

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Кафедра Физико-энергетические установки

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Обеспечение технической безопасности пеналов с ОЯТ методом ультразвукового контроля

УДК 620.179.16:621.791.05:621.039

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Твердохлебова Т.С.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ФЭУ	Седнев Д.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Сечина А.А.	К.Х.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ ФТИ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		

Томск – 2016 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Общекультурные компетенции	
Р1	Демонстрировать культуру мышления, способность к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения; стремления к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства; владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыки работы с компьютером как средством управления информацией; способность работы с информацией в глобальных компьютерных сетях.
Р2	Способность логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь; критически оценивать свои достоинства и недостатки, намечать пути и выбирать средства развития достоинств и устранения недостатков.
Р3	Готовностью к кооперации с коллегами, работе в коллективе; к организации работы малых коллективов исполнителей, планированию работы персонала и фондов оплаты труда; генерировать организационно-управленческих решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; к разработке оперативных планов работы первичных производственных подразделений; осуществлению и анализу исследовательской и технологической деятельности как объекта управления.
Р4	Умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности; использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач, анализировать социально-значимые проблемы и процессы; осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности.
Р5	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
Р6	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, готов к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
Профессиональные компетенции	
Р7	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования.
Р8	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий; И быть готовым к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда; к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам; за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования; и к организации защиты объектов интеллектуальной собственности и результатов исследований и разработок как коммерческой тайны предприятия; и понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, сознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны).
Р9	Уметь производить расчет и проектирование деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием с использованием стандартных средств автоматизации проектирования; разрабатывать проектную и рабочую техническую документацию, оформление законченных проектно-конструкторских работ; проводить предварительного технико-экономического обоснования проектных расчетов установок и приборов.
Р10	Готовность к эксплуатации современного физического оборудования и приборов, к освоению технологических процессов в ходе подготовки производства новых материалов, приборов, установок и систем; к наладке, настройке, регулировке и опытной проверке оборудования и программных средств; к монтажу, наладке, испытанию и сдаче в эксплуатацию опытных образцов приборов, установок, узлов, систем и деталей.

Код Результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
P11	Способность к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции; и к оценке инновационного потенциала новой продукции.
P12	Способность использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу информационных исходных данных для проектирования приборов и установок; технические средства для измерения основных параметров объектов исследования, к подготовке данных для составления обзоров, отчетов и научных публикаций; к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок; и проведения математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований.
P13	Уметь готовить исходные данные для выбора и обоснования научно-технических и организационных решений на основе экономического анализа; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; и выполнять работы по стандартизации и подготовке к сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов;
P14	Готовность к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу результатов; анализу затрат и результатов деятельности производственных подразделений; к разработки способов применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, СВЧ и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем.
P15	Способность к приемке и освоению вводимого оборудования, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний; к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам; и к организации рабочих мест, их техническому оснащению, размещению технологического оборудования.

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Кафедра Физико-энергетические установки

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой ФЭУ

О. Ю. Долматов

16.05.2016

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Твердохлебова Тамара Сергеевна

Тема работы:

Обеспечение технической безопасности пеналов с ОЯТ методом ультразвукового контроля	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	1333/С от 18.02.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.06.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	- программное обеспечение – специализированный программный комплекс CIVA; - пенал для хранения ампул с пучками отработавших ТВЭЛ (патент RU 2 500 045 С1); - сварные соединения; - область применения – ядерный технический контроль и регулирование.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	- анализ исследуемого объекта контроля, его свойств, материала; - анализ литературы по теме неразрушающих методов контроля сварных соединений; - составление классификации типовых и специфических дефектов сварных соединений для выбранного объекта контроля; - разработка стандартизированной базы данных дефектов сварных соединений; - проведение симуляции УЗК в специализированном программном комплексе, обработка результатов.
Перечень графического материала	- Презентация - Чертеж

