.М. Воскобойников, А.Н. Афанасенков, В.М. Богомолов // Физика горения и взрыва. - 1967. - Т.3, №4. - С. 585 – 593.
7. Gibbs, T.R. Last explosive property data. Los Alamos series on dynamic material properties / T.R. Gibbs, T.R., A. Popolato. - Berkeley. Los Angeles, London : University of California Press, 1980.
8. Ковалев, Ю. М. Определение температурной зависимости изобарического коэффициента объемного расширения для некоторых молекулярных кристаллов нитросоединений / Ю. М. Ковалев // Инженерно-физический журнал. – 2018. – Т. 91, № 6. – С. 1653 - 1663.

ПРОГРАММНОЕ СРЕДСТВО АТЭК-ВЭ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНСЕРВАТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ НА ОБЪЕКТАХ ВОДОРОДНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Юматова М.А., Шульц О.В., Романова Н.Ю., Файрушин А.Г., Богданова Ж.С.
ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
m.a.yumatova@vniitf.ru

Программное средство АТЭК-ВЭ предназначено для консервативного моделирования аварийных сценариев, описывающих выбросы пожаровзрывоопасных веществ и их последствия на объектах водородной энергетики.

В работе описывается подход, реализованный в программном средстве, используемые математические модели и расчетные методики, а также функциональные возможности АТЭК-ВЭ, разрабатываемого сотрудниками РФЯЦ-ВНИИТФ.

Ключевые слова: водородная энергетика; аварийный сценарий; программное средство; АТЭК-ВЭ.

ATEC-HE SOFTWARE TOOL AS A CONSERVATIVE MANAGEMENT TOOL SIMULATION OF EMERGENCY SCENARIOS AT HYDROGEN ENERGY FACILITIES

Yumatova M.A., Shults O.V., Romanova N.Yu., Fayrushin A.G., Bogdanova Zh.S
FSUE RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin", Snezhinsk, Chelyabinsk region
m.a.yumatova@vniitf.ru

The ATEC-HE software tool is designed for conservative modelling of emergency scenarios describing emissions of combustible and explosive substances and their consequences at hydrogen energy facilities.

The paper describes the approach implemented in the software used by mathematical models and calculation techniques, as well as ATEC-HE functionality, developed by the staff of RFNC-VNIITF.

Keywords: hydrogen energy; emergency scenario; software tool; ATEC-HE.

Водородная энергетика в настоящее время является одним из наиболее перспективных направлений развития глобальной энергетики. В утвержденной Правительством Российской Федерации «Концепции развития водородной энергетики» сформулирован перечень первоочередных задач развития водородной энергетики, в частности, создание низкоуглеродных технологий производства водорода.

Принимая во внимание высокую пожаровзрывоопасность водорода, а также некоторых других веществ, участвующих в его производстве, важнейшим аспектом разработки новых технологических решений является анализ и обоснование их безопасности.

В целях минимизации рисков аварийных ситуаций, обоснования соответствия проектов нормативным требованиям по безопасности, адекватной оценки тяжести последствий развития аварийной ситуации как для персонала, так и в части причиненного ущерба в случае реализации каскадной аварии, оптимизации технологических процессов, а также для проведения детерминистского анализа безопасности объектов водородной энергетики разрабатываются специальные программные средства (далее – ПС), в частности, ПС АТЭК-ВЭ.

ПС АТЭК-ВЭ, разработанное на платформе АТЭК [1], предназначено для консервативного моделирования аварийных сценариев, описывающих выбросы пожаровзрывоопасных веществ и их последствия на объектах водородной энергетики.

В программном средстве реализован детерминистский подход к анализу безопасности, в рамках которого рассматривается определенный набор оборудования заданной технологической схемы и заранее сформулированные аварийные сценарии без учета вероятности их реализации. Развитие аварийного сценария представляет собой ряд последовательных стадий: истечение из аппарата (постулируется исходное событие – утечка среды из гермообъема оборудования), формирование облака пожаровзрывоопасной газовоздушной смеси, горение либо взрыв и воздействие поражающих факторов (рисунок 1).

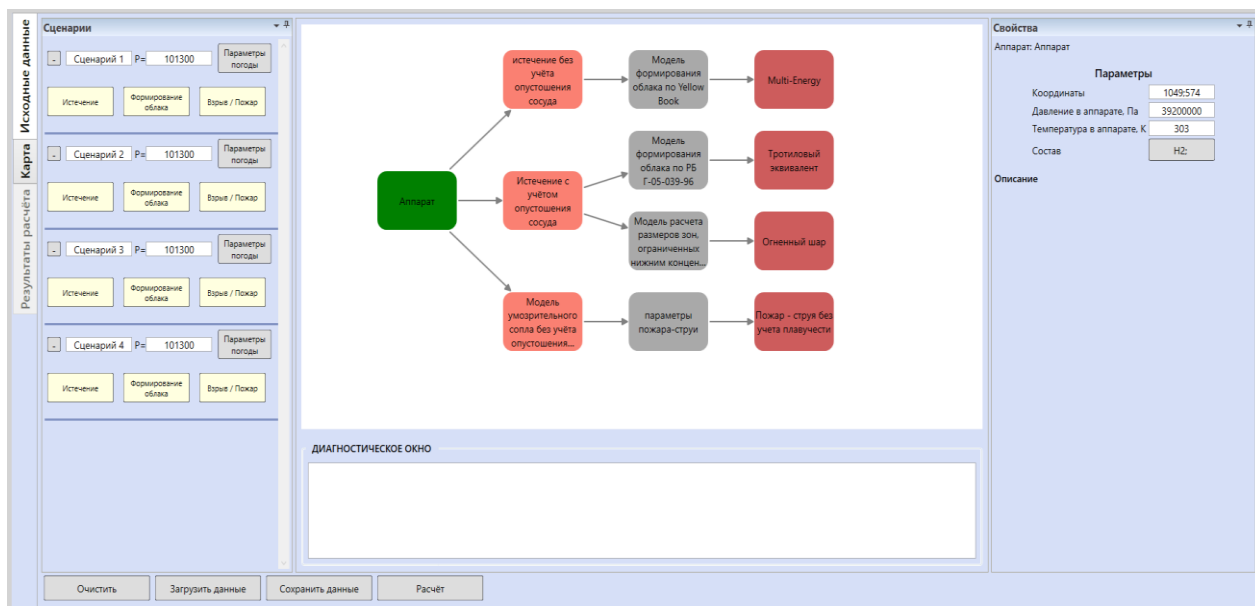


Рисунок 1 – Формирование дерева аварийного сценария и задание исходных данных для расчета

Каждая стадия процесса описывается соответствующей моделью либо набором моделей, каждая из которых принимает на вход в качестве исходных данных параметры, рассчитанные на предыдущем этапе. Совместимость моделей по входным и выходным данным проверяется на этапе формирования сценария.

Для моделирования каждой стадии аварийного сценария был реализован набор моделей, основанных как на стандартных методиках, так и на подходах, описанных в опубликованных рецензированных статьях и научно-технических отчётах.

Модели истечения газа из емкостного оборудования (при полном и/или частичном разрушении) при аварийных выбросах позволяют проводить расчет массового расхода газа через отверстие заданного диаметра, а также его количество, истекшее из аппарата с учетом времени истечения. Модели, описывающие процесс формирования облака топливно-воздушной смеси (далее - ТВС), обеспечивают вычисление радиуса, высоты и объема облака с учетом концентрационных пределов распространения пламени или стехиометрической концентрации топлива и пространственного распределения концентрации газа в окружающей атмосфере. Модели процесса распространения горения и взрывов облаков ТВС позволяют рассчитывать параметры воздушных ударных волн (избыточное давление на фронте волны сжатия и импульс) и теплового потока. В части моделирования последствий теплового и барического воздействия от горения и взрывов облака ТВС программное средство обеспечивает расчет зон поражения людей и повреждения зданий и сооружений. После расчёта параметров интенсивности воздействия поражающих факторов с использованием пробит-функций рассчитывается вероятность причинения ущерба в разных точках

пространства. В результате проведения расчета строятся поля потенциального риска гибели и поражения людей и повреждения зданий и сооружений (рисунок 2).

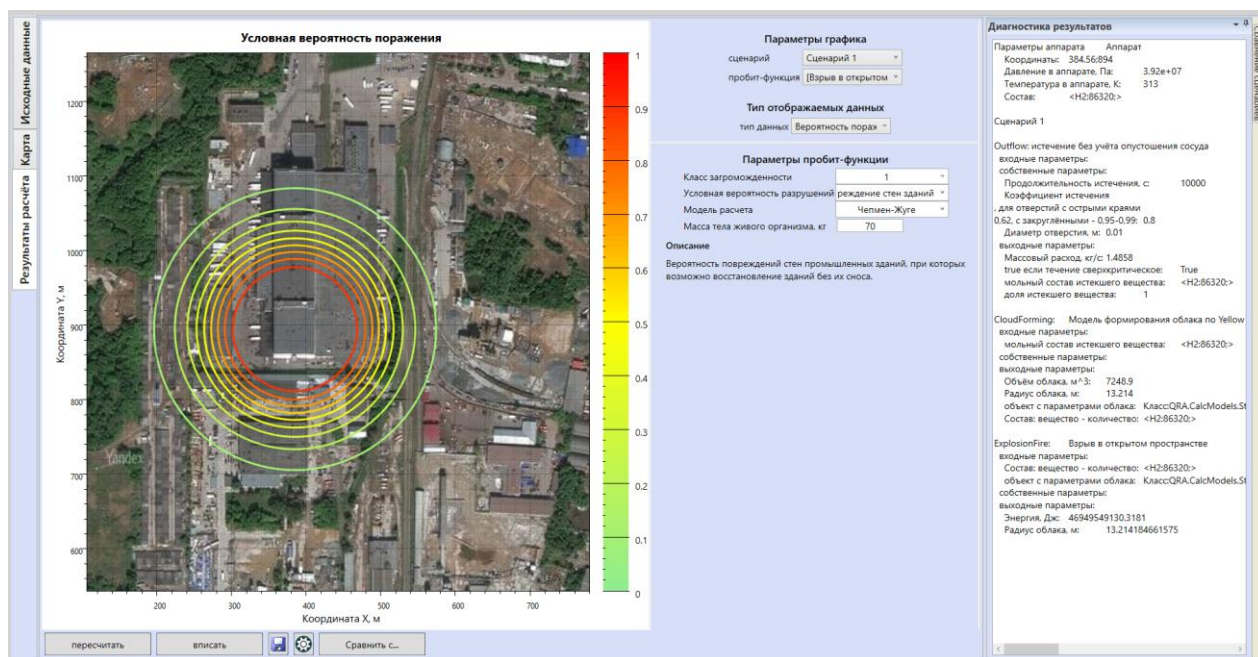


Рисунок 2 – Окно визуализации результатов расчета. Для наглядного представления поля вероятностей поражения объектов при истечении водорода наложены на ситуационный план производственного объекта

Разработанное ПС АТЭК-ВЭ позволяет в рамках различных приближений моделировать аварийные сценарии на объектах использования водородной энергии и оценивать зоны действия поражающих факторов аварии и, таким образом, в результате многовариантных расчётов позволяет определять количественную меру опасности рассматриваемого объекта.

Использованные источники:

1. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ. Программная платформа и среда моделирования АТЭК. Версия 3.0 (Платформа АТЭК 3.0) / РФЯЦ-ВНИИТФ. Макеева И.Р., Соколов В.П. [и др.]. – 2022. – № 2022610062.О

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД

Ярушин К. М.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
costia.yarushin@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен результат использования метода электротомографии для поиска и картирования зон фильтрации техногенных вод в основании ограждающей дамбы хвостохранилища обогатительной фабрики № 3 Мирнинского горно-обогатительного комбината (г. Мирный, Якутия).

Ключевые слова. Инженерно-геофизические изыскания, электротомография, зона фильтрации, интерпретация геофизических измерений удельное электрическое сопротивление, хвостохранилище, гидротехническое сооружение.

APPLICATION OF THE ELECTRICAL TOMOGRAPHY METHOD FOR MODELING FILTRATION ZONES OF MAN-MADE WATERS

Yarushin K. M.

Snezhinsk Physic Institute of the National Research Nuclear University MEPhI
costia.yarushin@yandex.ru

Summary. The article presents the results of using the electrical resistivity tomography method to search for and map the filtration zones of man-made waters at the base of the enclosing dam of the tailings storage facility of the processing plant No. 3 of the Mirny Mining and Processing Plant (Mirny city, Yakutia)

Key words. Engineering geophysical surveys, electrical resistivity tomography, filtration zone, interpretation of geophysical measurements, electrical resistance, tailings storage facility, hydraulic structure.

Добыча полезных ископаемых на территории Западной Якутии сопровождается строительством гидротехнических сооружений, необходимых для формирования хвостохранилищ. Хвостохранилища представляют собой комплекс специальных сооружений (ограждающие дамбы, пруды-накопители, плотины) и оборудования для размещения отходов (хвостов) обогащения полезных ископаемых. В процессе эксплуатации нередко возникают зоны утечки техногенных вод, вызывающие разрушение гидротехнических сооружений, подтопление прилегающих территорий и загрязнение окружающей среды.

Для предотвращения аварийных ситуаций осуществляется модернизация гидротехнических сооружений (устройство противofiltrационных завес, оборудование перехватывающих и водопонижительных скважин), направленная на повышение их устойчивости к воздействию техногенных вод. Эффективность применяемых инженерно-технических решений напрямую зависит от качества предшествующих изысканий, на основе которых формируется инженерно-геологическая и гидрогеологическая модель строения участка исследований [1].

Современные геофизические методы исследований позволяют существенно дополнить представление об инженерно-геологическом строении объекта, основанное на данных бурения. С их помощью выявляются особенности строения изучаемой территории, неучтённые при буровых работах, уточняется инженерно-геологическое строение территории. Изучение технического состояния гидротехнических сооружений целесообразно проводить с

применением геофизических методов, основанных на использовании различных методик электроразведки, в частности – электротомографии. Основопологающим фактором применения именно этого метода является изученная зависимость кажущегося удельного электрического сопротивления ($\rho_{\text{каж}}$) пород, от степени их промерзания и насыщенности техногенными растворами. Именно водонасыщенность и фильтрация грунтовых вод в породах являются основными причинами развития таких геологических процессов как термокарст, солифлюкция, оползание и оплывы грунта. Также влияние на дифференциацию измеряемых параметров пород оказывает минерализация складированных техногенных растворов, при повышении минерализации растворов значение удельного электрического сопротивления значительно снижается. Данный фактор является благоприятной предпосылкой использования метода электротомографии. В результате проведения электроразведочных работ аномальные зоны пониженных сопротивлений, соответствующие талым грунтам и зонам сквозной фильтрации, определяются с высокой точностью [2].

Таким образом, целью исследования является контроль фильтрационных потоков, выявление мест разгрузки подземных и техногенных вод, мест фильтрации вод через ограждающую дамбу хвостохранилища, определение геокриологического строения и физико-механических свойств грунтов слагающих основание дамбы.

Объект исследования. Ограждающая дамба хвостохранилища обогатительной фабрики № 3 Мирнинского ГОК является гидротехническим сооружением I класса, по типу овражное, намывное и предназначено для складирования отходов обогащения кимберлитовых руд (см. рис. 1). Построено по проекту Якутского научно-исследовательского и проектного института алмазодобывающей промышленности «Якутнипроалмаз» и введено в эксплуатацию 03.10.1990 г.



Рис. 1. Хвостохранилище обогатительной фабрики №3 Мирнинского ГОКа

Методика исследования. Для решения поставленной задачи применяется методика сплошных электрических зондирований (электротомография) по системе субпараллельных профилей. В качестве измерительной аппаратуры используется электроразведочная станция «Скала-64». Методика исследований основана на изучении распределения поля постоянного электрического тока от источника с известными параметрами в проводящей геологической среде [3]. Для создания поля и измерения его напряжённости используется совокупность электродов А-М-Н-В, в которой электроды А-В являются питающими (на них подается ток), а электроды М-Н – измерительными (между ними производится замер напряжённости электрического поля) (см. рис.2).

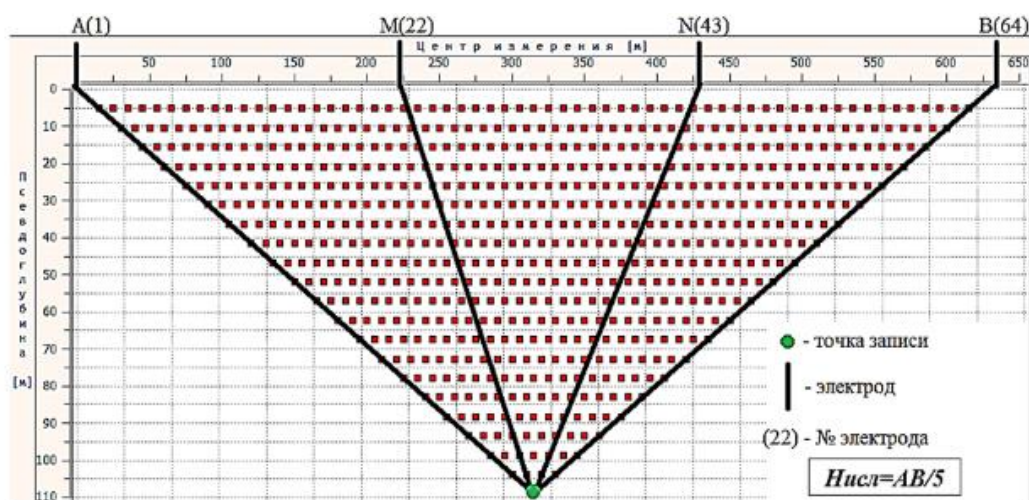


Рис. 2. Схема измерений методом электротомографии (рабочее окно «СКАЛА-64»)

Измеренные ток и разность потенциалов позволяют рассчитать кажущееся удельное электрическое сопротивление ($\rho_{\text{каж}}$, Ом·м) — электрическое поле, нормированное по параметрам установки таким образом, чтобы в однородном полупространстве кажущееся сопротивление совпадало с истинным удельным сопротивлением среды [4].

Первичная камеральная обработка данных, полученных при полевых работах, выполняется в программе «RiPPP». Для двухмерной интерпретации профильных данных электротомографии используется программа «ZondRes2D». При помощи «ZondRes2D» решаются прямая и обратная задачи электротомографии. Обратная задача (инверсия) позволяет из измеренных значений разности потенциалов получить двумерное распределение удельных сопротивлений [5]. В качестве входных данных для этого используются координаты электродов, высоты, измеренные значения разности потенциалов и дисперсии измерений, предварительно обработанные в программе «RiPPP». Таким образом, формируются планы изом излучаемой геологической среды, позволяющие описывать физическое состояние дамбы на различных глубинах.

Результаты исследований. На ограждающей дамбе хвостохранилища, в правом и левом примыканиях выполнены исследования на 10 геофизических профилях. По результатам измерений построены разрезы кажущегося сопротивления грунтов по каждому профилю и планы изом, характеризующие распределение сопротивления грунтов на исследуемой площади. На основании полученных данных была составлена схема интерпретации инженерно-геофизических изысканий (см. рис. 3).

Проанализировав результаты предыдущих геофизических исследований (за 2018 г.) и полученные данные, можно сделать следующие выводы:

- знаковых изменений в теле ограждающей дамбы не выявлено, зона фильтрации постепенно увеличивается за счёт оттайки подстилающих грунтов;
- особое внимание необходимо уделить участку, расположенному к юго-востоку от ограждающей дамбы (правобережное примыкание), там находится основная зона фильтрации техногенных вод;
- основные изменения произошли в створе ПК1700-ПК1870 ПР №3, отмечается образование зоны пониженных удельных электрических сопротивлений 2-20 Ом·м;
- основные фильтрационные потоки сосредоточены в средней части дамбы и правобережном примыкании, в сравнении с 2018 г. схема фильтрационных потоков в плане и по глубине изменилась, за счёт незначительного увеличения оттайки подстилающих коренных пород;
- в зоне «С» фиксируются приповерхностные низкоомные аномалии, что свидетельствует о растеплении мёрзлых грунтов, предположительно, растепление происходит за счёт формирования нового коридора приповерхностной обходной фильтрации.

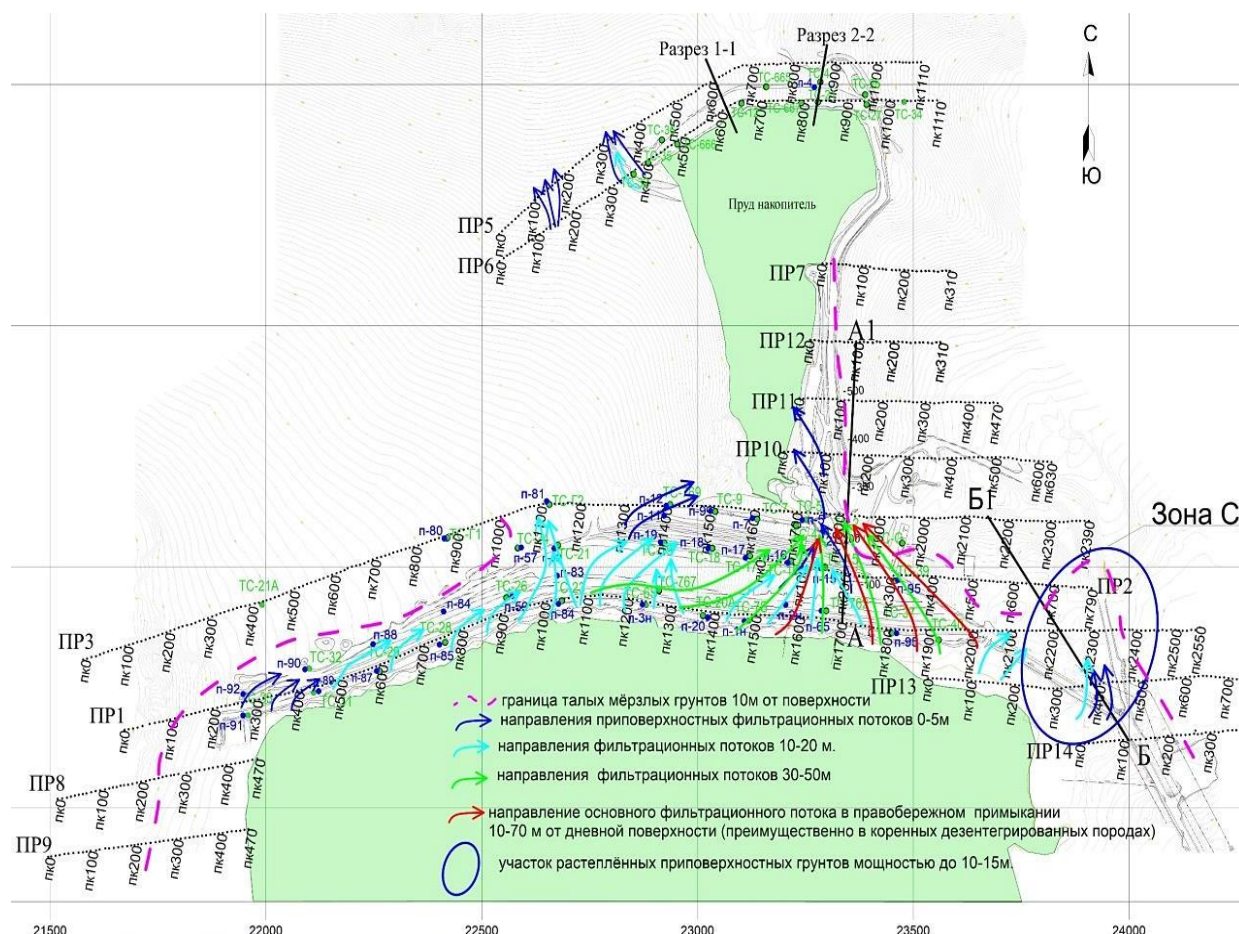


Рис.3. Схема интерпретации инженерно-геофизических изысканий

Принимая во внимания результаты проведенных и предшествующих геофизических исследований, можно уверенно прогнозировать как в плане, так и по глубине дальнейшее увеличение зоны фильтрации засоленных техногенных растворов в правобережном примыкании ограждающей дамбы. По результатам изысканий рекомендуется в зоне «С» произвести бурение скважин для мониторинга за температурным состоянием грунтов. Также продолжить геофизические изыскания на предмет определения возможного формирования зоны обходной фильтрации в правобережном примыкании ограждающей дамбы.

Заключение. Таким образом, проведенные инженерно-геофизические изыскания позволили получить данные для формирования схемы зон фильтрации техногенных вод сквозь ограждающую дамбу хвостохранилища, выделить участки формирования новых зон фильтрации, а также определить зону растепления коренных грунтов в боковом примыкании дамбы.

Использованные источники:

1. Оленченко В.В., Усманов М.Т., Усманова Л.И., Цыренжапов С.В. Выявление путей миграции техногенных вод из гидротехнических сооружений методом электротомографии / Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – № 2. – С. 101-105.
2. Простов С. М., Смирнов Н. А., Бахаева С. П. Прогноз физико-механических свойств намывного массива по данным электрических зондирований / Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых – 2015. – №1. – С. 69-78.
3. Якупов В.С. Геофизика криолитозоны / Издательство СО РАН – Якутск, 2008. – 187 С.
4. Инструкция по эксплуатации многоэлектродной электроразведочной станции «СКАЛА-64» – Новосибирск. –2015.
5. Руководство пользователя ZondRes2D – г. Санкт-Петербург. –2014.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РЕШЕНИЙ ОДНОМЕРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМИ РЯДАМИ

Баутин С.П., Вазиева И. А.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

srbautin@mail.ru, vazieva.i@yandex.ru

Для нелинейного уравнения теплопроводности в одномерном плоскосимметричном случае на отрезке $[0; \pi]$ ставится задача Коши с непрерывными начальными данными. Эти данные четным образом продолжаются на отрезок $[-\pi; 0]$, а затем с периодом 2π на всю числовую ось. Решение получившейся задачи Коши представляется в виде соответствующего тригонометрического ряда по косинусам от пространственной переменной. Для коэффициентов ряда приведена бесконечная система обыкновенных дифференциальных уравнений в нормальной форме.

Ключевые слова: нелинейное уравнение теплопроводности, задача Коши, тригонометрические ряды.

REPRESENTATION OF SOLUTIONS TO THE NONLINEAR HEAT CONDUCTIVITY EQUATION BY TRIGONOMETRIC SERIES

Bautin S.P., Vazieva I.A.

¹Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
Physical-Technology Institute (SPhTI) – National Research Nuclear University MEPhI», Snezhinsk,
Russia

srbautin@mail.ru, vazieva.i@yandex.ru

For the nonlinear heat equation in the one-dimensional plane-symmetric case on the segment $[0; \pi]$ the Cauchy problem with continuous initial data is posed. These data evenly continue to the segment $[-\pi; 0]$, and then with a period of 2π on the entire numerical axis. The solution to the resulting Cauchy problem is represented in the form of a corresponding trigonometric series in cosines from the spatial variable. An infinite system of ordinary differential equations in normal form is given for the coefficients of the series.

Keywords: nonlinear heat equation, Cauchy problem, trigonometric series.

Среди аналитических методов получения решений нелинейных уравнений с частными производными одним из основных методов является использование конечных или бесконечных представлений с применением различных систем базисных функций для разных функциональных пространств [1–6]. В работе [7] впервые методика бесконечных тригонометрических рядов была применена для построения решений одного нелинейного уравнения, а также нелинейной системы уравнений с частными производными смешанного типа. В работах [8–10] доказана сходимость используемых тригонометрических рядов.

Предложенная в работе [7] методика решений нелинейных уравнений с частными производными применена к нелинейному уравнению теплопроводности в одномерном плоскосимметричном случае

$$u_t = uu_{xx} + \frac{1}{\sigma} u_x^2, \quad (1)$$

где σ есть положительная константа. То есть решение уравнения (1) представляется в виде тригонометрического ряда по косинусам

$$u(t, x) = 1 + \sum_{k=1}^{\infty} u_k(t) \cos(kx). \quad (2)$$

с неизвестными коэффициентами $u_k(t)$ зависящими от t и для которых заданы начальные условия

$$u_k(0) = u_k^0; \quad u_k^0 = \text{const.} \quad (3)$$

Решение уравнения (1) в виде тригонометрических рядов только по синусам невозможно в силу конкретного вида нелинейности исходного уравнения.

По представлениям (2) определяются их частные производные, которые подставляются в уравнение (1). Далее, при помощи тождественных преобразований, получается бесконечная система обыкновенных дифференциальных уравнений для бесконечного числа искомых функций, записанная в нормальной форме

$$u'_l(t) = -l^2 u_l(t) - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} m^2 u_k(t) u_m(t) a_{kml} + \frac{1}{2\sigma} \sum_{k=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} k m u_k(t) u_m(t) b_{kml} \quad (4)$$

$$\text{Здесь } a_{kml} = \begin{cases} 1, & \text{если } l = k + m \text{ или } l = |k - m| \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}, \quad b_{kml} = \begin{cases} 1, & \text{если } l = |k - m| \\ -1, & \text{если } l = k + m \\ 0, & \text{в остальных случаях} \end{cases}.$$

По методике, предложенной в работах [8–10], установлена локальная по времени сходимость ряда (2).

Для построения приближенных решений уравнения (1) используются конечные суммы

$$u(t, x) = 1 + \sum_{k=1}^K u_k(t) \cos(kx), \quad (5)$$

где K – выбранное значение числа слагаемых в конечных отрезках рядов. Для определения слагаемых этих сумм решаются конечные системы дифференциальных уравнений

$$u'_l(t) = -l^2 u_l(t) - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^K m^2 u_k(t) u_m(t) a_{kml} + \frac{1}{2\sigma} \sum_{k=1}^K \sum_{m=1}^K k m u_k(t) u_m(t) b_{kml} \quad (6)$$

при заданных начальных данных $u_l(0) = u_l^0; \quad u_l^0 = \text{const}; \quad 1 < l < K$.

Использованные источники:

1. Васин В.В., Сидоров А.Ф. О некоторых методах приближенного решения дифференциальных и интегральных уравнений // Известия вузов. Математика. 1983, № 7 (254). С. 13-27.
2. Баутин С.П. Применение характеристических рядов для представления решений нелинейных уравнений параболического типа в окрестности линии вырождения // Численные методы механики сплошной среды. 1985, т. 16. № 5. С. 16-28.
3. Баутин С.П. Существование аналитической тепловой волны, определяемой заданным краевым режимом // Сибирский журнал индустриальной математики. 2003. Т. VI, № 1(13). С. 3-11.
4. Баутин С.П. Аналитическая тепловая волна. М.: Физматлит, 2003. 88 с.
5. Рубина Л. И., Ульянов О. Н. Об одном методе решения уравнения нелинейной фильтрации // Сибирский математический журнал. Сентябрь-октябрь, 2012. Том 53, № 5.
6. Казаков А.Л., Лемперт А.А. О существовании и единственности решения краевой задачи для параболического уравнения нестационарной фильтрации. // Прикладная механика и техническая физика. 2013. Т. 54, № 2(318). С. 97-105.
7. Баутин С.П., Замыслов В.Е., Скачков П.П. Математическое моделирование тригонометрическими рядами одномерных течений вязкого теплопроводного газа. Новосибирск: Наука, Екатеринбург: УрГУПС, 2014. 91 с.
8. Баутин С.П., Замыслов В.Е. Представление решений уравнения Бюргерса тригонометрическими рядами // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2022, том 11, № 4, с. 305-318.
9. Баутин С.П., Карелина О.А., Обухов А.Г. Представление решений системы уравнений движения с помощью тригонометрических рядов // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2023. Т. 12, № 1. С. 39-51.

10. Баутин С.П., Карелина О.А., Обухов А.Г. Некоторые нестационарные двумерные течения газа, определяемые с помощью тригонометрических рядов // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2023. Т. 12, № 4. С. 223-232.

НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ДВУМЕРНЫЕ ТЕЧЕНИЯ СЖИМАЕМОГО ГАЗА, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИХ РЯДОВ

Баутин С.П.¹, Обухов А.Г.²

¹ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

²ФГАОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень

spbautin@mail.ru

agobukhov@inbox.ru

UNSTATIONARY TWO-DIMENSIONAL COMPRESSIBLE GAS FLOWS DETERMINED USING TRIGONOMETRIC SERIES

S.P. Bautin¹, A.G. Obukhov²

¹Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region

²Tyumen Industrial University, Tyumen

spbautin@mail.ru

agobukhov@inbox.ru

По предложенной методике [1-4] решения системы нелинейных уравнений с частными производными строятся в виде бесконечных тригонометрических рядов от двух пространственных переменных. Коэффициентах рядов являются искомыми функциями от времени, для которых выписана бесконечная система обыкновенных дифференциальных уравнений. Доказаны теоремы о кратных частотах и о сходимости бесконечных тригонометрических рядов в некоторой окрестности точки $t = 0$ и при всех значениях независимых переменных x, y . При описании конкретных двумерных периодических течений в начальный момент времени задаются данные в виде конечных линейных тригонометрических сумм. Приближенные решения поставленных задач Коши также строятся в виде конечных отрезков тригонометрических рядов. Коэффициенты этих конечных сумм численно определяются при решении соответствующих задач Коши для конечных систем обыкновенных дифференциальных уравнений. При различных наборах начальных данных в работе построены соответствующие нестационарные двумерные периодические по пространственным переменным x, y течения и проанализированы их свойства.

Использованные источники:

1. Баутин С.П., Замыслов В.Е., Скачков П.П. Математическое моделирование тригонометрическими рядами одномерных течений вязкого теплопроводного газа. Новосибирск: Наука, 2014.

2. Баутин С.П., Замыслов В.Е. Представление решений уравнения Бюргерса тригонометрическими рядами // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2022. Т. 11, № 4. С. 305-318.

3. Баутин С.П., Карелина О.А., Обухов А.Г. Представление решений системы уравнений движения с помощью тригонометрических рядов // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2023. Т. 12, № 1. С. 39-51.

4. Баутин С.П., Карелина О.А., Обухов А.Г. Некоторые нестационарные двумерные течения газа, определяемые с помощью тригонометрических рядов // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», 2023. Т. 12, № 4. С. 223-232.

ПОЛНАЯ СИСТЕМА УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА: ЛИНЕАРИЗАЦИЯ И ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ТОЧНОМ РЕШЕНИИ

Бугаенко^{1,2} А.А., Крутова² И. Ю.

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

BugaenkoAA@vniitf.ru

THE COMPLETE SYSTEM OF NAVIER-STOKES EQUATIONS: LINEARIZATION AND NUMERICAL SIMULATION ON THE EXACT SOLUTION

Bugaenko^{1,2} A.A., Krutova² I. Yu.

¹ Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics», Snezhinsk, Russia

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
Physical-Technology Institute (SPhTI) – National Research Nuclear University MEPhI»,
Snezhinsk, Russia

Природные восходящие закрученные потоки (ВЗП): торнадо, тропические циклоны, огненные вихри представляют собой сложные и еще достаточно мало изученные явления с точки зрения их возникновения и продолжительного функционирования. Надежное теоретическое изучение этих потоков возможно только с использованием системы уравнений газовой динамики при учете действия сил тяжести и Кориолиса [1].

В силу нелинейности системы уравнений газовой динамики построение ее решений является достаточно трудоемким. Это и послужило причиной линеаризации системы уравнений газовой динамики на ее точных решениях [2].

При численном построении сложных неоднородных и нестационарных течений газа для увеличения устойчивости счета часто применяют различные алгоритмы, сглаживающие решения. Для того, чтобы подобная процедура имела обоснованный физический смысл, в работе рассматривается полная система уравнений Навье-Стокса (ПСУНС), в которой учтены сжимаемость газа и диссипативные эффекты вязкости и теплопроводности так, что общие законы сохранения массы, импульса и энергии выполняются. А также выполняются законы термодинамики, благодаря учету уравнений состояния.

Построение решений ПСУНС является еще более трудоемким. Поэтому также как и для системы уравнений газовой динамики проводится процедура линеаризации.

В докладе приведена линеаризация ПСУНС на точном решении, описывающем однородный покой, а также ее численное исследование.

Численное решение системы при соответствующих начальных и граничных условиях, проводилось в расчетной области в виде прямоугольного параллелепипеда, размеры которого соответствуют размерам разных по интенсивности ВЗП [3]. Его нижняя грань совпадает с поверхностью Земли. Через квадратное отверстие в центре верхней грани расчетной области моделируется вертикальный плавный продув воздуха.

За начальные условия принимаются соотношения, описывающие покоящийся атмосферный воздух, которые являются точным аналитическим решением линеаризованной системы.

Граничные условия для искомых 4 функций выбираются в предположении, что газ из расчетной области может выходить только через ту часть верхней грани, где осуществляется продув, а входить только через боковые грани.

Все компоненты вектора скорости на четырех боковых гранях рассчитываются из условия непрерывности. Это означает, что воздух может пересекать все боковые граничные поверхности расчетной области.

В докладе анализируется поведение плотности, температуры и трех компонент вектора скорости газа на различных высотах и в разные моменты времени (рисунок 1).

Существенным моментом в расчете температуры в исследуемых восходящих закрученных течениях является то, что причиной возникновения таких течений является не нагрев подстилающей поверхности, а вертикальный продув газа. С течением времени поверхность температуры газа приобретает вид воронки с пониженными значениями в центре расчетной области.

Общим в поведении плотности, температуры является то, что по мере приближения к центру расчетной области прослеживается их осевая симметрия. Ось симметрии расположена вертикально, проходит через геометрический центр расчетной области и совпадает с центром отверстия продува газа через верхнюю плоскость расчетного параллелепипеда.

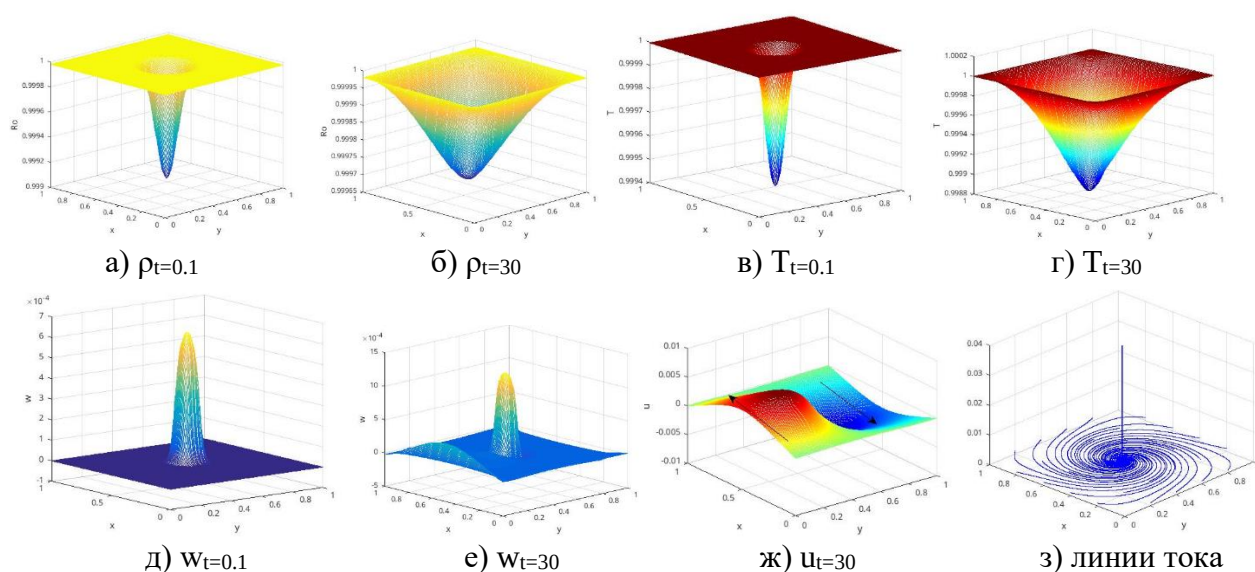


Рисунок 1 – Газодинамические характеристики течений в ВЗП малых масштабов

Установлено, что плотность и температура при таком сложном течении претерпевают заметные изменения на начальной стадии. При увеличении времени расчета термодинамические параметры и все течение в целом стабилизируются с постепенным выходом на стационарный режим.

Вблизи геометрического центра расчетной области возникают встречные и разведенные в пространстве потоки газа, что равносильно возникновению вокруг вертикальной оси закрученного в положительном направлении движения частиц газа.

Также в докладе представлены результаты трехмерных расчетов мгновенных линий тока частиц газа в области близкой к вертикальной части ВЗП. Видно, как происходит закрутка газа вблизи нижней плоскости расчетного параллелепипеда и процесс передачи вращательного движения сплошной среды в вертикальную часть ВЗП.

Литература:

1. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г. Газодинамическая теория восходящих закрученных потоков. Екатеринбург: УрГУПС, 2020. 400 с.
2. Баутин С.П., Крутова И.Ю. Линеаризованная система уравнений газовой динамики при учете действия силы Кориолиса. Снежинск: СФТИ, 2019. 60 с.
3. Баутин С.П. Скорость звука в многокомпонентной покоящейся среде // Прикладная механика и техническая физика. – 2008. – Т. 49, №3. – С. 35-44.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ТЕЧЕНИЙ ВОСХОДЯЩИХ ЗАКРУЧЕННЫХ ПОТОКОВ ТИПА ТОРНАДО ПРИ УЧЕТЕ ДЕЙСТВИЯ СИЛ ТЯЖЕСТИ И КОРИОЛИСА

Казачинский А.О., Крутова И.Ю.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.*

IYKrutova@mephi.ru

Аннотация: На основе схемы, предложенной профессором Баутиным С.П., и исходя из данных шкалы Фуджиты, где систематизированы данные натурных наблюдений за этим природным явлением, установлены внешние радиусы притока воздуха в придонных частях торнадо всех классов из таблицы Фуджиты, рассчитаны газодинамические характеристики и кинетическая энергия потока. Рассчитаны мгновенные линии тока для нестационарного случая трехмерного течения политропного газа.

MATHEMATICAL MODELING OF UNSTEADY FLOWS OF UPWARD TWISTED TORNADO-TYPE FLOWS TAKING INTO ACCOUNT THE EFFECT OF GRAVITY AND CORIOLIS FORCES

KAZACHINSKIY A.O., KRUTOVA I.Y.

*Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk region*

IYKrutova@mephi.ru

Abstract: Based on the scheme proposed by Professor Bautin S.P. and on the data of the Fujita scale, where the data of field observations of this natural phenomenon are systematized, the external radii of the air inflow in the bottom parts of tornadoes of all classes from the Fujita table are established, the gas-dynamic characteristics and kinetic energy of the flow are calculated. Instantaneous streamlines are calculated for the non-stationary case of a three-dimensional flow of polytropic gas.

Данное исследование является актуальным в силу необходимости понимания физических процессов, вызывающих и поддерживающих достаточно длительное время восходящих закрученных движений воздуха. Изучение природы возникновения вихрей (торнадо, смерчи, тропический циклон) необходимо для раннего предупреждения и эффективной борьбы с их разрушительными последствиями.

Для системы уравнений газовой динамики с учетом действия сил тяжести и Кориолиса по предложенной С. П. Баутиным (см. [1–2]) схеме возникновения и устойчивого функционирования восходящих закрученных потоков рассмотрена одна конкретная характеристическая задача Коши с начальными данными на непроницаемой горизонтальной плоскости $z=0$ [3]. Рассмотренная задача является характеристической задачей Коши стандартного вида, у которой в случае аналитичности входных данных имеется единственное аналитическое решение. Описана процедура построения коэффициентов бесконечных рядов с тем, чтобы конечный отрезок этого ряда применить для приближенного описания течений газа в придонных частях торнадо и тропического циклона, что позволило численно находить решения для описания стационарного трехмерного течения газа в восходящих закрученных потоках. Распределения газодинамических параметров исследуемых течений представлены в числовом и в графическом виде. Они соответствуют данным натурных наблюдений за торнадо различных классов и за тропическим циклоном средней интенсивности. Анализ геометрических, скоростных и энергетических характеристик рассматриваемых течений

показал следующее: разрушительный характер имеют те, наблюдаемые в природе торнадо, у которых кинетическая энергия окружного движения в придонной части больше кинетической энергии радиального движения воздуха в этой части потока.