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	А.А. Сечина
Социальная ответственность	Т. С. Гоголева
Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:	
Нет	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.05.2016
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент кафедры ФЭУ	Седнев Д.А.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Твердохлебова Т.С.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0А2Г	Твердохлебова Тамара Сергеевна

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/Безопасность и нераспространение ядерных материалов

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	- Оценка коммерческого потенциала; - SWOT-анализ; - Планирование этапов и работ по выполнению НИР; - Календарный план-график реализации проекта; - Оценка коммерческого потенциала.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала:

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. менеджмента	Сечина А.А.	к.х.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А2Г	Твердохлебова Тамара Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0A2Г	Твердохлебова Тамара Сергеевна

Институт	ФТ	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Безопасность и нераспространение ядерных материалов

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны) на:</i>	– вредные факторы производственной среды: повышенный уровень электромагнитных полей, ионизирующее излучение; – опасные факторы производственной среды: вероятность возникновения пожара, вероятность поражения электрическим током.
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	– электробезопасность; – пожаровзрывоопасность; – требования охраны труда при работе на ПЭВМ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	– действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты и коллективной защиты, индивидуальные защитные средства)
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</i>	– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A2Г	Твердохлебова Тамара Сергеевна		

Министерство образования и науки Российской Федерации
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
 высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический

Направление подготовки (специальность) 14.03.02 Ядерные физика и технологии

Уровень образования высшее

Кафедра Физико-энергетические установки

Период выполнения (весенний семестр 2015/2016 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	28.06.2016
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
16.05.2016	<i>Выдача задания</i>	
17.05.2016	<i>Анализ нормативно-правовой базы</i>	
20.05.2016	<i>Составление классификации дефектов</i>	
25.05.2016	<i>Разработка базы данных дефектов</i>	
31.05.2016	<i>Проведение симуляции УЗК</i>	
15.06.2017	<i>Оформление ВКР, подготовка к защите</i>	
25.06.2016	<i>Сдача работы</i>	

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ФЭУ	Д.А. Седнев	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	О.Ю. Долматов	к.ф.-м.н., доцент		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 95 с., 18 рис., 19 табл., 27 источников, 3 прил., 1 чертеж, 1 спецификация.

Ключевые слова: техническая безопасность, ОЯТ, сварные соединения, атомная энергетика, ультразвуковой метод контроля, база данных.

Объектом исследования является герметичный пенал для хранения ампул с пучками отработавших тепловыделяющих элементов, а именно его корпус.

Цель работы – создание базы данных дефектов сварных соединений.

В процессе работы проводилось создание стандартизированной базы данных сварных соединений пенала с ОЯТ, рассмотрены свойства материала и строения объекта контроля, составлена классификация типовых дефектов, также рассмотрены аспекты социальной ответственности и финансового менеджмента.

Область применения: Ядерный технический контроль и регулирование.

В результате исследования разработана стандартизированная база данных дефектов сварных соединений пеналов для хранения ОЯТ с целью проведения эффективного ультразвукового контроля.

Значимость работы состоит в том, что становится возможным перейти от относительного УЗК к автоматизированному методу количественной оценки качества сварного шва.

Перечень нормативно-правовых документов

В данной работе использованы следующие нормативные документы:

ГОСТ 12.1.038–82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;

ГОСТ 12.0.003–74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы;

ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования;

СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;

СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение;

СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;

Перечень определений

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

визуальный контроль: Контроль, осуществляемый органами зрения;

высота дефекта: Линейный размер проекции дефекта по высоте шва на плоскость, перпендикулярную оси трубопровода или на плоскость, проходящую через дефект и ось трубопровода;

диаметр дефекта: Максимальный линейный размер дефекта сферической формы;

длина дефекта: Линейный размер проекции дефекта вдоль шва на плоскость, перпендикулярную оси трубопровода;

длина дефекта вдоль шва: Линейный продольный (вдоль оси шва) размер проекции дефекта на плоскость, перпендикулярную оси трубопровода (для вытянутых в кольцевом направлении дефектов);

длина дефекта поперек шва: Линейный поперечный (поперек оси шва) размер проекции дефекта на плоскость, проходящую через дефект и ось трубопровода (для дефектов, вытянутых в направлении оси трубы);

расстояние между соседними дефектами: Минимальное расстояние между границами соседних дефектов;

суммарная максимально допустимая протяженность дефекта (совокупности дефектов): Допустимая величина суммы длин дефектов (совокупности дефектов) вдоль шва;

толщина стенки трубы: Минимальная фактическая толщина стенки трубы в зоне сварного соединения.

Обозначения и сокращения

АЭ – атомная энергетика;

ЯТЦ – ядерный топливный цикл;

ОЯТ – отработавшее ядерное топливо;

ГХК – Горно-химический комбинат;

УЗК – ультразвуковой контроль;

ОК – объект контроля;

БД – база данных;

СОП – стандартный образец предприятия;

s – толщина стенки трубы [мм]

h – высота дефекта [мм]

d – диаметр дефекта, [мм]

l – расстояние между соседними дефектами, [мм]

s – толщина стенки трубы, [мм]

i_i – длина дефекта вдоль шва, [мм]

l_t – длина дефекта поперек шва, [мм]

$\sum d$ – суммарная максимально допустимая протяженность дефекта (совокупности дефектов), [мм]

Оглавление

Введение.....	16
1 Теоретическая часть.....	18
1.1 Объект контроля.....	19
1.2 Основные механизмы деградации структурной целостности материала	25
1.3 Основные способы контроля сварных соединений.....	29
2 Практическая часть	31
2.1 Классификация типовых дефектов сварных соединений	31
2.2 База данных дефектов пеналов для хранения ОЯТ	33
2.3 Моделирование дефектов.....	40
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	46
3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	47
3.2 Анализ конкурентных технических решений	48
3.3 SWOT-анализ.....	49
3.4.1 Планирование этапов и работ по выполнению бакалаврской работы	51
3.4.2 Определение трудоемкости выполнения бакалаврской работы	51
3.4.3 Разработка календарного плана работ	53
3.5 Определение плановой себестоимости проведения НИР	55
3.5.1 Состав затрат, включаемый в себестоимость НИР	55
3.5.2 Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость.....	57
3.6 Анализ экономической эффективности НИР	62
4 Социальная ответственность при проведении работ	63
4.1 Требования к организации и оборудованию рабочих мест	64
4.2 Анализ вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	65

4.2.1 Микроклимат	66
4.2.2 Освещение рабочего места.....	66
4.2.3 Воздействие шума	67
4.2.4 Воздействие напряженности электрического поля	68
4.2.5 Напряженность труда	69
4.3 Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды	71
4.3.1 Электробезопасность	71
4.3.2 Пожарная безопасность	72
Заключение	73
Список публикаций студента.....	75
Список использованных источников	77
Приложение А	81
Приложение Б	94
Приложение В.....	95

Введение

На сегодняшний день атомная энергетика, благодаря небольшому объёму использованного топлива, своей низкой себестоимости и высокой мощности, является наиболее перспективным способом получения энергии. Но на каждой стадии ядерно-топливного цикла вырабатывается большое количество ядерных отходов, которые в дальнейшем требуют места для хранения. Существует два метода промежуточного хранения отработавшего ядерного топлива: мокрое и сухое. Сухой способ имеет ряд преимуществ по сравнению с хранением отработавшего ядерного топлива под водой. В первую очередь это возможность применения пассивных методов охлаждения, отсутствие необходимости использования системы водоочистки и водоподготовки, уменьшение количества образующихся жидких радиоактивных отходов (в бассейнах это вода хранилищ).

Внедрение метода сухого хранения активно развивается в России. Предприятием АЭ, на базе которого строится сухое хранилище ОЯТ, является Горно-химический комбинат, г. Железногорск. В качестве устройства для сухого хранения работники ГХК разработали герметичный пенал для ампул с пучками отработавших тепловыделяющих элементов.