С помощью численного метода характеристик численно найдены решения для коэффициентов рядов, которые определяются через систему уравнений газовой динамики с учетом действия сил тяжести и Кориолиса, которая описывает трехмерное нестационарное придонное течение политропного газа в восходящих закрученных потоках. Представлен анализ и исследование коэффициентов сходящихся рядов для газодинамических параметров различных классов по данным натурных наблюдений, которые повторяют природное явление.

Использованные источники:

1. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г. Газодинамическая теория восходящих закрученных потоков. – Екатеринбург: УрГУПС, 2020. – 399 с.
2. Баутин С.П., Крутова И.Ю. Аналитическое и численное моделирование течений газа при учете действия силы Кориолиса. – Екатеринбург: УрГУПС, 2019. – 181 с.
3. Казачинский А.О., Крутова И.Ю. Построение течений в придонной части восходящих закрученных потоков как решение одной характеристической задачи Коши : Препринт. – Снежинск : издательство СФТИ НИЯУ МИФИ, 2016. – 60 с.

МОДЕРНИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА РАЗРЕЖЕНИЯ РАСЧЁТНОЙ СЕТКИ ОКОЛО ОСИ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ

Кононов С.Н.¹, Левунина Э.С.^{1,2}

¹ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

²ФГУП «ПО «Маяк», г. Озёрск, Челябинская обл.

kononovsn@susu.ru, eslevunina@po-mayak.ru

Представлены обоснование необходимости и способ модернизации существующего алгоритма разрежения расчётной сетки около оси. Разрежение используется для численного решения газодинамической задачи явной разностной схемой в цилиндрических координатах.

Ключевые слова: явная разностная схема, расчётная сетка, построение расчётной сетки

MODERNIZATION OF THE COMPUTATIONAL GRID RESOLUTION ALGORITHM NEAR THE AXIS IN CYLINDRICAL COORDINATES

Kononov S.N.¹, Levunia E. S.^{1,2}

¹Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk region

²«ПО «Маяк», Ozersk, Chelyabinsk region

kononovsn@susu.ru, eslevunina@po-mayak.ru

The rationale for the necessity and the method of modernization of the existing algorithm of rarefaction of the computational grid near the axis are presented. The rarefaction is used to numerically solve a gas dynamic problem using an explicit difference scheme in cylindrical coordinates.

Keywords: explicit difference scheme, computational grid, constructing a computational grid

В [1] была поставлена нестационарная задача численного моделирования потоков воздуха для сжимаемого, вязкого, теплопроводного газа в поле действия силы тяжести, с учётом действия силы Кориолиса в цилиндрических координатах. В [2] предлагались явная разностная схема для решения полной системы уравнений Навье-Стокса из [1] и её проверка для известного точного решения стационарного режима. Развитием работы послужили расчёты начальных течений газа для двух нестационарных задач. Необходимость увеличения времени моделирования движения воздуха привела к промежуточной задаче разрежения расчётной сетки [3]. В [4] предложен вариант разрежения расчётной сетки на первом от оси радиусе в два раза, что дало возможность увеличить в 4 раза шаг по времени без уменьшения устойчивости счёта.

Предложенный пример разрежения сетки на первом радиусе имеет ряд недостатков. Во-первых, в каждой итерации требуется создавать динамические переменные на основе исходных массивов, что увеличивает время работы программы. Во-вторых, задача значительно усложняется при необходимости масштабирования.

Увеличение шага по времени в 16 раз можно достигнуть, разрежая сетку в 4 раза на первом от оси радиусе и в 2 раза на втором и третьем радиусах. Применение алгоритма решения из [4] приводит к появлению дополнительных динамических массивов, вследствие чего увеличивается время счёта и требования к памяти программы.

Реализован модернизированный вариант разрежения, при котором используется расчётная часть из [3] и [4], но промежуточные массивы формируются в цикле по координате высоты сетки для любого радиуса. Этот алгоритм лишён минусов реализации [4], хотя имеет повышенную сложность. Промежуточные массивы имеют на порядки меньший размер и не требуют размещения в динамической памяти, что приводит к увеличению скорости счёта и снижению требований расчётной программы к памяти ЭВМ. Измельчение структурных элементов кода упрощает масштабирования задачи по разрежению сетки.

В результате модернизации программного кода получена возможность увеличить в 16 раз шаг по времени без ухудшения устойчивости схемы, при этом снизились требования программы к объёму оперативной памяти ЭВМ.

Использованные источники:

1. Баутин С.П., Крутова И.Ю., Обухов А.Г. Газодинамическая теория восходящих закрученных потоков Екатеринбург: УрГУПС. 2020.
2. Баутин С.П. Кононов С.Н. Левунина Э.С. Численное моделирование течений в восходящих закрученных потоках с использованием разностной схемы. Математические структуры и моделирование. № 3 (63). Омск. 2022.
3. Кононов С.Н. Применение алгоритма разрежения сетки вблизи оси в цилиндрических координатах // Научная сессия НИЯУ МИФИ-2020 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. – М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2020.
4. Сертификат на программу ЭВМ «СЧЁТ НА РАЗРЯЖЁННОЙ СЕТКЕ В ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ КООРДИНАТАХ СОСТОЯНИЯ ПОКОЯ ГАЗА» Авторы: Кононов Сергей Николаевич, Левунина Эльвира Сайфулловна. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 2021660472, 25.06.2021. Заявка № 2021619522 от 18.06.2021.

ПРИМЕНЕНИЕ МОДЕЛИ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО РАВНОВЕСИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ТЕЧЕНИЙ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СРЕД

Мустафин А. М.^{1,2}, Лебедев С. Н.^{1,2}

¹ ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.,

² ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.
mustafinam@vniitf.ru

В рамках двумерного пакета программ SINARA для расчета смесей в областях, в которых учитывается турбулентное перемешивание, реализована новая неявная схема расчета газодинамики на основе модели термомеханического равновесия. В работе представлено описание реализованной разностной схемы и приведены сравнительные расчеты модельной задачи.

Ключевые слова: математическое моделирование, численные методы решения уравнений, газовая динамика, диффузионная модель перемешивания, модель термомеханического равновесия.

THE USE OF A THERMOMECHANICAL EQUILIBRIUM MODEL FOR MULTICOMPONENT FLOW SIMULATION

A.M. Mustafin^{1,2}, S.N. Lebedev^{1,2}

¹ MEPI National Nuclear Research University's Snezhinsk Physicotechnical Institute, Chelyabinsk Region

² Zababakhin RFNC-VNIITF, Snezhinsk, Chelyabinsk Region
mustafinam@vniitf.ru

A new implicit scheme for hydrodynamics calculations on the basis of a thermomechanical equilibrium model was implemented in the 2D SINARA code to simulate mixed materials in regions where turbulent mixing is considered. The paper describes the scheme and provides comparative results for a model problem.

Keywords: mathematical simulation, numerical methods for equations, hydrodynamics, diffusive mixing model, thermomechanical equilibrium model

Введение. В процессе расчета сложных газодинамических процессов возникают ситуации, когда контактные границы становятся неустойчивыми в смысле Релея-Тейлора [2], Рихтмайера-Мешкова [1], [6] или Кельвина-Гельмгольца [4]. Это может приводить к разрушению этих границ и формированию зон турбулентности. Для описания динамики турбулентных зон в двумерном пакете программ SINARA реализованы диффузионные модели перемешивания. В зонах турбулентности образуются смеси веществ и газодинамические расчеты должны учитывать особенности компонент данной смеси.

При решении уравнений газодинамики возможно использование двух подходов при расчете многокомпонентных течений. Первый использует модель парциальных составляющих, в которой все вещества смеси имеют средние характеристики, в (ρ, T) переменных – среднюю плотность и среднюю температуру, а давление среды определяется усреднением давлений веществ смеси по массовым концентрациям $P = \sum_k c_k P_k(\rho, T)$. Во втором подходе при определении средних параметров среды используются индивидуальные

термодинамические характеристики веществ смеси $(\rho_k, \varepsilon_k, T_k)$, при этом вводятся некоторые дополнительные замыкающие соотношения. Для этого могут использоваться модель «равной сжимаемости», модель на основе принципа локального равенства давлений компонент смеси, а также равенства приращений давления.

В расчетах с диффузионными моделями перемешивания в пакете SINARA использовалась модель парциальных составляющих. Данная работа рассматривает реализацию в пакете SINARA второго подхода на основе индивидуальных термодинамических характеристик веществ. В докладе представлена новая неявная разностная схема решения уравнений газодинамики в многокомпонентных средах с моделью термомеханического равновесия. В данной модели полагается, что давления и температуры в пределах одной ячейки одинаковы для всех имеющихся в ней веществ. Проведено сравнение результатов расчета модельной задачи, полученных с помощью модели парциальных составляющих и приведенной модели на основе индивидуальных термодинамических характеристик.

Постановка задачи. В многокомпонентных средах решается система уравнений газодинамики в лагранжевых переменных

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \nu}{\partial t} = \nu \operatorname{div}(\vec{u}), \\ \frac{\partial \nu_k}{\partial t} = \nu_k (\operatorname{div} \vec{u})_k, \quad k = \overline{1, K}, \\ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\nu \operatorname{grad}(P), \\ \frac{\partial \varepsilon_k}{\partial t} = -P_k \nu_k (\operatorname{div} \vec{u})_k, \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -P \cdot \nu \operatorname{div}(\vec{u}) - \nu \operatorname{div}(\vec{q}) - \nu \operatorname{div}(\vec{S}_t), \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \vec{u}, \\ \frac{dc_k}{dt} = \nu \cdot \operatorname{div}(\mu_t \cdot \vec{\nabla} c_k) \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\nu = 1/\rho$ - удельный объем, k - номер вещества в смеси, K - количество компонент смеси, $\varepsilon = \varepsilon(T, \nu)$ - средняя удельная внутренняя энергия, $\varepsilon_k = \varepsilon_k(T, \nu_k)$ удельная внутренняя энергия k -ой компоненты смеси, ν_k - удельный объем k -ой компоненты смеси, $P = P(T, \nu)$ - давление, $\vec{u} = \vec{u}(\vec{r}, t)$ - скорость, $\vec{r} = (r, z)$ - радиус-вектор лагранжевой точки μ_t - турбулентная динамическая вязкость, c_k - массовая концентрация k -ой компоненты смеси, $\vec{q}$ - тепловой поток, $\vec{S}_t$ - турбулентный тепловой поток. Переменные без индекса относятся к средним величинам.

В системе (1) неизвестными величинами являются: $\vec{r}, \vec{u}, \varepsilon, \varepsilon_k, \nu, \nu_k, P, P_k, T_k, T$.

При построении модели будем исходить из модели локального термодинамического равновесия, полагая, что давления и температуры в пределах одной ячейки одинаковы для всех имеющихся в ней веществ. Для замыкания системы (1) используются уравнения

$$\begin{aligned} T &= T_1 = T_2 = \dots = T_K, \\ P &= P_1(\rho_1, T) = P_2(\rho_2, T) = \dots = P_K(\rho_K, T). \end{aligned} \quad (2)$$

тогда к исходной системе добавится ряд уравнений

$$\begin{cases} P(\rho, T) = P_k(\rho_k, T) = P_j(\rho_j, T), & k = \overline{1, K}, j = \overline{1, K}, \\ \frac{1}{\rho} = \sum \frac{c_k}{\rho_k}, \\ \varepsilon = \sum c_k \varepsilon_k(\rho_k, T). \end{cases} \quad (3)$$

Неизвестными в (3) являются средняя температура T и плотности компонент смеси $\rho_k = (c_k / \alpha_k) \cdot \rho$, где $c_k = m_k / m$ - массовая концентрация k -го компонента вещества, $\alpha_k = V_k / V$ - объемная концентрация k -го компонента вещества.

Таким образом необходимо решить совместно две системы уравнений: систему (3) и газодинамическую систему

$$\begin{cases} \frac{\partial \nu}{\partial t} = \nu \operatorname{div}(\vec{u}), \\ \frac{\partial \nu_k}{\partial t} = \nu_k \operatorname{div}(\vec{u}_k), & k = \overline{1, K}, \\ \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} = -\nu \operatorname{grad}(g), \\ \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} = -g \nu \operatorname{div}(\vec{u}) - \nu \operatorname{div}(\vec{q}) - \nu \operatorname{div}(\vec{S}_t), \\ \frac{\partial \vec{r}}{\partial t} = \vec{u}, \\ \frac{dc_k}{dt} = \nu \cdot \operatorname{div}(\mu_t \cdot \vec{\nabla} c_k), \end{cases} \quad (4)$$

где отсутствуют уравнения энергии для компонент вещества, а переменная давления заменена на функцию вязкого давления $g(\rho, T) = P^{VPC}(\rho, T) + \omega(\rho, T)$.

Разностная схема. Рассматриваемая система газодинамических уравнений (4) решается численно при помощи конечно-разностного подхода. Для получения разностных уравнений в рассматриваемой области D на плоскости r, z строится четырехугольная регулярная пространственная сетка. Система уравнений (4) аппроксимируется по времени схемой с весами. Получаем систему дифференциально-разностных уравнений

$$\begin{cases} \nu^{n+1} - \nu^n = \tau \nu^{n+1} (\operatorname{div} \vec{u})^{(0.5)} \\ \nu_k^{n+1} - \nu_k^n = \tau \nu_k^{n+1} (\operatorname{div} \vec{u})_k^{(0.5)}, & k = \overline{1, K}, \\ \vec{u}^{n+1} - \vec{u}^n = -\tau \nu^{n+1} (\operatorname{grad} g)^{(\sigma)}, \\ \varepsilon^{n+1} - \varepsilon^n = -\tau g^{(\sigma)} \nu^{n+1} (\operatorname{div} \vec{u})^{(0.5)}, \\ \vec{r}^{n+1} - \vec{r}^n = \tau \vec{u}^{(0.5)}, \\ g^{n+1} = P^{n+1} + \omega^{n+1}, \\ g = g_1 = g_2 = \dots = g_K, \\ T = T_1 = T_2 = \dots = T_K, \end{cases} \quad (5)$$

где σ – весовой параметр схемы.

Система (5) разрешается явным образом, если известна функция давления. При $\sigma > 0$ следует получить уравнение для определения давления $g^{(\sigma)}$. Для этого линеаризуем исходную систему (5). В результате получим дифференциально-разностное уравнение в потоковой форме для нахождения вязкого давления вида:

$$\begin{cases} g^{(\sigma)^{v+1}} + \Psi_1^v \cdot \text{div}(\vec{W}^{v+1}) + \Psi_0^v \cdot \text{div}(\vec{W}_0^{v+1}) = \Phi^v, \\ \vec{W}^{v+1} + \tau v^{n+1} \cdot \text{grad}(g^{(\sigma)^{v+1}}) = 0, \end{cases} \quad (6)$$

где коэффициенты

$$\begin{aligned} \Psi_1^v &= \sigma \frac{\tau}{2 \sum_{k=1}^K \kappa_k \zeta_k} \min(-P_{v_k}) v^v \left(1 - \sum_{k=1}^K \frac{c_k}{P_{v_k}} \frac{P_T}{\varepsilon_T} (g^{(\sigma)} + \varepsilon_v) \right), \\ \Psi_0^v &= -\sigma \left(\sum_{k=1}^K \kappa_k \frac{\partial \omega}{\partial B_0} \right) / \left(\sum_{k=1}^K \kappa_k \zeta_k \right), \\ \Phi^v &= g^{(\sigma)^v} + \Psi_1^v \cdot \text{div}(\vec{W}^v) + \Psi_0^v \cdot \text{div}(\vec{W}_0^v) + \sigma \left(\sum_{k=1}^K \kappa_k (F_0)_k^v / \sum_{k=1}^K \kappa_k \zeta_k \right), \\ \kappa_k &= (c_k \min(-P_{v_k})) / P_{v_k}, \\ (F_0)_k^v &= \frac{P_T}{\varepsilon_T} (g^{(\sigma)} + \varepsilon_v) f_v^v - \frac{P_T^v}{\varepsilon_T^v} f_\varepsilon^v - P_{v_k} f_{v_k}^v - f_g^v, \\ \zeta_k &= 1 + \tau \sigma (v B^{(0.5)})^v (P_T^v / \varepsilon_T^v), \\ B &= \text{div} \vec{u}, \\ f_\varepsilon^v &= \varepsilon^v - \varepsilon^n + (v^v - v^n) g^{(\sigma)^v}, \\ f_g^v &= g^v - P^v - \omega^v, \\ f_v^v &= v^v - v^n - \tau v^v B^{(0.5)^v}, \\ f_{v_k}^v &= v_k^v - v_k^n - \tau v_k^v B_k^{(0.5)^v}, \quad k = \overline{1, K}. \end{aligned}$$

Для решения уравнения (6) используется подход метода «Ромб» [3],[7]. Уравнения полученной системы интегрируются по одной ячейке разностной сетки. Осуществляется переход от дифференциальных операторов дивергенции и градиента к разностным аналогам. Вводятся нормальные составляющие вектора ускорения на ребрах ячейки.

$$(W_\xi)_i = W_{\xi 1} = \vec{W} \cdot \vec{n}_1, \quad (W_\eta)_{j+1} = W_{\eta 2} = \vec{W} \cdot \vec{n}_2, \quad (W_\xi)_{i+1} = W_{\xi 3} = \vec{W} \cdot \vec{n}_3, \quad (W_\eta)_j = W_{\eta 4} = \vec{W} \cdot \vec{n}_4,$$

а также нормальные компоненты вектора $\vec{W}$ в центре ячейки W_η, W_ξ .

$$\begin{cases} g^{v+1} + \frac{\Psi_0}{\Delta V} ((RW_\eta)_2 - (RW_\eta)_4 + (RW_\xi)_3 - (RW_\xi)_1)^{v+1} + \\ \frac{\Psi_1}{\Delta S} ((W_\eta)_2 - (W_\eta)_4 + (W_\xi)_3 - (W_\xi)_1)^{v+1} = F_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}^v, \\ \vec{W}_\xi^{v+1} + \frac{\tau v^v}{\Delta S} \alpha_1 (g_3 - g_1)^{v+1} - \frac{\tau v^v}{\Delta S} \beta_1 (g_2 - g_4)^{v+1} = 0, \\ \vec{W}_\eta^{v+1} + \frac{\tau v^v}{\Delta S} \alpha_2 (g_2 - g_4)^{v+1} - \frac{\tau v^v}{\Delta S} \beta_2 (g_3 - g_1)^{v+1} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Здесь ΔS – площадь ячейки, $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ – метрические параметры,

$$\begin{aligned}\alpha_1 &= (\Delta_j r)_{i+\frac{1}{2}}^2 + (\Delta_j z)_{i+\frac{1}{2}}^2, \\ \alpha_2 &= (\Delta_i r)_{j+\frac{1}{2}}^2 + (\Delta_i z)_{j+\frac{1}{2}}^2, \\ \beta_1 &= \beta_2 = \Delta_i r_{j+\frac{1}{2}} \Delta_j r_{i+\frac{1}{2}} + \Delta_j z_{i+\frac{1}{2}} \Delta_i z_{j+\frac{1}{2}}, \\ \Delta_i(\cdot) &= (\cdot)_{i+1} - (\cdot)_i.\end{aligned}$$

Нижние индексы у величин, относящиеся к центру ячейки, опущены.

Система уравнений (7) решается прогонкой с использованием метода стабилизирующей поправки [5]. На первом этапе решается одномерная система

$$\begin{cases} g^{v+1/2} + \frac{\Psi_0}{\Delta V} (\Delta_i R W_\xi^{v+1/2}) + \frac{\Psi_1}{\Delta S} (\Delta_i W_\xi^{v+1/2}) = F^v + \frac{\Psi_0}{\Delta V} (\Delta_j R W_\eta^v) + \frac{\Psi_1}{\Delta S} (\Delta_j W_\eta^v), \\ W_\xi^{v+1/2} + \frac{\tau v^v}{\Delta S} \alpha_1 \Delta_i g^{v+1/2} = \frac{\tau v^v}{\Delta S} \beta_1 \Delta_j g^v. \end{cases} \quad (8)$$

На втором этапе решается одномерная система

$$\begin{cases} g^{v+1/2} + \frac{\Psi_0}{\Delta V} (\Delta_j R W_\eta^{v+1}) + \frac{\Psi_1}{\Delta S} (\Delta_j W_\eta^{v+1}) = F^v + \frac{\Psi_0}{\Delta V} (\Delta_i R W_\xi^{v+1/2}) + \frac{\Psi_1}{\Delta S} (\Delta_i W_\xi^{v+1/2}), \\ W_\eta^{v+1} + \frac{\tau v^v}{\Delta S} \alpha_2 \Delta_j g^{v+1} = \frac{\tau v^v}{\Delta S} \beta_2 \Delta_i g^{v+1/2}. \end{cases} \quad (9)$$

Суть метода «Ромб» состоит в привлечении дополнительных соотношений для замыкания одномерных систем уравнений. Для системы (8) эти соотношения берутся в виде

$$\begin{aligned}g &= \frac{g_{i,j+1/2} + g_{i+1,j+1/2}}{2} + \delta_{i+\frac{1}{2},j+1/2} \Delta_i W_\xi, \\ W_\xi &= \frac{1}{2} (W_{i+1} + W_i)_\xi + \theta_{i+1/2,j+1/2} \Delta_i g.\end{aligned} \quad (10)$$

Для системы (9) соотношения берутся в виде

$$\begin{aligned}g &= \frac{g_{i+1/2,j} + g_{i+1/2,j+1}}{2} + \delta_{i+1/2,j+1/2} \Delta_j W_\eta, \\ W_\eta &= \frac{1}{2} (W_{j+1} + W_j)_\eta + \theta_{i+1/2,j+1/2} \Delta_j g.\end{aligned} \quad (11)$$

После подстановки (10) в (8), а (11) в (9) получаются системы линейных двухточечных уравнений вида

$$\begin{cases} g_k + g_{k+1} + c_{k+1/2}^1 \cdot W_k + d_{k+1/2}^1 \cdot W_{k+1} = f_{k+1/2}^1, \\ a_{k+1/2}^2 \cdot g_k + b_{k+1/2}^2 \cdot g_{k+1} + W_k + W_{k+1} = f_{k+1/2}^2, \end{cases} \quad (12)$$

которые решаются одним из вариантов потоковой прогонки [3].

Параметры разностной схемы δ и могут быть выбраны исходя из различных предположений. После сходимости итераций стабилизирующей поправки получаем функцию вязкого давления $g^{(s)}$, используемую далее при решении системы (5).

Определение плотности компонент смеси. Необходимо также найти плотности компонент смеси и новую среднюю температуру удовлетворяющие системе уравнений (3). Система нелинейная, для её решения вводится итерационный процесс по методу Ньютона. В результате линеаризации взамен исходной системы (3) получаем

$$\begin{aligned} \rho_k^{\mu+1} &= \rho_k^\mu + \left[\sum_{j=1}^K (P_j - P_k) \frac{c_j}{\rho_j^2} \left(\frac{\partial P_j}{\partial \rho_j} \right)^{-1} + \sum_{j=1}^K \frac{c_j}{\rho_j} - \frac{1}{\bar{\rho}} \right] \cdot \left[\frac{\partial P_k}{\partial \rho_k} \sum_{j=1}^K \frac{c_j}{\rho_j^2} \left(\frac{\partial P_j}{\partial \rho_j} \right)^{-1} \right]^{-1}, \\ T^{v+1} &= T^v + \frac{\bar{\varepsilon} - \sum c_k \varepsilon_k(\rho_k^{v+1}, T^v)}{\frac{\partial}{\partial T} \left(\sum c_k \varepsilon_k(\rho_k^{v+1}, T^v) \right)}. \end{aligned} \quad (13)$$

Здесь $P_j(\rho^\mu, T^v)$, $\frac{\partial P_j(\rho^\mu, T^v)}{\partial \rho_j}$, а $\rho_j^{v+1} = \rho_j^{\mu+1}$ при выполнении условия сходимости μ -итераций $|\rho_j^{\mu+1} - \rho_j^\mu| < \varepsilon \rho_j^\mu$.

Модельная задача о развитии гравитационной неустойчивости. В момент времени $t = 0$ два вещества покоятся в поле силы тяжести $g_z = -1$ между двумя плоскостями, перпендикулярными оси x . Плоскости проходят через точки $z_n = 0$ и $z_n = 16.6667$. Вещества разделены плоской контактной границей, проходящей через точку $z_c = 10$ и перпендикулярной оси z . Для первого вещества ($0 < z < 10$) используется уравнение состояния идеального газа ($C_v = 1$, $\gamma = 5/3$). Для второго вещества используется некоторое широкодиапазонное табличное уравнение состояния. Начальные распределения плотности и давления:

$$\rho(z) = \begin{cases} 1, & 0 < z < 10, \\ 3, & 10 < z < 16.6667, \end{cases} \quad P(x) = \begin{cases} 2000 - x, & 0 < x < 10, \\ 2020 - 3 \cdot x, & 10 < x < 16.6667. \end{cases}$$

Профиль давления соответствует условию гидростатического равновесия веществ в поле силы тяжести с $g_z = -1$. В соответствии с действующим ускорением силы тяжести $g_z = -1$ внешним границам системы навязаны скорости $u_n = u_n = t$.

Вдоль направления оси z взято 50 счётных ячеек в первой области и 100 ячеек во второй. Счет велся с постоянным шагом по времени $\tau = 10^{-3}$.

Постановка задачи обуславливает развитие неустойчивости Релея-Тейлора на контактной границе газов. Расчеты проводились с использованием диффузионной модели перемешивания с заданными параметрами $B = 0.1$, $C_{MS} = 0.25$, $\delta = 0$. Счёт велся до $t = 6$.

На рисунках 1 - 3 приведено сравнение результатов, полученных в программном пакете SINARA по двум разным моделям. Представлены пространственные распределения концентраций, давления и плотности на конечный момент времени $t = 6$.

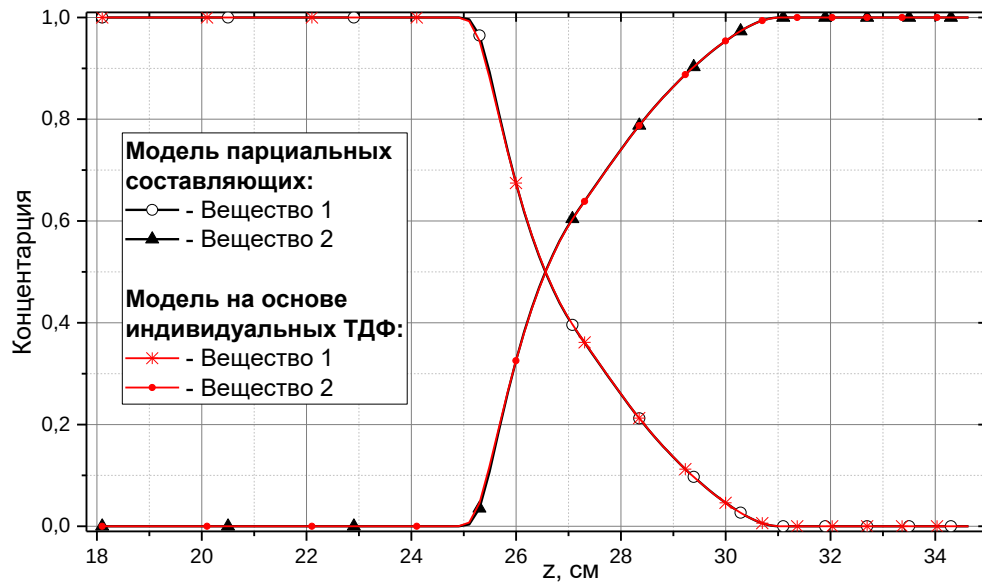


Рис. 1. Профиль концентраций двух веществ в ячейках на момент $t = 6$

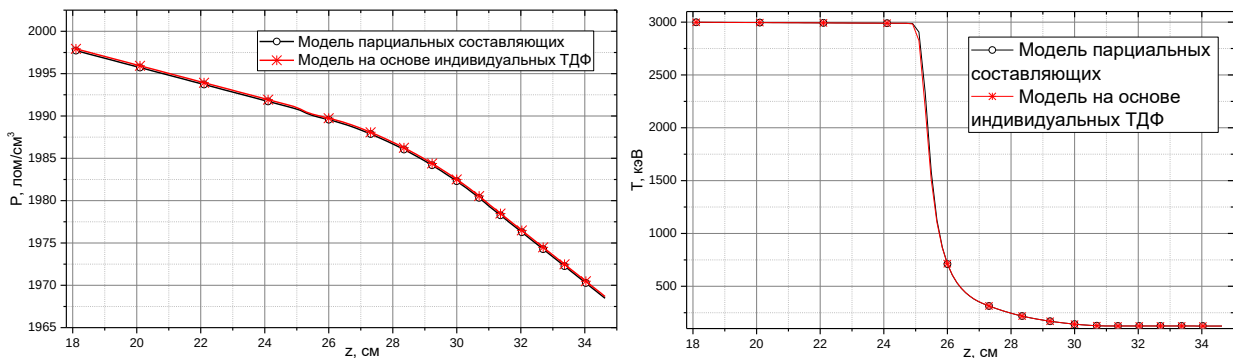


Рис. 2. Профили давления (слева) и средней температуры (справа) на момент $t = 6$

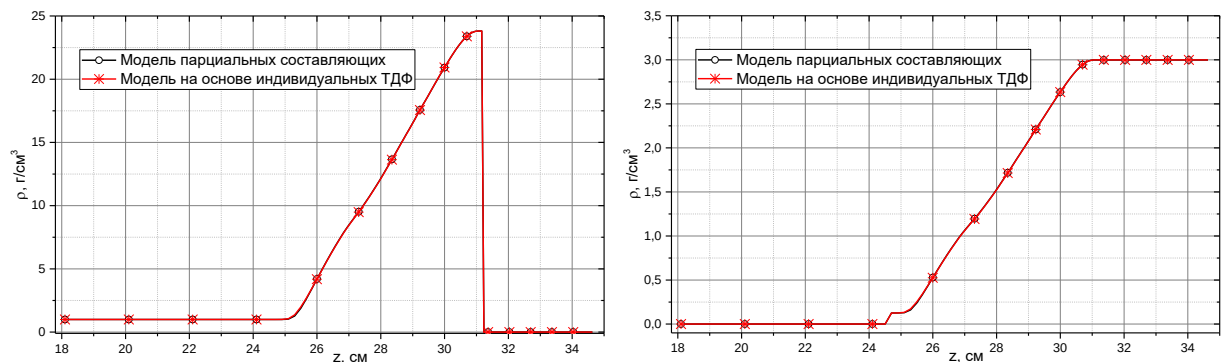


Рис. 3. Профили плотности компонент смеси на момент $t = 6$:
для первого вещества – слева, для второго – справа

На приведенных рисунках видно, что результаты по обеим моделям хорошо согласуются. Реализованная в программном пакете SINARA новая модель расчета многокомпонентных течений на основе индивидуальных термодинамических характеристик совместно с диффузионной моделью промешивания дает практически те же результаты, что и модель парциальных составляющих. Максимальное различие между профилем температуры полученным по новой модели и модели парциальных составляющих составляет около 5%.

Профили остальных величин, таких как давление и средняя плотность, отличаются незначительно, максимальное отличие не превышает 0.5%.

Заключение. В двумерном пакете программ SINARA для описания смесей в областях, в которых решаются уравнения модели турбулентности, была реализована новая неявная схема на основе модели термомеханического равновесия. Получено новое уравнение для определения вязкого давления с учетом плотностей компонент смеси. На примере модельной задачи о развитии гравитационной неустойчивости показано хорошее согласие численных результатов между новой моделью расчета многокомпонентных течений на основе индивидуальных термодинамических характеристик и моделью парциальных составляющих.

Использованные источники:

1. Richtmyer R.D. Taylor instability in shock acceleration of compressible fluids. Communications of Pure and Applied Mathematics. Vol.13. 1960.
2. Taylor G.I. Instability of liquid surfaces when accelerated in direction perpendicular to their planes. Proceedings of Royal Society of London. Ser.A, 201. 1950.
3. Гаджиев А.Д. , Писарев В.Н. Неявный конечно-разностный метод «Ромб» для численного решения уравнений газовой динамики с теплопроводностью. Журнал вычислительной математики и математической физики, 1979, т.19, № 5, С. 1288-1303.
4. Ландау Л.Д. , Лифшиц Е.М. Гидродинамика (теоретическая физика, том VI). Москва. ФИЗМАТЛИТ, 2001.
5. Марчук Г.И. Методы расщепления. Москва, Наука, 1988, С.80-81.
6. Мешков Е.Е. “Неустойчивость границы двух газов, ускоряемых ударной волной”. Механика жидкостей и газов. №5. 1969.
7. Писарев В.Н. Параметрическое семейство схем «Ромб» для двумерного уравнения теплопроводности. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики, 1992, вып. 3, С. 42-48.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЕРЕНОСА ФОТОНОВ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО В СФЕРИЧЕСКОЙ И ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ СИСТЕМАХ

Петрова ^{1,2} Ю.А., Пономарёв ^{1, 2} А.П.

¹ ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

² ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

ponomarevap@vniitf.ru

В работе представлено моделирование методом Монте-Карло изотропных сферического и цилиндрического источников фотонного излучения. Исследован процесс поглощения энергии фотонов при прохождении слоев вещества от источника, получено спектральное распределение результатов выхода излучения. Рассмотрена возможность применения неаналогового моделирования для подобного рода задач.

Ключевые слова: метод Монте-Карло, фотонное излучение, изотропный источник излучения, спектральная плотность энергии излучения.

SOLUTION OF THE PHOTON TRANSPORT PROBLEM BY THE MONTE CARLO METHOD IN SPHERICAL AND CYLINDRICAL SYSTEMS

Petrova ^{1,2} Yu.A., Ponomarev ^{1, 2} A.P.

¹ Federal State Unitary Enterprise «Russian Federal Nuclear Center – Zababakhin All-Russia
Research Institute of Technical Physics», Snezhinsk, Russia

² Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
Physical-Technology Institute (SPhTI) – National Research Nuclear University MEPhI», Snezhinsk,
Russia

ponomarevap@vniitf.ru

The paper presents Monte Carlo modelling of isotropic spherical and cylindrical photon radiation sources. The process of photon energy absorption during the passage of layers of matter from the source is investigated, and the spectral distribution of the radiation output results is obtained. The possibility of application of non-analogue modelling for this kind of problems is considered.

Keywords: Monte Carlo method, photon study, isotropic radiation source, spectral energy density of radiation.

Для моделирования источников и распространения излучения был написан программный код, который позволяет решать задачу для различной геометрии источника излучения (цилиндр или сфера), варьировать размеры системы, коэффициенты поглощения излучения, число моделируемых фотонов.

Задача №1 - Сферический источник излучения

Задан объёмный равномерный по объёму изотропный сферический источник фотонов (радиусом $R = 1$ см), имеющий температуру $T_0 = 1$ кэВ. Спектральное макроскопическое сечение поглощения $\Sigma_{v,a}$ рассчитывается по формуле из [1]

$$\Sigma_{v,a} = \frac{\kappa}{v^3} (1 - e^{-v/T_0}), \quad (1)$$

где κ – численный коэффициент при макроскопическом сечении поглощения, v [кэВ] – частота фотона [1].

В работе реализовано и протестировано моделирование данного источника фотонов методом Монте-Карло.

Частота фотонов v разыгрывается методом Монте-Карло [1]

$$\nu = -T_0 |\ln(r)|, \quad (2)$$

согласно функции распределения

$$f(\nu) = \frac{1}{T_0} e^{-\nu/T_0}, \quad (3)$$

где r – случайное число, равномерно распределенное от 0 до 1.

Энергия излучения источника определяется известным соотношением:

$$E_0 = \int_0^\infty \Sigma_{\nu,a} B_\nu d\nu = \kappa \frac{15c\sigma}{\pi^4} T_0, \quad (4)$$

где $B_\nu = \frac{15c\sigma}{\pi^4} \frac{\nu^3}{e^{\frac{\nu}{T_0}} - 1}$ – функция Планка, $\sigma = 1.37$ – постоянная Стефана-Больцмана, $c = 3000$ – скорость света (в выбранной нами системе единиц).

Энергетический вес E фотона определяется, как:

$$E = \frac{E_0}{N}. \quad (5)$$

Энергия фотона E_{out} после прохождения расстояния l до границы системы уменьшается в соответствии с экспоненциальным законом [2]:

$$E_{out} = E \cdot e^{-\Sigma_\nu l}. \quad (6)$$

Суммарный выход излучения I_{out} определяется как сумма энергий фотонов после прохождения вещества системы, т.е.

$$I_{out} = \sum_{k=1}^N E_{out}, \quad (7)$$

где k – номер фотона, N – число промоделированных фотонов.

Результаты расчета выхода излучения I_{out} при различных значениях коэффициента κ представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Зависимость энергии вылетевших из системы фотонов от численного коэффициента κ при макроскопическом сечении поглощения

κ	E_0	I_{out}	$I_{out}/E_0, \%$
0.1	63.3	45.5	71.9
27	17088.2	1690.6	9.9
100	63289.8	2423.6	3.8
500	316449.0	2937.2	0.9

По проведённым расчётам на рисунке 1 построены графики спектральной плотности излучения в зависимости от κ в сравнении со спектром излучения абсолютно чёрного тела.

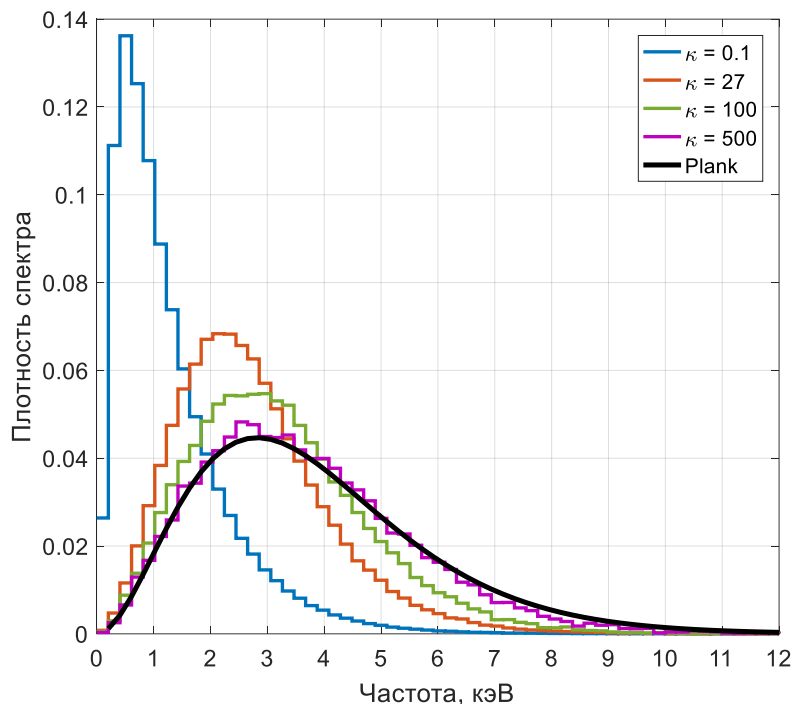


Рисунок 1 - Сравнение плотностей энергии излучения

Из результатов расчётов, представленных в таблице 1 и на рисунке 1, можно сделать вывод о том, что с увеличением коэффициента поглощения увеличивается макроскопическое сечение реакции поглощения излучения - источник начинает имитировать выход излучения из полубесконечной среды. Таким образом, система с заданными параметрами при $\kappa = 500$ излучает подобно абсолютно чёрному телу.

Задача №2 - Цилиндрический источник излучения

Для верификации программного кода, моделирующего распространение фотонного излучения, была решена аналогичная задача для цилиндрического источника излучения, результаты которой опубликованы в [3].

В задаче требуется определить выход спектрального излучения из одномерной цилиндрической системы радиусом $R = 5$ см, заполненной дейтерием ($A = 2$, $Z = 1$) плотностью $\rho = 2$ г/см³. Система имеет температуру $T_0 = 30$ кэВ.

Численный коэффициент при макроскопическом сечении поглощения κ , учитываемый в формуле (1) макроскопического сечения поглощения $\Sigma_{v,a}$ в работе [4], определяется следующим образом:

$$\kappa = 2.77 \cdot \frac{\rho^2 Z^2}{A^2 \cdot \sqrt{T_0}} = 0.5057. \quad (8)$$

В работе произведен расчет плотности энергетического распределения выхода излучения для интервалов частот от 0 до 170 кэВ в соответствии с [3]. Для оценки погрешности решения данной задачи было проведено 10 статистически независимых запусков программы со статистикой $N = 10^3$ фотонов. Для сравнения с [3] на рисунке 2 построены доверительные интервалы $m \pm 3\sigma$ (где m - математическое ожидание, σ -среднеквадратичное отклонение).

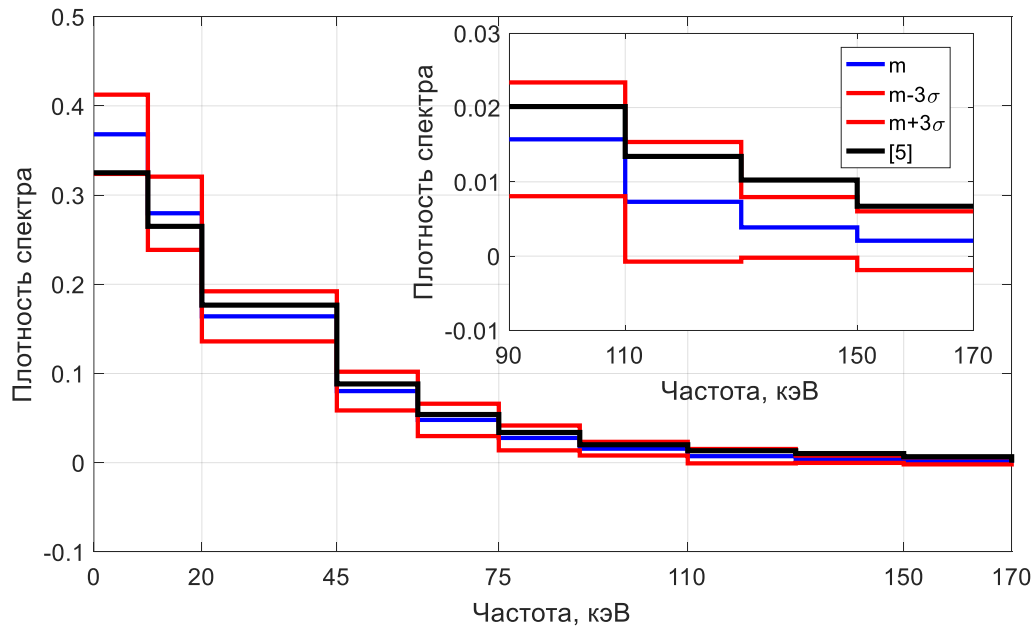


Рисунок 2 - Плотность энергетического распределения

Из графика видно, что на всем диапазоне частот решение достаточно хорошо согласуется с результатами, представленными в [3].