Во исполнение ФЗ № 170 «Об использовании атомной энергии» необходимо обеспечивать всеобъемлющую безопасность объектов АЭ [1]. Для обеспечения безопасности при хранении пеналов с ОЯТ требуется эффективный контроль качества сварных соединений данных конструкций. В целях сохранения целостности пенала для дальнейшей эксплуатации необходимо применять только неразрушающие методы контроля, такие как магнитные, тепловые, ультразвуковые и другие методы. На данный момент активно применяют радиографический метод контроля. Несмотря на то, что данный способ является надежным средством обнаружения и четко фиксирует мелкие дефекты с детализацией их расположения, а также охватывает большую площадь исследуемого материала, у него есть определенные недостатки. Так,

например, при проведении инспекций могут быть выявлены трещины, непровары и пустоты, только если их плоскость раскрытия не совпадает с направлением проникающих лучей. Также рентгенография требует больших временных и экономических затрат, а главное – может навредить оператору установки контроля. Альтернативной заменой данному виду контроля являются развивающиеся ультразвуковые методы контроля. Современные технологии УЗК позволяют проводить эффективную оценку качества. Но так как, ультразвуковой контроль является относительным методом, требуется создавать калибровочные образцы с эквивалентными отражателями. Для этого необходимо предварительно изучить объект и составить классификацию возможных дефектов. Таким образом, целью данной работы является создание базы данных дефектов сварных соединений. Для достижения этой цели были сформулированы следующие задачи:

- Проведение анализа нормативно-правовой базы в области обеспечения безопасности при хранении ОЯТ;
- Изучение конструкции и технологических особенностей контейнеров для хранения ОЯТ;
- Выявление эффективных методов контроля сварных соединений и обоснование выбора ультразвуковой диагностики;
- Разработка базы данных возможных дефектов сварных соединений контейнеров для ОЯТ;
- Моделирование результатов ультразвукового контроля образца сварного соединения с дефектом типа «трещина».

1 Теоретическая часть

Как закреплено в документе НП-016-05, основной целью обеспечения безопасности объектов ЯТЦ является защита работников, населения и окружающей среды от его радиационного воздействия [2]. Во многом безопасное производство и эксплуатация объектов атомной промышленности обеспечивается высоким уровнем надёжности ответственных конструкций. В связи с этим требуется эффективный контроль их качества согласно ФЗ №170 «Об использовании АЭ».

Многие ответственные конструкции атомной отрасли представляют собой металлические изделия, имеющие сварные соединения. Так как сварка влияет на внутреннюю структуру металла, то в области получаемого соединения она будет подвержена возникновению нарушений больше всего. Поэтому состояние сварных швов компонентов АЭ контролируется в первую очередь.

Согласно ПНАЭ Г-7-010-89 [3] контроль сварных соединений может осуществляться различными методами, каждый из которых в свою очередь проводится по государственным стандартам. Данные документы или методические отраслевые стандарты конкретизируют методики контроля сварных соединений, включающие в себя разрушающие и неразрушающие методы. Во избежание вывода объекта из рабочего состояния, а также в целях сохранения целостности изделий необходимо применять неразрушающие методы контроля. Первым этапом является визуальный контроль, но он позволяет оценить только дефекты формы объекта и дефекты, располагающиеся на его поверхности. Для обнаружения нарушений целостности внутренней структуры объекта следует применять методы неразрушающего контроля, основанные на различных физических принципах. Самым часто применимым из них в настоящее время является рентгенографический анализ. Из-за многочисленных недостатков данного

способа, наиболее перспективным методом становится УЗК, нормы для которого расписаны в ГОСТ 14782-86 [4].

Одним из ключевых объектов в ЯТЦ является место для хранения отработавшего ядерного топлива, например, контейнеры сухого хранения ОЯТ, требования безопасности для которых представлены в НП-035-02. В данном документе сказано, что ядерная безопасность должна осуществляться посредством контроля за параметрами систем (элементов), влияющими на ядерную безопасность при обращении с ОЯТ. Из чего следует обязательный контроль за устройствами хранения отработавшего ядерного топлива, в частности за контейнерами.