Возможность неаналогового моделирования выхода излучения

Предыдущие две задачи – это примеры с идеализированными параметрами источника излучения и геометрии системы. В общем случае источник может быть анизотропным по направлению и иметь произвольную геометрию. При этом сбор результатов может быть задан с малого участка внешней поверхности. В этом случае получение характеристик излучения с заданной точностью в расчётах Монте-Карло становится более трудоемким. Чтобы решить эту проблему используются методы неаналогового моделирования, которые позволяют уменьшить дисперсию полученных результатов [5].

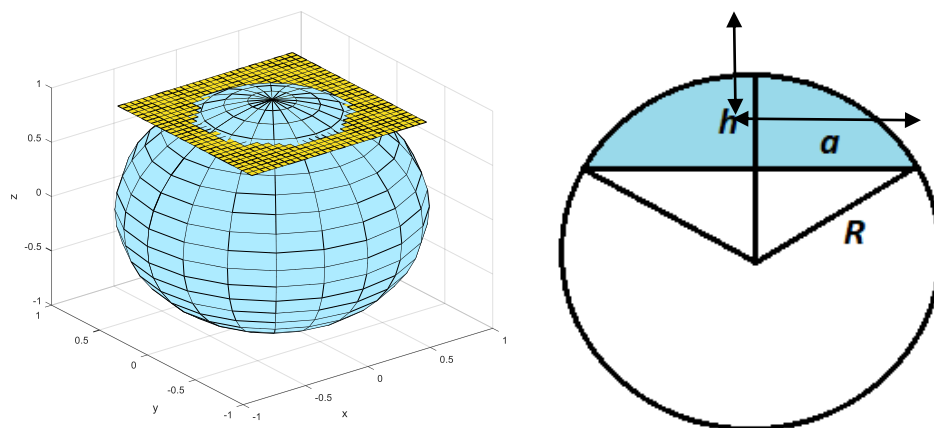


Рисунок 3 – Шаровой сегмент

В работе рассмотрен частный случай неаналогового моделирования. Для этого промоделирован выход излучения в шаровой сегмент сферы (см. рисунок 3) при $\kappa = 27$ [1]. Тогда, ввиду изотропности источника и сферической симметрии системы [5,6], можно оценить выход в шаровой сегмент ($I_{\text{шс},1}$) как:

$$I_{\text{шс},1} = w_1 \cdot I_0, \quad (9)$$

где $w_1 = S_{\text{шс}}/S_{\text{сф}} = 2\pi Rh/4\pi R^2 = h/2R$ - отношение площади поверхности шарового сегмента к площади поверхности сферы [7], представляющее собой геометрический смысл вероятности (h – высота шарового сегмента), I_0 - результат выхода излучения через полную поверхность сферы.

Результаты моделирования и оценки приведены в таблице 2 в сравнении с результатами моделирования выхода излучения через шаровой сегмент I_1 .

Такую же оценку можно провести, например, для шарового пояса (см. рисунок 4).

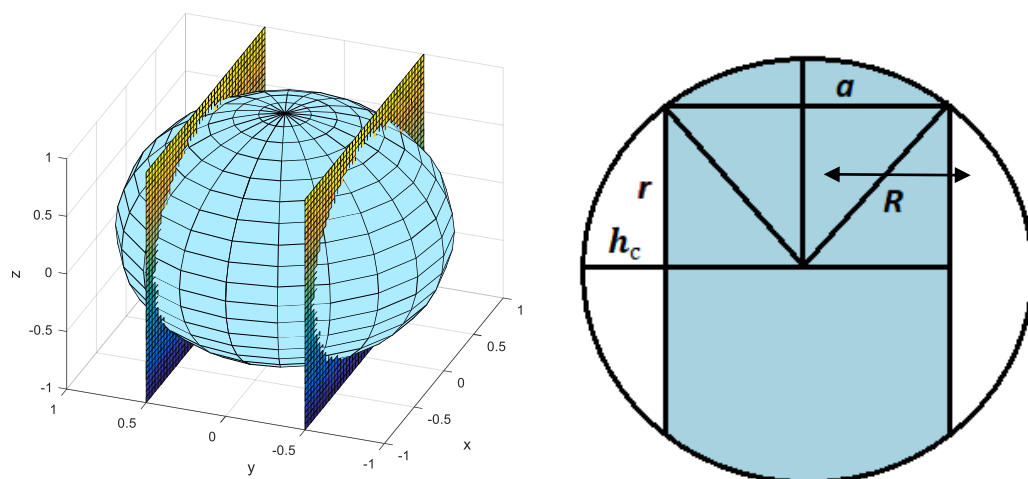


Рисунок 4 – Шаровой пояс

В этом случае $I_{\text{шп}} = w_2 \cdot I_0 = I_0$, где $I_{\text{шп}}$ – выход излучения в шаровой пояс, $w_2 = S_{\text{п}}/S_{\text{сф}} = 4\pi R\sqrt{R^2 - a^2}/4\pi R^2$ - отношение площади пояса к площади сферы [7], где a – радиус шарового пояса. Результаты моделирования выхода излучения через шаровой пояс I_1 приведены в таблице 2.

Закономерным будет утверждение, что такое же геометрическое соотношение существует для результатов выхода из шарового пояса и из шарового сегмента, т. е. $I_{\text{шс},2} = w_3 \cdot I_1 = (S_{\text{шс}}/S_{\text{п}}) \cdot I_1$, где $w_3 = S_{\text{шс}}/S_{\text{п}} = 2\pi Rh/4\pi R\sqrt{R^2 - a^2}$. Результаты расчетов так же указаны в таблице 2.

В таблице 2 в скобках для каждого расчета прямого моделирования приведена относительная статистическая погрешность.

Таблица 2 – Сравнение результатов моделирования

Сфера I_0	a/R	Шаровой пояс		Шаровой сегмент		
		I_1	$I_{\text{шп}}$	$I_2 \cdot 10^{-2}$	$I_{\text{шс},1} \cdot 10^{-2}$	$I_{\text{шс},2} \cdot 10^{-2}$
0.9587 (0.016%)	0.05	0.0479 (0.404%)	0.0479	0.0601 (2.468%)	0.0600	0.0599
	0.1	0.0959 (0.310%)	0.0959	0.2398 (1.233%)	0.2397	0.2398
	0.2	0.1917 (0.240%)	0.1917	0.9695 (0.766%)	0.9684	0.9683

Таким образом, результаты для системы с изотропным и равномерно распределенным по объему источником хорошо согласуются с результатами аналогового моделирования и обеспечивают повышенную точность.

Рассмотренный частный случай неаналогового моделирования шарового пояса может быть применен для моделирования выхода излучения из осесимметричного анизотропного источника.

Использованные источники:

- 1 An Implicit Monte Carlo Scheme for Calculating Time and Frequency Dependent Nonlinear Radiation Transport. J.A.Fleck, Jr. and J.D.Cummings. Lawrence Radiation Laboratory, University of California, Livermore. Journal of Computational Physics 8, 313-342 (1971).
- 2 Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер. - 3-е изд., исправ. 3-е изд., испр. - М. : Физматлит, 2008. - 656 с. - (Фундаментальная и прикладная физика).
- 3 А.В. Адеев, А.И. Орлов, А.И. Моренко. Применение метода «Мажорирующего сечения» для моделирования прохождения фотонов с учётом движения электронов среды. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, вып. 3, 1985 г.
- 4 Robinson P.A., Sauter G.D. Inverse compton scattering as an energy loss mechanism in a controlled thermonuclear reactor. – Nucl. Sci. and Engng., 1972, v. 49, p. 117-129.
- 5 Панин М.П. Моделирование переноса излучения: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2008. – 212 с.
- 6 Соболев И.М. Численные методы Монте-Карло // М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы. 1973.
- 7 Polyanin A.D., Manzhirov A.V., Handbook of mathematics for engineers and Scientists. Taylor & Francis Group, 2007.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СВОЙСТВ ТЕЧЕНИЙ, ОПИСЫВАЕМЫХ РЕШЕНИЕМ ЗАДАЧИ ОБ ИСТЕЧЕНИИ ГАЗА В ВАКУУМ НА КОСОЙ СТЕНКЕ

Понькин Е.И.

ФГУП «Производственное объединение «Маяк», Челябинская обл., Озерск
cpl@po-mayak.ru

Аннотация. В настоящей работе приведены результаты газодинамического анализа свойств течений разрежения/сжатия, описываемых автомодельным решением задачи о разлете газа в вакуум на кривой стенке в общем несогласованном случае. Решение задачи строится в виде рядов функций c , u и v по степеням ϑ , где ϑ – известная функция автомодельных переменных $\xi = x/t$, $\eta = y/t$. Исследованы конфигурации течения разрежения области двойной волны в зависимости от различных значений γ и α , когда $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ и $\text{tg}^2 \alpha < \beta$, где $\beta = \gamma + 1 / 3 - \gamma$. Дано математическое описание градиентной катастрофы в течении сжатия политропного газа в области двойной волны, когда $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ и $\text{tg}^2 \alpha < \beta$. Построена зависимость c_0^* от значений α .

Ключевые слова: характеристическая задача Коши стандартного вида, транспортное уравнение, аналитическое решение, система уравнений газовой динамики, двойная волна, конфигурация течения, градиентная катастрофа.

GAS DYNAMIC ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF FLOWS DESCRIBED BY THE SOLUTION TO THE PROBLEM OF GAS OUTFLOW INTO VACUUM ALONG AN OBLIQUE WALL

Ponkin E.I.

FSUE Mayak Production Association, Ozyorsk, Chelyabinsk Region
cpl@po-mayak.ru

Abstract. This paper presents the results of a gas dynamic analysis of the properties of rarefaction/compression flows described by a self-similar solution to the problem of gas expanding into vacuum along an oblique wall in a general inconsistent case. The solution to the problem is expressed as sets of c , u , and v functions of ϑ degrees, where ϑ is a known function of self-similar variables $\xi = x/t$, $\eta = y/t$. Configurations of the rarefaction flow in the double wave region are investigated for different values of γ and α at $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ and $\text{tg}^2 \alpha < \beta$, where $\beta = \gamma + 1 / 3 - \gamma$. A mathematical description of the gradient catastrophe during compression of a polytropic gas in the double wave region is given at $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ and $\text{tg}^2 \alpha < \beta$. A plot of dependence of c_0^* on α values is created.

Keywords: standard-type characteristic Cauchy problem, transport equation, analytical solution, system of gas dynamics equations, double wave, flow configuration, gradient catastrophe

Рассматривается течение типа двойной волны (ДВ) при истечении политропного газа в вакуум с кривой стенки, которое описывается автомодельным решением соответствующей начально-краевой задачи (НКЗ) при $\gamma = 5 / 3$ [1]:

$$c_1 \xi = 2M \xi^{-1} \sqrt{3 + c_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2} / \sqrt{2 + c_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2},$$

$$2M \xi = -6c_0^3 + 2,25c_0^3 \operatorname{tg}^2 \alpha + 3c_0^3 \operatorname{tg}^{-2} \alpha + \frac{17\sqrt{2}}{8} c_0^3 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2^{3/2} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha - 2} +$$

$$+ 9,5 - \frac{1}{4} c_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2 - 2 + c_0^2 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2^{-1} - \frac{17\sqrt{2}}{8} c_0^3 \operatorname{tg}^2 \alpha - 2^{3/2} \operatorname{arctg} c_0 \sqrt{\frac{1}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha - 2}.$$

(14)

В квазисогласованном случае газодинамические параметры течения задаются функциями

$$c \xi, \vartheta = c_0 \xi + c_1 \xi \vartheta, \quad u \xi, \vartheta = u_0 \xi + u_1 \xi \vartheta, \quad v \xi, \vartheta = v_1 \xi \vartheta. \quad (15)$$

Область течения типа ДВ в общем несогласованном случае ограничена следующими кривыми:

– косая стенка AE , задаваемая уравнением $y = x \operatorname{tg} \alpha$;

– звуковая характеристика AD , отделяющая область течения типа центрированной волны (ЦВ) от области течения типа ДВ, задаваемая уравнением

$$f \xi = \begin{cases} c_0(\xi) \sqrt{\beta + (c_0(\xi))^{1/\kappa-1} \operatorname{tg}^2 \alpha - \beta}, & \operatorname{tg}^2 \alpha > \beta, \\ c_0(\xi) \sqrt{\beta - (c_0(\xi))^{1/\kappa-1} \beta - \operatorname{tg}^2 \alpha}, & \operatorname{tg}^2 \alpha < \beta, \end{cases} \quad \kappa = \frac{\gamma-1}{2};$$

– граница DE области течения ДВ с вакуумом, задаваемая уравнением

$$c = 0, \quad \eta = f(\xi) - c_0(\xi) / c_1(\xi).$$

Конфигурация течения в области ДВ для $\gamma = 5/3$ и различных значений α в координатах $\xi = x/t$, $\eta = y/t$ приведена на рисунках 1, 2.

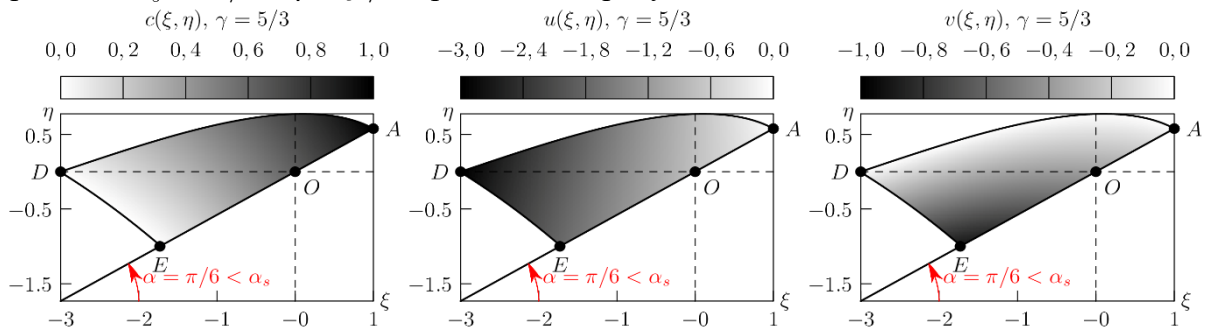


Рис. 2. Графики функций $c \xi, \eta$, $u \xi, \eta$ и $v \xi, \eta$ в области ДВ в квазисогласованном случае при разлете водорода в вакуум на косой стенке, наклоненной к оси Ox под углом $\alpha = \pi/6 < \alpha_s = 54,75^\circ$

При $\alpha > \alpha_s$ звуковая характеристика AD выгнута в направлении косой стенки AE и проходит выше положения границы ЦВ и ДВ в согласованном случае. При $\alpha < \alpha_s$ характеристика AD выпукла в направлении области течения ЦВ и проходит ниже положения границы ЦВ и ДВ в согласованном случае.

В окрестности точки D обе кривые AD стремятся к прямой $\eta = c_0 \sqrt{\beta}$, через которую стыкуются области течения ЦВ и ДВ в согласованном случае. Граница газ-вакуум DE при $\alpha \neq \alpha_s$ в окрестности точки D

$$\eta \approx c_0 \sqrt{\beta} \left(1 - \frac{1}{\varkappa} \right) \quad (16)$$

стремится к прямой перпендикулярной косой стенке AE в согласованном случае.

Интерпретируем решение исходной НКЗ в квазисогласованном приближении на сжатие, когда момент начала движения газа в ДВ отрицательный $t_0 < 0$. Здесь, как в ситуации истечения газа в вакуум, рассматривается два случая, когда $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ и $\text{tg}^2 \alpha < \beta$.

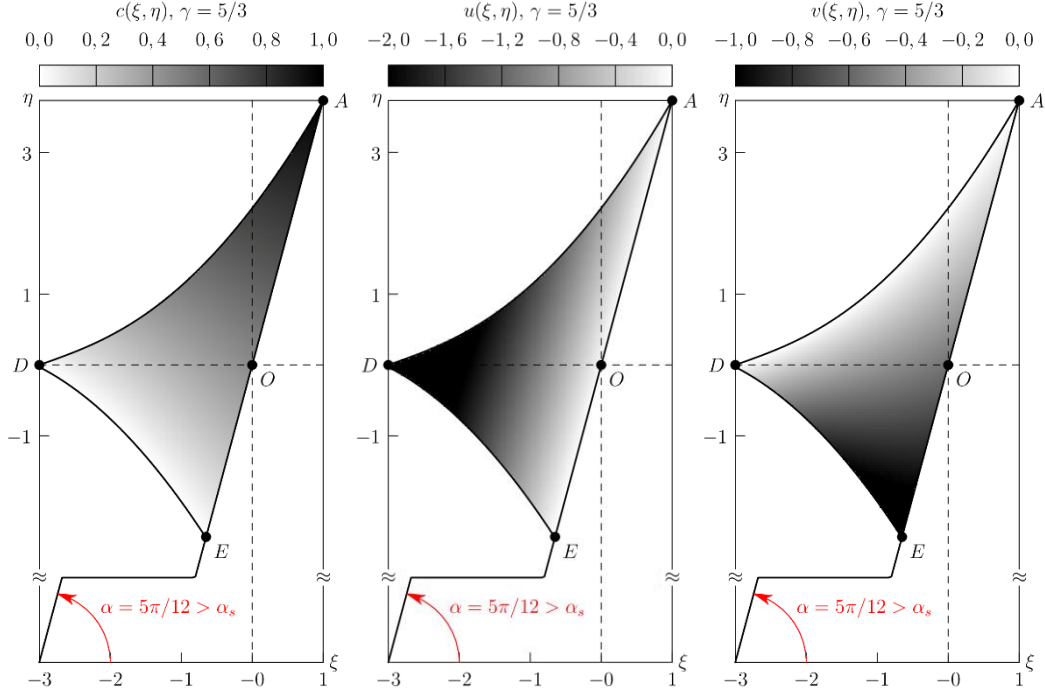


Рис. 3. Графики функций $c(\xi, \eta)$, $u(\xi, \eta)$ и $v(\xi, \eta)$ в области ДВ в квазисогласованном случае при разлете водорода в вакуум на косой стенке, наклоненной к оси Ox под углом $\alpha = 5\pi/12 > \alpha_s = 54,75^\circ$

Найдем область определения f c_0 ξ при $\text{tg}^2 \alpha < \beta$

$$\beta - c_0^{1/\varkappa-1} \beta - \text{tg}^2 \alpha \geq 0, \quad c_0 \leq \left(\frac{\beta}{\beta - \text{tg}^2 \alpha} \right)^{\frac{\varkappa}{1-\varkappa}}. \quad (17)$$

При сжатии газа $c_0 \geq 1$, тогда в точке $c_0^* = \left(\frac{\beta}{\beta - \text{tg}^2 \alpha} \right)^{\frac{\varkappa}{1-\varkappa}}$ значение функции

$f(c_0^*) \equiv 0$. Так как выражение для $c_1(\xi)$ в несогласованном случае имеет вид

$$c_1(\xi) = \frac{2\varkappa}{\varkappa+1} \frac{c_0^2 + f^2}{c_0 f} \frac{1}{M(\xi)}, \quad (18)$$

то при $c_0 \rightarrow c_0^*$ функция $c_1 \rightarrow \infty$. Так как по определению $c_1(\xi) = \frac{\partial c}{\partial \vartheta} \Big|_{\vartheta=0}$, то

$$\lim_{\xi \rightarrow \xi_s} \frac{\partial c}{\partial \vartheta} \Big|_{\vartheta=0} = \infty, \quad (19)$$

то есть наступает градиентная катастрофа.

При $\text{tg}^2 \alpha > \beta$ знаменатель дроби в выражении для $c_1(\xi)$ равен нулю тогда, когда $M(\xi) = 0$.

Для найденных в явном виде выражений $M(\xi)$ при $\gamma = 5/3, 2, 5/2$ построено решение уравнения $M(\xi) = 0$ для диапазона $\pi/6 < \alpha < \pi/2$. На рисунке 3 приведена зависимость c_0^* от α для различных значений γ .

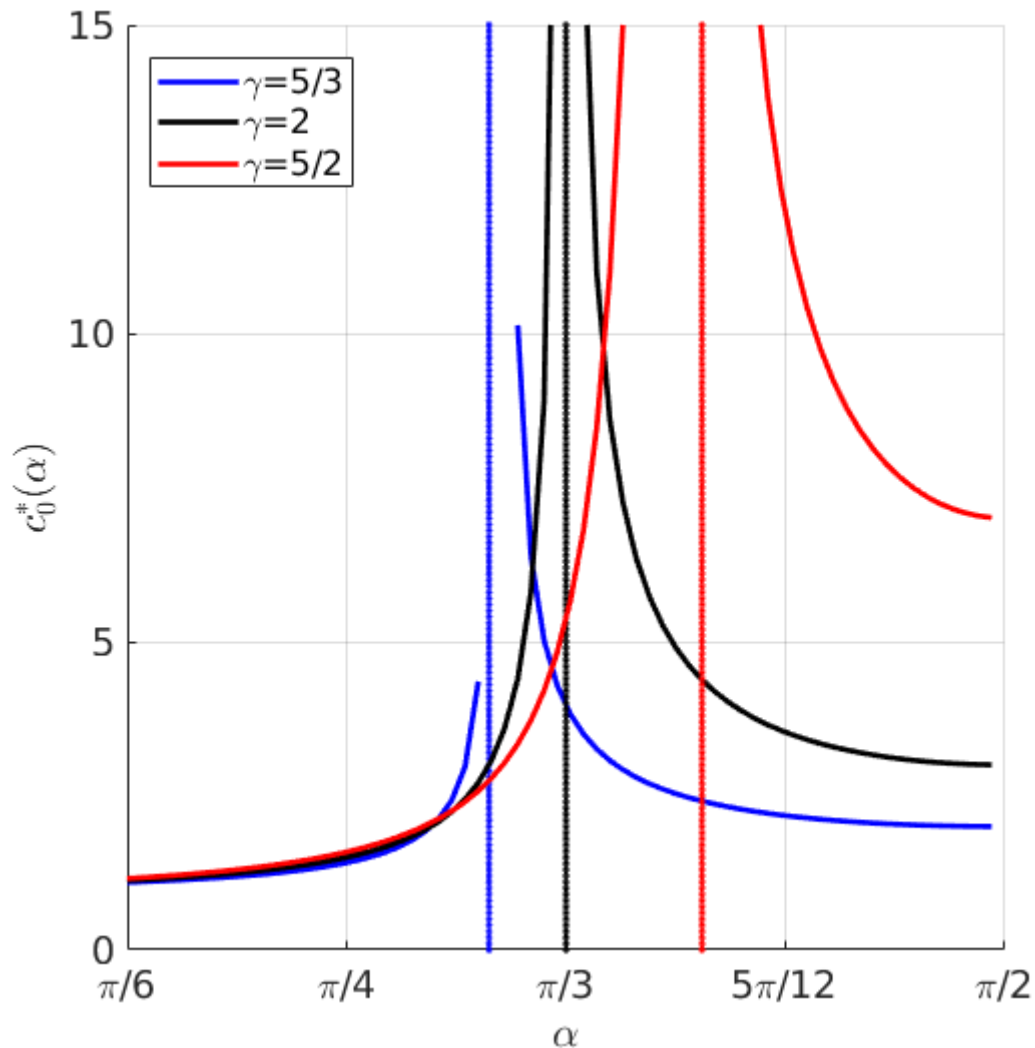


Рис. 4. Значение c_0^* в зависимости от значений γ и α

Каждый из графиков $c_0^*(\alpha)$ для различных значений γ имеет свою вертикальную асимптоту в точке $\alpha_s(\gamma)$, соответствующую точке коллапса газа $t_* = 0, x_* = 0$.

В газодинамическом смысле наличие особенности полученного решения означает, что при безударном сжатии замкнутого объема в точке c_0^* функция $c(\xi, \vartheta)$ испытывает сильный разрыв (возникает ступенька), что приводит к изменению структуры течения в области ДВ и образованию ударной волны.

Использованные источники:

1. Понькин, Е. И. Автомодельное решение системы уравнений газовой динамики, описывающей истечение политропного газа в вакуум с косої стенки в несогласованном случае // Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. Науки. – 2023. – № 2. – С. 27–39.

РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Порывкин А.Е.^{1,2}, Первушина Н.А.²

¹ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального

исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.

²ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

kb2@vniitf.ru

Представлен результат разработки нечёткого регулятора для настройки величины дополнительного усилия на руль высоты в системе стабилизации летательного аппарата в канале тангажа. Нечёткий регулятор разработан в виде функционального модуля. Результаты компьютерного моделирования показали высокое быстродействие и качество отработки сигналов управления при различных режимах работы системы стабилизации с нечётким регулятором.

Ключевые слова: нечёткий регулятор, летательный аппарат, система стабилизации, канал тангажа.

DESIGN OF A FUZZY REGULATOR FOR SETTING THE STABILIZATION SYSTEM OF THE FLYING VEHICLE

A. E. Poryvkin^{1,2}, N. A. Pervushina²

¹FSAEI HE «Snezhinsk Physical and Technical Institute of National Nuclear Research University MIFI », Snezhinsk, Chelyabinsk Region,

² FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I.Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk Region

kb2@vniitf.ru

The resulting design of a fuzzy regulator for setting the value of extra effort on the elevator in stabilization system of flying vehicle in the pitch channel is presented. The fuzzy regulator is shown as a functional unit. Results of the computer simulation demonstrated high performance and quality of commands execution under various operation modes of the fuzzy-regulated stabilization system.

Key words: fuzzy regulator, flying vehicle, stabilization system, pitch channel.

В настоящей работе приведен результат разработки нечёткого регулятора (НР), предназначенного для настройки величины дополнительного усилия на руль высоты $\sigma_{\text{доп}}$ с целью минимизации времени переходного процесса в канале тангажа системы стабилизации (СС) летательного аппарата (ЛА) самолётной схемы с аэродинамическим способом управления.

Рассмотрим стабилизацию нормальной перегрузки n_y в канале тангажа. Структура сигнала управления с дополнительным усилием $\sigma_{\text{доп}}$ имеет вид [4]:

$$\sigma_B = \sigma_{\text{доп}} + K_i \int \Delta n_y dt + K_n \Delta n_y - K \omega_z \omega_z, \quad (1)$$

где K_i , K_n , $K \omega_z$ – коэффициенты, определяемые на этапе синтеза СС без учёта $\sigma_{\text{доп}}$; Δn_y – рассогласование по перегрузке, ω_z – скорость тангажа, в градус/с, σ_B – сигнал управления в канале тангажа (высоты), в градусах.

Результаты компьютерного моделирования работы СС без $\sigma_{\text{доп}}$ и с $\sigma_{\text{доп}}$, а также результат синтеза СС без $\sigma_{\text{доп}}$ при сокращении желаемого времени переходного процесса в линейной СС приведены на рис. 1а). Анализ полученных результатов подтверждает тот факт, что сокращение времени переходного процесса приводит к росту перерегулирования и появлению колебательности, что нежелательно при работе СС (серая линия на рис. 1а).

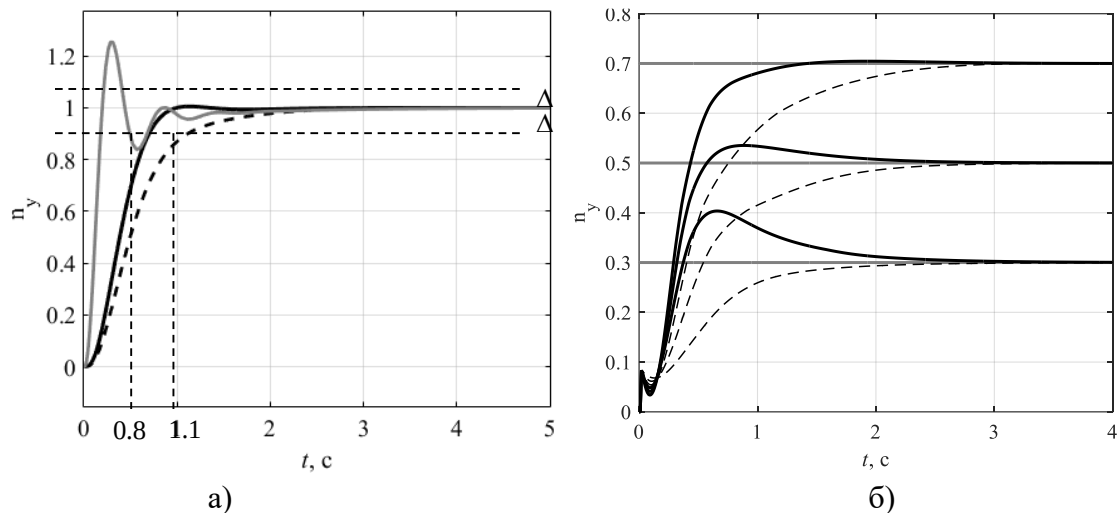


Рис. 1. Графики переходных процессов в СС канала тангажа

На рис. 1б) представлен результат моделирования работы СС в канале тангажа с нелинейным объектом управления. Качество переходного процесса с $\sigma_{\text{доп}} = \text{const}$ ухудшается при уменьшении заданного значения перегрузки $n_{y \text{ зад}}$ на входе СС (полуужирная линия на рис. 1б). Очевидно, что величина $\sigma_{\text{доп}}$ должна зависеть от $n_{y \text{ зад}}$:

$$\sigma_{\text{доп}} = K \cdot n_{y \text{ зад}}, \quad (2)$$

где K – коэффициент пропорциональности, градус.

В ходе моделирования установлено, что $K < 0$.

Логiku настройки коэффициента K в зависимости от $n_{y \text{ зад}}$ можно описать лингвистическими правилами:

- 1) «Если $n_{y \text{ зад}}$ «большая», то K нужно увеличивать».
- 2) «Если $n_{y \text{ зад}}$ «малое», то K нужно уменьшать».

Формирование значения K может потребовать учёта скорости тангажа ω_z . Логiku настройки K в зависимости от ω_z можно описать лингвистическими правилами:

- 1) «Если ω_z «большая», то K нужно уменьшать».
- 2) «Если ω_z «малое», то K нужно увеличивать».

Исходя из выше сказанного, для настройки коэффициента $K(n_{y \text{ зад}}, \omega_z)$ можно разработать НР [3], при этом структура сигнала управления (1) не меняется. Совокупность нечеткого и классического регулятора представляет собой гибридный регулятор [2].

В разработанном НР входные переменные: $n_{y \text{ зад}}$ и ω_z , выходная переменная: K . Графики термов входных переменных НР схематично представлены на рис. 2а), а выходной переменной рис. 2б):

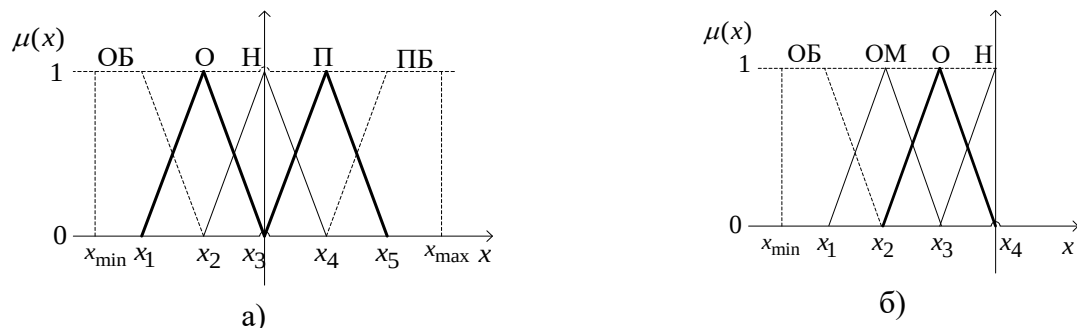


Рис. 2. Терм-множества: а) входных переменных, б) выходных переменных

На рис. 2 обозначения x_i соответствуют границам термов соответствующих параметров. Обозначения термов: ОБ – «отрицательный большой», О – «отрицательный», ОМ – «отрицательный маленький», Н – «нулевой», П – «положительный», ПБ – «положительный большой». Границы термов входных переменных рис. 2 необходимо задавать в соответствии

с режимом функционирования СС (допустимые значения $n_{y \text{ зад}}$ и ω_z), а $x_{\min}$ выходной переменной определить так:

$$K_{\min} \geq \sigma_{\text{доп}} / n_{y \text{ зад}}. \quad (2)$$

Составим базу правил на основе описаний рис. 2. База правил НР представлена в табл.

1.

Табл. 1. База правил НР

$\omega_z \backslash n_{y \text{ зад}}$	ОБ	О	Н	П	ПБ
ОБ	Н ¹	О ²	ОБ ³	Н ⁴	Н ⁵
О	ОМ ⁶	О ⁷	ОБ ⁸	Н ⁹	Н ¹⁰
Н	О ¹¹	ОБ ¹²	ОБ ¹³	ОБ ¹⁴	О ¹⁵
П	Н ¹⁶	Н ¹⁷	ОБ ¹⁸	О ¹⁹	ОМ ²⁰
ПБ	Н ²¹	Н ²²	ОБ ²³	О ²⁴	Н ²⁵

НР разработан в виде функционального блока. Работоспособность СС с НР подтверждена в ходе компьютерного моделирования с линейным и нелинейным объектом управления.

Результаты моделирования приведены на рис. 3.

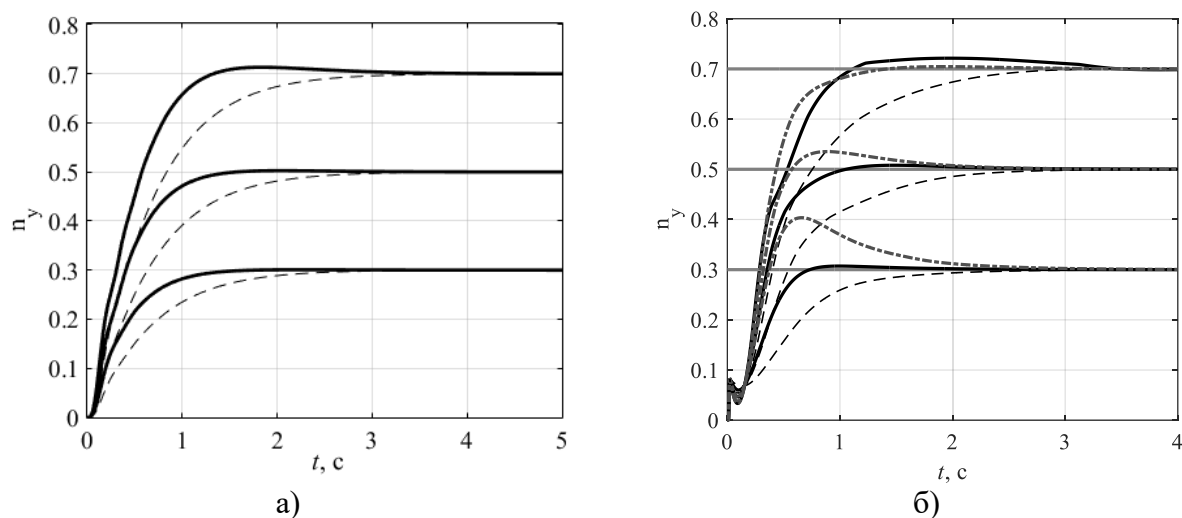


Рис. 3. Результаты работы СС в канале тангажа с НР для настройки $\sigma_{\text{доп}}$: а) с линейным объектом управления, б) с нелинейным объектом управления.

На рис. 3 сплошная линия – результат с НР, пунктирная линия – результат без $\sigma_{\text{доп}}$, штрих-пунктирная линия – результат с $\sigma_{\text{доп}} = \text{const}$ без НР.

Приведенные результаты позволяют сделать вывод о том, что СС с НР для настройки величины дополнительного усилия на руль высоты $\sigma_{\text{доп}}$ позволяет повысить быстродействие хорошо демпфированной системы (с показателем колебательности близким к единице [1]) во всех исследованных режимах.

Использованные источники:

1. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2007. – 752 с.
2. Методы робастного, нейро-нечёткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.,ил.
3. Пегат, А. Нечёткое моделирование и управление: Пер. с англ. А.Г. Подвесовского, Ю.В. Тюменцева. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 798 с.
4. Стромилов, В.М. Автоматическое управление угловыми движениями ЛА: учебное пособие / В.М. Стромилов, В.Н. Харитонов. – М.: МАИ, 1980. – 324 с.

ГЕНЕРАЦИЯ МИКРОВОЛНОВОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КОАКСИАЛЬНОМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ ВОЛНОВОДЕ В СРЕДЕ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНОВЫХ НАНОТРУБОК

Шакиров И.Е., Садыков Н.Р.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

Vanyl_345.04@mail.ru

Исследуется механизм генерации излучения, источником которого являются модулированные переменные поверхностные токи в удлиненных нанотрубках, образующих 3D-структуру. Поверхностные токи генерируются с помощью мощных коротких электрических импульсов ($z - vt$) в коаксиальном волноводе. Вытянутыми наночастицами являются углеродные нанотрубки и графеновые наноленты; Функция эффективной диэлектрической проницаемости определяется исходя из модели Максвелла- Гарнетта с поправкой приближения Клаузиуса – Моссотти.

Ключевые слова: Эффект Вавилова-Черенкова, массив нанотрубок, приближение эффективной среды, диполь, модель Максвелла- Гарнетта, приближение Клаузиуса – Моссотти.

GENERATION OF MICROWAVE AND TERRAHERZ RADIATION IN A COAXIAL CYLINDRICAL WAVEGUIDE IN A MEDIUM BASED ON GRAPHENE NANOTUBES

Shakirov I.E., Sadykov N.R.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk
Physical-Technology Institute (SPhTI) –National Research Nuclear University MEPhI», Snezhinsk,
Russia*

Vanyl_345.04@mail.ru

We investigate the mechanism of radiation generation, whose source is modulated variable surface currents in elongated nanotubes forming a 3D structure. The surface currents are generated using powerful short electric pulses ($z - vt$) in a cylindrical waveguide. The elongated nanoparticles are carbon nanotubes and graphene nanoribbons; The effective permittivity is determined based on the Maxwell-Garnett model in the Clausius-Mossotti approximation.

Key words: cherenkov radiation, the array of nanotube, the effective medium approximation, the dipole, Maxwell-Garnett model, the Clausius-Mossotti approximation.

Актуальная задача - генерация микроволнового и терагерцового черенковского свержизлучения (ЧСИ) в коаксиальных (цилиндрических) волноводах (КВ) с помощью коротких электрических импульсов [1,2]. Генерация ЧСИ происходит в среде на основе массива углеродных нанотрубок (УНТ), которые выровнены параллельно радиус-вектору в цилиндрической системе координат. Электрические импульсы распространяются вдоль поверхностей цилиндров радиуса R_1 и R_3 КВ, среда состоящая из УНТ, расположенных между радиусами R_1 и R_2 , причем $R_1 < R_2 < R_3$, $R_3 \gg R_2$. Фазовая скорость распространения коротких импульсов v_{im} превосходит скорость распространения электромагнитной волны ЧСИ в среде из УНТ. Токи $I(z - v_{im}t)$ распространяются вдоль цилиндрических поверхностей и имеют разное направление на внутренней и внешней трубе, причем их амплитуды равны (реализуется случай бегущей T -волны). Массив УНТ определяет эффективную

электрическую функцию ε_{eff} (см. Рис. 1), которая представляет собой модель Максвелла-Гарнетта с поправкой Клаузиуса-Моссотти (геометрическая модель массивов) [4, 5]

$$\varepsilon_{\text{eff}}^{\chi, \text{MG}} = 1 + f \tilde{\alpha}_{\chi}(\omega) / [1 - f B_{\chi} \tilde{\alpha}_{\chi}(\omega)], \quad (1)$$

где $\tilde{\alpha}_{\chi}, f, B_{\chi}$ – поляризуемость УНТ, объемная доля и геометрический фактор, соответственно. S-поляризуемость $\tilde{\alpha}_{\chi=s}$ УНТ взята из работы [3], ω – частота излучения.

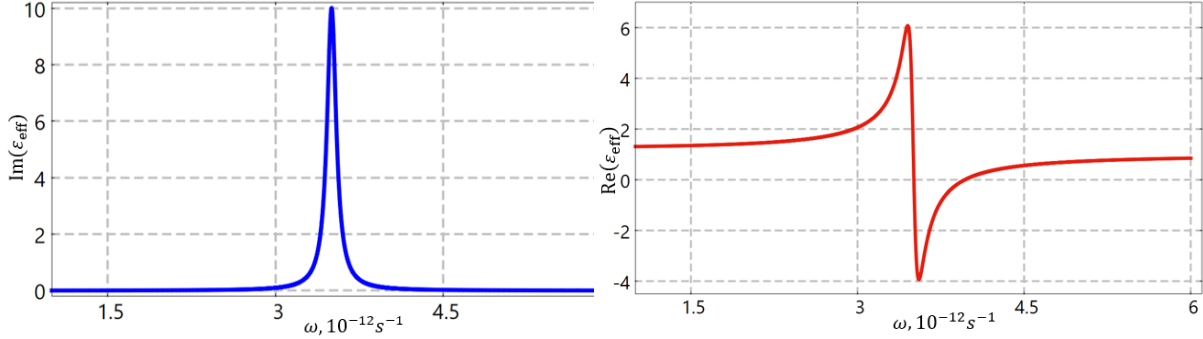


Рис. 1. Графики мнимой и действительной части эффективной диэлектрической функции

Генерация излучения ЧСИ описывается волновым уравнением для 4-потенциала A^i

$$\Delta A_{\rho} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 A_{\rho}}{\partial t^2} = -e_r \frac{4\pi}{c} j_{\rho}, \quad \text{div} \mathbf{A} + \frac{\varepsilon_{\text{eff}}}{c} \frac{\partial}{\partial t} \Phi = 0, \quad (2)$$

Где $v = c/\sqrt{\varepsilon_{\text{eff}}}$, c – скорость света в вакууме, j_{ρ} – поверхностную плотность тока в УНТ.

Рассмотрим трехмерную структуру, как стык большого числа α –выровненных пленок из УНТ, которые параллельны радиусу КВ, т. е. рассмотрим слабо не выровненные УНП. Но при этом будем считать, что центры масс УНТ в УНП имеют координаты $(m_{\rho}\Delta\rho, m_{\phi}\Delta\phi)$, где m_{ρ}, m_{ϕ} – целые числа. Амплитуду плотности тока $j_{0,\rho}$ для 3D структуры можно представить [6]

$$j_{0,\rho}(t, \mathbf{r}) = \sum_{m_{\rho}, m_{\phi}, m_z} F(\rho_{m_{\rho}}, m_z \Delta z) \frac{\partial d_0}{\partial t} \delta(z - ct - m_z \Delta z) \cdot \delta^{(2)}(\mathbf{\rho} - \mathbf{\rho}_{m_{\rho}, m_{\phi}}) \cos[\phi - \phi_{m_{\phi}}] \quad (3)$$

d_0 – максимальное значение дипольного момента отдельной трубки; $d_0 F(\rho_{m_{\rho}}, m_z \Delta z)$ – форм-фактор, определяющий величину распределение дипольного момента d в зависимости от индекса m_{ρ} и m_z . Исходя из (2) с учетом (3) получим Фурье-образ для $A_{\rho}(t, \mathbf{r})$

$$\tilde{A}_{\rho}(\omega, \mathbf{k}) = \frac{i\omega d_0 \delta(\omega - k_z c)}{2\pi^2 c (k^2 - \frac{\omega^2}{v^2})} \frac{2\pi}{\Delta z} \frac{2\pi}{\Delta \phi} \frac{1}{\Delta \rho} \int_{R_1}^{R_2} \bar{F}(\rho_{m_{\rho}}, k_z) J_0(k_{\rho} \rho_{m_{\rho}}) d\rho_{m_{\rho}}, \quad (4)$$

где $J_0(k_{\rho} \rho_{m_{\rho}})$ – функция Бесселя нулевого порядка. Исходя из (4) получим радиальную компоненту вектора $\mathbf{A}(t, \mathbf{r})$

$$A_{\rho}(t, \mathbf{r}) = -\frac{\pi d_0}{\Delta z \Delta \phi \Delta \rho c^2} \int_{-\infty}^{\infty} \omega \exp[-i\omega(t - z/c)] d\omega \times \left\{ H_0^{(1)}[(\omega^2/v^2 - \omega^2/c^2)^{1/2} \rho] \int_{R_1}^{\rho} \bar{F}(\rho_{m_{\rho}}, \omega/c) J_0[(\omega^2/v^2 - \omega^2/c^2)^{1/2} \rho_{m_{\rho}}] d\rho_{m_{\rho}} + J_0[(\omega^2/v^2 - \omega^2/c^2)^{1/2} \rho] \int_{\rho}^{R_2} \bar{F}(\rho_{m_{\rho}}, \omega/c) H_0^{(1)}[(\omega^2/v^2 - \omega^2/c^2)^{1/2} \rho_{m_{\rho}}] d\rho_{m_{\rho}} \right\}. \quad (5)$$

Запишем интеграл по времени от вектора Пойнтинга

$$\int_{-\infty}^{\infty} S_{\rho}(t, \rho \geq R_2) dt = \frac{c}{2} \int_0^{\infty} [\tilde{E}_z(\omega) \tilde{H}_{\phi}^*(\omega) + \tilde{E}_{\phi}^*(\omega) \tilde{H}_z(\omega)] d\omega, \quad (6)$$

где при выводе учтено равенство ([Ландау, Лифшиц], т. VIII, стр. 381)

$$\int_{-\infty}^{\infty} C(t)D(t)dt = 2\pi \int_0^{\infty} [\tilde{C}(\omega)\tilde{D}^*(\omega) + C^*(\omega)\tilde{D}(\omega)]d\omega \quad (7)$$

Существует связь между дипольным моментом d_0 и поверхностным током $(\mathfrak{I}_0)_{\max}$ в наночастице $(\mathfrak{I}_0)_{\max} \approx -i\omega d_0$.