1.1 Объект контроля

Объектом контроля в рамках данной работы является герметичный пенал для хранения ампул с пучками отработавших тепловыделяющих элементов, а именно его корпус. Устройство относится к атомной энергетике и является средством сухого хранения отработавших ядерных топливных элементов реактора РБМК-1000.

Пенал состоит из корпуса, решетки и крышки. Корпус образован цилиндрической обечайкой, на верхнем утолщенном конце которой выполнена расточка для установки и последующей приварки крышки, и глухим днищем с амортизатором [6].

Таблица 1 - Основные характеристики корпуса пенала

Характеристика	Значение
Основной материал	Сталь 12Х18Н10Т
Размеры	Длина – 1000 мм, диаметр – 635 мм, ширина стенки – 4 мм
Тип сварных соединений	Стыковые
Вид сварки	Автоматическая аргонно-дуговая сварка неплавящимся электродом (вольфрамовый электрод ЭВЛ Ø3)

Хромоникелетитановая сталь аустенитного класса 12X18H10T получила наибольшее распространение в промышленности ввиду возможности успешного использования ее в разнообразных эксплуатационных условиях. Она обладает высокой коррозионной стойкостью в ряде жидких сред, сравнительно мало охрупчивается в результате длительного воздействия высоких температур и может быть применена в качестве жаропрочного материала при температурах $\sim 600^{\circ}\text{C}$.

Благодаря своим свойствам данная аустенитная сталь хорошо подходит для изготовления корпуса пенала. Хром, содержание которого составляет 17-19%, обеспечивает способность металла к пассивации и обеспечивает её высокую коррозионную стойкость, легирование никелем переводит сталь 12X18H10T в аустенитный класс, что делает сталь высокотехнологичной.

Сталь 12X18H10T относится к хорошо свариваемым. Характерной особенностью сварки этой стали является возникновение межкристаллитной коррозии. Она развивается в зоне термического влияния при температуре от 500 до 800°C [7]. При пребывании металла в таком критическом интервале температур по границам зерен аустенита выпадают карбиды хрома. Все это может иметь опасные последствия - охрупчивания в процессе эксплуатации, которые проявляются в виде первичных дефектов, таких как поры и несплошности. Так же из-за ряда факторов, таких как присутствие воды на поверхности, больших нагрузок и других, необходимо обеспечивать эффективный контроль качества сварных швов с помощью современных методов неразрушающего контроля. В данной работе рассмотрена возможность применения ультразвуковых методов контроля для достижения этой цели.

Как уже было указано ранее, пенал для хранения ОЯТ состоит из нескольких элементов, изготовленных из одного типа конструкционного материала.

Он состоит из корпуса, решетки и крышки. Корпус образован цилиндрической обечайкой, на верхнем утолщенном конце которой выполнена расточка для установки и последующей приварки крышки, и глухим днищем с

амортизатором. Корпус снабжен центральной трубой для сцепления ее с крышкой до ее приварки, для чего в верхней утолщенной части трубы выполнена расточка с заходной фаской и специальной проточкой. Крышка представляет собой диск, в центральной утолщенной части которого выполнено сквозное ступенчатое отверстие, в котором расположен клапан для откачки и заполнения корпуса средой хранения, а также шариковый замок для сцепления крышки с корпусом пенала до приварки ее к корпусу. На крышке выполнены бурт и грибок грузозахватного устройства. На торце грибка выполнена кромка для заварки клапана. Клапан включает в себя шарик в центрирующей опоре, управляющую стержень-заглушку и две пружины. На верхнем торце управляющей стержня-заглушки выполнена кромка для заварки клапана. Шариковый замок состоит из втулки, шариков, размещенных в отверстиях в центральной утолщенной части крышки, пружины и гайки [6].