Используя (6) вычислим интеграл по времени от полного потока энергии Φ_ρ/L через цилиндрическую поверхность $\rho = R_2$ единичной длины

$$\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{L} \Phi_\rho(t, R_2) dt = \int_{-\infty}^{\infty} 2\pi R_2 S_\rho(t, R_2) dt = \left(\frac{1}{c\Delta z \Delta \phi \Delta \rho} \right)^2 \frac{l^2}{4\epsilon_0} |(\mathfrak{I}_0)_{\max}|^2 \frac{(R_1 + R_2)^2}{4} \int_0^{\infty} \chi \cdot \mathcal{H}_1(\chi) d\chi \quad (8)$$

где $\chi = \omega \xi_0 / c$, $\xi_0 = 3\text{mm}$, $\mathcal{H}_1(\chi) = \left| \int_{R_1}^{R_2} \frac{1}{\rho_{m\rho}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \cdot J_0 \left[\chi \cdot \frac{\rho_{m\rho}}{\xi_0} \cdot \left(\frac{c^2}{v^2} - 1 \right)^{\frac{1}{2}} \right] d\rho_{m\rho} \right|^2 \cdot \exp(-\chi^2/2)$;

Были проведены численные расчеты при $R_1 = 1\text{cm}$, $R_2 = 3\text{cm}$, длине УНТ $l = 10\mu\text{m}$, объемной доле $f = 5.84 \cdot 10^{-8}$, деполяризующим факторе $n_z = 2.12 \cdot 10^{-7}$, геометрическом факторе $B_z = 0.13$ и плазменной частоте $\omega_p = 7.74 \cdot 10^{15}\text{s}^{-1}$, получено что при частоте $\omega \approx 5 \cdot 10^{10}\text{s}^{-1}$, $\epsilon_{\text{eff}} = 1.286$ (см. рис. 1). С учетом (8) при $|(\mathfrak{I}_0)_{\max}| = 3\mu\text{A}$; $c = 3 \cdot 10^8\text{m/s}$ – скорость света в вакууме; $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}\text{F} \cdot \text{m}^{-1}$ – электрическая постоянная. Пусть расстояние между центрами нанотрубок вдоль оси OZ, вдоль азимута и вдоль радиуса в цилиндрической системе координат (вдоль орт цилиндрической системы координат) равняется $\Delta z = d_1 = 0.1 l$, $(R_1 + R_2)\Delta\phi = 2d_2 = 0.2 l$, $\Delta\rho = d_3 = 2l$ получим, что $\int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{L} \Phi_\rho(t, \rho = R_2) dt = 0.243 \text{ J/m}$.

В случае, когда КВ с радиусами R_1 и R_2 полностью заполнен УНТ, расчетные формулы в соответствии с работой [1] видоизменяются.

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_\rho(t, R_2)/L dt &= \int_{-\infty}^{\infty} 2\pi R_2 S_\rho(t, R_2) dt = \omega R_2 \left(\frac{2d_0}{c^2 v \Delta z \Delta \phi \Delta \rho \mathcal{H}_n^2} \right)^2 \\ &\times \left\{ \frac{-1}{\epsilon_{\text{eff}} \pi} \frac{|H_0^{(2)}(\mathcal{H}_n R_1)|^2}{\left| \int_{R_1}^{R_2} \rho (J_0(\mathcal{H}_n \rho) N_0(\mathcal{H}_n R_1) - J_0(\mathcal{H}_n R_1) N_0(\mathcal{H}_n \rho))^2 d\rho \right|} \right\} \left| \int_{R_1}^{R_2} \mathcal{R}_n(\rho_{m\rho}) \cdot \bar{F}\left(\rho_{m\rho}, \frac{\omega}{v}\right) d\rho_{m\rho} \right|^2, \end{aligned} \quad (9)$$

Где введена новая функция

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_n(\rho) &= \frac{J_0(\mathcal{H}_n \rho) N_0(\mathcal{H}_n R_1) - J_0(\mathcal{H}_n R_1) N_0(\mathcal{H}_n \rho)}{\left[\int_{R_1}^{R_2} \rho (J_0(\mathcal{H}_n \rho) N_0(\mathcal{H}_n R_1) - J_0(\mathcal{H}_n R_1) N_0(\mathcal{H}_n \rho))^2 d\rho \right]^{\frac{1}{2}}} \\ &= i \frac{H_0^{(1)}(\mathcal{H}_n \rho) H_0^{(2)}(\mathcal{H}_n R_1) - H_0^{(2)}(\mathcal{H}_n \rho) H_0^{(1)}(\mathcal{H}_n R_1)}{2 \left[\int_{R_1}^{R_2} \rho (J_0(\mathcal{H}_n \rho) N_0(\mathcal{H}_n R_1) - J_0(\mathcal{H}_n R_1) N_0(\mathcal{H}_n \rho))^2 d\rho \right]^{\frac{1}{2}}} \end{aligned} \quad (10)$$

Где выполняются граничные условия $\mathcal{R}_n(\rho = R_1) = \mathcal{R}_n(\rho = R_2) = 0$, $J_0(\zeta)$ и $N_0(\zeta)$ – функции Бесселя и Неймана нулевого порядка, $\Delta_\perp \mathcal{R}_n(\mathcal{H}_n \rho) = -\mathcal{H}_n^2 \Delta_\perp \mathcal{R}_n$.

Использованные источники:

1. G. A. Mesyats,^{1,2} M. I. Yalandin,^{1,2,a)} N. M. Zubarev, and others // Appl. Phys. Lett. 2020. Vol. 116. 063501.
2. N. S. Ginzburg,¹ A. W. Cross,² A. A. Golovanov and others // PRL. 2015. Vol. 115. 114802-5.
3. G. Ya. Slepyan, S. A. Maksimenko, V. P. Kalosha, J. Herrmann, I. L. Krestnikov and Zh. I. Alferov, D. Bimberg, Phys. Rev. B 59, 12275-12278 (1999).
4. Khiznjak, N.A.: Integral Equations of Macroscopic Electrodynamics. Naukova Dumka, Kiev (1986). (in Russian)
5. Garcia-Vidal, F.J., Pitarke, J.M., Pendry, J.B.: Effective Medium Theory of the Optical Properties of Aligned Carbon Nanotubes Phys. Rev. Lett. 78, 4289 (1997)6. N.R. Sadykov, A. V. Aporoski, Optical and Quantum Electronics (2019) 51:96-26]

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Брегед А.И.^{1,2}, Липатов А.Н.¹

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», г. Снежинск, Челябинская обл.,

²ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», г. Снежинск, Челябинская обл.

itdb@vniitf.ru

Разработан программный комплекс, обеспечивающий в одном приложении все стадии подготовки исходных данных и расчета показателей надежности изделий на основании структурной схемы надежности.

Ключевые слова: структурно-сложные системы, показатели надежности, структурная схема надежности, алгоритмы и программы.

REALIZATION OF THE PROGRAM COMPLEX FOR CALCULATION OF THE RELIABILITY INDEXES FOR THE TECHNICAL SYSTEMS

Bregeda A.I.^{1,2}, Lipatov A.N.¹

¹FSUE «RFNC-VNIITF named after Academ. E.I. Zababakhin», Snezhinsk, Chelyabinsk region,

²FSAEI HE «Snezhinsk Physical and Technical Institute of National Nuclear Research University
MIFI», Snezhinsk, Chelyabinsk region

itdb@vniitf.ru

A program complex is developed to enable all stages preparation and calculation of the product reliability indexes based on the reliability block diagram in one only application.

Key words: structurally complex systems, reliability indexes, reliability block diagram, algorithms and codes.

Рассмотрим некоторую техническую систему однократного действия с точки зрения её показателей надёжности (ПН). Допустим, что система состоит из n статистически независимых элементов (подсистем). Предположим также, что система и ее элементы могут находиться в одном из двух состояний: работоспособном и неработоспособном. Известно значение вероятности безотказной работы (ВБР) каждого элемента. Требуется найти ВБР системы, учитывая взаимосвязи её элементов (физические и функциональные).

Задача состоит в том, чтобы из графического представления структурной схемы надежности (ССН), созданного на компьютере, автоматически получать формулы для расчёта ВБР системы.

Для этого необходимо:

- 1) Определить основные компоненты и логические структуры, из которых состоит/должна состоять ССН.
- 2) Разработать систему классов предметной области, включающую, в том числе, описание ССН.
- 3) Разработать расчетный модуль для реализации универсального алгоритма расчета ПН на основе данной системы классов.

В моделях надёжности, основанных на ССН [1], используют логические связи между состоянием успеха (работоспособным состоянием) системы и состоянием успеха (работоспособным состоянием) ее компонентов (блоков ССН). *Путь успеха* определяется как набор блоков, который обеспечивает состояние успеха системы при том условии, что каждый

блок в наборе находится в работоспособном состоянии. Минимальный путь успеха определяется как такой набор блоков, при котором отказ одного (любого) из блоков набора приводит к отказу всей системы.

Существуют алгоритмы [2] и программы [3, 4], позволяющие на основе набора минимальных путей успеха, записанных в формальном математическом виде, автоматически получать формулы для расчёта ВБР системы.

Под формальным математическим видом здесь понимается представление ССН в виде математического графа, в котором ребра – это блоки, а узлы – взаимосвязи блоков (рис.1). В таком графе, используя известные алгоритмы поиска, можно найти интересующий нас набор минимальных путей, соединяющих вершины «Вход» и «Выход» системы.

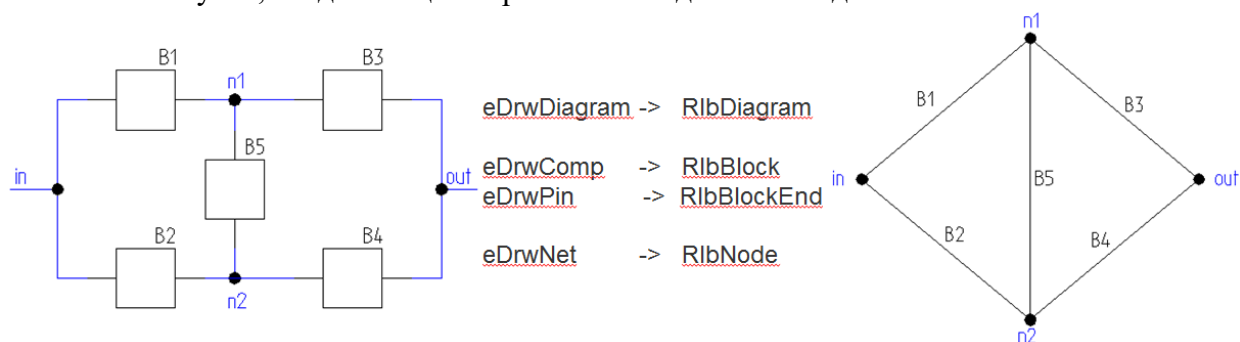


Рис. 1. Графическая ССН и её математический граф

В качестве первого шага были определены основные компоненты и логические структуры, из которых должна состоять ССН, создаваемая в среде схемного редактора и доступная для процедур автоматизированного анализа ПН [1, 4].

Следующим шагом стала разработка (на языке программирования С#) системы классов предметной области, включающей как описание «графической ССН», так и получаемой на её основе «ССН в виде графа» [4].

Основой расчетного модуля является универсальный алгоритм для расчета надежности структурно-сложных систем, известный под названием «прямой SHARP» [2]. Детальный доклад о реализации данного алгоритма был представлен ранее [3].

Работа с проектом надежности начинается с запуска графического редактора и создания/открытия документа «Схема надежности». На экране компьютера пользователь видит стандартное окно платформы (napoCAD) и в нем три области, относящиеся к реализованной подсистеме (рис. 2).

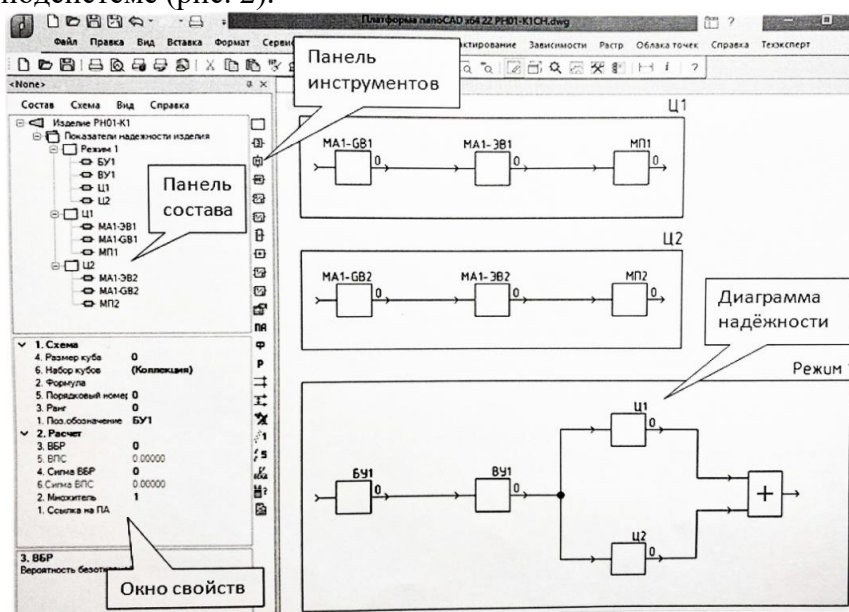


Рис. 2. Главное окно графического редактора

Прежде чем переходить к расчёту ПН изделия на основе введенной ССН, следует убедиться, что ПН составных частей определены. Ввести значения ВБР и среднеквадратичного отклонения ВБР (СКО ВБР) можно прямо через окно свойств. Другой вариант – через это окно задать ссылку на прибор автоматики (ПА) в виде порядкового номера или обозначения ПА, которое он имеет в таблице «Показатели надёжности ПА» БД проекта.

Для расчёта ПН на основе ССН используются две команды, имеющиеся в панели инструментов:

- 1) ***Ф<ормулы>*** – Генерировать формулы (кубы) на основе диаграмм надёжности;
- 2) ***Р<асчёт>*** – Рассчитать ПН изделия.

Результаты расчёта записываются в соответствующие свойства блока ВПС и СКО ВПС, которые можно увидеть в окне свойств дерева состава. Есть возможность посмотреть на свойства ВБР и ВПС прямо в графической области (рис.3), где они выводятся мелким шрифтом на фоне прямоугольника блока.

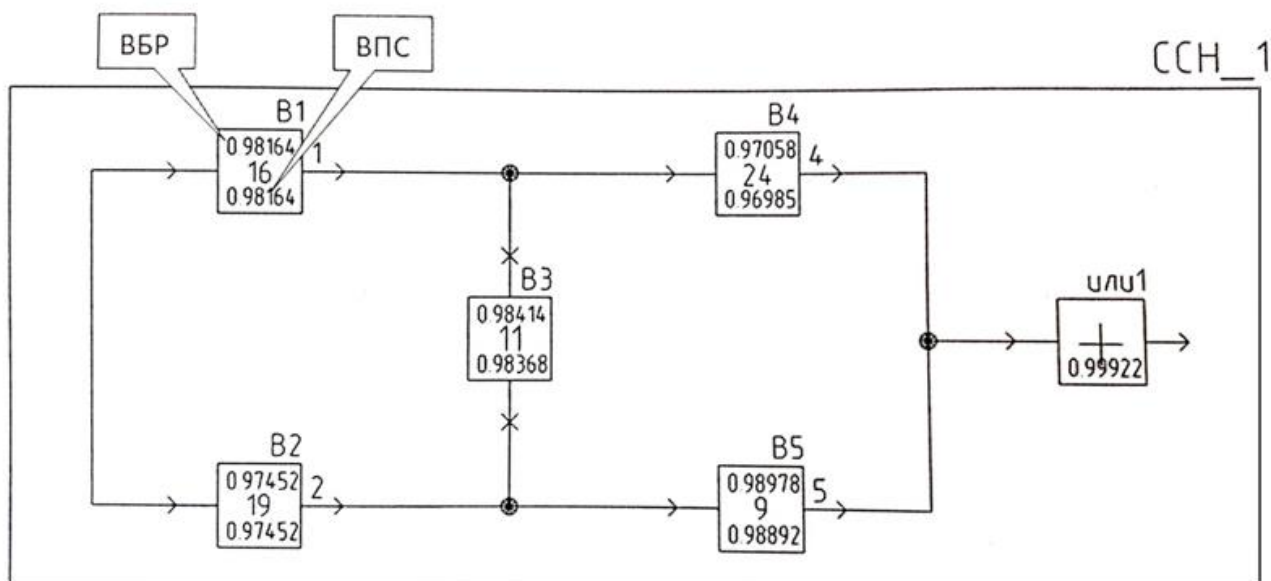


Рис.3. ССН с результатами расчёта

Этап технического проектирования программного комплекса завершен со следующими результатами:

- разработан графический редактор для ввода структурных схем надёжности;
- разработан табличный интерфейс и программы для ввода, редактирования и расчета ПН составных частей (исходных данных для расчета ПН изделия);
- разработаны алгоритмы и программы автоматического формирования формул и расчета ПН изделия на основании ССН, введенных в среде графического редактора.

Использованные источники:

1. ГОСТ Р МЭК 61078-2021. Надежность в технике. Структурная схема надежности: национальный стандарт Российской Федерации: дата введения 2022-01-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Изд. официальное. – М.: Стандартиформ, 2023 г. – 94 с.
2. Xu W., Shi D., Chen H. General algorithms for calculating system reliability. // Microelectronics and reliability. – 1987. – Vol. 27, №3. – P. 413-418.
3. Липатов А.Н., Брегеда А.И. Реализация универсального алгоритма для расчета надежности структурно-сложных систем на языке программирования С#. // НАУЧНАЯ СЕССИЯ НИЯУ МИФИ-2024 по направлению «Инновационные ядерные технологии». Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции. 31 января – 2 февраля 2024 г. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 185-186.
4. Липатов А.Н., Брегеда А.И. Автоматизация расчета показателей надежности технических систем на основе структурной схемы надежности с применением универсального алгоритма. // АСПИРАНТСКИЕ ЧТЕНИЯ СФТИ НИЯУ МИФИ-2024. Сборник трудов научного семинара. 17-18 мая 2024 г. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – С. 12-19.

АРКТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ПО ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ «УМКА»

Горбатов А.Д., Смирнова М.М.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

adgorbatov@mephi.ru, margarettt0@yandex.ru

В рамках проекта подтверждена гипотеза о технологической жизнеспособности концепции размещения платформы по добыче не только нефти и газа, но и металлов в Арктике. Разработана полноразмерная 3D-модель станции с эскизами всех этажей. Решены проблемы низких температур и сложной логистики для выбранных районов размещения платформы. Проект «УМКА» разрабатывался в партнерстве с ГК «Росатом» и НИЯУ МИФИ в рамках научно-образовательной смены «Большие вызовы».

Ключевые слова: добыча полезных ископаемых, Арктика, роботы, технологии.

ARCTIC MINING COMPLEX «UMKA»

Gorbatov A.D., Smirnova M.M.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk Physical-Technology Institute (SPhTI) –National Research Nuclear University MEPhI», Snezhinsk, Russia

adgorbatov@mephi.ru, margarettt0@yandex.ru

The project confirmed the hypothesis of the technological viability of the concept of placing a platform for the extraction of not only oil and gas, but also metals in the Arctic. A full-size 3D model of the station with sketches of all floors has been developed. The problems of low temperatures and complex logistics for the selected areas have been solved. The “UMKA” project was developed in partnership with Rosatom State Corporation and Snezhinsky Institute of Physics and Technology within the framework of the scientific and educational shift "Big Challenges".

Keywords: Mining, The Arctic, Robots, Technologies.

Углеводороды применяются в качестве топлива и сырья для получения многих химических продуктов. В России полезные ископаемые являются основой экономики, так как страна является одним из крупнейших экспортеров нефти и газа. Эта сфера деятельности актуальна и требует постоянного развития технологий для усовершенствования процессов добычи. В то же время арктическая зона России имеет нереализованный природный потенциал из-за суровых климатических условий и сложной логистики. В рамках научно-образовательной смены «Большие вызовы» командой был разработан проект «УМКА» - инновационный арктический комплекс по добыче не только нефти и газа, но и металлов в акваториях Печорского моря.

Предлагается добыча одного из следующих месторождений:

1. Долгинское. Глубина 35-55 м. Запасы нефти - 230 млн тонн.
2. Северо-Гуляевское. Глубина 10-30 м. Запасы нефти - 30 млн тонн, газа - 30 млрд м³.
3. Медыньское-море. Глубина 12-22 м. Запасы нефти - 410 млн тонн.

Они расположены относительно недалеко от берега, что упрощает логистику проекта, и недра их также хранят значительное количество цветных тяжелых и драгоценных металлов: медь, цинк, никель, олово и свинец, использующиеся преимущественно в машиностроении; золото, серебро и платину, использующиеся преимущественно в ювелирной промышленности [1]. Платформа будет производить добычу на глубине в 30 м. Примерная площадь добычи нефти и газа будет составлять около 150 км².

Для выбранных условий размещения была разработана концепция стационарной платформы на четырех железобетонных опорах по 56 метров в высоту [2]. Каждая опора имеет свою функцию: буровая вышка, спуск для донных добывающих машин и два нефтехранилища. Между опорами и этажами установлены демпферные системы, предотвращающие возможные сейсмические колебания и колебания, вызванные воздействием движущихся льдов.

На станции пять этажей с оборудованными складскими комплексами, химическими лабораториями, системами жизнеобеспечения станции, пунктами управления, 138 двухместными комнатами для персонала и туристов [3]. Оборудование и системы комплекса обеспечивают бурение 46 скважин, сбор металлов со дна моря, очистку и обработку добываемых ископаемых, хранение их в нефтехранилищах общим объемом 130 000 м³, контейнерах и газохранилищах, использование 95% переработанного попутного нефтяного газа для снабжения платформы электричеством.

Опоры платформы покрыты слоем плакированной стали в четыре сантиметра для защиты от коррозии и льдов. Высота их подобрана таким образом, что движущиеся ледники не смогут повредить этажи платформы с модулями, необходимыми для жизнеобеспечения станции. Это решает проблему добычи полезных ископаемых в Арктике.

Платформа работает по технологии «нулевого сброса». То есть, минимизируется объем образующихся при работе станции отходов, подлежащих внешней утилизации. На станции происходит подготовка и отгрузка контейнеров с нефтью, газом и металлами на танкер раз в две недели.

Были разработаны эскизы каждого этажа платформы и спроектирована полноразмерная 3D-модель комплекса в программе «КОМПАС-3D». Размеры платформы составляют 69 м × 91 м × 24 м (Рис.1).



Рис. 1. 3D-модель арктического морского комплекса по добыче полезных ископаемых «УМКА».

Проект имеет ряд преимуществ над своими аналогами:

1. Добыча металлов

На данный момент не существует платформы, производящей одновременную добычу нефти, газа и металлов. Проект «УМКА» предлагает инновационную технологию использования донных добывающих машин (Рис.2). Два робота спускаются краном в одной из колонн до нижней основы, где перемещаются по внутренним ходам. Выезжая на площадку вокруг платформы, машины измельчают найденный материал на дне моря и в виде пульпы с помощью насоса передают по райзеру в пункты обработки, где разделяют на обогащенную руду и грунт. Руда помещается в контейнеры для дальнейшей транспортировки, а грунт в резервуары вспомогательной автономной баржи.

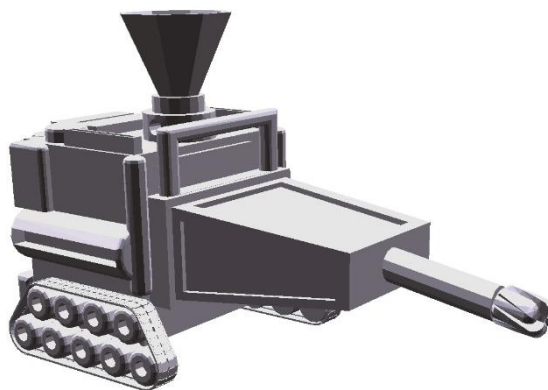


Рис. 2. Робот для добычи руды на дне океана

2. Большой объем нефтехранилищ

Полый блок над нижней основой, а также две опоры из четырех являются нефтехранилищами. Суммарный их объем составляет 130 000 м³, что превышает заявленные объемы российских проектов «Беркут» и «Приразломная» [4,5].

3. Промышленный туризм

Работники различных сфер и их разных стран могут попасть на экскурсию по платформе с временным проживанием, почувствовать себя полярниками. Это способствует увеличению прибыли проекта, числа высококлассных специалистов и повышению квалификации сотрудников.

На данный момент «УМКА» находится на этапе разработки экономической модели и поиска потенциальных инвесторов.

В работе представлена концепция инновационного морского комплекса по добыче нефти, газа и металлов в Арктике. Рассмотрены вопросы логистики и выявлены особенности платформы в сравнении с аналогами, представленными в лице российских проектов «Беркут» и «Приразломная». Прделанная работа доказывает технологическую возможность размещения комплекса в акваториях Печорского моря и одновременной добычи нескольких видов полезных ископаемых.

Использованные источники:

1. Н. С. Бортников, К. В. Лобанов, А. В. Волков, А. Л. Галямов, И. В. Викентьев, Н. Н. Тарасов, В. В. Дистлер, А. В. Лаломов, В. В. Аристов, К. Ю. Мурашов, И. А. Чинова, Р. М. Чефранов МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКИХ МЕТАЛЛОВ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ. — 2015.
2. Oil platform https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.97e3d63b-6683e774-1cc37779-74722d776562/https/en.wikipedia.org/wiki/Oil_platform
3. ГОСТ Р. Нефтяная и газовая промышленность Арктические операции. Рабочая среда. — 2015.
4. Официальный сайт Роснефть. Платформа Беркут <https://www.rosneft.ru/press/today/item/153419/>
5. Официальный сайт Газпром. Приразломное месторождение <https://www.gazprom.ru/projects/prirazlomnoye/>

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ СВЕРЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ИЗ ФОЛЬГИРОВАННОГО СТЕКЛОТЕКСТОЛИТА

Гречушкин И.Е., Шульгин А. Н., Тебайкин Д.С.
ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
ivan.grechushckin@gmail.com

Важным этапом производства печатных плат из фольгированного стеклотекстолита является процесс сверления. Во время данной операции могут возникать различные дефекты, которые визуалью не всегда отслеживаются, но могут проявиться в готовом изделии или в процессе эксплуатации.

В данной статье представлен программный инструмент, разработанный на основе алгоритма анализа и определения рациональных режимов сверления печатных плат. Целью работы является повышение эффективности сверления за счет автоматизированного определения оптимальных параметров, обеспечивающих высокое качество обработки, минимизацию дефектов, и, как следствие, повышение производительности.

Ключевые слова: обработка данных, фильтрация, сегментация, Python, NumPy, SciPy, Matplotlib, осевая составляющая, сила резания, печатные платы

SOFTWARE IMPLEMENTATION OF AN ALGORITHM FOR DETERMINING RATIONAL DRILLING MODES OF PRINTED CIRCUIT BOARDS MADE OF FOILED FIBERGLASS

Grechushkin I.E., Shulgin A.N., Tebaykin D.S.
Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk Region.
ivan.grechushckin@gmail.com

Drilling is a crucial stage in the manufacturing of printed circuit boards made of copper-clad laminate. During this operation, various defects can occur, which are not always visually detectable but can manifest themselves in the finished product or during operation.

This article presents a software tool developed based on an algorithm for analyzing and determining rational drilling modes of printed circuit boards. The aim of the work is to increase drilling efficiency by automatically determining optimal parameters that ensure high-quality processing, minimize defects, and, as a result, improve productivity.

Keywords: data processing, filtering, segmentation, Python, NumPy, SciPy, Matplotlib, axial component, cutting force, printed circuit boards

В производстве электроники одну из ключевых ролей играет изготовление печатных плат из стеклотекстолита. Обработка композиционных материалов, к которым относится стеклотекстолит, является сложной задачей из-за анизотропных свойств и абразивной природы материала. Неравномерное распределение силы резания по слоям материала может приводить к образованию различных дефектов, в том числе, к расслоению.

Для определения рациональных режимов резания в данной работе использовались массивы данных, полученные с помощью пьезоэлектрического динамометра Kistler Dyn Mini 9256C2. При проведении экспериментов, направленных на проверку различных режимов обработки, частота дискретизации динамометра была ограничена значением 1000 Гц. Для моделирования процесса обработки заготовок использовался многошпиндельный

специализированный сверлильный станок СМ-600. В качестве основного материала применялся наиболее распространенный материал марки FR-4, имеющий толщину 1,5 мм. Сверление выполнялось твердосплавными сверлами производства «Нам», имеющими стандартную схему заточки, при следующих режимах обработки: частота вращения шпинделя: 36000; 43000; 48000 об/мин; скорость движения осевой подачи: 1100-2700 мм/мин (всего 45 различных комбинаций).

Исходный массив данных (зависимость осевой составляющей силы P_o от времени t), полученный с динамометра представлен на рисунке 1. Он состоит из начальных шумов, подготовки к работе, основной части, описывающей 45 процессов сверления отдельных отверстий, завершения работы и шумов после завершения работы.

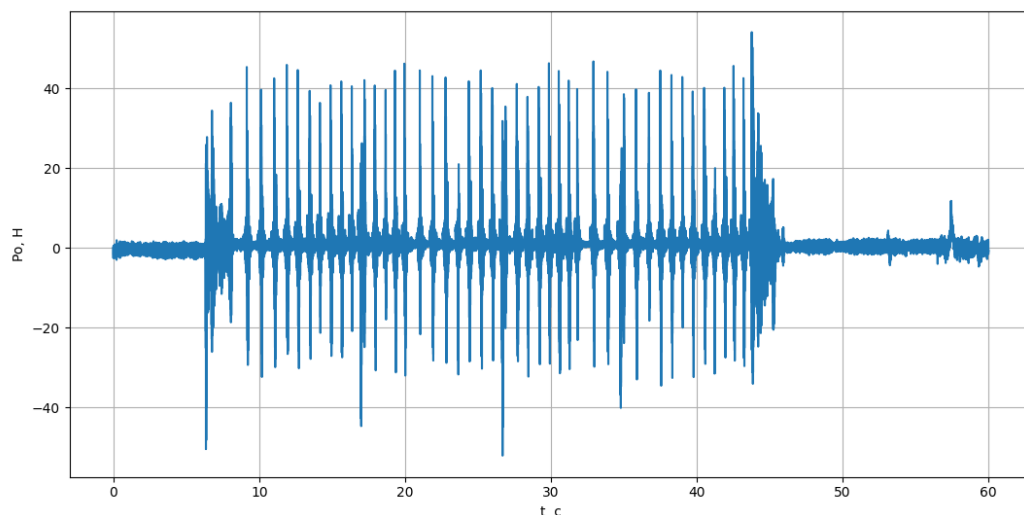


Рис. 1. Исходный массив данных

На рисунке 2 (исходный массив в приближении) можно наблюдать основные участки процесса сверления отверстия: колебания с большой амплитудой – горизонтальное перемещение заготовки, колебания с малой амплитудой – процесс сверления, небольшое возвышение в конце – непосредственно контакт сверла и платы. Для нахождения рациональных режимов резания необходимо определить при какой комбинации скорости подачи и частоты вращения будет минимальная осевая составляющая силы, т.е. минимальное давление на плату, что способствует минимизации дефектов и увеличению срока службы инструмента.

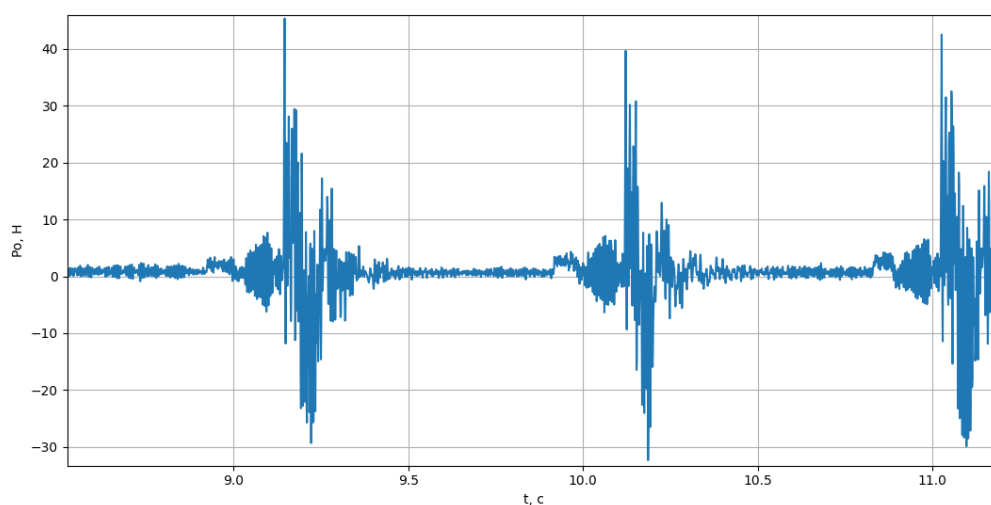


Рис. 2. Исходный массив данных в приближении

Алгоритм определения рациональных режимов резания

При наличии данных с динамометра уже можно вручную оценить значения осевой составляющей силы при различных комбинациях. Однако один такой массив данных соответствует лишь одной комбинации сверла и материала, при использовании других комбинаций рациональные режимы могут отличаться. Для того, чтобы автоматически определять рациональные режимы, был доработан и программно реализован ранее разработанный алгоритм [1] (рис. 3).

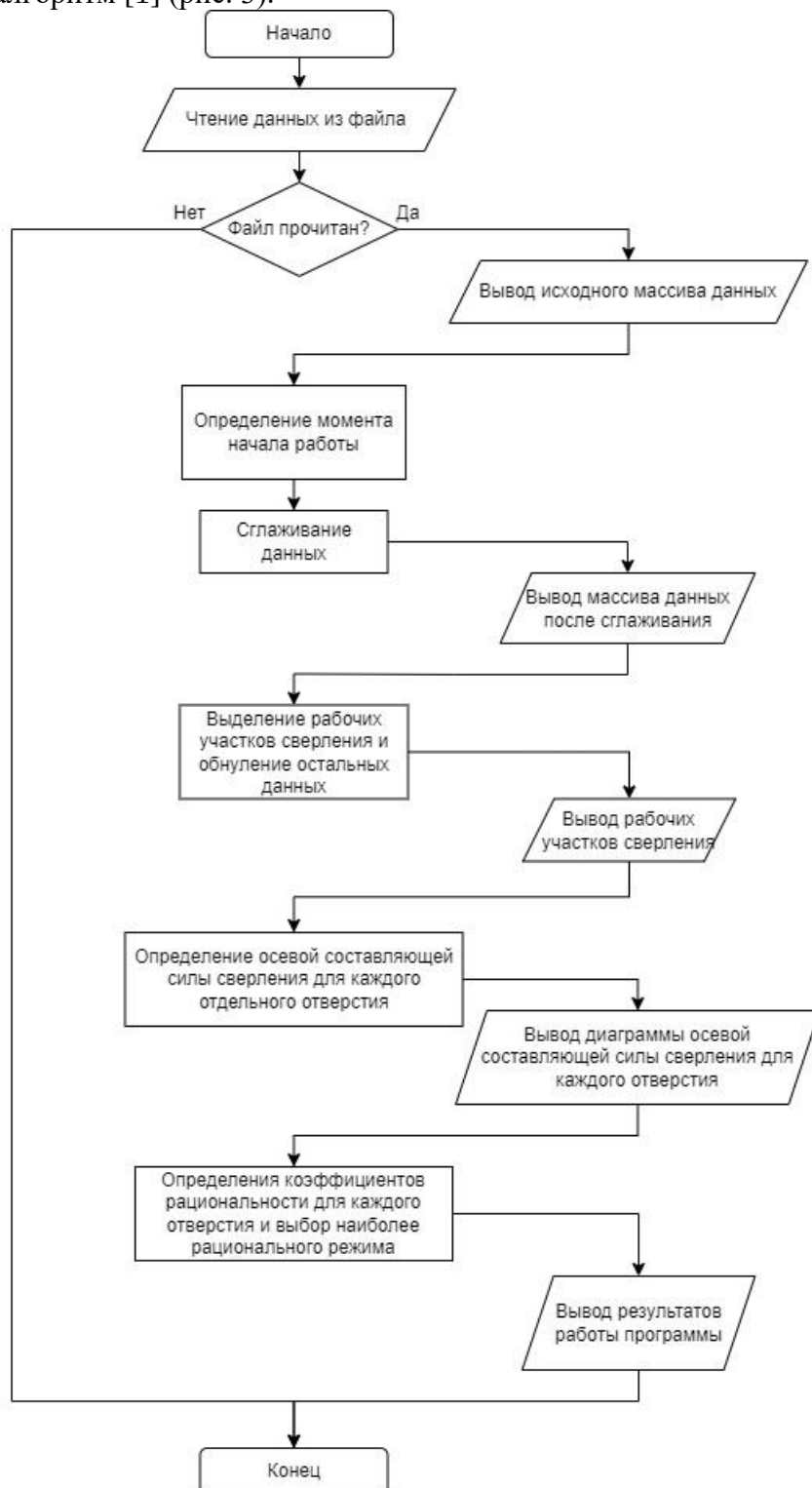


Рис. 3. Алгоритм определения рациональных режимов резания

Для реализации алгоритма был выбран язык Python, благодаря его простоте, читаемости и широкой доступности библиотек для научных вычислений, таких как NumPy [2], SciPy [3], а также Matplotlib [4] для визуализации данных.

Работа программы

Первым делом определяется и записывается момент начала первого сверления, чтобы в дальнейшем начинать обработку с него. Затем выполняется сглаживание данных, так как из-за высокочастотных колебаний тяжело обрабатывать данные. Для этого был выбран фильтр Савицкого-Голея, который позволяет сглаживать данные без значительного искажения их формы в отличие, например, от простых фильтров, таких как «Скользящее среднее» или «Медианный фильтр». В результате получается массив, представленный на рисунке 4. На данном рисунке можно видеть, что участки, показывающие момент сверления, находятся выше нулевого значения осевой составляющей силы. Благодаря этому свойству их можно отделить от остального массива, получив положительные участки, изображенные на рисунке 5.

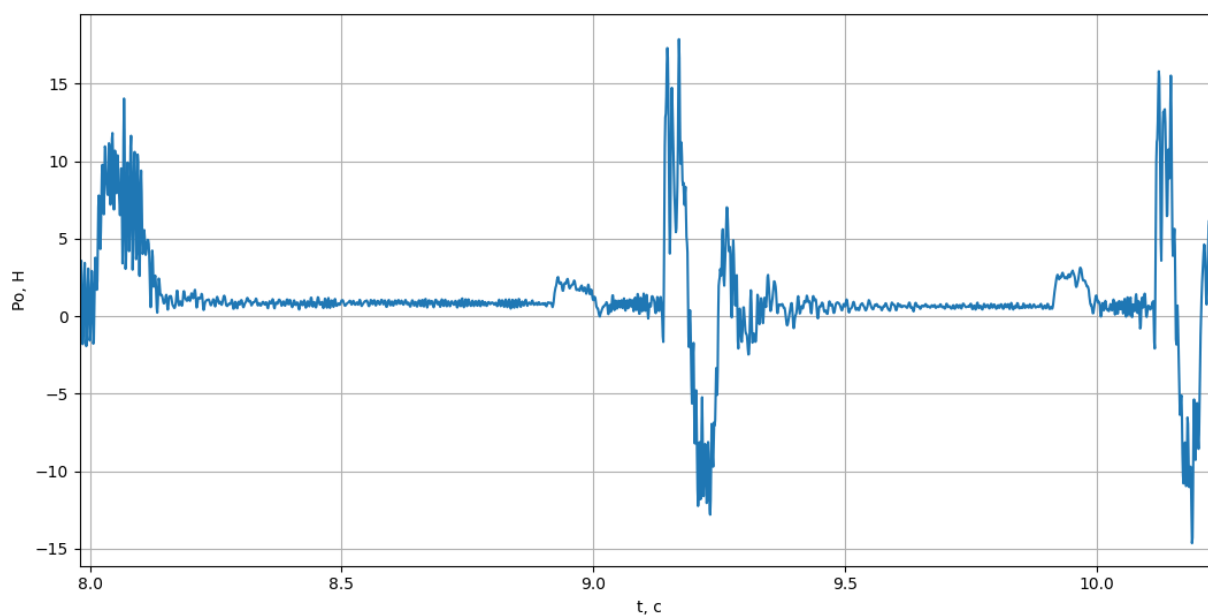


Рис. 4. Массив после сглаживания с помощью фильтра Савицкого-Голея

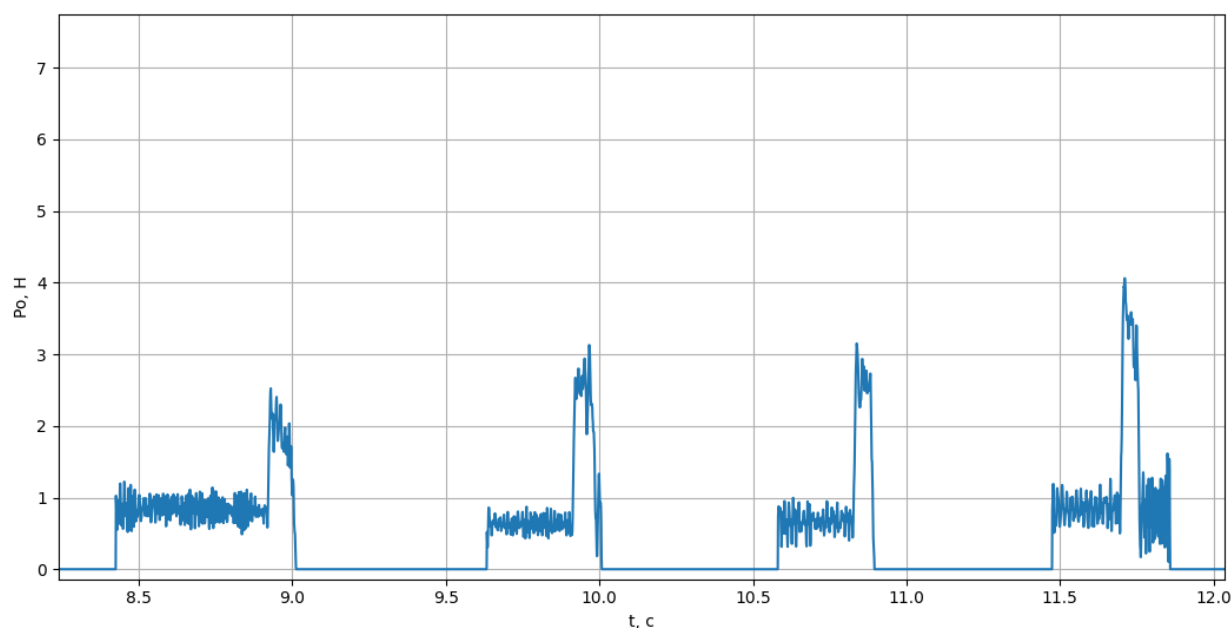


Рис. 5. Выделение положительных участков

Так как искомые нами участки сверления находятся всегда в конце этих положительных участков, то можно их брать не полностью, а только правую половину, первую половину так же занулить как остальные значения.

Далее с помощью производных находятся моменты времени, когда значения резко возрастают и резко уменьшаются. Это и будут участки, соответствующие непосредственному контакту сверла и платы. Для того, чтобы получить более точные данные, берутся не данные участки, а создается маска, в которой нужные участки обозначены, как единицы, а остальные значения равны нулю. Затем данная маска умножается на исходный массив и получаются нужные значения, которые не подвергались сглаживанию. На рисунке 6 представлено сравнение исходного массива и массива с искомыми участками.

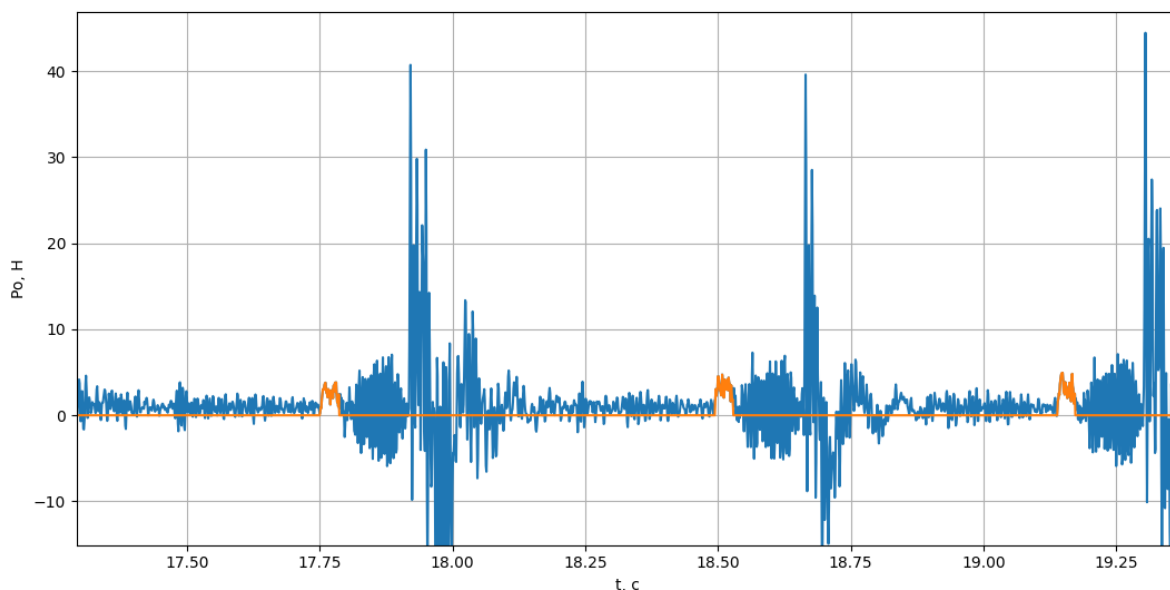


Рис. 6. Сравнение исходного массива и массива с искомыми участками

После нахождения нужных участков, вычисляется среднее значение осевой составляющей силы P_0 для каждого отдельного отверстия (рис. 7).

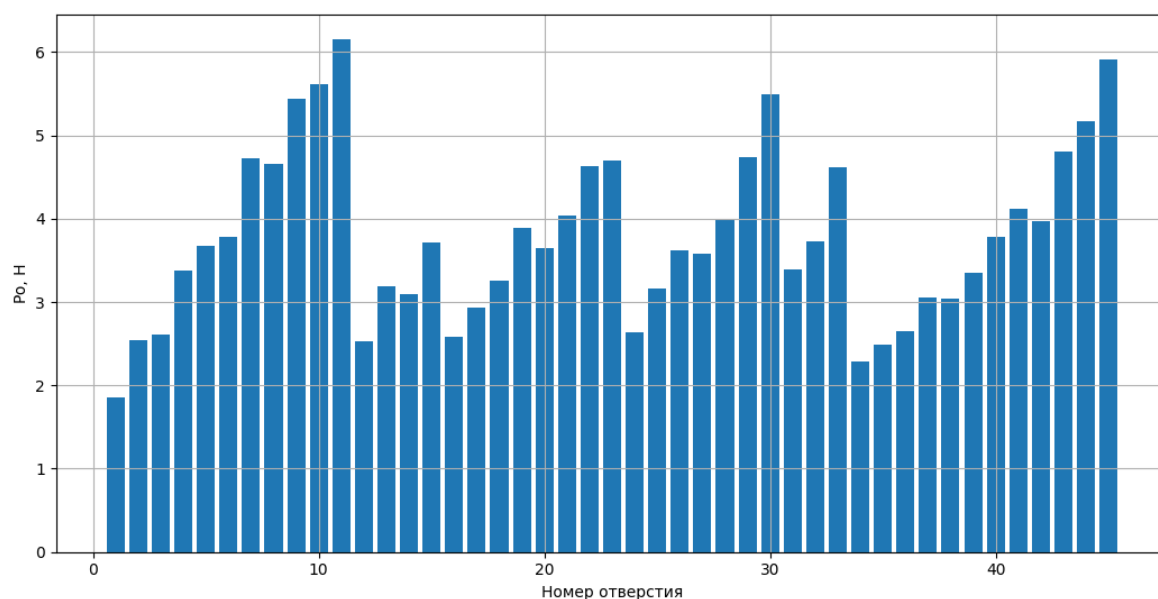


Рис. 7. Диаграмма осевой составляющей силы для каждого отверстия

Однако значение осевой составляющей силы не единственное важное значение, также необходимо учитывать и подачу, ведь если у разных режимов значения P_0 примерно равны, то рациональней было бы использовать тот, у которого подача больше, так как это уменьшит время сверления, и, соответственно, повысит эффективность работы. Для этого вычислим

некоторый коэффициент рациональности равный прямо пропорциональный подаче и обратно пропорциональный осевой составляющей силы сверления (рис. 8). Определив номер отверстия с максимальным коэффициентом рациональности может получить параметры, используемые для этого режима. В результате, применяя эти режимы в процессе изготовления печатных плат, можно повысить скорость обработки и минимизировать дефекты, связанные с излишним давлением на плату при сверлении.

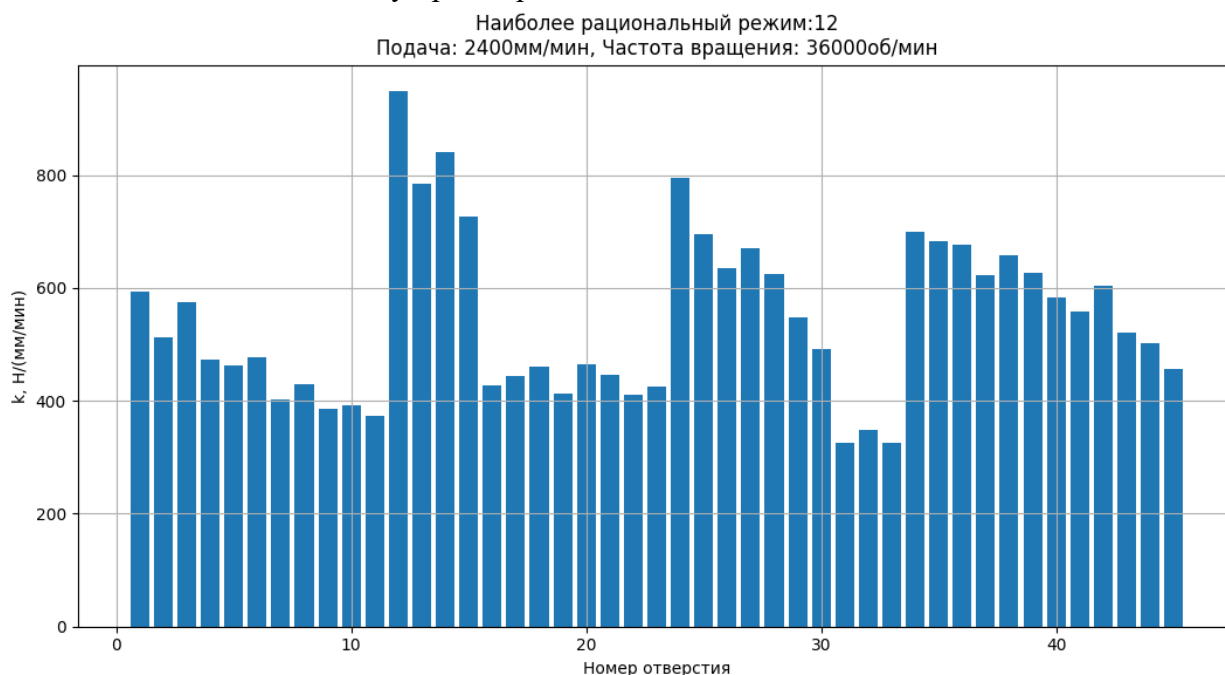


Рис. 8. Диаграмма коэффициентов рациональности для каждого отверстия

Заключение

С помощью языка программирования Python и библиотек для научных вычислений NumPy, SciPy был реализован алгоритм для определения рациональных режимов сверления печатных плат и фольгированного стеклотекстолита. С помощью библиотеки Matplotlib была добавлена визуализация процесса обработки данных для наглядности работы программы.

Реализованная программа позволяет быстро и точно анализировать данные с динамометра. Использование полученных результатов дает возможность повышения эффективности сверления и минимизации дефектов благодаря автоматическому подбору оптимальных параметров.

В будущем планируется разработка полноценного программно-аппаратного комплекта для автоматического определения рациональных режимов сверления и назначения этих режимов для последующей работы.

Использованные источники:

5. Гречушкин И.Е., Шульгин А.Н. Разработка алгоритма для проведения анализа и определения рациональных режимов сверления на печатных платах из фольгированного стеклотекстолита. XXVI Туполевские чтения (школа молодых ученых): Материалы Международной молодёжной научной конференции. Сборник докладов, Казань, 09–10 ноября 2023 года. – Казань: ИП Сагеев А.Р., 2023. – С. 3523-3529.

6. NumPy. – URL: <https://numpy.org/doc/> (дата обращения: 11.02.2025).

7. Matplotlib. – URL: <https://matplotlib.org/stable/> (дата обращения: 11.02.2025).

8. SciPy.signal.savgol_filter.

URL:https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/generated/scipy.signal.savgol_filter.html (дата обращения: 11.02.2025).

ГЕНЕРАЦИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕНЕРАТИВНО-СОСТЯЗАТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Минаев А.С.^{1,2}, Фёдоров В.В.^{1,2}

¹ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

²ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

В работе представлен метод генерации радиолокационных (SAR) изображений из оптических снимков на основе двунаправленной архитектуры GAN, сочетающей блоки CAM (Class Activation Mapping), Swin Transformer и модуль регистрации для компенсации смещений. Обучение на наборе OpenEarthMap-SAR (17 тыс. парных сцен) продемонстрировало высокое качество синтеза (PSNR до 19 дБ, SSIM ~0.78, FID ~42), что указывает на возможность восполнения нехватки радиолокационных данных и усиления анализа многомодальных спутниковых изображений.

Ключевые слова. Радиолокационные данные, генеративно-сопоставительные сети, синтезирование данных.

RADAR IMAGE GENERATION USING GENERATIVE ADVERSARY NETWORKS

Minaev A.S.^{1,2}, Fedorov V.V.^{1,2}

¹FSUE RFNC-VNIITF named after Acad. E.I. Zababakhin, Snezhinsk, Chelyabinsk region

²Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University
MEPhI, Chelyabinsk region

This study presents a method for generating synthetic Synthetic Aperture Radar (SAR) images from optical imagery based on a bidirectional GAN architecture that integrates Class Activation Mapping (CAM) blocks, a Swin Transformer, and a registration module for displacement compensation. Training on the OpenEarthMap-SAR dataset (17,000 paired scenes) demonstrated high-quality synthesis (PSNR up to 19 dB, SSIM ~0.78, FID ~42), highlighting the potential to mitigate the shortage of SAR data and enhance the analysis of multimodal satellite imagery.

Keywords. SAR data, generative adversarial networks, data synthesis

Радиолокационная съёмка (SAR) широко востребована в задачах картографирования и мониторинга Земли благодаря способности обеспечивать всепогодное, круглосуточное наблюдение и получать информацию о рельефе и структуре поверхности. Оптические спутниковые снимки, в свою очередь, предлагают высокую детализацию форм и цветов объектов, но подвержены ограничениям из-за погодных условий и освещённости сцены. Комбинация SAR и оптических данных позволяет более полно характеризовать территорию, однако объём доступных радиолокационных данных зачастую бывает недостаточен: высокая стоимость съёмки, ограниченное временное покрытие и сложные физические эффекты затрудняют сбор больших наборов. В этой связи актуальной становится задача синтеза правдоподобных SAR-изображений на основе оптических снимков с помощью генеративно-сопоставительных сетей (GAN), что даёт возможность восполнять пропущенные радарные данные и дополнять реальные наблюдения.

В настоящей работе предлагается модель двунаправленного перевода между доменами оптики и радиолокации, объединяющая идеи Pix2Pix/UGATIT и механизмы внимания [1,2]. Система включает два генератора (перевод оптики в SAR и обратно) и четыре дискриминатора: глобальные (CAM-дискриминаторы) и локальные (PatchGAN-подобные). Включение глобальных и локальных дискриминаторов позволяет контролировать как общий стиль сцены, так и достоверность мелких деталей. Для повышения устойчивости обучения

применяется комбинированная функция потерь, включающая состязательный и L1-критерии, что помогает лучше сохранять структуру объектов и характерные эффекты на SAR-сценах (яркие отражения, спекл-шум). В генераторах применяются сверточные энкодер-декодерные блоки с остаточными слоями (ResNet), а также механизмы внимания на основе CAM (Class Activation Mapping) и Swin Transformer [3]. CAM-модуль позволяет выделять наиболее значимые фрагменты изображения, используя глобальные и максимальные пулинги (GAP/GMP) для формирования карт активаций, тогда как Swin Transformer способствует учёту пространственного контекста на разных масштабах. Нормализации ILN и AdaLIN (Instance/Layer Interpolation Normalization) обеспечивают гибкость при переходе между статистиками каналов и всего слоя. Отдельное внимание уделяется возможности компенсации сдвигов между оптическим и радарным снимками. Для этого в модель опционально включён регистрационный модуль на основе сверточной сети (ResUnet), вычисляющей поле деформаций с последующим выравниванием (Transformer_2D) сгенерированного и эталонного изображений.

Обучение и тестирование проводилось на наборе данных OpenEarthMap-SAR, содержащем парные сцены оптики и радиолокационных данных (амплитудные каналы VV или HH), охватывающем городские и сельские ландшафты в США, Японии, Франции, с разрешением 0.15-0.5м [4]. Из 17 тысяч пар размером 512×512 около 10% было выделено для тестовой выборки. По результатам экспериментов, модель демонстрирует высокую реалистичность сгенерированных SAR-изображений: среднее значение PSNR достигает 19 дБ, а SSIM — 0.78. Для метрики распределения FID получено значение порядка 42, что говорит о статистической близости синтетических данных к реальным. Дополнительные эксперименты с использованием взвешенных метрик (Weighted SSIM и др.) подтверждают стабильное качество генерации на различных типах ландшафтов. На рисунке 1 представлены визуальные результаты для одной из тестовых сцен, включающие исходное оптическое изображение, реальный SAR-снимок, соответствующую CAM-карту и сгенерированный радарный кадр, что наглядно демонстрирует возможности предлагаемого подхода.

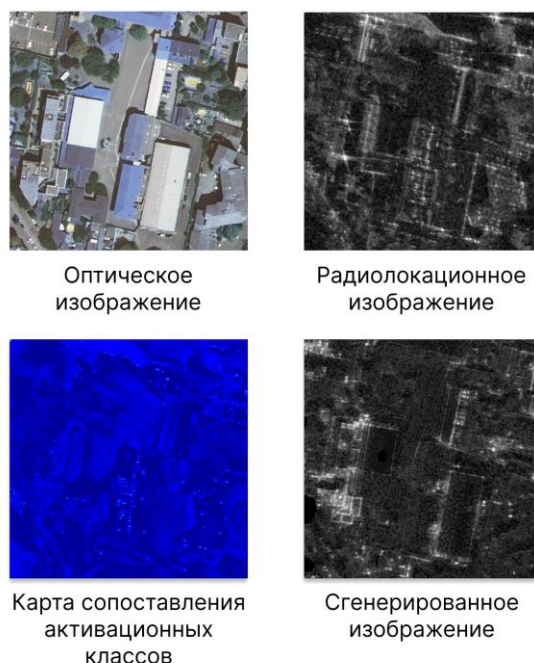


Рис. 1. Визуальные результаты одной из тестовых сцен

Использованные источники:

1. Isola P. et al. Image-to-image translation with conditional adversarial networks //Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. – 2017. – С. 1125-1134.
2. Kim J. U-gat-it: unsupervised generative attentional networks with adaptive layer-instance normalization for image-to-image translation //arXiv preprint arXiv:1907.10830. – 2019.
3. Liu Z. et al. Swin transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows //Proceedings of the IEEE/CVF international conference on computer vision. – 2021. – С. 10012-10022.
4. Xia J. et al. OpenEarthMap-SAR: A Benchmark Synthetic Aperture Radar Dataset for Global High-Resolution Land Cover Mapping //arXiv preprint arXiv:2501.10891. – 2025.

СЖАТИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ, ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ПРИМЕНИМОСТИ

Михайлов А.Ф.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

chelaxe@gmail.com

В статье рассматриваются основные методы сжатия временных рядов, включая прореживание данных с постоянным шагом, аппроксимацию и прореживание с использованием «окна». Проведен сравнительный анализ их эффективности и практической применимости с учетом минимизации объема данных и возможности работы в режиме реального времени. В качестве тестового набора данных использованы дневные спотовые цены на нефть марки WTI, что позволило оценить применимость методов на временных рядах с выраженными пиками. В ходе анализа выявлены ключевые преимущества и недостатки каждого подхода. Прореживание с постоянным шагом отличается простотой реализации, но подвержено потере экстремальных значений. Аппроксимация обеспечивает высокую точность, однако требует сложной настройки. Методы с использованием «окна» предлагают компромисс между простотой и точностью, что делает их перспективными для применения в реальных условиях. Полученные результаты могут быть использованы при выборе оптимального метода сжатия временных рядов в зависимости от поставленных задач.

Ключевые слова. временные ряды, сжатие данных, прореживание данных, аппроксимация, метод скользящего окна, алгоритм «вращающихся дверей», swinging door, обработка данных в реальном времени, минимизация объема данных, репрезентативность данных, анализ эффективности методов.

TIME SERIES COMPRESSION: COMPARATIVE ANALYSIS OF APPROACHES, EFFICIENCY AND PRACTICAL APPLICABILITY

Mikhailov A.F.

Snezhinsk Institute of Physics and Technology of the National Research Nuclear University MEPhI, Chelyabinsk region

chelaxe@gmail.com

The article considers the main methods of time series compression, including constant step data thinning, approximation and window thinning. A comparative analysis of their efficiency and practical applicability is carried out, taking into account the minimization of data volume and the possibility of working in real time. Daily spot prices for WTI oil were used as a test data set, which allowed us to evaluate the applicability of the methods on time series with pronounced peaks. The analysis reveals key advantages and disadvantages of each approach. Constant step thinning is characterized by simplicity of implementation, but is prone to loss of extreme values. Approximation provides high accuracy but requires complex tuning. Window methods offer a compromise between simplicity and accuracy, making them promising for real-world applications. The obtained results can be used in choosing the optimal method of time series compression depending on the tasks at hand.

Keywords. time series, data compression, data thinning, approximation, sliding window method, swinging door algorithm, swinging door, real-time data processing, data minimization, data representativeness, method efficiency analysis.

Современные информационные системы, работающие с временными рядами, сталкиваются с проблемой хранения и обработки больших объемов данных, что особенно

актуально для приложений, работающих в режиме реального времени. Уменьшение объема данных без значительной потери их информативности позволяет оптимизировать вычислительные ресурсы, снизить требования к хранилищу и повысить эффективность аналитических процессов. В связи с этим важной задачей является выбор подходящего метода сжатия, который обеспечивает компромисс между сохранением ключевой информации и минимизацией избыточности данных. Данная работа посвящена сравнительному анализу различных методов сжатия временных рядов с целью определения их эффективности и практической применимости в реальных условиях.

Критерии выбора методов сжатия временных рядов

Основными критериями, определяющими выбор подходящего метода сжатия временных рядов, являются:

- минимизация объема данных после сжатия без значительной потери информации;
- возможность применения методов в условиях поступления данных в реальном времени.

В качестве основы для анализа и оценки существующих методов сжатия данных использована статья о визуализации метеорологических данных [1].

Для анализа эффективности и практической применимости различных методов сжатия временных рядов был использован тестовый набор данных, включающий дневные спотовые цены на нефть марки WTI. Данные предоставлены Управлением энергетической информации США (EIA) и доступны в репозитории [2]. Такой выбор обусловлен их значительным объемом и наличием выраженных пиков, что позволяет распространить результаты анализа на схожие по структуре временные ряды.

Сравнение методов сжатия

Прореживание данных с постоянным шагом

Прореживание данных с постоянным шагом – простой и распространенный метод сжатия временных рядов, который заключается в выборке значений через фиксированные интервалы времени.

Преимущества:

- простота реализации и настройки,
- минимальная временная задержка,
- возможность регулирования объема результирующих данных путем изменения длины шага.

Недостатки:

Главный недостаток метода – потеря экстремальных значений (пиков), что может снижать репрезентативность данных. Для минимизации этих потерь возможно использование динамического шага, однако его реализация в реальном времени требует сложных технических решений.

Результаты применения метода на тестовом наборе данных представлены на рис. 1.

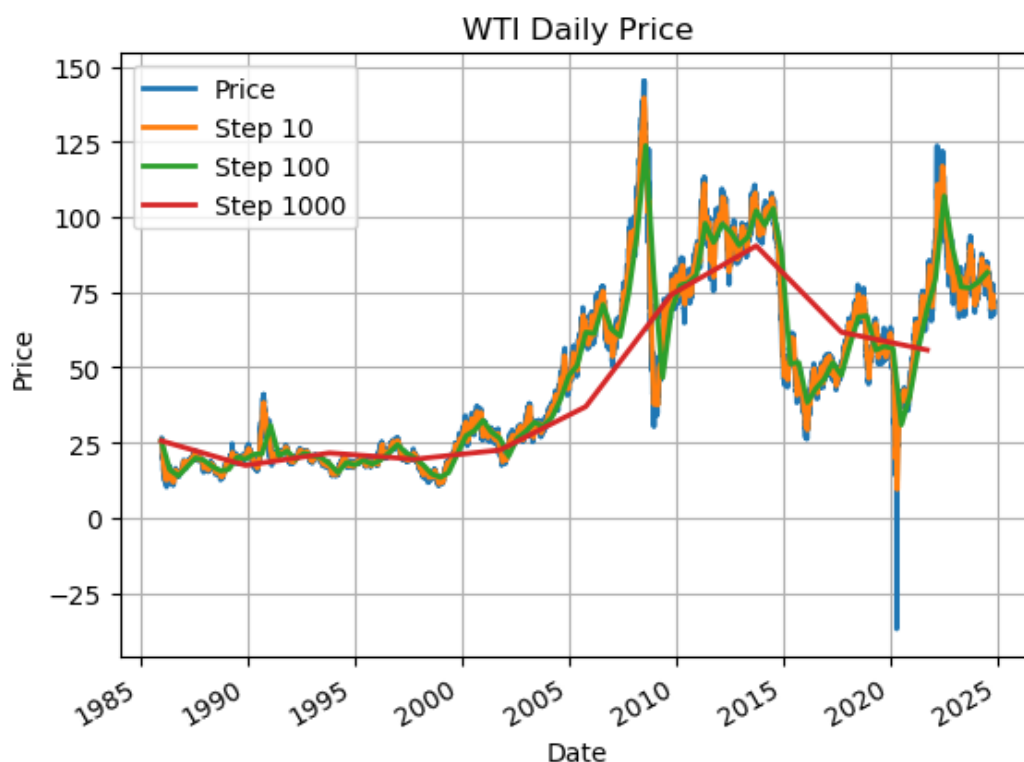


Рис. 1. Применение подхода прореживания с постоянным шагом к тестовым данным.

Аппроксимация данных

Аппроксимационные методы сжатия заключаются в замене реального распределения временного ряда функциями, приближающими данные к известным математическим формам, таким как полиномы или сплайны.

Преимущества:

- высокая точность при правильном выборе функции,
- гибкость в настройке моделей для различных типов данных.

Недостатки:

- необходимость предсказуемости поведения временного ряда,
- сложность выбора аппроксимирующей функции при стохастическом характере данных,
- увеличение временной задержки из-за необходимости накопления данных перед аппроксимацией.

Пример применения сплайновой аппроксимации для сжатия тестового набора данных приведен на рис. 2.

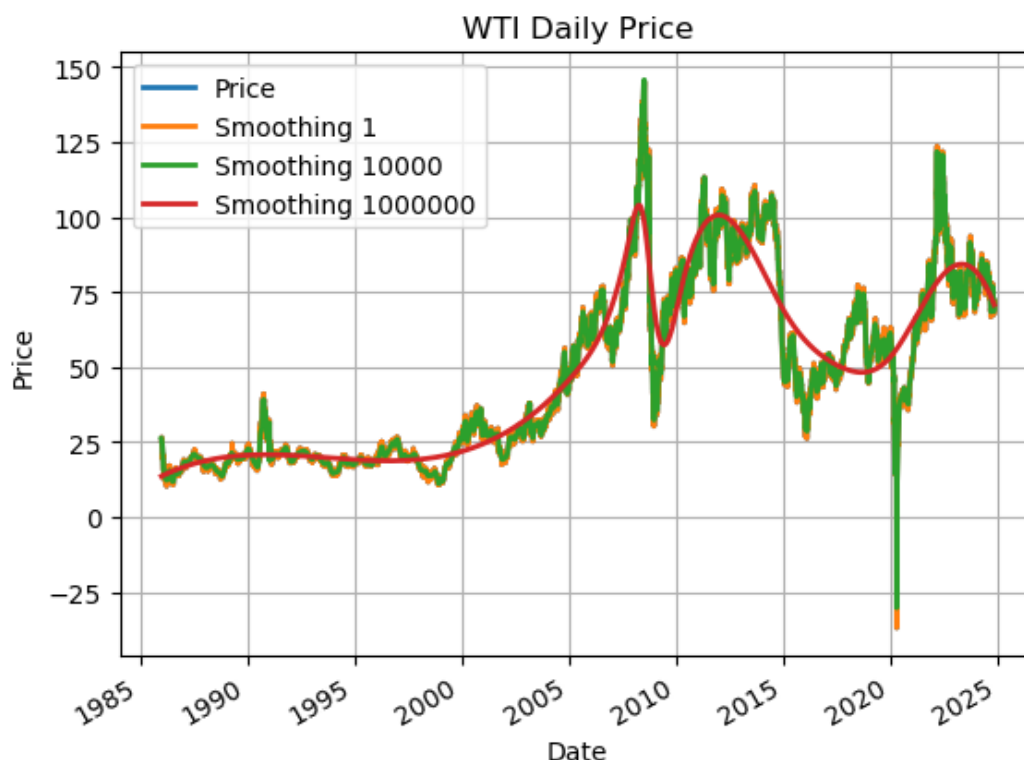


Рис. 2. Применение сплайновой аппроксимации к тестовым данным с разными параметрами сглаживания.

Прореживание с использованием «окна»

Метод прореживания с использованием «окна» заключается в замене множества значений временного ряда одним, усредненным значением в заданном интервале времени. Алгоритм усреднения и размер окна оказывают значительное влияние на качество полученных данных.

Преимущества:

- универсальность метода, так как его точность слабо зависит от характера временного ряда,
- снижение вероятности потери экстремальных значений по сравнению с прореживанием фиксированным шагом,
- простота реализации по сравнению с аппроксимационными методами.

Недостатки:

- высокая зависимость качества результатов от метода усреднения,
- возможная потеря отдельных значений, что может снижать точность передачи характерных изменений величины.

Одной из популярных реализаций метода является алгоритм «вращающихся дверей» (Swinging Door), описанный в патенте США № US4669097A [3]. Результаты его применения на тестовых данных приведены на рис. 3.

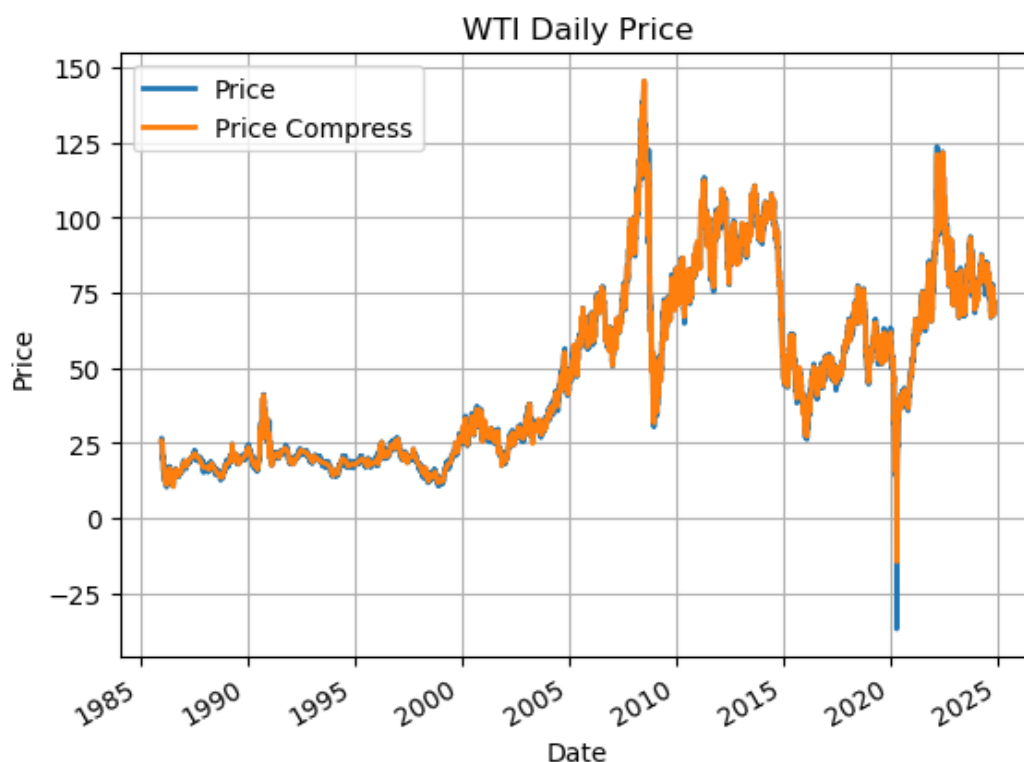


Рис. 3. Применение алгоритма Swinging Door к тестовым данным.

Заключение

В статье проведен сравнительный анализ методов сжатия временных рядов с учетом их эффективности и практической применимости. Прореживание данных с постоянным шагом обеспечивает простоту реализации, но сопровождается риском потери ключевых данных. Аппроксимация предлагает высокую точность, но требует корректного выбора модели и значительных вычислительных ресурсов. Методы с использованием «окна» находят баланс между простотой и точностью, что делает их перспективными для задач реального времени при правильной настройке параметров.

Использованные источники:

1. М.В. Демешко, И.А. Канаева, И.А. Ботыгин. Визуализация метеорологических данных; [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL: https://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/46433/1/conference_tpu-2017-C04_p249-250.pdf (дата обращения: 10.02.2025).
2. Europe Brent and WTI (Western Texas Intermediate) Spot Prices (Annual/ Monthly/ Weekly/ Daily) from EIA U.S. (Energy Information Administration); [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL: <https://github.com/datasets/oil-prices> (дата обращения: 10.02.2025).
3. Edgar H. Bristol. Data compression for display and storage // Патент США № US4669097A; [Электронный ресурс] - Режим доступа: URL: <https://patentimages.storage.googleapis.com/f6/ca/83/c34a2602ede2ac/US4669097.pdf> (дата обращения: 10.02.2025).

КОНТРОЛЬ ПУТИ ПО НАПРАВЛЕНИЮ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКЕ

Мякушко Э.В., Тебайкин Д.С.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
M4aircraft@yandex.ru, DSTebaikin@mephi.ru

В данной работе рассматривается проблема автономного управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) с использованием нечеткой нейронной сети (НПС). Основное внимание уделяется разработке системы управления, которая не зависит от внешних управляющих сигналов. Для этого предлагается использовать две входные переменные: линейное отклонение от линии заданного пути (ЛЗП) и скорость отклонения от ЛЗП. Управляющим сигналом выступает напряжение на моторы квадрокоптера.

Ключевые слова: БПЛА, автономное управление, НПС, нечеткие множества, оптимизация управления, ЛБУ, ЛЗП, функция принадлежности.

CONTROL OF UAV PATH DIRECTION USING A NEURAL NETWORK BASED ON FUZZY LOGIC

Myakushko E.V., Tebaykin D.S.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk Physical-Technology Institute (SPhTI) –National Research Nuclear University MEPhI»,
Snezhinsk, Russia
M4aircraft@yandex.ru, DSTebaikin@mephi.ru

This paper addresses the problem of autonomous control of unmanned aerial vehicles (UAVs) using a fuzzy neural network (FNN). The main focus is on developing a control system that does not rely on external control signals. To achieve this, two input variables are proposed: linear deviation from the desired flight path (DFP) and the rate of deviation from the DFP. The control signal is represented by the voltage applied to the motors of the quadcopter.

Keywords: UAV, autonomous control, FNN, fuzzy sets, control optimization, LBU, LZP, membership function.

Основные вопросы по управлению БПЛА с помощью радиосигнала решены. Актуальным является автономное управление БПЛА, то есть без учета внешнего управляющего сигнала. Для построения устройства управления на основе нечеткой нейронной сети (НПС) предлагаем использовать две входные переменные.

$X_{\text{входа 1}}$ – линейное боковое уклонение от ЛЗП (линии заданного пути); $X_{\text{входа 2}}$ – скорость уклонения от ЛЗП (рис. 1). В качестве управляющего сигнала будем рассматривать напряжение на моторы БПЛА. Рассматриваемая модель представляет собой квадрокоптер.



Рис. 1. Структура системы управления

Представим графически $X_{\text{выхода1}}$ (рис. 2), где ось абсцисс представляет собой величину линейного бокового уклонения (ЛБУ) от ЛЗП. В зависимости от величины уклонения активируются различные нечеткие множества, где Н – нулевое уклонение, ПМ – правое малое уклонение, ПБ – правое большое уклонение, ЛМ – левое малое уклонение, ЛБ – левое большое уклонение. По оси ординат, в диапазоне от 0 до 1, значение функции принадлежности элементов нечетких множеств.

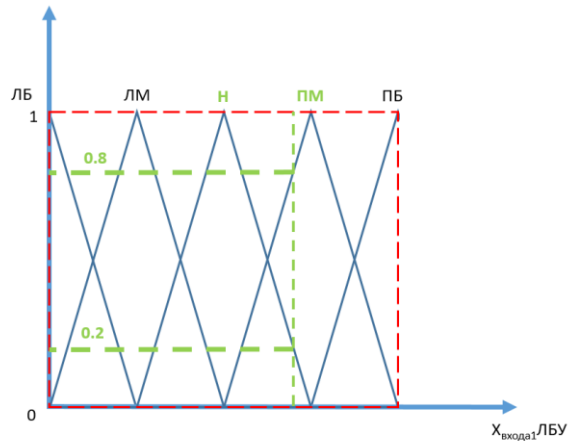


Рис. 2. Линейное боковое уклонение

Представим графически $X_{\text{выхода2}}$ (рис. 3), где ось абсцисс представляет собой величину скорости изменения ЛБУ, то есть первую производную от ЛБУ. В зависимости от величины скорости уклонения активируются различные нечеткие множества, где Н – нулевая скорость уклонения, П – скорость уклонения в правую сторону от ЛЗП, Л – скорость уклонения в левую сторону от ЛЗП. По оси ординат, в диапазоне от 0 до 1, значение функции принадлежности элементов нечетких множеств.

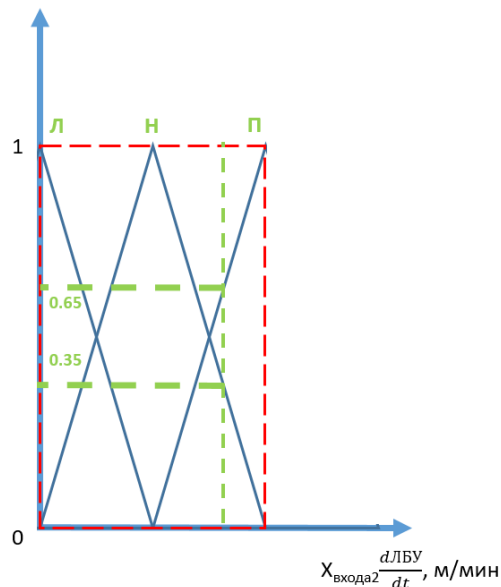


Рис. 3. Скорость уклонения от ЛЗП

Выходной переменной $Y_{\text{выхода}}$ (рис. 4) является величина напряжения на моторы, позволяющая изменить направление полета БПЛА. По оси абсцисс величина напряжения, где максимум и минимум определяются по техническим характеристикам БПЛА. В зависимости от величины подаваемого напряжения на моторы активируются различные нечеткие

множества, где Н – нулевое напряжение, ПМН – малое напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА вправо, ПСН – среднее напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА вправо, ПБН – большое напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА вправо, ЛМН – малое напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА влево, ЛСН – среднее напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА влево, ЛБН – большое напряжение, подаваемое на группу моторов смещающее БПЛА влево. По оси ординат, в диапазоне от 0 до 1, значение функции принадлежности элементов нечетких множеств.

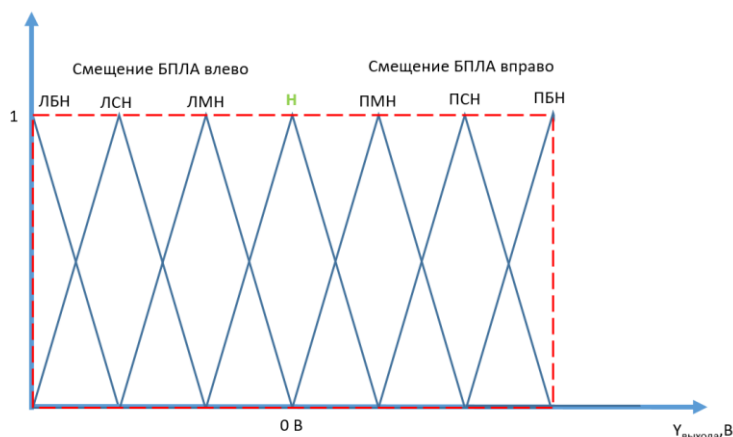


Рис. 4. Величина управляющего сигнала на моторы

Активация нечетких множеств для $Y_{\text{выхода}}$ осуществляется согласно базе правил, которые можно отразить через логическую таблицу (рис. 5). Таблица отражает операцию импликация ЕСЛИ ($X_{\text{входа1}}$ и $X_{\text{входа2}}$) ... ТО ($Y_{\text{выхода}}$).

		$X_{\text{входа1}}$					
		ЛБ	ЛМ	Н	ПМ	ПБ	
$X_{\text{входа2}}$	Л	ПБН	ПСН	ПМН	НН	ЛМН	
	Н	ПСН	ПМН	НН	ЛМН	ЛСН	
	П	ПМН	НН	ЛМН	ЛСН	ЛБН	

Если $X_{\text{входа1}}$ находится в области ЛМ и $X_{\text{входа2}}$ находится в области Н, то $Y_{\text{выхода}}$ находится в области ПМН

Рис. 5. Логическая таблица по базе правил

Веса активированных множеств для входных переменных определяются исходя из $X_{\text{входа}}$ факт, который определяется навигационными датчиками, этот процесс осуществляется в первом слое НРС.

По аналитической таблице реализующую функцию.

$$\mu(X_{\text{входа1}}) = \tan \beta * X_{\text{входа факт}}$$

,где μ -функция принадлежности элемента нечеткому множеству;
 β -угол у основания треугольника;

$X_{\text{входа факт}}$ - фактическое значение, полученное с датчиков.

Примем максимальное отклонение вправо $+m$ метров, влево $-m$ метров (рис. 6). Для определения прилежащего катета к углу треугольника у основания воспользуемся формулой, по известному углу β (угол определяется исходя из значений универсального множества, определяемых по характеристикам БПЛА):

$$\mu(X_{\text{входа1}}) = \begin{cases} 1, \text{ если } X_{\text{входа1}} = \frac{m}{2} \\ 0, \text{ если } X_{\text{входа1}} = 0 \\ (\frac{m}{2} - X_{\text{входа1}}) \cdot \tan\beta, \text{ если } 0 < X_{\text{входа1}} < \frac{m}{2} \\ (m - X_{\text{входа1}}) \cdot \tan\beta, \text{ если } X_{\text{входа1}} > \frac{m}{2} \end{cases}$$

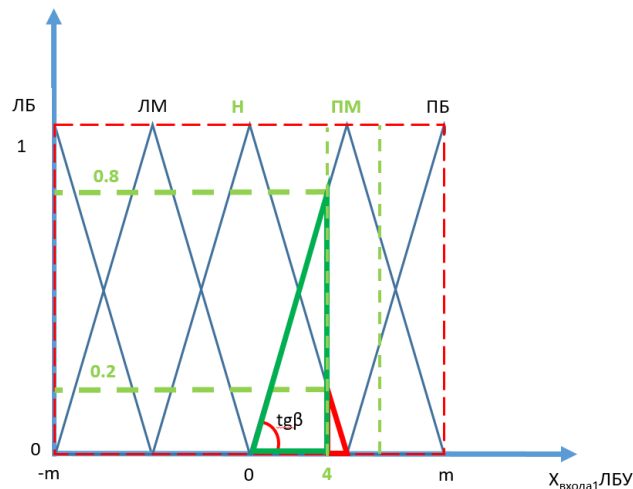


Рис. 6. Определение значения функции принадлежности $X_{\text{входа1}}$ к нечеткому множеству

Аналогично определяется значение $\mu(X_{\text{входа2}})$ результат этой операции осуществляется в первом слое НРС (рис. 7).