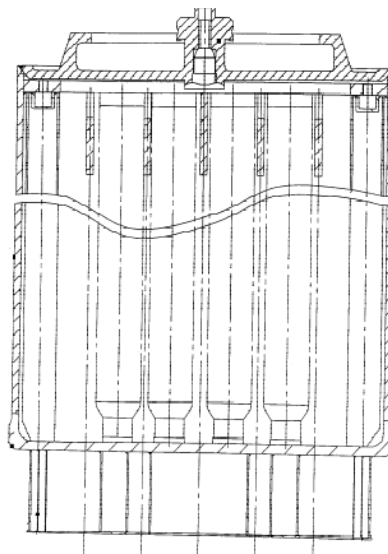


Рисунок 1 – Конструкция пенала для ОЯТ

Для создания герметичной цельности пенала осуществляется сварка частей конструкции.

Сварка применяется для получения неразъёмного соединения через установление межатомных связей между частями при местном либо общем их нагреве, либо пластическом деформировании, либо совместном действии и того, и другого. Сварка рассматриваемого в данной работе объекта контроля

производится по технологии аргонно-дуговой сварки, которая относится к термическому классу, подклассу дуговой сварка.

Ключевыми элементами аргонно-дуговой сварки являются неплавящийся вольфрамовый электрод, в конкретном случае использовался неплавящийся вольфрамовый электрод, вокруг которого находится керамическое сопло, из которого во время сварки дует инертный газ, в данном случае – аргон. Преимущества аргона заключаются в том, что он практически не вступает во взаимодействие с расплавленным металлом, а так же то, что он тяжелее воздуха, следовательно, вытесняет его из зоны сварки [8].

Особенностью дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов (аргон, гелий) является постоянный ток.

Для сварки исследуемого пенала используется сварочный источник Miller MaxStar 350700 - 200DX, 200A, для работы которого применяют постоянный ток, электрод 1.0мм-4.0мм, 220/1В, 380/3В.

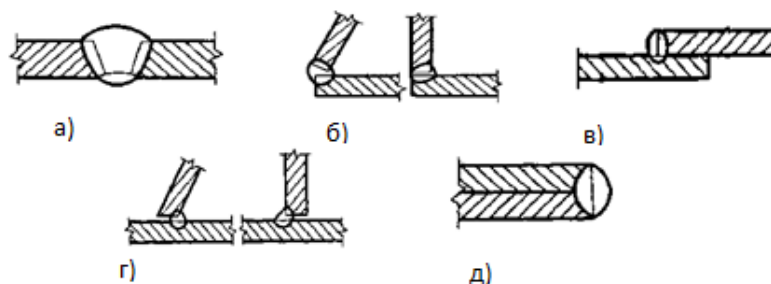
Данный вид сварки можно подразделить на два подвида – ручная и автоматическая аргонно-дуговая сварка [9], принципиальное отличие заключается в том, что в первом случае горелка и присадочный материал находится в руках сварщика, а во втором они перемещаются без его участия, т.е. автоматически.

Недостатками ручной дуговой сварки являются – частые кратеры, которые образуются при смене электрода, неравномерность плавления электродной проволоки по длине шва (т.к. скорость плавления электрода в начале меньше, чем в конце). Кроме того, в сварных соединениях также вероятно возникновение трещин, выпадение зёрен, поры и т.д., что обуславливает выбор данной области как зоны контроля в процессе инспекции.

Основной зоной контроля в целях оценки качества объекта являются сварные соединения, так как в данных областях наиболее вероятно развитие дефектов. Рассматриваемый объект контроля – корпус пенала для хранения ОЯТ, разработанный ГХК имеет пять сварных соединений, которые

различаются по своему типу. Каждый определенный тип сварного соединений обуславливает особенности проведения процедуры контроля.

Существуют следующие типы стандартных сварных соединений: стыковое, угловое, нахлесточное, тавровое, торцовое, представленные на рисунке 2. Классификация сварных соединений приведена по ГОСТ 2601-84 Сварка.