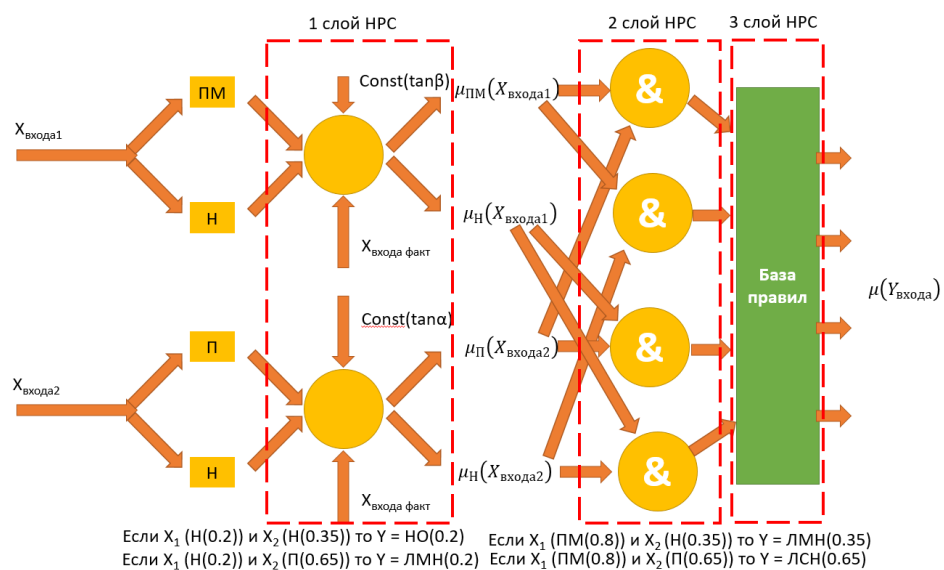


Рис. 7. Структура НРС

На выходе с 3 слоя получим активированные нечеткие множества для $Y_{\text{выхода}}$ с весом $\mu(Y_{\text{выхода}})$.

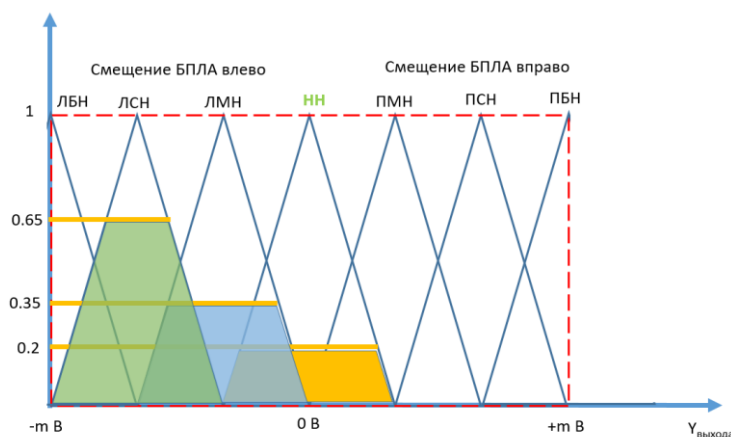


Рис. 8. Результат, полученный на выходе с 3 слоя НРС

Необходим 4 слой НРС который осуществляет усреднение значений $\mu(Y_{\text{выхода}})$ для получения величины управляющего сигнала на моторы БПЛА. Определим усредненное значение по формуле:

$$\frac{\sum_1^n Y_i * \mu(Y_i)}{\sum_1^n \mu(Y_i)}$$

Величины универсальных множеств, которые определяют границы переменных определяются исходя из летно-технических данных БПЛА (ЛТД). Форма функций принадлежности нечетких множеств может иметь нелинейную форму и изменяться при настройке системы.

Использованные источники:

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А.Пегат – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 798 с.
3. Демидова, Л. А. Алгоритмы и системы нечеткого вывода при решении задач диагностики городских инженерных коммуникаций в среде Matlab / Л.А. Демидова, В.В. Кираковский, А.Н. Пылькин. - М.: Радио и связь, Горячая Линия - Телеком, 2017. - 368 с.
4. Харин, Н.Н. Математическая логика и теория множеств / Н.Н. Харин. - М.:, 2018. - 407 с.
5. Матвеев А.М. 101 выдающийся летательный аппарат мира / Матвеев Александр Макарович. - М.: Московский авиационный институт (МАИ), 2016. - 993 с.

АВТОНОМНАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Тебайкин Д.С., Саманова А.И.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

DSTebaikin@mephi.ru, nastyasamanova@gmail.com

Проект направлен на создание программно-аппаратного комплекса, который будет измерять некоторые параметры погоды в том числе температуру и влажность воздуха, атмосферное давление и другие. Часть уникальных зон могут не охватываться стационарными метеостанциями, а их монтаж и эксплуатация являются невозможными, в связи с чем стоит проблема разработки отечественной автономной метеостанции с возможностью дистанционного мониторинга.

Ключевые слова: метеостанция, автономность, измерение параметров, Arduino, raspberry pi

STAND-ALONE WEATHER STATION WITH REMOTE MONITORING CAPABILITY

Tebaikin D.S., Samanova A.I.

*Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Professional Education «Snezhinsk Physical-Technology Institute (SPhTI) –National Research Nuclear University MEPhI»,
Snezhinsk, Russia*

DSTebaikin@mephi.ru, nastyasamanova@gmail.com

The project is aimed at creating a hardware and software complex that will measure some weather parameters, including air temperature and humidity, atmospheric pressure and others. Some unique zones may not be covered by stationary meteorological stations, and their installation and operation are impossible, therefore the problem is to develop a domestic autonomous meteorological station with the possibility of remote monitoring.

Keywords: weather station, autonomy, parameter measurement, Arduino, raspberry pi

Окружающий мир пропитан информационными технологиями и самый ценные ресурс для современного человека – это информация. Однако метеорологи и специалисты по изменению климата во многих частях нашей страны находятся в условиях серьезной нехватки данных, так как развернуть стационарную метеостанцию возможно далеко не везде. Эту проблему и будет решать автономная метеостанция.

Цель работы – создать прототип автономной (сюда прям акцент) метеостанции с возможностью дистанционного мониторинга.

В ходе работы стоит решить ряд задач:

1. Провести анализ карт и выбрать возможные и наиболее перспективные позиции для размещения устройства;
2. Исходя из результатов, определить конструкционные особенности устройства;
3. Разработать электрические схемы;
4. Создать 3D-модель прототипа;
5. Сконструировать макет устройства;
6. Разработать систему дистанционного мониторинга с возможностью отображения данных на веб-сайте.

Для начала работы, был произведен анализ существующих аналогов на рынке, в том числе был проведен анализ патентов в системе федерального института промышленной собственности (ФИПС).

Проанализированы карты расположения действующих метеостанций на территории Российской Федерации, определены наиболее удаленные точки от линий электропередач и населенных пунктов, в которых установка стационарных метеостанций невозможна.

После выбора точек установки метеостанций, были определены конструкционные особенности устройства, а именно: специфика установки, организация автономности, а также произведен учет особенностей флоры и фауны.

Разработана и спроектирована электрическая схема будущего программно-аппаратного комплекса (рис. 1).

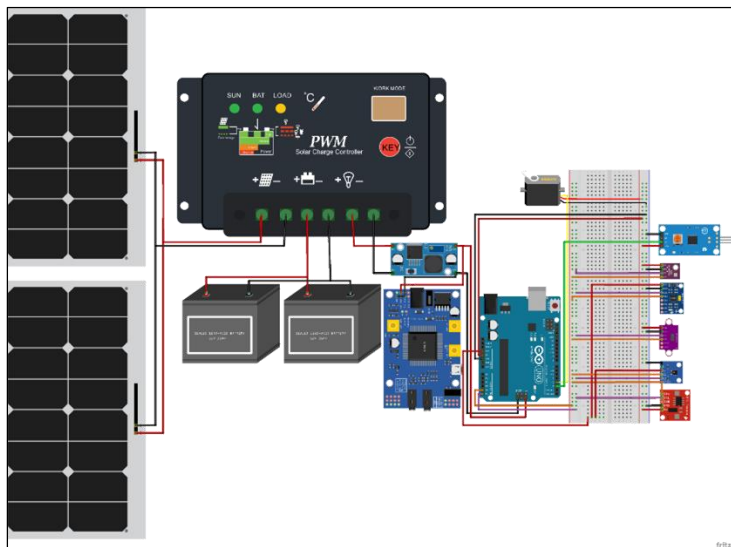


Рис. 1. Электрическая схема метеостанции

Параллельно с разработкой и проектировкой электрической схемы производилось создание 3D-модели программно-аппаратного комплекса (рис. 2).

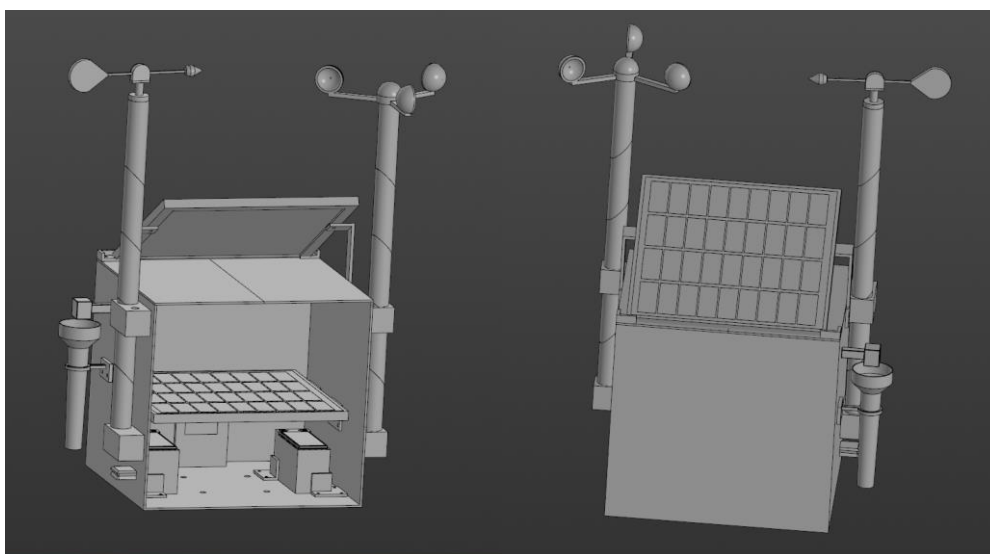


Рис. 2. 3D-модель программно-аппаратного комплекса

После создания и производства необходимых расчетно-конструкторских работ была произведена сборка прототипа с использованием аддитивных технологий и лазерного станка с численно-программным управлением.

Для визуализации значений из базы данных, полученных с датчиков, был разработан Web-сайт. На него выводятся последние значения, которые считались с датчиков и по ним уже выстраивается график зависимости значения и времени (рис. 3).

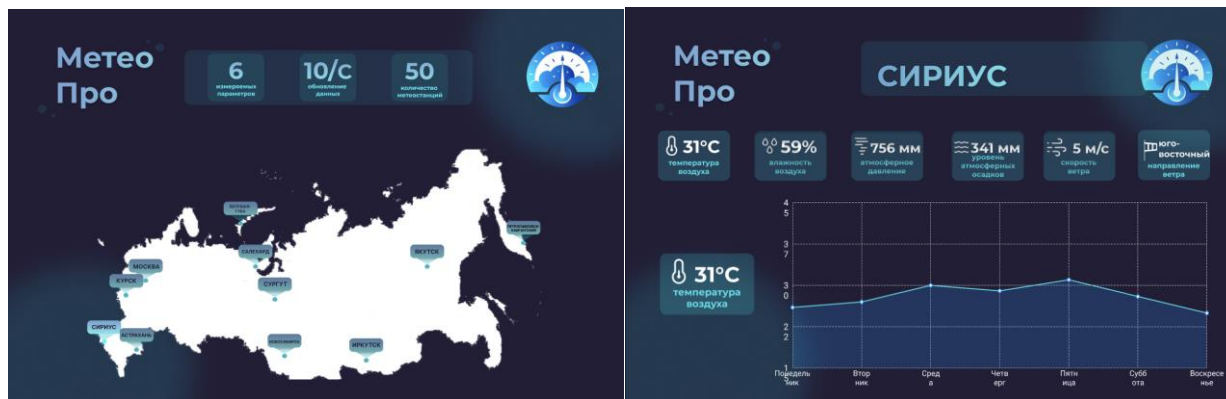


Рис. 3. Дизайн сайта

Работа над проектом не завершается, в дальнейшем планируется разработка мобильного приложения под управлением операционной системой Android, для этого был разработан дизайн в графическом редакторе Figma (рис. 4).

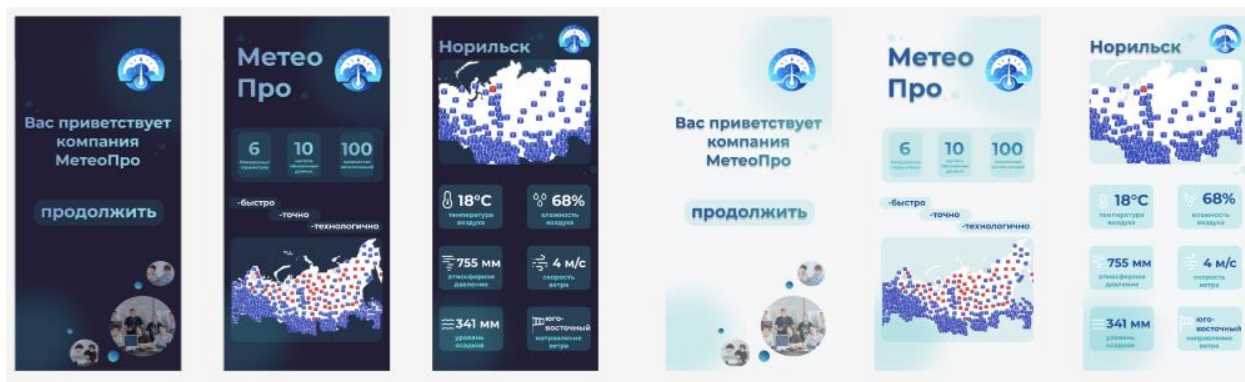


Рис. 4. Дизайн мобильного приложения

Так же для дальнейшей обработки данных и возможного прогнозирования погоды планируется разработка математической модели (нейронной сети), для ее обучения необходимо иметь данные в изучаемом регионе в течении 25 лет.

Использованные источники:

1. Соммер У. Программирование микроконтроллерных плат Arduino/Freeduino: Пер. с нем. - 2-е изд., перераб. и доп. - СПб.: БХВ-Петербург, 2016. -256 с.
2. Козлов В.Н. Электрические методы искусственного регулирования осадков дисс.. д-ра техн.: 25.00.30 / В.Н. Козлов. - Санкт-Петербург, 2013. - 202 с.
3. Карвинен Т., Карвинен К., Валтокари. Т. Make: Sensors: A Hands-On Primer for Monitoring the Real World with Arduino and Raspberry Pi, 2016. 448 с.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОПУЛЯРИЗАЦИИ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ В ДОПОЛНИТЕЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ

Афанасьев Д.Б.

ГБОУДО «Дворец творчества детей и молодежи имени А.П. Гайдара», г. Москва
afanasyevdb@dtgaidar.ru

В современном мире дополнительное образование становится всё более актуальным и востребованным. Оно позволяет не только углубить знания по определённым предметам, но и развить навыки, которые будут полезны в будущей профессии. В данной статье уделено внимание использованию различных информационных технологий на занятиях, чтобы сделать процесс обучения более интересным и эффективным.

Ключевые слова: информационные технологии в образовании, дополнительное образование, атомная отрасль, популяризация атомной отрасли

INFORMATION TECHNOLOGY AS A TOOL FOR PROMOTING THE NUCLEAR INDUSTRY IN ADDITIONAL EDUCATION

Afanasev D.B.

SBEIAE “The palace of creativity of children and youth of A.P. Gaidar”, Moscow

In the modern world, additional education is becoming increasingly relevant and in demand. It not only allows for a deeper understanding of specific subjects but also helps develop skills that will be useful in future professions. This article focuses on the use of various information technologies in classes to make the learning process more engaging and effective.

Keywords: information technologies in education, additional education, nuclear industry, promotion of the nuclear industry.

Одной из областей, которую автор популяризирует среди своих учеников, является атомная отрасль. Эта сфера вызывает большой интерес у подрастающего поколения, и для её освещения используются все доступные средства, чтобы подчеркнуть значимость и перспективы развития данной отрасли.

На занятиях активно используются информационные технологии для моделирования различных процессов, связанных с атомной энергетикой. Создаются виртуальные модели атомных станций, изучаются принципы работы реакторов и системы безопасности. Это позволяет ученикам лучше понять, как функционирует атомная энергетика, и какие меры безопасности принимаются для предотвращения аварий.

Кроме того, разработан кейс, связанный с созданием роботов, которые могут быть использованы для поиска радиации и мониторинга окружающей среды. Это не только способствует развитию навыков программирования и робототехники, но и позволяет лучше понять, как можно применять технологии для решения актуальных задач.

Проводятся виртуальные экскурсии на атомные станции, подготовленные АО «Концерн Росэнергоатом» (Нововоронежская и Ленинградская АЭС) и на другие объекты атомной отрасли. Это позволяет ученикам увидеть, как работают специалисты в этой области, и понять, какие требования предъявляются к работникам атомных предприятий.

Для популяризации атомной отрасли используются интернет-ресурсы информационных центров по атомной энергии (<https://myatom.ru>): участие в атомных уроках, игры, викторины и многое другое.

Важным аспектом работы является знакомство с предприятиями атомной отрасли. Изучаются предприятия ГК Росатома, профессии, требования к сотрудникам и о

возможностях карьерного роста в атомной отрасли, тем самым помогает ученикам лучше понять, какие навыки и знания им нужно развивать, чтобы стать успешными специалистами в данной области науки.

Использование информационных технологий на занятиях позволяет сделать процесс обучения более интерактивным и увлекательным. Ученики могут не только получать знания, но и применять их на практике, создавая собственные проекты и решения. Это способствует развитию творческого мышления, умения работать в команде и решать сложные задачи.

Существует множество источников информации, которые помогают оставаться в курсе последних событий и достижений. Одним из таких ресурсов является отраслевая газета «Страна Росатом» (<https://strana-rosatom.ru>), где публикуются актуальные новости, аналитические материалы и интервью с экспертами. Кроме того, для более наглядного знакомства с атомной отраслью можно посмотреть репортажи, где рассказывается о работе предприятий, инновационных разработках и людях, которые стоят за успехами отрасли.

Популяризация атомной отрасли среди молодёжи является важной задачей, которую необходимо решать уже сегодня. Использование информационных технологий позволяет сделать этот процесс более эффективным и интересным для учеников. Дополнительное образование с использованием информационных технологий по атомной отрасли открывает новые возможности для ее популяризации. Можно не только рассказать о её значимости и перспективах развития, но и показать, как можно использовать технологии для решения актуальных проблем и создания новых решений.

Используемые источники:

1. Атомная энергия сегодня: перспективы развития и роль информационных технологий / Под ред. В.А. Сидоренко. — М.: ФГУП «Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами», 2023.
2. Зарицкий В. И., Герасименко В. В., Горин Н. Ю. и др. Информационные технологии в управлении безопасностью атомных станций // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. — 2011. — № 4. — С. 156–164.
3. Атомная энергетика: учебное пособие / Под ред. В.И. Кузнецова. — М.: Издательство МЭИ, 2003.
4. Информационные технологии в образовании: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Е. В. Баранова, В. В. Гринберг, О. П. Глушков и др.; Под ред. Е. В. Барановой. — М.: Издательский центр «Академия», 2008.
5. Автономная некоммерческая организация «Информационный центр атомной отрасли» (АНО «ИЦАО») [Электронный ресурс]: URL: <https://myatom.ru> (дата обращения: 16.01.2025)
6. Отраслевое издание госкорпорации «Росатом» [Электронный ресурс]: URL: <https://strana-rosatom.ru> (дата обращения: 16.01.2025)

ИНТЕГРАЦИЯ CAD И PLM-СИСТЕМ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

^{1,2} Горбатов И.В., ² Курсевич Е.А., ^{1,2} Абраменко Ю.С.

¹ ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

² ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челяб. обл.

Аннотация Данная статья посвящена оптимизации и автоматизации рабочих процессов, связанных с управлением данными и документацией для технологов-программистов на примере отечественных САПР T-flex Docs и SprutCAM.

Ключевые слова: CAD- системы, PLM- система, САПР

INTEGRATION OF CAD AND PLM SYSTEMS TO OPTIMIZE THE LEARNING PROCESS

^{1,2} Gorbatov I.V., ² Kursevich E.A., ^{1,2} Abramenko Y.S./

¹ Snezhinsk Institute of Physics and Technology, National Research Nuclear University
MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute),

² FSUE "RFNC-VNIITF named after Academician E.I. Zababakhin", Chelyabinsk region,
Snezhinsk

Abstract. This article is devoted to the optimization and automation of workflows related to data management and documentation for software engineers using the example of domestic CAD systems T-flex Docs and SprutCAM.

Keywords: CAD systems, PLM system, CAD

Введение Современное машиностроительное производство предъявляет все более высокие требования к эффективности и производительности технологических процессов. Это касается не только непосредственно обработки деталей на станках с ЧПУ, но и сопутствующих рабочих процессов, таких как управление данными и документацией. В условиях постоянно растущей номенклатуры выпускаемых изделий и усложнения конструкций деталей, перед технологами-программистами стоит задача быстрого и точного формирования управляющих программ. При этом важно не только создать высокоэффективную управляющую программу, но и обеспечить ее надлежащее оформление и архивацию в соответствии с требованиями производства.

Рассмотрим общую последовательность работы в САМ-системах, описанную в работах [1,4,5]:

1. Выбор типа оборудования. Пользователь выбирает тот станок, на котором будет производиться обработка.

2. Импорт геометрии. Пользователь импортирует 3D-модель детали, которую необходимо обработать, обычно полученную из CAD - системы.

3. Проектирование обработки. На этом этапе проектируется технологический процесс обработки, выбираются необходимые режущие инструменты и оснастка из библиотек, встроенных в САМ-систему.

4. Выбор постпроцессора. Пользователь выбирает соответствующий постпроцессор для конкретного станка, который преобразует данные о траекториях движения инструмента в управляющую программу для станка с ЧПУ.

5. Формирование управляющей программы. В результате этих действий САМ-система генерирует файл управляющей программы, готовый для передачи на станок.

В работах [2-3] подробно описывается функциональность отечественных САМ систем. Важной особенностью САМ-системы SprutCAM является то, что она работает автономно на компьютере пользователя, без необходимости сетевого подключения. Это имеет как преимущества, например, в плане защиты конфиденциальных данных, так и недостатки, такие как необходимость синхронизации библиотек инструментов, оснастки и постпроцессоров между всеми рабочими местами. Данная особенность должна быть учтена при интеграции SprutCAM в производственные процессы.

В данной работе рассмотрим некоторые способы настройки данной системы для оптимизации рабочих процессов.

Исследование Первый вопрос – это хранение всех необходимых вспомогательных файлов на сервере DOCs и их автоматическая выгрузка на компьютер пользователя при создании нового проекта SprutCAM через интерфейс DOCs. Создание нового проекта осуществляется с помощью кнопок в верхней части интерфейса. Таким образом создаётся новый объект в справочнике DOCs и к нему уже прикреплен шаблон файла SprutCAM с соответствующим станком. Так SprutCAM позволяет хранить непосредственно в файле проекта модель станка и это избавляет от необходимости выгружать на компьютер пользователя модели станков. Это удобно, так как модель станка – это набор файлов моделей рабочих органов и сам файл кинематики, в котором прописаны пути к моделям.

Файлы, хранящиеся в DOCs, должны обладать уникальными именами. Иначе система откажет в загрузке на сервер. Поэтому был написан макрос, который автоматически добавляющий к названию проекта фамилию пользователя. Если этого не достаточно - макрос можно легко дополнить, например, добавлением текущей даты.

Следующий этап - пользователь переходит на закладку «Архив файлов», где в папке поиска «Файлы деталей» собраны все 3Д-модели, хранящиеся на сервере (осуществляется поиск по типу файлов). Такие папки поиска настраиваются администратором DOCs достаточно быстро, но количество файлов моделей будет расти, понадобятся дополнительные фильтры для облегчения поиска. Перспективно ввести дополнительный параметр, содержащий код классификатора ЕСКД ОК 012-93.

Выбрав нужную модель детали, пользователю достаточно нажать кнопку «Отправить файл на диск ПК». Эта кнопка запускает макрос, который выгружает выбранный файл с сервера и копирует его в папку по умолчанию для импорта моделей SprutCAM. Если в перерывах между сеансами работы в SprutCAM, в файл модели на сервере будут внесены изменения, то тот же макрос в начале следующего сеанса работы обновит файлы на ПК пользователя, а SprutCAM при запуске предложит обновить модель.

Далее пользователь работает в SprutCAM. DOCs при этом можно свернуть или закрыть. В конце сеанса работы пользователь открывает DOCs и с помощью кнопки «Импорт УП» загружает готовый файл управляющей программы на сервер. В отличие от штатного способа загрузки файла на сервер, макрос по кнопке «Импорт УП» сразу ищет файл в нужной папке, отсекает возможность выбора «левого» файла (по расширению файла), загружает на сервер в папку, зарезервированную специально под файлы УП. Затем нажимает кнопку «Сохранить работу». Здесь использование макроса продиктовано следующим: в DOCs для сохранения объекта справочника Программа для станка с ЧПУ и для каждого файла, входящего в его состав необходимо отдельно прожимать кнопку «Сохранить». Часто объект справочника сохраняют, а файлы – нет. Файлы, таким образом, остаются на ПК пользователя и не загружаются на сервер. Для удобства пользователя в нижней части рабочей страницы DOCs выведены подсказки для работы с системой.

В данной статье показано, как на основе конкретных задач пользователя можно оптимизировать взаимодействие с PDM-системой посредством переработки базового интерфейса и применения средств автоматизации. В частности, сравнение "стокового" интерфейса для работы со справочником Документы, где хранятся программы для ЧПУ, с предложенным пользовательским интерфейсом, показывает значительное упрощение рабочих процессов.

Конечно, использование подобных интерфейсов не полностью устраняет необходимость изучения функционала T-flex DOCs, однако способствует постепенному осознанию удобства и необходимости применения данной PDM-системы в производственной деятельности.

Ключевыми преимуществами T-flex DOCs являются: широкий набор инструментов по настройке интерфейса рабочей страницы и представлений справочников, удобные средства настройки папок поиска, а также расширенные возможности автоматизации с помощью макросов, особенно при их редактировании через Visual Studio.

Основная идея при разработке рабочей страницы в DOCs заключается в минимизации времени, затрачиваемого пользователем на взаимодействие с системой, и исключении необходимости запоминания сложных алгоритмов. Все необходимые инструменты должны быть легко доступны на рабочей странице. Тестирование разработанного интерфейса в пяти студенческих группах подтвердило его эффективность, в результате чего было принято решение о выводе инструкций непосредственно на рабочую страницу.

Выводы Каждое улучшение в области управления данными имеют важное значение для повышения общей производительности и качества работы. Предоставление более простого доступа к необходимым ресурсам и упрощение процессов документирования способствуют более плавному и эффективному рабочему процессу. Предложенные решения демонстрируют значительный потенциал для оптимизации и автоматизации типовых задач, с которыми сталкиваются технологи-программисты в системах самостоятельного обслуживания.

Результаты данного исследования могут быть полезны специалистам в области разработки и внедрения программных решений для систем самостоятельного обслуживания, а также для специалистов, занимающихся управлением данными и документацией в промышленных и производственных средах.

Используемые источники:

1. Можегова, Ю. Н. Использование CAD/CAM-систем при разработке управляющих программ для станков с ЧПУ / Ю. Н. Можегова, Д. М. Девликамова // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2023. – № 3. – С. 134-136. – DOI 10.36652/0202-3350-2023-24-3-134-136. – EDN GWIYCG.

2. Ловыгин А. Обзор главных российских CAD/CAM-систем в 2023 г.: возможности, цены, импортозамещение. https://www.planetacam.ru/articles/russian_cam/obzor_glavnykh_rossiyskikh_cad_cam_sistem_v_2023.

3. Функциональные характеристики отечественных систем управления оборудованием с числовым программным управлением САМ-систем. Экспертно-аналитический доклад по состоянию на март 2024 года / А. И. Боровков, О. И. Рождественский, Е. И. Павлова [и др.]. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2024. – 188 с. – ISBN 978-5-7422-8573-1. – EDN FNFCUW.

4. Скрыбин, В. А. Рациональное использование САМ-систем при автоматизированном проектировании управляющих программ обработки деталей на станках с ЧПУ / В. А. Скрыбин // Техника машиностроения. – 2012. – № 1(81). – С. 20-22. – EDN RURSFH.

5. Демин, П. А. Разработка программного средства автоматизированной подготовки технологической документации на основе данных cam-системы / П. А. Демин // Информатика: проблемы, методология, технологии : Сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции: в 7 томах, Воронеж, 08–09 февраля 2018 года / Под редакцией Н. А. Тюкачева. Том 6. – Воронеж: Научно- исследовательские публикации, 2018. – С. 122-125. – EDN UZAOXM.

АНАЛИЗ ПОНЯТИЯ «УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА»

Губарева И.Г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Челябинск, Челябинская обл.

IGGubareva@mephi.ru

Аннотация. В статье представлен анализ понятия учебно-производственного комплекса на базе образовательных учреждений среднего профессионального образования. Представлена краткая характеристика основных задач, решаемых на базе учебно-производственных комплексов.

Ключевые слова: среднее профессиональное образование, учебно-производственный комплекс, профессиональная подготовка.

CREATION OF TRAINING AND PRODUCTION COMPLEXES BASED ON SPE – A TIME REQUIREMENT

Gubareva I.G.

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «South Ural State University (national research university)», Chelyabinsk

IGGubareva@mephi.ru

Annotation. The article presents an analysis of the problem of developing a system of scientific and industrial complexes on the basis of educational institutions of secondary vocational education. A brief description of the main problems solved on the basis of educational and industrial complexes is presented.

Key words: secondary vocational education, educational and industrial complex, vocational training.

Основные понятия:

Учебно-производственный комплекс (далее – УПК, комплекс) –

это производственный комплекс, обеспечивающий прохождение производственной практики студентов колледжа в учебно-производственных мастерских в соответствии с требованиями Федеральных Государственных образовательных стандартов по специальностям и профессиям среднего профессионального образования.

Организация учебно-производственного процесса играет ключевую роль в обеспечении качественного образования и подготовки студентов к профессиональной деятельности.

Учебный план - документ, который определяет перечень, трудоемкость, последовательность и распределение по периодам обучения учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), практики, иных видов учебной деятельности и, если иное не установлено Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации», формы промежуточной аттестации обучающихся.

Индивидуальный учебный план - учебный план, обеспечивающий освоение образовательной программы на основе индивидуализации ее содержания с учетом особенностей и образовательных потребностей конкретного обучающегося.

Образовательная деятельность - деятельность по реализации образовательных программ.

Профессиональное образование - вид образования, который направлен на приобретение обучающимися в процессе освоения основных профессиональных образовательных программ знаний, умений, навыков и формирование компетенции определенных уровня и объема, позволяющих вести профессиональную деятельность в

определенной сфере и (или) выполнять работу по конкретным профессиям или специальностям.

Образовательная программа - комплекс основных характеристик образования (объем, содержание, планируемые результаты) и организационно-педагогических условий, который представлен в виде учебного плана, календарного учебного графика, рабочих программ учебных предметов, курсов, дисциплин (модулей), иных компонентов, оценочных и методических материалов, а также в предусмотренных настоящим Федеральным законом от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» случаях в виде рабочей программы воспитания, календарного плана воспитательной работы, форм аттестации.

Профессиональное обучение - вид образования, который направлен на приобретение обучающимися знаний, умений, навыков и формирование компетенции, необходимых для выполнения определенных трудовых, служебных функций (определенных видов трудовой, служебной деятельности, профессий). Обучающийся - физическое лицо, осваивающее образовательную программу.

Организация учебно-производственного процесса играет ключевую роль в обеспечении качественного образования и подготовки студентов к профессиональной деятельности.

Подготовка квалифицированных специалистов является приоритетным направлением развития общества. На данный момент в нашей стране дефицит рабочих рук и профессионалов. Среднее профессиональное образование приобретает все большую значимость. И если мы хотим жить в развитом обществе, нам необходимо выпускать квалифицированных специалистов по всем основным направлениям общественно полезной деятельности в соответствии с потребностями общества и государства.

21 ноября 2022 года был подписан закон об учебно-производственных комплексах (УПК) при учреждениях среднего профессионального образования. Внесенные поправки к федеральному закону «Об образовании в Российской Федерации» устанавливают, что учебно-производственные комплексы создаются для практической подготовки обучающихся, предоставления временной работы студентам и выпускникам, а также для производства товаров, выполнения работ и оказания услуг с использованием материально-технической базы профессионального образовательного учреждения по профилю образовательных программ.

В целях организации деятельности учебно-производственного комплекса на базе СПО разрабатывается Положение об учебно-производственном комплексе (УПК).

Учебно-производственный комплекс является структурным подразделением учреждения СПО и служит основной базой обучения по профессиям и (или) специальностям профиля учреждения.

Положение об УПК разрабатывается в соответствии с нормативно-правовыми документами:

- Конституцией Российской Федерации;
- Гражданским кодексом Российской Федерации;
- Бюджетный кодекс Российской Федерации;
- Трудовой кодекс Российской Федерации;
- Федеральным законом Российской Федерации от 29.12.2012 №273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» (с изменениями и дополнениями);
- Законом Российской Федерации от 07.02.1992 №2300-1 «О защите прав потребителей» (с изменениями и дополнениями);
- Приказом Министерства просвещения РФ от 17 мая 2022 г. №336 «Об утверждении перечней профессий и специальностей среднего профессионального образования и установлении соответствия отдельных профессий и специальностей среднего профессионального образования, указанных в этих перечнях, профессиям и специальностям среднего профессионального образования, перечни которых утверждены приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 29 октября 2013 г. №1199 «Об

утверждении перечней профессий и специальностей среднего профессионального образования»;

- Приказом Министерства образования от 24.08.2022 г. №762 «Об утверждении порядка организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам среднего профессионального образования от 01 марта 2023 г.;

- Приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 01.07.2013 №499 «Об утверждении Порядка организации и осуществления образовательной деятельности по дополнительным профессиональным программам;

- Уставом и локальными нормативными актами учреждения СПО.

Положение об учебно-производственном комплексе определяет цель, задачи, основные направления деятельности, права и ответственность работников учебно-производственного комплекса государственного бюджетного профессионального образовательного учреждения.

Основная цель учебно-производственного комплекса – создание производственных участков для подготовки конкурентоспособных специалистов среднего звена и квалифицированных рабочих, служащих в соответствии с требованиями ФГОС СПО и работодателей.

Основные задачи учебно-производственного комплекса:

- приобретение практического опыта в рамках профессиональных модулей ОПОП СПО по каждому из видов профессиональной деятельности, предусмотренных ФГОС СПО по специальности, профессии;

- повышение эффективности использования учебно-производственных площадей и оборудования техникума;

- привлечение внебюджетных финансовых и материальных средств для обеспечения и совершенствования основной уставной деятельности техникума;

- повышение ответственности обучающихся и работников техникума за конечный результат своей работы, качество и эффективность труда.

В учебно-производственном комплексе могут осуществляться следующие виды деятельности (услуг):

- изготовление и реализация продукции структурных подразделений;

- иные услуги, не противоречащие законодательству Российской Федерации.

Учебно-производственный комплекс должен быть согласован с конкретной сферой обучения и потребностями студентов. Он предоставляет возможность сочетания теоретического обучения с практическим опытом, развивает профессиональные навыки и готовит студентов к реальным рабочим задачам. Очевидно, что система профессионального образования нуждается в пересмотре, так как появились новые требования к подготовке рабочих кадров.

Современный мир стоит на пороге перехода к информационной ступени своего развития, а сфера производства и услуг становятся более технологичными и требовательными к молодым специалистам. Успех учебно-производственного комплекса зависит от активной роли студентов в их собственном обучении. Студенты должны быть мотивированы и готовы активно участвовать в процессе, развивать навыки рефлексии и анализа, а также стремиться к постоянному профессиональному росту и обучению на протяжении всей своей карьеры.

Главным теперь является наряду с использованием приобретенных ранее знаний, умений и навыков, применение способности к самообразованию, саморазвитию и генерации новых идей.

Развитие образовательной инфраструктуры является одним из ключевых факторов устойчивого экономического роста. Страны, которые инвестируют в образование, имеют более высокий уровень экономического развития и жизни своих граждан. В данном случае, создание учебно-производственного комплекса на базе среднего профессионального образовательного учреждения является способом повышения качества подготовки специалистов и обеспечения их высокой конкурентоспособности на рынке труда. Создание

учебно-производственного комплекса позволяет усилить связь между образовательными учреждениями и предприятиями.

Библиографический список:

1. Государственная программа Российской Федерации «Развитие образования» на 2018 – 2025 годы, утв., постановлением Правительства Российской Федерации от 26 декабря 2017г. № 1642.
2. Лукичева, Л.И. Управление организацией. / Л.И. Лукичева. - М.: Омега, 2019. - 355с
3. Министерство Просвещения РФ: сайт. – URL: <https://edu.gov.ru/> – (дата обращения: 01.05.2023).
4. Федеральный закон о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации по вопросу поддержки социально ориентированных некоммерческих организаций от 08.04.10: принят Государственной Думой от 8 декабря 1995 года [Электронный ресурс] URL – <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=364517> (дата обращения 12.12.2022)

ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ КОМПЕТЕНЦИЙ МОЛОДЕЖИ С ПОМОЩЬЮ КОНСТРУКТОРА ПРОЕКТНОЙ РАБОТЫ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ КЛАССОВ РОСАТОМА

Жилина В.С., Певнева Н.А., Попова А.И.

ФГБОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.

Аннотация. В статье рассказывается об учебно-методическом комплексе «Конструктор проектной работы», направленном на развитие проектных компетенций у школьников старших классов и студентов, ориентированных на работу в атомной отрасли. Учебно-методический комплекс включает методическое пособие для педагогов, рабочую тетрадь и дневник проекта для учащихся. Основной акцент сделан на интеграции проектного подхода в образовательный процесс, что способствует формированию у молодежи навыков, необходимых для решения сложных технических задач.

Ключевые слова: проектные компетенции, атомная отрасль, инженерные классы, проектное обучение, инновационное мышление, учебно-методический комплекс, Росатом, СФТИ НИЯУ МИФИ.

AN INNOVATIVE APPROACH TO THE FORMATION OF YOUNG PEOPLE'S DESIGN COMPETENCIES WITH THE HELP OF THE DESIGNER OF THE PROJECT WORK FOR ROSATOM ENGINEERING CLASSES

Zhilina V.S., Penveva N.A., Popova A.I.

Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPHI, Chelyabinsk region

Annotation. The article describes the educational and methodological complex «Designer of the project work», aimed at developing design competencies among high school students and students focused on working in the nuclear industry. The educational and methodical complex includes a methodical manual for teachers, a workbook and a project diary for students. The main focus is on integrating the project approach into the educational process, which helps young people develop the skills necessary to solve complex technical problems.

Keywords: design competencies, nuclear industry, engineering classes, project training, innovative thinking, educational and methodological complex, Rosatom, SFTI NRU MEPHI.

Атомная отрасль остаётся одной из стратегически важнейших сфер российской экономики, требующей постоянного притока квалифицированных специалистов, которые обладают не только глубокими теоретическими знаниями, но и практическими навыками проектной деятельности. Современные образовательные программы зачастую не обеспечивают достаточный уровень подготовки учащихся к решению комплексных задач, что приводит к дефициту кадров, способных эффективно работать в высокотехнологичных отраслях.

Для преодоления данной проблемы разработан учебно-методический комплекс «Конструктор проектной работы», который предлагает инновационный подход к развитию проектных компетенций у молодежи. В рамках методики все этапы проектной деятельности – от формулирования идеи до презентации результатов – фиксируются в рабочей тетради, а ход работы записывается в специальном дневнике проекта. Методология, лежащая в основе комплекса, предполагает активное вовлечение учащихся в процесс самостоятельного

исследования и решения практических задач, а его модульная структура позволяет адаптировать программу под различные образовательные форматы и уровни подготовки.

Особое внимание в методике уделяется роли студентов в качестве наставников. Такой подход не только структурирует исследовательский процесс, но и позволяет самим студентам углубить понимание принципов проектного управления на практическом уровне. В 2024/25 учебном году применение метода «Конструктор проектной работы» открыло возможность для обучающихся инженерных классов партнерских школ под руководством студентов вуза провести исследование факторов, влияющих на выбор абитуриентами СФТИ НИЯУ МИФИ. Методика охватывала весь цикл проекта: от выявления проблемы с использованием диаграммы Исикавы до финальной защиты работы.

На этапе формулирования вопросов исследовательская группа провела квотирование идей, стимулируя участников к выдвижению как можно большего количества предложений по организации опроса среди как местных, так и иногородних студентов. С помощью матрицы выбора идеи были оценены различные варианты исследования с точки зрения их реализуемости, затрат времени и потенциальной эффективности, что позволило выбрать наиболее оптимальные методы для дальнейшей работы. В итоге была разработана и проведена серия опросов среди студентов 1–2 курсов специальностей «Ядерная физика и технологии» и «Боеприпасы и взрыватели», поскольку именно по этим направлениям обучается наибольшее число высокобалльных абитуриентов.

Для выявления потенциальных препятствий была составлена матрица рисков, в которой оценивались возможные негативные исходы, например, низкая отзывчивость респондентов, и разрабатывались меры по их минимизации, такие как адресное информирование студентов посредством Центра карьеры СФТИ НИЯУ МИФИ. Основным результатом проекта стала аналитическая работа, построенная на обработке собранных данных, в том числе результатов проведенного опроса. Исследовательская группа школьников, под руководством студентов-наставников, успешно прошла этапы предзащиты и защиты проекта, представляя промежуточные итоги исследования и получая ценную обратную связь от экспертов. Весь процесс сопровождался фиксированием прогресса, возникающих вопросов и принятых решений в Дневнике проекта.

Комплекс «Конструктор проектной работы» был отмечен как один из победителей Акселератора социальных проектов НИЯУ МИФИ и Росатома-2024, а его материалы размещены в открытом доступе¹ на сайте СФТИ НИЯУ МИФИ. Применение методики «Конструктор проектной работы для инженерных классов Росатома» доказало свою эффективность в проведении исследовательских проектов: структурированный подход, последовательное разбиение сложной задачи на этапы и использование конкретных инструментов, включая разработку и анализ опроса, позволили не только получить ценные данные о мотивации абитуриентов, но и на практике закрепить навыки проектного управления у студентов-исследователей.

Использованные источники:

1. Конструктор научно-исследовательского проекта: методическое пособие / А.И. Попова, Н.А. Певнева; под редакцией О.В. Линник. - М.: НИЯУ МИФИ; Снежинск: СФТИ НИЯУ МИФИ, 2024. – 80 с.
2. Подведены итоги суперфинала Акселератора образовательных проектов Росатома: 7 представленных проектов будут реализованы уже в следующем году // АТОМ Медиа : официальный сайт. –URL: [https://atommedia.online/2023/12/22/podvedeny-itogi-superfinala-akseler/?ysclid=lqklj3d2jl13994796](https://atommedia.online/2023/12/22/podvedeny-itogi-superfinala-akseler/) (дата обращения: 20.03.2020).

¹ <https://www.sphti.ru/центр-проектной-деятельности/>

**РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КУРСА ESP В ОБУЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЕ
«ИНОСТРАННЫЙ ЯЗЫК В ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ» БУДУЩИХ
СПЕЦИАЛИСТОВ ИТ-СФЕРЫ**

Захарова О.О.

*Трехгорный технологический институт – филиал ФГАОУ ВО «Национальный
исследовательский ядерный университет «МИФИ», Челябинская обл.
osja90@bk.ru*

В статье рассматривается вопрос о необходимости внедрения подхода ESP в процесс преподавания дисциплины «Иностранный язык в профессиональной деятельности». Автор отмечает важность разработки курса английского языка, соответствующего профессиональным интересам студентов технического вуза и их уровню владения языком, и описывает особенности разработанного курса для студентов, будущих специалистов в IT-сфере. Обозначаются педагогические условия результативного внедрения рассмотренного курса.

Ключевые слова: иностранный язык, ESP, студенты технического вуза, цифровые образовательные инструменты, профессионально-коммуникативные языковые умения.

**DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ESP COURSE IN TEACHING THE
DISCIPLINE «FOREIGN LANGUAGE IN PROFESSIONAL ACTIVITY» TO FUTURE IT
SPECIALISTS**

Zakharova O.O.

*Tryokhgornyy Technological Institute – a branch of Federal State Autonomous Educational
Institution of Higher Education «National Research Nuclear University «MEPhI», Chelyabinsk
Region
osja90@bk.ru*

The article discusses the issue of the necessity to implement the ESP approach in the process of teaching the discipline «Foreign language in professional activity». The author outlines the importance of developing the English language course that meets the professional interests of engineering students and their level of language proficiency, and describes the features of the developed course for students – future specialists in IT sphere. The pedagogical conditions for the effective implementation of the considered course are outlined.

Keywords: foreign language, ESP, engineering students, digital educational tools, professional and communicative language skills.

Обучение дисциплине «Иностранный язык в профессиональной деятельности» играет значимую роль в процессе профессионального становления будущего инженера, работающего на благо атомной отрасли. Актуальным подходом к организации процесса работы студента технического вуза по иностранному языку является ESP (обучение английскому для специальных целей). Целью работы в контексте ESP выступает развитие коммуникативных способностей и умений обучающихся, способствующих их результативному профессиональному взаимодействию [4]. Как отмечает Н.В. Дерина и соавт., традиционные способы обучения иностранному языку базируются на презентации студенту блоков грамматического материала и лексических единиц, работе с текстом и исключают активную коммуникативную функцию языка [2]. Подход ESP предполагает выбор коммуникативной ситуации, сообразной сфере будущей профессиональной деятельности обучающегося.

Согласно Г.А. Гурбановой, Б.Дж. Гельдыевой, Б.Б. Овезбердиеву, материалы, изучаемые в рамках ESP, выступают базой подготовки студентов к профессиональной деятельности и обогащают их по соответствующему профилю [1].

Анализ учебно-методических пособий российских авторов показывает, что многие материалы не в полной мере соответствуют современным требованиям, предъявляемым к языковой подготовке студентов-будущих инженеров в IT-сфере (тексты не отражают профессиональные интересы обучающихся, отсутствует достаточное количество коммуникативных упражнений, нет аудиоприложений). Учебники зарубежных авторов включают необходимые контрольные упражнения и аудиозаписи, но также содержат неактуальный текстовый материал, который не отражает тенденции быстро развивающейся IT-отрасли. Опираясь на проблему, связанную с необходимостью актуализации материала для обучения английскому языку будущих инженеров, обозначим цель настоящего исследования, которая заключается в разработке ESP-курса для студентов-инженеров в IT-сфере, отвечающего их профессиональным потребностям, уровню владения языком (B1) и способствующего развитию комплекса англоязычных навыков, обеспечивающих их успешную коммуникацию для решения профессиональных задач.

В процессе разработки курса английского языка для профессиональных целей стоит упомянуть исследование К.М. Иноземцевой, Н.О. Труфановой и А.К. Крупченко, в котором обозначены составляющие профессионально-коммуникативных языковых умений (устная интерпретация графической информации, составление технических спецификаций, отчетов, презентация сообщений и докладов в деловой среде) и качеств (ценностное отношение к профессии, соблюдение профессиональной этики, системное мышление) [3]. Развитию обозначенных умений и личностных качеств способствует ESP-курс, разработанный в контексте настоящего исследования и предполагающий активную практику языка в разных видах речевой деятельности при создании профессионально-направленных коммуникативных ситуаций.

Обратимся к краткой характеристике разработанного курса английского языка, ориентированного на организацию работы студентов-третьекурсников, обучающихся по специальности «Применение и эксплуатация автоматизированных систем специального назначения». Данный курс рассчитан на один семестр и включает пять тематических разделов, связанных со сферой будущей профессиональной деятельности студентов: «The world of IT: its history and trends», «Managing electronic documents», «Cybercrimes and data security», «Web development», «The Future of IT». Содержательной основой построения материалов курса выступают репродуктивные и речевые упражнения, созданные на основе текстов из учебных пособий, размещенных на платформах Лань, Юрайт, аудитивных материалов (Lingua House, Breaking News English), видеолекций TedEd и TED Talks. Особенностью методической работы в рамках курса выступает комплекс лексических упражнений, предполагающих прочное закрепление материала студентом, и система кейсов, направленных на организацию работы студентов в группе и поиск решения ситуации, связанной с IT-сферой.

Разработанный курс был апробирован в процессе организации аудиторной работы со студентами-третьекурсниками на базе ТТИ НИЯУ МИФИ. На начальном этапе методического эксперимента была осуществлена входная диагностика уровня сформированности профессионально-коммуникативных языковых умений студентов на основе тестовых заданий, речевых упражнений и кейсов. Входной срез продемонстрировал необходимость организации работы студентов при внедрении подхода ESP, поскольку большинство обучающихся показали низкий (34%) и средний (35%) уровни сформированности рассматриваемых умений. На формирующем этапе была организована работа, направленная на изучение студентами обозначенных выше тематических разделов. Основной акцент был сделан на прочное закрепление студентами профессионально-направленных лексических единиц. Для решения этой задачи применялся комплекс упражнений, разработанных на основе мнемотехнических приемов, флеш-карточек и цифровых ресурсов. Студентам также предлагались кейсы, связанные с применением английского языка для решения квазипрофессиональных ситуаций.

Например, *Create a list of requirements for an online order system of a book / clothes / technical devices shop. Draw a flow chart.* Итоговый этап работы нацелен на проведение повторной диагностики, результаты, которой позволили констатировать об эффективности проведенной работы со студентами. Количество обучающихся с низким уровнем сформированности профессионально-коммуникативных языковых умений уменьшилось на 23%.

Обозначим, что педагогическими условиями организации работы со студентами на основе разработанного ESP-курса выступили следующие:

- коммуникативные (фасилитативная поддержка студента в ходе работы, заключающаяся в создании благоприятной атмосферы занятий, стимулировании иноязычной коммуникации студентов, поддержке их субъектной позиции при оказании помощи в освоении материала);
- технологические (активное внедрение в курс цифровых образовательных инструментов (Quizlet, WordWall, Learning Apps, Interacty), стимулирующих вовлеченность студентов в работу и развивающих цифровую грамотность будущих специалистов IT-сферы);
- методические (реализация в обучении метода скаффолдинг, предполагающего создание лексико-грамматических и речевых опор в зоне ближайшего развития студента с постепенным их устранением по мере развития формируемого умения).

В заключении обозначим, что подход ESP должен выступать ведущей ориентацией разработки курса английского языка для студентов технических специальностей, поскольку демонстрирует значимость владения языком для решения профессиональных ситуаций при развитии профессионально-коммуникативных языковых умений обучающихся.

Использованные источники:

1. Гурбанова, Г. А., Гельдыева, Б. Дж., Овезбердиев, Б. Б. Особенности преподавания профессионального английского языка для инженера / Г. А. Гурбанова, Б. Дж. Гельдыева, Б. Б. Овезбердиев // Структурные преобразования экономики территорий: в поиске социального и экономического равновесия: сб. научных статей по материалам VII Международной научно-практической конференции (Уфа, 3 января 2022). – Уфа: Издательство: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2022. – С. 69-74.
2. Дерина, Н. В., Великанов, В. С., Гришин, И. А., Морева, Ю. А., Хамидулина, Д. Д. ESP как инструмент формирования культуры профессионального становления магистров направления «технологические машины и оборудование» / Н. В. Дерина, В. С. Великанов, И. А. Гришин, Ю. А. Морева, Д. Д. Хамидулина // Вестник Томского государственного университета. – 2023. – № 486. – С. 194-202.
3. Иноземцева, К. М., Труфанова, Н. О., Крупченко, А. К. Модель повышения квалификации преподавателя иностранного языка технического вуза / К. М. Иноземцева, Н. О. Труфанова, А. К. Крупченко // Высшее образование в России. – 2019. – Т. 28. – № 1. – С. 147-158.
4. Поскребышева, Т. А. Достижение положительных результатов в процессе ESP обучения в вузе / Т. А. Поскребышева // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 1. – С. 119-123.

ПРОБЛЕМА ФОРМИРОВАНИЯ ГИБКИХ НАВЫКОВ У ШКОЛЬНИКОВ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБЩЕСТВА

Карчугина Е.Н., Никитина Т.В.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.*

В статье обосновывается актуальность проблемы формирования мягких навыков у учащихся основной и средней школы. Приводится авторское решение проблемы формирования коммуникативных навыков и навыков сотрудничества на внеурочном занятии, посвященном изучению смартфона. Разработанное занятие состоит из двух частей: интеллектуальный квест с построением интеллект-карты, дебаты о применении смартфона в образовательных целях.

Ключевые слова: гибкие навыки, мягкие навыки, универсальные компетенции, метапредметные результаты обучения, смартфон в учебном процессе

THE PROBLEM OF FORMING FLEXIBLE SKILLS AMONG SCHOOLCHILDREN IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF SOCIETY

Karchugina E.N., Nikitina T.V.

*FSBEI HE "Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research
Nuclear University MEPhI", Chelyabinsk Region*

The article substantiates the relevance of the problem of soft skills formation in primary and secondary school students. The author's solution to the problem of developing communication and collaboration skills in an extracurricular lesson dedicated to studying a smartphone is given. The developed lesson consists of two parts: an intellectual quest with the construction of an intelligence map, debate about the use of smartphones for educational purposes.

Keywords: flexible skills, soft skills, universal competencies, metasubject learning outcomes, smartphone in the learning process

Цифровая среда оказывает значительное влияние на все сферы жизни, включая образовательный процесс в школе и открывает новые перспективы для развития образования. Но вместе с тем она влечет за собой риски и вызовы, с которыми сталкиваются и школьники, и учителя. Для продуктивной деятельности в условиях цифровой среды необходимы гибкие навыки: критическое мышление, креативность, коммуникация, кооперация, эмоциональный интеллект, рефлексия и самоконтроль, лидерские качества и др. Кроме того, гибкие навыки – важный компонент метапредметных образовательных результатов [1].

Формы, методы и средства формирования гибких навыков активно обсуждаются в научно-педагогическом сообществе, ведется изучение и внедрение эффективных образовательных практик в школьное образование. Целью нашего исследования является процесс формирования навыков коммуникации и сотрудничества у учащихся основной и средней школы. Для достижения поставленной цели нами была изучена научно-педагогическая литература по данной проблеме, разработано внеурочное двухчасовое занятие, включающее интеллектуальный квест и дебаты, проведена первоначальная апробация занятия в студенческой группе.

В процессе обсуждения вопросов, связанных с мобильными технологиями, школьники открывают для себя не только новые горизонты знаний, но и совершенствуют навыки коммуникации и командной работы [2]. Выполняя задания квеста, они развивают уверенность в себе и умение быстро принимать решения, что, безусловно, отразится на их будущем. При решении заданий квеста учащиеся знакомятся с устройством смартфона, его функциями, а именно: знакомятся с составляющими компонентами смартфона, способами и средствами

общения, анализируют понятие «карманная лаборатория» и др., используя в том числе и сам смартфон для этого. Результатом учебно-познавательной деятельности является интеллектуальная карта «Как работает смартфон?».

Второй частью предлагаемого нами занятия являются дебаты. Перед учащимися ставится задача убедить аудиторию в правильности своей позиции, а именно: «смартфон на уроке физики и математики – это хорошо или плохо?». В ходе дебатов учащиеся должны прийти к выводу, что использование смартфонов в разумных пределах может принести значительную пользу. Однако чрезмерная увлеченность гаджетами и неконтролируемый доступ к Интернету могут пагубно отразиться на социальных навыках, а также затормозить умственное и физическое развитие. Важно найти «золотую середину»: позволить технологиям служить верными помощниками в обучении и развитии, но не допускать, чтобы они стали основой мотивации к деятельности.

Таким образом, понимание принципов работы смартфона как устройства наряду с принципами его применения как средства для общения и работы с информацией в современном мире стало неотъемлемой частью образованного человека. По нашему мнению, каждый школьник просто обязан разбираться в этих вопросах. Цифровизация неизбежно проникает в жизнь общества. С одной стороны, она может стать мощным катализатором личностного роста, формируя новое поколение, способное гибко адаптироваться к изменениям и успешно преодолевать вызовы современности. С другой стороны, она несёт в себе риски, которые необходимо понимать. Гибкие навыки делают школьника более уверенным в себе, помогают отстаивать свою позицию и эффективно взаимодействовать с окружающими.

Использованные источники:

1. Ермаков, Д. «Гибкие» навыки в школьном образовании / Д. Ермаков. // Народное образование. – 2020. - № 5. – С. 165-172.
2. Хачатурьянц, В. Развитие навыков soft skills у школьников на уроках биологии при изучении раздела «Человек и его здоровье» / В. Хачатурьянц, А. Теремова. // Наука и школа. – 2021. - № 4. – С. 149-160.

БИТВА ГИГАНТОВ И НИШЕВЫХ ИГРОКОВ: УРОКИ SMM ДЛЯ ВУЗОВ ОТ УРАЛЬСКИХ ФИЛИАЛОВ НИЯУ МИФИ

Линник О.В., Певнева Н.А.

*ФГБОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Аннотация

В статье представлен сравнительный анализ активности ведущих вузов Уральского федерального округа (УрФУ, ЮУрГУ, МГТУ) и филиалов МИФИ в регионе (СФТИ, ТТИ, ТИ, ОТИ, НТИ) в социальной сети ВКонтакте. На основе данных о количестве подписчиков, публикациях, просмотрах и вовлеченности (ERpost, VRpost, LR) определены ключевые тенденции и сильные стороны разных образовательных организаций. Выявлены наиболее эффективные стратегии контент-маркетинга и предложены рекомендации по повышению вовлеченности и расширению охвата. Особое внимание уделено анализу причин более низкой вовлеченности в крупных вузах по сравнению с филиалами.

Ключевые слова: социальные сети, ВКонтакте, Уральский федеральный округ, вузы, вовлеченность, контент-маркетинг, анализ данных

A BATTLE BETWEEN GIANTS AND NICHE PLAYERS: SMM LESSONS FOR UNIVERSITIES FROM URAL BRANCHES MEPHI

Linnik O. V., Pevneva N.A.

*Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPHI,
Chelyabinsk region*

Annotation

The article presents a comparative analysis of the activity of the leading universities of the Ural Federal District (UrFU, SUSU, MSTU) and branches of MEPHI in the region (SFTI, TTI, TI, OTI, NTI) in the social network VKontakte. Based on data on the number of subscribers, publications, views, and engagement (ERpost, VRpost, LR), key trends and strengths of various educational organizations have been identified. The most effective content marketing strategies have been identified and recommendations for increasing engagement and expanding reach have been proposed. Special attention is paid to the analysis of the reasons for the lower involvement in large universities compared to branches.

Keywords: social networks, VKontakte, Ural Federal District, universities, engagement, content marketing, data analysis

Социальные сети, и, в частности, ВКонтакте, стали неотъемлемой частью коммуникационной стратегии образовательных учреждений. Они служат платформой для взаимодействия со студентами, абитуриентами, выпускниками и потенциальными партнерами, способствуют продвижению образовательных программ, формированию имиджа вуза и привлечению талантливой молодежи. ВКонтакте, как одна из самых популярных социальных сетей в России, предоставляет широкие возможности для таргетированного взаимодействия с целевой аудиторией.

В условиях высокой конкуренции в сфере образования, эффективное использование социальных сетей становится критически важным для привлечения и удержания внимания потенциальных студентов. Анализ текущей активности вузов в социальных сетях позволяет выявить сильные и слабые стороны их стратегий, определить наиболее перспективные направления развития и разработать рекомендации для повышения эффективности SMM-кампаний.

Цель данного исследования — выявить основные факторы, влияющие на вовлеченность подписчиков крупных вузов и филиалов МИФИ в Уральском федеральном округе, формирующими более узкое тематическое сообщество, а также предложить практические решения для повышения активности аудитории.

Объектами исследования выступили:

1. Крупные вузы Уральского федерального округа:
 - УрФУ (Уральский федеральный университет²)
 - ЮУрГУ (Южно-Уральский государственный университет³)
 - МГТУ (Магнитогорский государственный технический университет⁴)
2. Филиалы МИФИ:
 - СФТИ (Снежинский физико-технический институт НИЯУ МИФИ⁵)
 - ТТИ (Трехгорный технологический институт НИЯУ МИФИ⁶)
 - ТИ (Технологический институт НИЯУ МИФИ, г. Лесной⁷)
 - НТИ (Новоуральский технологический институт НИЯУ МИФИ⁸)
 - ОТИ (Озерский технологический институт НИЯУ МИФИ⁹)

Для анализа были использованы следующие метрики:

- Количество подписчиков: Общее количество подписчиков в сообществе.
- Количество публикаций: Общее количество опубликованных постов за рассматриваемый период.
- Лайки, репосты, комментарии и просмотры: Показатели вовлеченности аудитории для каждого поста.
- Средние показатели на пост: Среднее количество лайков, репостов, комментариев и просмотров на один пост.
- Коэффициенты вовлеченности:
 - ERpost (Engagement Rate per Post): Отношение суммы лайков, репостов и комментариев к общему количеству подписчиков, выраженное в процентах.
 - VRpost (View Rate per Post): Отношение просмотров поста к общему количеству подписчиков, выраженное в процентах.
 - LR (Like Rate): Отношение количества лайков к общему количеству подписчиков, выраженное в процентах.
 - TR (Talk Rate): Отношение количества комментариев к общему количеству подписчиков, выраженное в процентах.

Сбор данных проводился с использованием сервиса SMM аналитики Popsters¹⁰, с использованием Информационно-аналитических материалов по результатам проведения мониторинга эффективности деятельности образовательных организаций высшего образования 2024 года¹¹.

Период анализа - 01.02.2024 - 18.02.2025.

² <https://vk.com/ural.federal.university>

³ <https://vk.com/susu4you>

⁴ <https://vk.com/nmstu>

⁵ https://vk.com/sfti_edu

⁶ https://vk.com/v_tti_mifi

⁷ <https://vk.com/mephi3>

⁸ https://vk.com/nti__mephi

⁹ https://vk.com/otimemphi_official

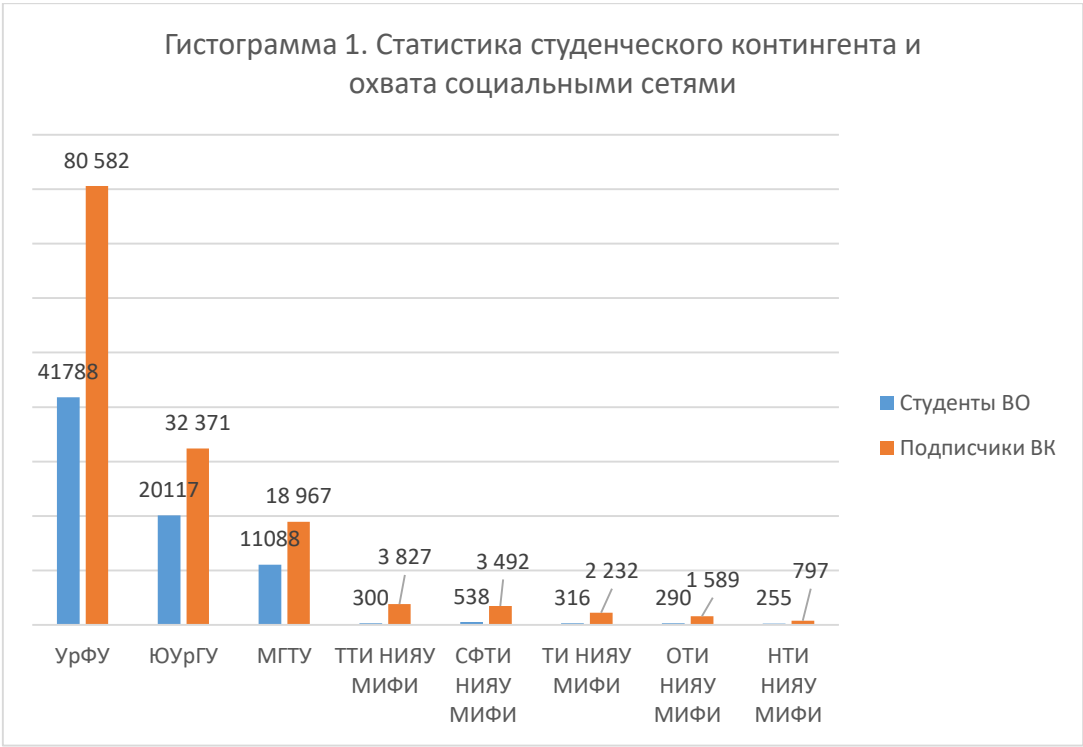
¹⁰ <https://popsters.ru/>

¹¹ https://monitoring.miccedu.ru/iam/2024/_vpo/inst.php?id=313

Соц.сеть	VK	VK	VK	VK	VK	VK	VK	VK	VK
Подписчиков	80 582	32 371	18 967	3 827	3 492	2 232	2 207	1 589	797
Постов	1 113	1 985	1 487	452	453	489	186	201	402
Мне нравится	93 203	133 762	86 159	17 280	10 367	13 154	4 515	1 428	8 937
Поделиться	16 746	25 948	14 181	2 919	3 084	1 773	638	358	982
Комментариев	5 117	7 313	1 968	191	187	111	113	23	204
Просмотров	10 999 813	10 978 282	5 507 912	1 250 052	918 940	866 091	367 463	124 634	324 439
Лайков в среднем	83	67	57	38	22	26	24	7	22
Репостов в среднем	15	13	9	6	6	3	3	1	2
Комментариев в среднем	4	3	1	0	0	0	0	0	0
Просмотров в среднем	9 883	5 530	3 704	2 765	2 028	1 771	1 975	620	807
ERpost	0.1283%	0.2599%	0.3627%	1.1787%	0.8621%	1.3778%	1.2828%	0.5664%	3.1595%
ERday	0.3719%	1.3437%	1.4047%	1.3947%	1.0278%	1.7545%	0.6296%	0.3085%	3.3425%
VRpost	12.2646%	17.0851%	19.5289%	72.2655%	58.0918%	79.3525%	89.5155%	39.0226%	101.2625%
VRday	35.5481%	88.3176%	75.6236%	85.5079%	69.2515%	101.0504%	43.9311%	21.2562%	107.1251%
ERview	0.8827%	1.354%	1.7778%	1.5627%	1.2722%	1.7005%	1.5956%	1.1406%	3.1884%
LR	0.1039%	0.2082%	0.3055%	0.999%	0.6554%	1.2052%	1.0999%	0.4471%	2.7894%
TR	0.0057%	0.0114%	0.007%	0.011%	0.0118%	0.0102%	0.0275%	0.0072%	0.0637%
Дней	383	383	383	383	383	383	383	383	383
Период	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025	01.02.2024 - 18.02.2025

Рисунок 5 Данные, полученные с помощью сервиса аналитики социальных сетей Popsters

Анализ показал, что крупные вузы обладают значительно большей аудиторией подписчиков по сравнению с филиалами МИФИ, при этом, если соотнести количество подписчиков с общим числом студентов, то картина может измениться. Например, в УрФУ на одного студента приходится примерно 2 подписчика в ВКонтakte, а в СФТИ - около 6 подписчиков на одного студента.



Однако, несмотря на меньшее количество подписчиков, филиалы МИФИ демонстрируют более высокие показатели вовлеченности аудитории.

Анализ коэффициентов вовлеченности выявил значительные различия между крупными вузами и филиалами МИФИ:

ERpost (коэффициент вовлеченности на пост):

УрФУ: 0,1283%
ЮУрГУ: 0,2599%
МГТУ: 0,3627%
СФТИ: 0,8621%
НТИ: 3,1595%

Данные показывают, что при большем количестве подписчиков крупные вузы имеют более низкие показатели ERpost по сравнению с филиалами. СФТИ НИЯУ МИФИ, обладая относительно скромной численностью подписчиков (около 3 500), показывает высокую вовлеченность — свыше 0.86%, что в разы превышает показатели крупных университетов. Феномен НТИ НИЯУ МИФИ, лидирующего по коэффициенту вовлеченности, а также по коэффициенту лайков ($LR = 2,7894\%$) и коэффициенту обсуждений ($TR = 0,0637\%$), кроется в успешно проведенной акции, с мерчем за подписку, лайки и репосты при относительно малом числе подписчиков.

Исследование активности ведущих вузов Уральского федерального округа в социальной сети ВКонтакте показывает, что наличие большого количества подписчиков вовсе не гарантирует высокую вовлеченность. Крупные вузы (УрФУ, ЮУрГУ, МГТУ) обладают внушительным числом подписчиков, однако их ERpost заметно ниже по сравнению, например, СФТИ НИЯУ МИФИ, имеющим более узконаправленное научно-техническое сообщество и тщательно проработанную стратегию интерактивного взаимодействия.

Основная причина более низкой вовлеченности крупных вузов кроется в разнородной структуре их аудитории, когда единый контент может не соответствовать потребностям всех групп подписчиков. Кроме того, многоуровневая административная структура и широкий спектр направлений деятельности затрудняют оперативное реагирование на обратную связь и регулярное производство актуального контента.

Ключевым выводом является то, что качество контента и его соответствие интересам целевой аудитории имеют большее значение, чем количество подписчиков. Успешный кейс НТИ демонстрирует, что интерактивные форматы, а также формирование лояльного актива, являются эффективным инструментом для привлечения внимания аудитории. Ключевой элемент коммуникативной стратегии СФТИ НИЯУ МИФИ основан на механизме периодического ретеллинга успешных траекторий. Систематическое представление историй достижений выступает не только доказательством результативности университетской экосистемы, но и создает мощный эмоциональный якорь для потенциальных абитуриентов. Этому способствует применение архетипа «Герой» с элементами «Творца», направленного на укрепление идентичности вуза как места, где рождаются лидеры и создаются передовые решения (они же наиболее важны для привлечения внимания к программам и инициативам). Контент трансформируется из информационного сообщения в платформу вдохновения, где каждая история становится персональным приглашением к профессиональной самореализации.

Перспективных направлений для дальнейших исследований несколько: более глубокое изучение интересов и поведения разных сегментов внутри больших студенческих сообществ, а также разработка детализированных рекомендаций по формированию контент-планов вузов с учетом внутриуниверситетской диверсификации.

Используемые источники:

1. Топ крутых метрик для аналитики SMM // habr.com. —URL: <https://habr.com/ru/articles/774586/> / (дата обращения: 07.02.2025).
2. Как провести конкурс «ВКонтакте» и не получить бан // Texterra. —URL: <https://texterra.ru/blog/konkursy-vkontakte-kak-poluchit-nuzhnye-rezultaty-i-ne-slovit-ban.html> (дата обращения: 07.02.2025).

ОТ УВЛЕЧЕНИЯ НАУКОЙ К ПРОФЕССИОНАЛЬНОМУ ВЫБОРУ В АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Логутов К.Д.

ГБОУДО «Дворец творчества детей и молодежи имени А.П.Гайдара», Москва

klogutov@mail.ru

Дополнительное образование детей является важной частью современного образования, предоставляющей им возможность учиться чему-то новому и открывать для себя увлекательные области знаний, выходящие за рамки школьной программы. Приоритетное назначение дополнительного образования – формирование устойчивых интересов обучающихся к различным направлениям и видам деятельности, развитие у них общих и специальных способностей, обогащение образовательного опыта и, как итог, подготовка к будущей карьере в осознанно выбранной области профессиональной деятельности.

Ключевые слова: информационные технологии в образовании, дополнительное образование, атомная отрасль, популяризация атомной отрасли

FROM A PASSION FOR SCIENCE TO A PROFESSIONAL CHOICE IN THE NUCLEAR INDUSTRY

Logutov K.D.

SBEIAE “The palace of creativity of children and youth of A.P. Gaidar”, Moscow

Supplementary education for children is an essential part of modern education, providing them with the opportunity to learn something new and explore fascinating areas of knowledge that go beyond the school curriculum. The primary purpose of supplementary education is to foster lasting interests in students towards various fields and types of activities, develop their general and specialized abilities, enrich their educational experience, and, ultimately, prepare them for a future career in a consciously chosen professional field.

Keywords: information technologies in education, additional education, nuclear industry, promotion of the nuclear industry.

Дополнительное образование для детей играет ключевую роль в современной образовательной системе, открывая перед ними множество возможностей для раскрытия своего потенциала, углубления знаний и погружения в увлекательные области, выходящие за пределы школьной программы. Это включает в себя разнообразные виды занятий, такие как искусство, спорт, наука и техника. Одной из главных целей дополнительного образования является стимулирование интересов детей, развитие их способностей в узких областях, расширение кругозора и подготовка к будущей карьере.

С развитием технологий и появлением новых средств обучения идеи для программ дополнительного образования могут возникать из желания интегрировать эти новые инструменты в учебный процесс. Например, использование виртуальной реальности, обучение робототехнике или программированию могут стать значимыми элементами образовательной программы. Отслеживание общественных трендов и интересов также может послужить источником вдохновения для создания программ с художественной направленностью, таких как искусство в стиле стрит-арт. Идеи для создания программ дополнительного образования могут также возникать из ключевых научных областей, таких как космос, экология, медицина, искусственный интеллект, энергетика и другие. Это стремление понять и исследовать эти области науки может вдохновить образовательные учреждения на создание соответствующих программ для молодежи, способствуя развитию их интересов и способностей в этих увлекательных и перспективных сферах знаний.

Программа «Атомный букварь» разработана для детей 6-7 лет и знакомит их с миром науки, энергии и великих открытий. Она включает пять ключевых модулей, которые помогают понять, как устроен мир и какую роль в нём играет атомная энергия:

- «Изобретения, перевернувшие мир»: дети узнают о самых значимых открытиях человечества – от «приручения» огня до создания первых машин и компьютеров.
- «История открытия атома» рассказывает о том, как учёные шаг за шагом открывали тайны атомного строения. Дошкольники узнают об экспериментах, позволивших понять, из чего состоит материя и как раньше представляли строение атома.
- «Энергия и энерготехнологии»: обучающиеся знакомятся с различными видами энергии – от солнечной и ветровой до атомной. Они узнают, как энергия используется в повседневной жизни.
- «Энергетика» объясняет, как работают электростанции, какие бывают источники энергии и почему важно беречь природные ресурсы.
- «История атомной отрасли» показывает, как развивалась атомная отрасль, какие ее преимущества и как она помогает людям.

Программа «Атомный букварь» даёт малышам возможность в увлекательной и доступной форме узнать о науке и технологиях, которые изменили мир. Она проявляет любознательность и интерес к исследованию окружающего мира, формируя основу для дальнейшего обучения.

Дополнительная общеобразовательная общеразвивающая программа «Атомная азбука» (8-10 лет) представляет собой следующий шаг в формировании общественной приемлемости и востребованности атомной энергетики.

«Атомная азбука» представляет собой образовательную программу, ориентированной на детей младшего школьного возраста и направлена на изучение основ естественных наук, включая физику, с использованием интерактивных методов и практических занятий. В рамках программы дети и их родители активно участвуют в проведении экспериментов, выполнении практических заданий и обсуждении учебного материала, что способствует более глубокому усвоению материала, формированию интереса к науке с самого раннего возраста и развитию позитивного отношения к обучению. Каждая буква алфавита представляет собой отдельную тему, к которой дети получали доступ через презентации и практические занятия. На каждом занятии дети получают рабочие листы, на которых им предстоит дописывать или дорисовывать материалы по ходу урока. Это помогает им закреплять изученный материал и создавать свою первую энциклопедию, страницы которой в конце учебного года сшиваются в книгу.

Дополнительная общеобразовательная программа «Атомная азбука» – это увлекательное образовательное путешествие для младших школьников в мир естественных наук, физики и атомной отрасли. Она продолжает формировать у детей ранний интерес к науке и создает прочную основу для их дальнейшего обучения.

Главная особенность программы – интерактивный формат. Дети и их родители становятся активными участниками учебного процесса: проводят эксперименты, выполняют практические задания и обсуждают полученные знания – это делает обучение не только познавательным, но и захватывающим.

Каждая буква алфавита в «Атомной азбуке» – это отдельная тема, представленная через презентации и практические занятия. Во время уроков дети получают рабочие листы, которые помогают закрепить материал: они дописывают важные моменты, дорисовывают схемы и создают собственные страницы будущей книги. В конце учебного года все материалы сшиваются в первую энциклопедию юного исследователя.

Программа дополнительного образования «Атомная азбука» не только расширяет кругозор детей, но и способствует формированию позитивного отношения к обучению и помогает осознать важность науки и технологий в современном мире.

Дополнительная общеобразовательная программа «Лаборатория инженера-атомщика» (12-16 лет) – это курс предпрофессионального образования, который открывает перед школьниками двери в мир атомных технологий. Программа рассчитана на 72 часа и включает ключевые темы: физику атома и атомного ядра, основы радиохимии и радиационной химии, радиоэкологию, историю атомной отрасли, а также проектную деятельность.

Одним из главных преимуществ курса является сочетание теории и практики. Помимо решения стандартных задач по ядерной физике, учащиеся работают с реальными приборами, такими как дозиметры, а также применяют компьютерные технологии для решения сложных кейсов. Это позволяет не только лучше понять принципы работы атомной энергетики, но и освоить навыки, востребованные в научной и инженерной среде. Курс «Лаборатория инженера-атомщика» – это важная ступень в профориентации, позволяющая школьникам познакомиться с перспективными профессиями атомной отрасли и сделать осознанный выбор будущего карьерного пути.

Комплекс дополнительных образовательных программ позволяет детям разного возраста пройти путь от первых шагов в науке до осознанного профессионального выбора в атомной отрасли. Интерактивные форматы, практические занятия и современные технологии делают обучение увлекательным и эффективным, формируя не только знания, но и устойчивый интерес к естественным наукам. Эти программы помогают воспитать поколение, которое понимает значение атомных технологий, доверяет науке и готово в будущем внести свой вклад в развитие страны.

Используемые источники:

1. Об утверждении Концепции развития дополнительного образования детей до 2030 г. и плана мероприятий по ее реализации: Распоряжение Правительства РФ № 678-р от 31 марта 2022 г.
2. Логутов К.Д. Программа предпрофессионального образования «Лаборатория инженера-атомщика» // Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции Научной сессии НИЯУ МИФИ-2022 по направлению «Инновационные ядерные технологии». – М. – Снежинск: Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, 2023. – С. 59–61

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ И ТАКТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕАЛИЙ

Малышева М.А.

Margomedno10@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Челябинск, Челябинская обл.

Аннотация. Развитие современного образования происходит в условиях перманентно изменяющихся условий, что требует от системы определенной пластичности с одновременным сохранением накопленных традиций и ориентиров. Однако темпы изменений намного опережают процесс развития образования, и в таких случаях работники системы оказываются не готовыми для того, чтобы выбрать правильные стратегические и тактические решения.

Ключевые слова: развитие образования, новые реалии в системе образования, задачи системы образования в новых условиях.

STRATEGIC AND TACTICAL CHANGES IN AN EDUCATIONAL ORGANIZATION IN THE CONTEXT OF MODERN REALITIES

Malysheva M.A.

Margomedno10@mail.ru

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «South Ural State University (national research university)», Chelyabinsk

Annotation. The development of modern education takes place under conditions of constantly changing conditions, which requires a certain plasticity from the system while preserving the accumulated traditions and guidelines. However, the pace of change is far ahead of the educational development process, and in such cases, system employees are not ready to choose the right strategic and tactical solutions.

Keywords: development of education, new realities in the education system, tasks of the education system in new conditions.

Изучение процессов изменений и нововведений обусловлена необходимостью адаптации образовательной организации (ОО) к требованиям внешней и внутренней среды, к овладению новыми знаниями и технологиями, что особенно важно в условиях реализации новой стратегии и модернизации отечественного образования.

Под изменениями в организационном поведении понимается процесс преобразования организации, основанный на внедрении инноваций в образовательный процесс. Цель изменений – осуществление прогрессивных преобразований для перевода образовательной организации в высокоэффективное состояние, то есть из режима функционирования в режим развития.

Большинство изменений происходит на практике в организационной структуре, технологиях и коллективе образовательной организации. Вне зависимости от сферы реализации управление изменениями в образовательной организации следует рассматривать в двух аспектах: стратегическом и тактическом.

Стратегические изменения – долгосрочные, влияют на работу всей организации (цели, миссия, развитие, качество, новые идеи).

Тактические (операционные) – отличаются меньшими масштабами и затрагивают новые процедуры, структуры, технологии образовательного процесса.

С тактической точки зрения, управление изменениями в образовательной организации означает возможность провести их в адекватные сроки, достичь поставленных целей, снизить сопротивление изменениям, повысить к ним адаптацию работников.

В стратегическом контексте управление изменениями означает включение перманентных изменений в практику ОО настолько, чтобы они стали привычными и ожидаемыми для всех участников образовательного процесса, а их временное отсутствие вызывало бы тревогу и беспокойство. Обеспечение стратегического управления изменениями может привести к существенному повышению конкурентоспособности всей образовательной организации.

Стратегическое управление изменениями, в отличие от оперативного управления, призвано обеспечить выживание организации и достижение ее целей в долгосрочной перспективе.

Со стороны руководства ОО изменения и нововведения реализуются, как правило, с помощью трёх управленческих стратегий:

- политико-административная стратегия – основывается на использовании власти (доминирующий метод: принуждение, цель: послушание);
- эмпирично-рациональная стратегия – опора на логично выстроенные аргументы (основной метод: переубеждение коллектива, цель: согласие людей на работу «по-новому»);
- нормативно-«перевоспитательная» стратегия – подведение людей к идентификации с новыми ценностями (ведущий метод: поддержка, цель: добровольное присоединение сотрудников к преобразованиям).

Наиболее эффективной стратегией внедрения изменений с позиции соотношения затраченного времени и полученного результата является – эмпирично-рациональная стратегия.

Опыт деятельности показывает, что в случае реализации изменений интенсивность действий различной направленности значительно усиливается, следовательно, основная проблема возникает с выбором правильного вектора действий руководителя.

Стратегия определяет точки роста и устанавливает необходимость повышения конкурентоспособности отечественной системы высшего образования.

Стратегическое управление является комплексным всесторонним планом развития организации. Большинство изменений на практике касается организационной структуры, технологии и коллектива образовательной организации.

Алгоритм его осуществления включает следующие шаги:

- определение миссии организации, целей и задач по её достижению;
- разработка альтернативных путей достижения цели развития и выбор наилучшей альтернативы;
- разработка плана действий, направленного на реализацию целей и задач образовательной организации;
- контроль и оценка эффективности выполнения стратегии.

Выбор стратегии чрезвычайно важен, при внедрении изменений руководителями ОО должны быть рассмотрены все риски и предусмотрены решения возможных затруднений при внедрении изменений.

Особое внимание необходимо уделить человеческому фактору. Именно человеческий аспект в организационных изменениях является фундаментальным, потому что поведение людей в образовательной организации в итоге определяет, что можно изменить и какую это принесёт пользу.

Одной из причин, когда у успешных организаций не происходит адаптации к динамике событий, является активная инерция. Активной инерцией (бездеятельность, отсутствие инициативы, придиричивость и др.) страдают образовательные организации всех типов, они часто отвечают на внешнее воздействие активностью в тех сферах, где нет

необходимости в изменениях. Причина этого состоит, в непонимании целей и задач внедрения изменений.

Успех реализации стратегии изменений зависит от степени вовлеченности сотрудников в процесс изменений, который может быть различным, от высокого до низкого. В случае незначительных изменений (например, изменения логотипа организации) вовлечение всех сотрудников не является необходимым, но при радикальных изменениях высокая степень вовлеченности означает высокую эффективность реализации стратегии изменений.

Успешное внедрение изменений происходит тогда, когда данный выбор является последовательным и соответствует ключевым характеристикам ситуации. При этом менеджер должен обладать широким взглядом на организацию, охватывающим все организационные факторы и подсистемы, а также их взаимодействие с окружающей средой.

Своеобразием сегодняшнего этапа развития образования выступает то, что появляющиеся новые параметры функционирования систем образования задаются в результате быстрых социально-экономических изменений в обществе, одновременно ставя перед ним новые задачи.

Мировой опыт показывает, что практической модернизации образования противодействуют два препятствия – недостаток ресурсов и отсутствие механизмов, способных обеспечить запуск в действие и поддержку задуманных реформ. Дополнительные финансовые возможности и адекватные механизмы реализации образовательных преобразований появляются только в результате масштабных социально-экономических воздействий, без которых серьезные изменения в области образования не могут быть продвинуты вперед, и определения перспектив развития образования.

Следовательно, комплексная проработка «древа» проблем, стоящих перед системой образования и задачами развития в масштабном пространстве образования, перспектив, определяющих ход развития образования в целом, приобретает научную и практическую ценность при построении стратегии и тактики модернизации системы образования.

Использованные источники:

1. Тринитатская, О.Г. Управление инновационными процессами в образовательном учреждении [Текст]: учебное пособие / О.Г. Тринитатская, Л.Г. Захарова, Т.А. Безматерных. – Ростов н/Д.: изд-во ГБОУ ДПО РО РИПК и ППРО, 2016. - 296 с.
2. Николаева С. В. Стратегия развития образовательного учреждения // Молодой ученый. 2016. №11. – С. 877-879.
3. Николаева А.А., Караханян К.Г. Инновации в образовании: развитие, деятельность, мышление / Инновации и инвестиции. 2015. № 11. С. 15-18

ПОДГОТОВКА УЧИТЕЛЯ ФИЗИКИ В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Никитина Т.В.

*ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.*

TVNikitina@mephi.ru, ntv74rus@ya.ru

В работе рассматриваются актуальные направления совершенствования подготовки учителя физики, которые затрагивают содержательную и процессуальную стороны образовательного процесса. Приведён перечень актуальных компетенций, необходимых учителю физики для успешной подготовки абитуриентов для «атомных» и «ядерных» специальностей

Ключевые слова: предвузовская подготовка к техническим специальностям, магистерская подготовка учителя, новые направления обучения физике

TRAINING OF A PHYSICS TEACHER IN THE CONTEXT OF THE DEVELOPMENT OF THE NUCLEAR INDUSTRY

Nikitina T.V.

*FSBEI HE "Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research
Nuclear University MEPhI", Chelyabinsk Region*

TVNikitina@mephi.ru, ntv74rus@ya.ru

The paper examines current areas of improving the training of a physics teacher, which affect the substantive and procedural aspects of the educational process. A list of current competencies required by a physics teacher for the successful preparation of applicants for "atomic" and "nuclear" specialties is provided.

Keywords: pre-university training for technical specialties, master's degree training of a teacher, new areas of teaching physics.

Атомная отрасль играет важную роль в обеспечении технологического суверенитета нашей страны. Адаптация к новым технологическим трендам подразумевает внедрение передовых разработок для повышения эффективности и безопасности производства, обновление образовательных программ для специалистов (инженеров, технических специалистов, преподавателей вузов и учителей школ), обеспечивающих функционирование данной отрасли. На уровне школьного образования ключевыми учебными предметами в целях подготовки инженерных кадров для атомной отрасли являются Математика, Физика, Информатика. В настоящее время разработаны и вступили в действие новые федеральные программы для изучения названных учебных предметов как на базовом, так и на углубленном уровнях. В этих программах учтены современные вызовы, стоящие перед обществом и государством.