а) стыковое б) угловое в) нахлесточное г) тавровое д) торцовое
Рисунок 2 – Сварные соединения

Рассмотрим стыковые соединения, так как именно они используются при сварке пеналов для хранения ОЯТ. Корпус пенала имеет пять сварных соединений, а именно три продольных стыковых и два поперечно стыковых. Они представлены на рисунке 3, где красными пунктирными линиями обозначены продольные соединения, а поперечные – непрерывными красными линиями.

Стыковое соединение представляет собой сварное соединение двух элементов, примыкающих друг к другу торцовыми поверхностями. Основной отличительной особенностью стыкового сварного соединения является расположение деталей металлоизделий в пространстве. При сваривании встык части металлоизделия находятся на одной плоскости или поверхности. По типу расположения деталей металлоизделия относительно друг друга можно выделить продольные и поперечные сварные соединения. Сама сварка осуществляется по торцам, которые располагаются смежно друг с другом.

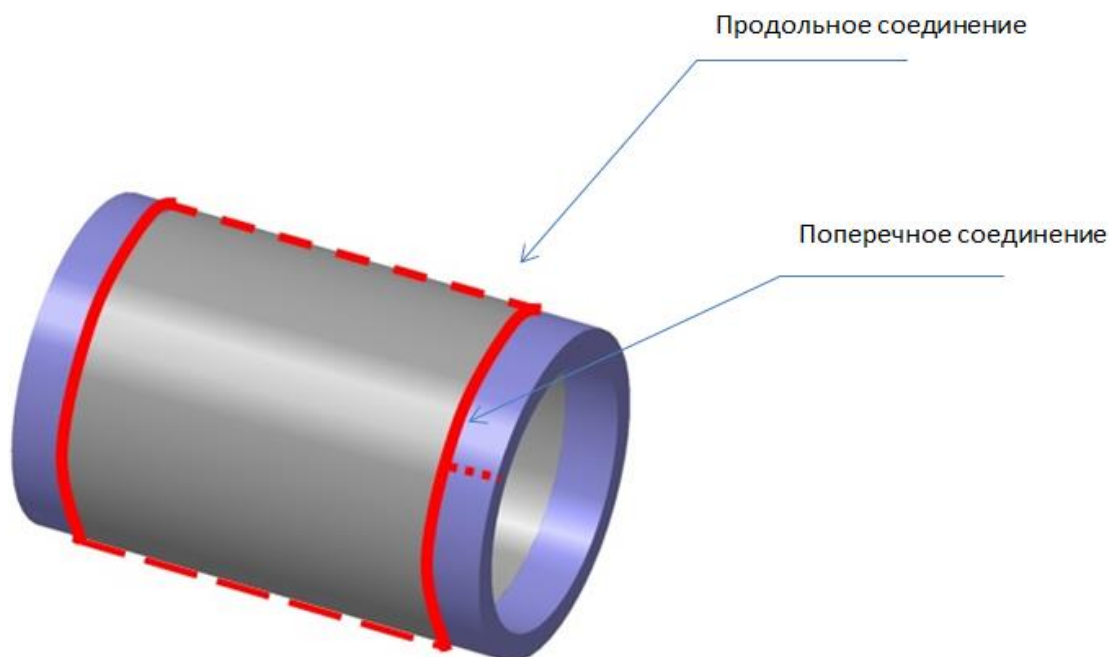


Рисунок 3 – Корпус пенала для сухого хранения ОЯТ

Стыковые соединения также могут быть разных видов. Отметим, что именно стыковые соединения применяются для монтажа ответственных конструкций. Это обуславливается тем, что такие соединения имеют самые высокие механические показатели, в отличие от прочих. С другой стороны использование такого типа сварного соединения связано с необходимостью дополнительно подготавливать кромки металлоизделия.

Кроме отличных механических показателей, стыковое соединение получило широкое распространение за счет того, что является довольно экономичным и отличается высокой производительностью. Этот вид соединения приводит к меньшему расходованию металла и времени на работу.

Именно сварной шов является основной зоной контроля при обеспечении безопасности. В данной области возникает большинство дефектов, т.е. всех отдельных несоответствий продукции требованиям, определённым нормативной документацией. Необходимо иметь представление о том, какие именно процессы происходят в сварных соединениях пенала ОЯТ и в каком виде они могут быть обнаружены при контроле.