В контексте четвертой промышленной революции физика как научная основа техники и наука о наиболее общих свойствах материи входит в число фундаментальных дисциплин. Подготовка учителя физики в рамках общепринятой на государственном уровне компетентностной модели образовательного процесса является важной задачей. Причем и проектирование, и процесс реализации такой подготовки в контексте четвертой промышленной революции требует научно обоснованного подхода. Для этого необходимо определить: 1) что физика как наука даёт атомной отрасли в контексте развития четвертой промышленной революции; 2) каковы содержательная и процессуальная стороны

профориентационной работы, связанной с физикой; 3) какие новые инструменты появились в школьном образовании в связи с развитием информационных и производственных технологий.

Аналитическая работа, проведенная для решения первой задачи, показала, что для атомной отрасли физика как наука играет ключевую роль в разработке новых технологий и методов, а именно: **новые материалы и их свойства, моделирование и симуляция, автоматизация и робототехника, квантовые технологии, термоядерная энергетика, технологии обработки данных** для оптимизации процессов производства и эксплуатации ядерного оборудования [5].

На основании выявленных инновационных направлений развития физической науки в докладе представлен научный горизонт для развития профориентационной работы с учащимися, потенциальными абитуриентами СФТИ НИЯУ МИФИ. Описаны способы внедрения исследовательской и творческой работы магистрантов направления «Педагогическое образование» 44.00.01 по профилю «Физико-математическое образование и информационные технологии». Таким образом решена вторая задача.

Подготовка учителя физики в контексте четвертой промышленной революции оказывает значительное влияние на качество подготовки абитуриентов, поступающих на «атомные» и «ядерные» специальности. Как показывает практика, школьный опыт обучения по ключевым для будущей специальности предметам влияет и на успешность обучения в вузе, и на качество профессиональной подготовки молодого специалиста. Для работы в профильных классах, учащиеся которых нацелены на получение «атомных» и «ядерных» специальностей необходимо углубленная подготовка, связанная с современными тенденциями развития атомной отрасли и школьного образования. Последнее может быть реализовано только при условии сопровождения данной подготовки с научно-исследовательской деятельностью специалиста. Данная задача может быть успешно решена в условиях магистратуры по направлению «Педагогическое образование» 44.00.01. Перечислим навыки необходимые учителю, реализующему образовательный процесс по физике в контексте четвертой промышленной революции:

1. использование цифровых инструментов для моделирования и симуляции физических процессов, применение средств виртуальной и дополненной реальности для изучения квантовых явлений, не соответствующих представлениям классической физики [3];
2. развитие критического мышления учащихся. Необходимо научить школьников анализировать информацию, выявлять закономерности и делать обоснованные выводы; здесь важна экспериментальная физика и актуально обучение с помощью цифровых лабораторий [1, 2];
3. профориентационная работа, связанная с разработкой учебных программ, включающих изучение соответствующих тем и проведение практических занятий, в том числе и раннее обучение физике;
4. воспитательная работа, определяющая ценностно-смысловое отношение учащихся к профессиональной деятельности инженера и учёного-исследователя атомной отрасли;
5. основательная физико-математическая подготовка, необходимая для подготовки учеников старших классов, которые продолжают обучение в вузе на физико-технической специальности [4].

Использованные источники:

1. Никитина Т.В. Развитие критического мышления учащихся в условиях дистанционного обучения физике. Учебное пособие / Т.В. Никитина. – М.: Ай Пи Ар Медиа, 2022. – 130 с.
2. Никитина Т.В. Цифровые лаборатории в школьном физическом эксперименте / Т.В. Никитина. – Челябинск: Южно-Уральский научный центр РАО, 2021. – 53 с.
3. Никитина Т.В. Цифровые навыки учителя физики в школьном физическом эксперименте / Т.В. Никитина // Физика в школе. – 2022. – № 5. – С. 28-34.
4. Санчаа, Т. О. Реализация междисциплинарного подхода в предвузовской подготовке учащихся по физике / Т. О. Санчаа, Т. В. Никитина // Мир науки, культуры, образования. – 2024. – № 4(107). – С. 292-294.
5. Современные проблемы технической физики: учебно-методическое пособие / Сост.: О.В. Соловьева, О.С. Попкова. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2020. – 104 с.

АРХЕТИП ГЕРОЯ И ТВОРЦА ВМЕСТО МУДРЕЦА: НОВАЯ ИДЕНТИЧНОСТЬ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ВУЗА В УСЛОВИЯХ ЗАТО

Певнева Н.А., Попова А.И.

*ФГБОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Аннотация

В условиях закрытых административно-территориальных образований (ЗАТО) формирование привлекательного образа и идентичности технических вузов, готовящих кадры для атомной отрасли, становится особенно актуальным. В данной статье рассматривается использование архетипов Карла Юнга, таких как Герой и Творец, в контексте создания эффективного тона общения (tone of voice) для привлечения молодежи. Статья подчеркивает важность инновационного подхода в образовательных программах и коммуникационной стратегии вузов для успешной подготовки высококвалифицированных специалистов.

Ключевые слова

Архетипы, герой, творец, мудрец, технический вуз, ЗАТО, идентичность, тон общения, эмоциональный контакт, молодежь, образование

THE ARCHETYPE OF A HERO AND CREATOR INSTEAD OF A SAGE: A NEW IDENTITY FOR A TECHNICAL UNIVERSITY IN THE CONTEXT OF THE CLOSED ADMINISTRATIVE TERRITORIAL ENTITY

Pevneva N.A., Popova A.I.

*Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk region*

Abstract

In conditions of closed administrative-territorial formations (BUT), the formation of an attractive image and identity of technical universities that train personnel for the nuclear industry becomes especially relevant. This article examines the use of Carl Jung's archetypes, such as Hero and Creator, in the context of creating an effective tone of voice to attract young people. The article highlights the importance of an innovative approach in educational programs and communication strategies of universities for the successful training of highly qualified specialists.

Keywords

Archetypes, hero, creator, sage, technical university, closed administrative territorial entity, identity, tone of voice, emotional contact, youth, education

В условиях закрытых административно-территориальных образований (ЗАТО), где расположены технические вузы атомной отрасли, формирование привлекательного образа и идентичности становится особенно важной задачей. Одним из действенных инструментов для ее решения является использование тона общения (tone of voice), основанного на концепции архетипов Карла Юнга. Сегодня архетипы, как универсальные символы и образы, широко применяются в маркетинге и брендинге для установления эмоционального контакта с аудиторией, укрепления бренда и его дифференциации на рынке[2][4].

Вузы чаще всего осознано или подсознательно выбирают архетип Мудреца, который ассоциируется с накоплением знаний и анализом, что часто создает образ статичности и консервативности[2]. Ориентация на знания может ограничивать креативность, в то время как атомная отрасль требует инновационного подхода[2]. Современные студенты стремятся не только к знаниям, но и к реализации своих идей. В этом контексте эффективным решением

становится выбор архетипов Героя и Творца, которые, в отличие от архетипа Мудреца, становятся более привлекательными для молодежи[2].

В чем же заключается новая идентичность?

Архетип Героя связан с преодолением препятствий и лидерством[1][3]. В техническом вузе это подразумевает подготовку специалистов, способных решать сложные задачи и вносить вклад в развитие отрасли. Герой не боится вызовов и стремится к совершенству[1]. Атмосферу стремления к успеху создают примеры успеха основателей атомной отрасли, а также выпускников, их участие в разработке прорывных технологий[3].

Архетип Творца дополняет Героя, акцентируя важность инноваций и экспериментирования[2][3]. В атомной отрасли, где постоянно возникают новые задачи, способность генерировать идеи имеет решающее значение[2]. Архетип Творца подчёркивает практическую направленность и помогает студентам реализовывать идеи, создавая культуру инноваций[3].

Для примера сравним эффективность двух вариантов постов, рекламирующих Акселератор НИЯУ МИФИ и Росатома на официальной странице СФТИ НИЯУ МИФИ ВКонтакте, цель которых привлечь внимание к возможностям развития инновационных проектов.

Пост 1: «МИФИ умножить на Росатом: преподаватель СФТИ НИЯУ МИФИ рассказал, как можно победить в Университетском технологическом акселераторе»¹²

Сильные стороны:

- Привязка к конкретному событию: пост анонсирует прошедший стрим с участием успешной команды СФТИ НИЯУ МИФИ, что создает ощущение реальности и достижимости успеха.

- Персонализация: упоминание преподавателя и конкретного проекта («Интеллектуальная система мониторинга процессов SLM печати») делает информацию более живой и интересной.

- Призыв к действию: мотивирует не бояться брать на себя ответственность и подавать заявки на акселератор, подчеркивая возможность получения инвестиций до 5 млн рублей, предлагает подать заявку, с указанием ссылки.

Слабые стороны:

- Недостаток конкретики: В посте не указаны точные сроки подачи заявок и другие важные детали.

Примененный архетип: Герой (акцент на преодолении вызовов, участие в акселераторе и достижении значимых целей, реализация проекта)[1][4] и Творец (упор на инновации и разработку новых технологий)[2][3].

Ключевые метрики: количество просмотров - 1444, реакции - 23, переходы по ссылке регистрации - 3, переходы в группу - 7.

Пост 2: «Прием заявок в технологический Акселератор продлен до 26 сентября»¹³

Сильные стороны:

- Актуальность: сообщение о продлении приема заявок создает ощущение срочности и мотивирует к немедленным действиям.

Конкретика: приведены ключевые цифры и факты об акселераторе (количество модулей обучения, часов консультаций, успешных команд, объем инвестиций), что повышает доверие к программе.

- Четкий призыв к действию: предлагает не упустить уникальную возможность и подать заявку прямо сейчас, с указанием ссылки.

Слабые стороны:

- Отсутствие персонализации: в посте нет конкретных историй успеха или упоминаний участников, что делает его менее эмоциональным.

¹² https://vk.com/wall-71669107_4529

¹³ https://vk.com/wall-71669107_4303

- Меньше вовлечения: пост ориентирован на информирование, а не на вовлечение аудитории в обсуждение или просмотр дополнительных материалов.

Архетип: Мудрец (фокус на знаниях и опыте, нейтральный тон, структурированная информация)[2].

Ключевые метрики: количество просмотров - 56, реакции - 2, переходов по ссылке регистрации - 0.

Вывод о том, что архетипы Героя и Творца способствуют укреплению идентичности вуза как места, где рождаются лидеры и создаются передовые решения (они же наиболее важны для привлечения внимания к программам и инициативам), подтверждается анализом контента официальной группы во ВКонтакте СФТИ НИЯУ МИФИ (взят временной период в 1 год). Публикации в группе СФТИ НИЯУ МИФИ, обладающие наивысшим уровнем вовлечённости (ER) (от 3 до 10), посты, рассказывающие о награждениях, историях успеха руководителей, студентов и сотрудников. Посты, показавшие наименьший уровень вовлеченности (от 0 до 0,1) – информируют о конкурсах, грантах, сюда же входят предложения стажировок и обучения, не содержащие примеров успеха и применения на практике, чаще всего, репосты.

Таким образом, выбор архетипов Героя и Творца становится стратегически важным шагом для технических вузов в условиях ЗАТО, позволяя им эффективно адаптироваться к меняющимся требованиям рынка труда, обеспечивать подготовку высококвалифицированных специалистов для атомной отрасли, а также формировать активное сообщество студентов, готовых принимать вызовы современности[7].

Использование этих архетипов в коммуникационной стратегии вуза позволяет создать более привлекательный и современный образ, что особенно важно для привлечения талантливых студентов и укрепления позиций учебного заведения в конкурентной среде.

Использованные источники:

- [1] <https://habr.com/ru/companies/click/articles/718584/>
- [2] <https://kokoc.com/blog/arhetipy-brenda/>
- [3] <https://ncrdo.ru/center/blog/chto-takoe-arkhetipy-lichnosti/>
- [4] <https://rookee.ru/blog/chto-takoe-arhetip-brenda/>
- [5] <https://e-koncept.ru/2017/970752.htm>
- [6] <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ispolzovaniya-arhetipov-v-hudozhestvennom-tekste>
- [7] <https://psy.su/feed/10622/>
- [8] <https://www.litres.ru/book/carol-s-pearson-2/probuzhdenie-vnutrennego-geroya-12-arhetipov-kotorye-pom-70498927/chitat-onlayn/?page=2>

МЕЖПРЕДМЕТНЫЕ КОММУНИКАЦИИ В ПРЕЗЕНТАЦИИ ПРОЕКТОВ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ СТУДЕНТОВ С РАЗНЫМ СКЛАДОМ УМА

Певнева Н.А.

*ФГБОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Аннотация: В статье исследуется влияние когнитивных и коммуникативных особенностей студентов с гуманитарным и техническим складом ума на процесс подготовки и проведения презентаций социальных и технологических проектов. На основе сравнительного анализа выделяются ключевые различия в подходах к структурированию информации, визуализации и взаимодействию с аудиторией. Предлагаются рекомендации для оптимизации междисциплинарных коммуникаций в рамках проектной деятельности.

Ключевые слова: междисциплинарные коммуникации, презентация проектов, когнитивные стили, гуманитарные науки, технические науки, коммуникативные стратегии, визуализация данных, целевая аудитория, проектная деятельность.

INTERDISCIPLINARY COMMUNICATION IN PROJECT PRESENTATIONS: COMPARATIVE ANALYSIS OF STUDENTS' APPROACHES WITH A DIFFERENT MINDSET

Pevneva N.A.

*Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk region*

Abstract: The article examines the influence of cognitive and communicative characteristics of students with a humanitarian and technical mindset on the process of preparing and conducting presentations of social and technological projects. Based on a comparative analysis, key differences in approaches to information structuring, visualization, and interaction with the audience are highlighted. Recommendations are offered for optimizing interdisciplinary communications within the framework of project activities.

Keywords: interdisciplinary communication, project presentation, cognitive styles, humanities, technical sciences, communication strategies, data visualization, target audience, project activities.

Успешная презентация проекта – это ключ к его реализации, будь то инновационная технологическая разработка или социально значимая инициатива. Однако, подходы к подготовке и проведению презентаций существенно различаются в зависимости от типа мышления докладчика. В этой статье мы рассмотрим особенности подготовки к выступлениям студентов с гуманитарным и техническим складом ума, ориентируясь на проекты в социальной и технологической сферах.

Независимо от типа личности, существуют универсальные принципы подготовки к выступлению, которые необходимо соблюдать:

1. Четкое определение цели: Сформулируйте, чего вы хотите добиться своим выступлением: информировать, убедить, получить поддержку, привлечь инвестиции или призвать к действию.

2. Анализ аудитории: Определите, кто будет вас слушать. Каковы их знания по теме? Что их может заинтересовать? Какие вопросы могут возникнуть? Адаптируйте свой рассказ к их уровню и потребностям.

3. Структурирование информации: Используйте логическую структуру для изложения материала. Начните с проблемы, представьте решение, объясните его преимущества и закончите призывом к действию.

4. Репетиция: Не пренебрегайте репетициями. Проговаривайте текст вслух, засекайте время. Это поможет выявить слабые места и уложиться в регламент.

5. Визуализация: Подготовьте визуальные материалы (слайды, макеты, прототипы), которые дополняют, но не дублируют вашу речь. Они должны быть лаконичными, понятными и визуально привлекательными.

6. Вопросы и ответы: Подготовьтесь к вопросам. Продумайте возможные вопросы и сформулируйте краткие и четкие ответы.

7. Уверенность и увлеченность: Ваша вера в проект должна быть заразной. Будьте уверены в себе и в своей идее.

Различия в подготовке: гуманитарий vs. технарь

Ключевое различие в подходах к подготовке презентаций между гуманитариями и технарями заключается в акцентах и приоритетах. Гуманитарии склонны к эмоциональному повествованию и установлению контакта с аудиторией, в то время как технари сосредотачиваются на логическом обосновании и детальном описании технических аспектов.

Для гуманитариев

Сильные стороны:

- Сторителлинг: Умение рассказывать истории, которые трогают сердца и запоминаются.
- Эмоциональность: Способность передавать свою страсть и убежденность.
- Коммуникация: Легкость в установлении контакта с аудиторией и поддержании диалога.

Слабые стороны:

- Структура и тайминг: Склонность к лирическим отступлениям и нарушению временного регламента.
- Факты и цифры: Недостаточное использование данных для подтверждения аргументов.

Рекомендации по подготовке:

Социальный проект (например, эко-кафе в студенческом кампусе):

- Используйте истории о проблеме (например, загрязнение окружающей среды) и о том, как ваше кафе может изменить жизнь людей (студентов, местных жителей).
- Говорите о ценностях, о вдохновении, о лучшем будущем.
- Тщательно структурируйте выступление и следите за таймингом.
- Подкрепите эмоциональные заявления данными о количестве мусора, количестве людей, которых планируете вовлечь в проект.

Технологический проект (например, устройство для переработки отходов):

- Найдите «человеческое лицо» в вашем техническом решении. Расскажите, кому и как оно поможет (сотрудникам кафе, окружающей среде, городу).
- Объясните принцип работы устройства простыми словами, используя аналогии.
- Сосредоточьтесь на проблеме и выгодах решения, избегая излишних технических подробностей.

- Четко объясните, как устройство будет использоваться, кто будет его обслуживать.

Фокус подготовки: Сделать рассказ структурированным и уложиться во время. Подготовить четкие ответы на вопросы о реализации (например, как будете закупать продукты, кто будет работать). Научиться объяснять техническую идею доступно и увлекательно, не перегружая терминами. Подготовиться к вопросам о стоимости, окупаемости, масштабируемости.

Для технарей

Сильные стороны:

- Логика и структура: Четкий план, причинно-следственные связи.
- Факты и цифры: Оперирование данными и анализом.
- Детализация: Способность объяснить сложные технические аспекты.

Слабые стороны:

- Эмоциональный контакт: Недостаток эмоциональности и «души» в выступлении.
- Визуализация: Слабое представление проекта визуально.
- Не переубеждайте, а вдохновляйте: Сухой тон повествования.

Рекомендации по подготовке:

Социальный проект (например, эко-кафе):

- Используйте четкий план, причинно-следственные связи, чтобы объяснить, почему ваше кафе необходимо.
- Опирируйте данными о количестве отходов, потенциальной экономии от компостирования.
- Подробно объясните, как будет устроена работа кафе.
- Добавьте эмоций в выступление. Говорите не только о цифрах, но и о людях, об атмосфере.
- Представьте, как будет выглядеть кафе, используйте скетчи, референсы.
- Вместо строгих доказательств попробуйте увлечь идеей.

Технологический проект (например, устройство для переработки отходов):

- Уверенно говорите о принципах работы, материалах, прототипе.
- Используйте расчеты, данные моделирования, чтобы показать эффективность устройства.
- Подчеркните простоту использования и обслуживания.
- Разбавьте технические детали историей о проблеме, о том, как пришла идея.
- Смотрите на слушателей, задавайте риторические вопросы.
- Избегайте узкоспециализированных терминов без объяснения.

Фокус подготовки: Сделать выступление более живым и интересным, добавить «души». Потренироваться вызывать эмоциональный отклик у аудитории. Подготовиться к вопросам о социальной значимости, о вовлечении людей. Научиться рассказывать о сложной технике простым и понятным языком, чтобы заинтересовать неспециалистов. Подготовиться к вопросам о социальной и экологической пользе, а не только о технических характеристиках.

Работа в команде

Если проект выполняется командой, важно правильно распределить роли:

- Гуманитарий может отвечать за «крючок» (интересное начало), эмоциональную часть и заключение.

- Технарь – за описание решения, ценностное предложение с цифрами и ответы на технические вопросы.
- Важно, чтобы команда репетировала вместе, чтобы переходы между спикерами были плавными, и вы чувствовали себя единой командой.

Заключение

Успешная презентация – это результат тщательной подготовки и учета особенностей аудитории. Понимание различий в подходах между гуманитариями и технарями позволяет адаптировать выступление, максимально использовать сильные стороны и компенсировать слабые. В конечном итоге, целью является создание убедительной и запоминающейся презентации, которая вдохновит аудиторию и поможет реализовать ваш проект.

Литература:

1. Методические рекомендации для руководителей общеобразовательных организаций и методических объединений учителей по организации проектной деятельности в рамках реализации ФГОС среднего общего образования // URL: https://spbappo.ru/wp-content/uploads/2019/12/MP_Проектная-деятельность.pdf / (дата обращения: 07.02.2025).
2. Проекты для школьников «Мир будущего» : Практическое пособие / ГБНОУ Дворец учащейся молодёжи Санкт-Петербурга. Авт.-сост.: И. С. Сергеев, Г. С. Прямикова, Н. Ф. Родичев ; под науч. ред. И. С. Сергеева. – СПб., 2020. – 43 с. – Серия : Развитие системы сопровождения профессионального самоопределения детей и молодёжи Санкт-Петербурга. Методическая поддержка. – Вып. 3.

ПРЕОДОЛЕВАЯ ТРУДНОСТИ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ: ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫЙ ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ «КОНСТРУКТОРА»

Певнева Н.А.

*ФГБОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Аннотация: Тезисы рассматривают дифференцированный подход к проектной деятельности школьников с использованием методики «Конструктор проектной работы». Особое внимание уделяется тому, как «Конструктор» помогает преодолевать типичные трудности, возникающие в проектной деятельности на разных возрастных этапах. Представлена адаптация инструментов и методов для трех возрастных групп: младшие школьники (1-4 классы), среднее звено (5-9 классы) и старшие школьники (10-11 классы), а также примеры проектов и способы решения возникающих проблем.

Ключевые слова: проектная деятельность, дифференцированный подход, «Конструктор проектной работы», инструменты проектного менеджмента, возрастные особенности, трудности, решения, мотивация, эффективность.

OVERCOMING DIFFICULTIES IN PROJECT ACTIVITY: A DIFFERENTIATED APPROACH USING A "CONSTRUCTOR"

Pevneva N.A.

*Snezhinsk Physics Technology Institute of the National Research Nuclear University MEPhI,
Chelyabinsk region*

Abstract: The theses consider a differentiated approach to the project activities of schoolchildren using the "Designer of project work" methodology. Special attention is paid to how the "Constructor" helps to overcome the typical difficulties encountered in project activities at different age stages. The adaptation of tools and methods for three age groups is presented: younger schoolchildren (grades 1-4), middle school (grades 5-9) and older schoolchildren (grades 10-11), as well as examples of projects and ways to solve emerging problems.

Keywords: project activity, differentiated approach, "Designer of project work", project management tools, age characteristics, difficulties, solutions, motivation, effectiveness

Проектная деятельность играет важную роль в развитии ключевых компетенций школьников. Однако, ее реализация сопряжена с рядом трудностей, как со стороны педагога и наставника, так самих учеников и их родителей. Проектная деятельность часто воспринимается ее участниками как хаотичный процесс, с размытыми целями, нечеткой структурой, недопониманием, какие навыки развиваются. Это снижает мотивацию и эффективность обучения. «Конструктор проектной работы» предлагает дифференцированный подход и конкретные инструменты, помогающие преодолевать эти трудности и делать проектную деятельность более успешной.

«Конструктор проектной работы» отличается от традиционных подходов к проектной деятельности своей структурированностью, дифференциацией и наличием адаптированного инструментария. Основные преимущества:

1. Структурированный подход: «Конструктор» предлагает четкую структуру проектной деятельности, разбивая ее на этапы (уточнение проблемы, цели и задачи, генерация идей, оценка ресурсов, стратегия, механизмы, защита проекта) и предоставляя конкретные инструменты для каждого этапа, что помогает ученикам лучше организовать свою работу, понимать последовательность действий и эффективно использовать время.

2. Дифференциация по возрастам: «Конструктор» учитывает когнитивные особенности и потребности школьников разных возрастов, предлагая адаптированные инструменты и методы для трех возрастных групп (младшие школьники, среднее звено, старшие школьники). Это позволяет сделать проектную деятельность интересной и доступной для всех учеников, избегая ситуаций, когда задания слишком сложны или, наоборот, слишком просты.

3. Развитие конкретных навыков: каждый инструмент «Конструктора» направлен на развитие определенных навыков: аналитическое мышление, планирование, работа в команде, презентационные навыки и т.д.

4. Повышение мотивации: использование адаптированных инструментов, понятных инструкций и регулярной обратной связи помогает поддерживать мотивацию учеников. Видя свой прогресс и понимая, как использовать инструменты, они более увлеченно работают над проектом.

5. «Конструктор» предоставляет готовые шаблоны презентаций, чек-листы, примеры проектов, что экономит время учителя и позволяет ему уделить больше внимания индивидуальной работе с учениками.

Далее рассмотрим, как «Конструктор» помогает решать конкретные проблемы, предоставляя набор инструментов и методов, адаптированных для трех возрастных групп:

1. Младшие школьники (1-4 классы): от игры к проекту.

На этом этапе проектная деятельность носит игровой характер. «Конструктор» помогает справиться с такими трудностями, как:

- потеря интереса: короткие, яркие занятия, частая смена деятельности, игровая форма, постоянная похвала — все это помогает поддерживать мотивацию юных исследователей;
- непонимание инструкций: простые и понятные инструкции, визуальные подсказки, активное участие наставника — ключ к успеху на этом этапе;
- нехватка навыков: предварительное обучение работе с материалами, помощь взрослых, использование безопасных инструментов позволяют детям успешно справляться с практическими задачами;
- конфликты: обучение навыкам коммуникации и сотрудничества, помощь наставника в разрешении конфликтов — важные аспекты работы с младшими школьниками.

Пример проекта: Создание макета «Города будущего» из подручных материалов. Дети планируют, какие здания будут строить, распределяют роли (архитектор, строитель, дизайнер), совместно работают над проектом.

- фокус: развитие базовых навыков проектной деятельности через игровые и практические задания;
- уточнение проблемы: вместо диаграммы Исикавы используется упрощенный подход: «Что мы хотим улучшить/изменить?» Обсуждение проблемы в группе с использованием рисунков, историй, ролевых игр;
- цели и задачи: формулировка одной главной цели проекта, задачи представляются в виде простых действий (нарисовать, склеить, написать), используются визуальные планировщики (например, линейная шкала времени с картинками);
- генерация идей: «мозговой штурм» с использованием игр, рисунков, ассоциаций, выбор идеи путем голосования;
- оценка ресурсов: определение необходимых материалов и инструментов, обсуждение, кто что может принести;
- стратегия: упрощенное планирование последовательности действий, обсуждение возможных трудностей и способов их преодоления;
- механизмы: совместное выполнение задач под руководством учителя, фото/видео фиксация процесса;
- презентация: демонстрация результата проекта (поделка, рисунок, инсценировка) с кратким рассказом о проделанной работе.

2. Среднее звено (5-9 классы): от проекта к исследованию.

В этом возрасте проекты становятся сложнее, появляются элементы исследования. «Конструктор» помогает преодолеть следующие трудности:

- планирование: диаграмма Ганта и Kanban помогают ученикам научиться планировать время и ресурсы, ставить реалистичные сроки;
- поверхностный анализ: диаграмма Исикавы и «5 Почему?» обучают методам анализа информации и развивают критическое мышление;
- работа в команде: четкое распределение ролей и ответственности, обучение навыкам коммуникации — ключевые факторы успешной командной работы;
- презентация: тренировка презентационных навыков и репетиции выступлений помогают ученикам уверенно представлять результаты своей работы.

Пример проекта: «Разработка мобильного приложения для школы». Ученики анализируют потребности пользователей, планируют функционал приложения, создают прототип, тестируют его.

- фокус: развитие аналитических и организационных навыков, умения работать в команде;
- уточнение проблемы: использование упрощенной диаграммы Исикавы с основными категориями (люди, материалы, методы и т.д.), формулировка проблемы в виде вопроса;
- цели и задачи: формулировка SMART-целей, разбиение проекта на этапы с определением сроков и ответственных, использование таблиц для планирования;
- генерация идей: «мозговой штурм», метод шести шляп, оценка идей по критериям (реалистичность, оригинальность, полезность);
- оценка ресурсов: определение необходимых ресурсов (материальных, информационных, человеческих), составление бюджета проекта (при необходимости);
- стратегия: SWOT-анализ в упрощенном формате, разработка плана действий с учетом возможных рисков;
- механизмы: диаграмма Ганта для визуализации графика работ, регулярные встречи команды для обсуждения прогресса и решения возникающих проблем, использование онлайн-инструментов для совместной работы;
- презентация: подготовка презентации с использованием мультимедийных средств, умение отвечать на вопросы аудитории.

3. Старшие школьники (10-11 классы): от исследования к инновациям.

На этом уровне школьники работают над сложными, практико-ориентированными проектами. «Конструктор» помогает им справляться с такими вызовами:

- выбор темы: наставник помогает выбрать тему, соответствующую ресурсам и срокам;
- глубина исследования: консультации с научным руководителем и обучение научным методам обеспечивают высокое качество исследования;
- тайм-менеджмент: детальное планирование, инструменты управления проектами и мониторинг прогресса помогают ученикам эффективно организовать свою работу;
- оформление результатов: изучение требований к научным работам и консультации с руководителем обеспечивают корректное оформление результатов.

Пример проекта: «Разработка системы умного дома». Ученики проводят исследование существующих решений, разрабатывают свою систему, программируют ее, проводят тестирование и анализ результатов.

- фокус: развитие навыков самостоятельной исследовательской и проектной деятельности, умения применять научные методы, анализировать результаты и делать выводы;
- уточнение проблемы: использование диаграммы Исикавы, «5 почему?», формулировка проблемы с учетом ее актуальности и научной новизны;
- цели и задачи: SMART-цели, детальное планирование проекта с использованием специализированного программного обеспечения;

- генерация идей: методы креативного мышления (SCAMPER, морфологический анализ), оценка идей с помощью матричных методов;
- оценка ресурсов: детальный анализ необходимых ресурсов, разработка бюджета проекта, поиск спонсоров (при необходимости);
- стратегия: SWOT-анализ, анализ рисков, разработка плана управления рисками, выбор оптимальной стратегии реализации проекта;
- механизмы: диаграмма Ганта, Kanban, Agile-методологии, использование систем контроля версий, написание технической документации;
- презентация: подготовка научного доклада и презентации, участие в научных конференциях и конкурсах, публикация результатов исследования.

Роль учителя, наставника и родителей:

- учитель: организует проектную деятельность, подбирает проекты, консультирует учеников, оценивает результаты, при этом не тратит время на разработку заданий, чек-листов, критериев оценки;
- наставник (студент, специалист): помогает в освоении инструментов проектного менеджмента, консультирует по техническим вопросам, помогает следить за прогрессом с помощью Дневника проекта и достигать поставленных целей;
- родители, понимая четкую структуру проекта, поддерживают интерес ребенка к проекту, помогают в организации работы, создают благоприятную атмосферу.

Заключение:

«Конструктор проектной работы» – эффективный инструмент для организации и поддержки проектной деятельности школьников. Дифференцированный подход и адаптированный инструментарий помогают преодолевать возникающие трудности, повышают мотивацию учеников и способствуют развитию ключевых компетенций XXI века. Методика «Конструктор» позволяет сделать проектную деятельность более доступной, интересной и результативной для всех участников процесса.

Литература:

3. Голуб Г.Б, Перелыгина Е.А, Чуракова О.В. Основы проектной деятельности школьника: Методическое пособие по преподаванию курса (с использованием тетрадей на печатной основе) / Ред. Е.Я. Когана. - Самара: Учебная литература: Федоров, 2006. - 224 с.
4. Методические рекомендации для руководителей общеобразовательных организаций и методических объединений учителей по организации проектной деятельности в рамках реализации ФГОС среднего общего образования // URL: https://spbappo.ru/wp-content/uploads/2019/12/MP_Проектная-деятельность.pdf / (дата обращения: 07.02.2025).
5. Наглядный подход к проектной деятельности учащихся: методика прямой линии. Авторская педагогическая методика. — СПб.: ЛЕМА, 2022. — 110 с.
6. Проектно-исследовательская деятельность в начальной школе // Методические материалы. Под редакцией Воробьевой С.П. – СПб: ГБОУ Гимназия № 52, 2019. – 40 с.
7. Проекты для школьников «Мир будущего» : Практическое пособие / ГБНОУ Дворец учащейся молодёжи Санкт-Петербурга. Авт.-сост.: И. С. Сергеев, Г. С. Прямикова, Н. Ф. Родичев ; под науч. ред. И. С. Сергеева. – СПб., 2020. – 43 с. – Серия : Развитие системы сопровождения профессионального самоопределения детей и молодёжи Санкт-Петербурга. Методическая поддержка. – Вып. 3.

ФОРМИРОВАНИЕ СТИМУЛОВ И МОТИВАЦИИ В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Садовский А.А.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального
исследовательского ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.
доцент, a.a.sadovskiy@gmail.com

Рассматриваются понятия «стимулирование» и «мотивация» в рамках концепции всеобщего управления качеством в подготовке специалистов для атомной отрасли. Приводятся нормативно-правовые требования к порядку выплаты заработной платы. Отмечены особенности мотивации сотрудников на объектах атомной отрасли. Приведена методика оценки мотивационного потенциала работников.

Ключевые слова: всеобщее управление качеством, стимулирование работников, факторы мотивации, культура производства.

CREATING INCENTIVES AND MOTIVATION IN TRAINING SPECIALISTS FOR THE NUCLEAR INDUSTRY

Sadovsky A.A.

FSBEI HE "Snezhinsky Institute of Physics and Technology of the National Research
Nuclear University MEPhI", Chelyabinsk Region

The concepts of «incentive» and «motivation» are considered within the framework of the concept of universal quality management in the training of specialists for the nuclear industry. The regulatory and legal requirements for the procedure of payment of wages are given. The peculiarities of employee motivation at nuclear industry facilities are noted. A methodology for assessing the motivational potential of employees is presented.

Keywords: universal quality management, employee incentives, motivation factors, production culture.

В соответствии с концепцией всеобщего управления качеством на основе стандартов ИСО 9000, которая принята в госкорпорации Росатом и внедрена на всех ее предприятиях, на всех уровнях управления предпочтение отдается «прянику» в отличие от авторитарно-командной системы управления, в которой предпочтение отдается «кнуту».

Пока наиболее желаемым «пряником» для сотрудников является заработная плата. В соответствии с требованиями Трудового кодекса (гл. 20, ст. 129) заработная плата формируется из трех элементов:

- вознаграждение за труд (количественная и качественная оценка);
- компенсационные выплаты (учет условий труда);
- стимулирующие выплаты (доплаты, надбавки, премии и т.п.)

Вознаграждение за труд гарантируется применением системы нормирования труда. Основными видами норм труда являются: нормы времени, нормы выработки и нормы обслуживания. Нормы труда устанавливаются на основе рекомендованных федеральными органами нормативов по труду. Существуют следующие нормативы: нормативы по труду, нормативы времени, нормативы численности.

Компенсирующие выплаты учитывают условия труда. К примеру, в Снежинске компенсирующие выплаты составляют 30% от вознаграждения за труд (15% район Урала и 15% за нахождение в ЗАТО). Для определения присутствия на рабочем месте вредных факторов и их оценки применяется специальная оценка условий труда (СОУТ). По результатам СОУТ для рабочего места устанавливается класс вредности и, при наличии

вредных факторов, устанавливаются дополнительные вознаграждения.

Стимулирующие же выплаты зачастую носят субъективный характер, так как их определяют руководители различного уровня в иерархии организации. Несмотря на то, что сведения о заработной плате носят конфиденциальный характер, информация о стимулирующих выплатах становится доступной для других членов коллектива, что приводит к спорам и разногласиям. Поэтому положение о стимулирующих выплатах должно быть: **простым, понятным, прозрачным.**

Мотивационный потенциал работника (МПП) является внутренним побуждением, его силой духа и напрямую он не связан с материальным вознаграждением. МПП можно выразить через ряд факторов в виде формулы:

$$\text{МПП} = (\text{ЗР} + \text{РР} + \text{ОР}) : 3 \times \text{АР} \times \text{ОС}, \quad (1)$$

ЗР – значимость работы; **РР** – разнообразие работы; **ОР** – отождествление с результатом;
АР – автономность работы; **ОС** – обратная связь.

Для практической оценки МПП необходимо определить значения факторов **ЗР, РР, ОР, АР, ОС** в диапазоне от 1 до 10 и подставить эти значения в формулу (1). Результат может варьироваться в диапазоне от 1 до 1000.

Вопросы стимулирования и мотивации находят отражение в ряде курсов, читаемых в СФТИ НИЯУ МИФИ: «Управление организацией», «Управление персоналом», «Организация и управление предприятием», «Информационное пространство преподавателя инженерного вуза». Студенты с интересом воспринимают видеофильм и проводят расчеты применительно к учебному процессу и предполагаемому в будущем месту работы.

Литература:

1. Трудовой кодекс РФ. 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ.
2. Радислав Гандапас. Формула мотивации. Кинокомпания «Картина мира». 2015.

ОРГАНИЗАЦИИ

Российская Академия наук

ФГБУН Иркутский институт химии им. А.Е. Фаворского СО РАН, Иркутск, Россия

Учебные организации

ГБОУДО «Дворец творчества детей и молодежи имени А.П. Гайдара», г. Москва

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, Приморский край

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, Томская обл.

ФГАОУ ВО «Снежинский физико-технический институт Национального исследовательского
ядерного университета МИФИ», Челябинская обл.

ФГАОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень

ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет», Челябинск

ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск, Челябинская обл.

Научно-исследовательские, производственные

и другие организации

Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования», Санкт-Петербургский
государственный университет, Санкт-Петербург

ФГУП «ПО «Маяк», Озерск, Челябинская обл.

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е.И. Забабахина», Снежинск, Челябинская обл.

- Абраменко Ю.С. 206
 Аверин А.Н. 66
 Адонин С.А. 35
 Айсин В.Е. 7
 Акинцева А.В. 9
 Афанасьев Д.Б. 204
 Бартош К. Е. 52, 103
 Баутин С.П. 139, 142
 Безгоднов Е.В. 54
 Белая Е.А. 30, 33
 Богданова Ж.С. 132
 Боровский И.О. 57
 Брегеда А.И. 175
 Бугаенко А.А. 143
 Бугуев В.Д. 12
 Быков А.А. 58
 Вазилова И. А. 139
 Габбасова Н.Р. 62
 Гарипов А.Г. 15
 Гармашев А.Ю. 66
 Глушченко А.Г. 66
 Гнеушев Н.В. 18, 26
 Горбатов А.Д. 179
 Горбатов И.В. 206
 Горбоконин Н.В. 71
 Горопашный Я.М. 66
 Гречушкин И.Е. 182
 Грибанов Д.А. 66
 Губарева И.Г. 209
 Давлетчин Ю.Ф. 117
 Дегтярев А.А. 45
 Долгих С.М. 66
 Доценко В.В. 72
 Дудкин В.А. 75, 81, 112
 Дырда Н.Д. 88
 Епанешников О.А. 21
 Ефремов А.Н. 35
 Жабунина О.Ю. 72
 Жеребцов Д.А. 35
 Жилина В.С. 213
 Журавлев Е.А. 52, 103
 Захаров М.А. 52, 103
 Захарова О.О. 215
 Иванова М.С. 23
 Изгагин Г.Б. 26
 Исаева Е.П. 87
 Ищенко А.Н. 125
 Кадочников Д.Ю. 45
 Казаков В.А. 75, 81, 112
 Казаков И.А. 26
 Казакова М.М. 18
 Казачинский А.О. 145
 Калашникова М.В. 15
 Калыргина А.А. 85
 Каримов Р.А. 7
 Карчугина Е.Н. 218
 Клёнов А.И. 12, 21
 Ковалев Ю.М. 99, 129
 Козлов П.В. 195, 12
 Койнов О.В. 87
 Колмогорцев А.М. 30, 33
 Комоско В.В. 85
 Кононов С.Н. 147
 Коренев С.В. 75
 Коробейников К.А. 15, 91
 Крутова И. Ю. 143, 145
 Кузнецова Н.А. 62
 Курсевич Е.А. 206
 Кутузова К.С. 88
 Кучко Д.П. 21
 Латыпов А.А. 90
 Лебедев С.Н. 90, 149
 Левунина Э.С. 147
 Линник О.В. 220
 Липатов А.Н. 175
 Лобачев А.С. 66
 Логунов М.В. 112
 Логутов К.Д. 223
 Лушина Ю.Ю. 72
 Макеева И.Р. 88
 Макогон А.Г. 30
 Малышева М.А. 227
 Мастюк Д.А. 88
 Минаев А.С. 188
 Минаев И.В. 57, 71, 91
 Михайлов А.Ф. 191
 Монстаков Д.А. 47, 81, 112
 Мустафин А.М. 149
 Мякушко Э.В. 196
 Найферт С.А. 35
 Никитина Т.В. 218, 230
 Никульшин М.В. 57, 72, 91
 Обухов А.Г. 142
 Овечкин А.А. 90
 Орлов А.А. 41
 Орлова Н.Ю. 18, 26
 Осипов А.А. 35
 Панова И.Е. 30
 Парутин К.А. 95
 Певнева Н.А. 213, 220, 233, 235, 240
 Первушина Н.А. 158
 Переверзев П.П. 9
 Петрова Ю.А. 158
 Пильщиков А.А. 26, 38

Помыкалов Е.В. 99
Пономарёв А.П. 158
Понькин Е.И. 158
Попова А.И. 213, 233
Порывкин А.Е. 158
Пьянков Д.А. 41
Раджакумар К. 35
Ремизова В.А. 95
Романова Н.Ю. 132
Савенко Е.М. 45
Садовский А.А. 244
Садыков Н.Р. 52, 103, 171
Садыков Р.Н. 52, 103
Саманова А.И. 7, 201
Сахненко О.А. 63
Сидоров К.С. 12, 21
Симоненко В.А. 106
Смирнова М.М. 179
Спиридонова Д.В. 35
Старовойтов Н.П. 47, 75, 81, 112
Стаханов В.В. 117
Степанов И.Ю. 91
Сухинин П.И. 47
Табатчиков А.А. 57
Тананаев И.Г. 81, 112
Тебайкин Д.С. 182, 196, 201
Теплых Н.А. 38
Томилов Ю.А. 120
Тулаева Н.Н. 71
Ушакова О.В. 125
Ушков А.В. 117
Файрушин А.Г. 132
Федорин А.В. 88
Фёдоров В.В. 188
Хайдуков Е.И. 7
Черногузова Е.А. 125
Шайдуллин С.М. 95
Шакиров И.Е. 171
Шарапов И.К. 51, 117
Шергин А.В. 33
Шестаков М.А. 129
Шидловская П.К. 33
Шистириков М.А. 12, 21
Шишкин Н.Я. 66
Шлейтанов Б.А. 117
Шульгин А. Н. 182
Шульц О.В. 132
Щенникова Е.М. 120
Юматова М.А. 132
Юсупов Д.Т. 12, 21
Яловец А.П. 99
Ярушин К. М. 135

Материалы Заседаний
Всероссийской конференции
«Научная сессия НИЯУ МИФИ по направлению
«Инновационные ядерные технологии»
на сайте sphti.ru
<https://www.sphti.ru/научная-сессия-нияу-мифи-в-снежинске-п/>



Статьи сборника публикуются в авторской редакции

Оригинал-макет подготовлен Н.А. Певневой

Подписано в печать 21.02.2025. Формат 60x84 1/16
Печ. л. 10,5 Тираж 100 экз.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Москва, Каширское ш., 31.
Издательско-полиграфический отдел СФТИ НИЯУ МИФИ
456776, Снежинск, Комсомольская, 8