1.2 Основные механизмы деградации структурной целостности материала

Наиболее важной операцией по контролю качества является выявление дефектов металла. Выявление дефектов осуществляется с помощью специальных систем контроля. Наиболее функциональным прибором этого типа является ультразвуковой дефектоскоп. Абсолютно в любом металле есть дефекты. Однако количество и величин дефектов может существенно увеличиваться, вплоть до прихода материала в негодность.

Помимо эффективного обнаружения также важно умение уметь классифицировать найденный дефект. Для этого задаются определенные характеристики, позволяющие различить между собой различные типы дефектов.

Обычно форма и размеры швов устанавливаются стандартами, правилами и нормами, техническими условиями и указываются на рабочих чертежах. Так, основные типы швов сварных соединений и их конструктивные элементы при ручной электродуговой сварке регламентированы ГОСТ 5264-69, при автоматической и полуавтоматической сварке под флюсом – ГОСТ 8713-79.

Развитие деградационных процессов и возникновение повреждений в объекте контроля, проявляющиеся в виде дефектов, могут возникнуть в связи с особенностями условий эксплуатации конструкционного материала объекта. Но кроме того возникновение дефектов также происходит непосредственно в процессе сварки. Причинами этого могут быть смещение электрода, загрязнение кромок, большой ток, неправильный наклон электрода, излишне длинная дуга и другие. Если своевременно не обнаружить образование таких дефектов, то в процессе эксплуатации это может привести к разрушению пенала и нарушению безопасности объекта.

Широкое многообразие дефектов металла и металлоизделий, возникающих в сварных соединениях, требует детального подхода к

определению причин происхождения дефектов и методов их идентификации. Для достоверного установления причин образования дефекта часто необходимо использовать комплекс методов. Однако основной причиной образования дефекта на металлоизделии однозначно является технология производства металлопроката и его обработка.

Дефектами сварных швов называются различные отклонения от требований чертежа и технических условий, ухудшающие качество сварного соединения: его механические свойства, сплошность, герметичность и прочее [15]. Причинами дефектов могут являться неудовлетворительная свариваемость металла, плохое качество электродов, покрытий и флюсов, неправильные технология и режим сварки, недостаточная квалификация сварщика и др.

Степень влияния дефектов на прочность изделия зависит от их формы, глубины и расположения по отношению к действующим усилиям. Наиболее опасны вытянутые дефекты с острыми очертаниями, менее опасны — дефекты округлой формы. Чем больше глубина дефекта, тем сильнее его влияние на прочность соединения. В ответственных конструкциях недопустимы дефекты, глубина которых превышает 5 - 10% толщины основного металла. Дефекты, расположенные перпендикулярно растягивающему усилию, более опасны, чем расположенные параллельно или под небольшим углом к главному действующему усилию. Поэтому самое отрицательное влияние на прочность сварных соединений оказывают, например, такие дефекты, как трещины, расположенные по оси шва, и узкие, глубокие непровары.

Появлению трещин способствуют такие дефекты, как поры, непровары, включения шлака и т. п. Трещины появляются также при кристаллизации металла в процессе сварки. Возможность образования трещин тем больше, чем хуже сваривается данный металл.

Несоответствия требованиям, о которых говорилось в ранее, в свою очередь возникают по разным причинам, отсюда и классификация дефектов на эксплуатационные и производственные.

Производственными дефектами являются все отдельные несоответствия продукции требованиям нормативной документации на изготовление, ремонт или поставку. Они появляются в результате:

- Нарушения технологического процесса;
- Изготовления;
- Восстановления деталей.

В то время как эксплуатационные дефекты представляют собой дефекты, которые появляются в результате:

- Износа;
- Усталости;
- Коррозии деталей;
- Неправильной эксплуатации.

В ходе проделанной работы были рассмотрены условия, которые приводят к определенному виду дефектов.

Во время эксплуатации пенала для хранения ОЯТ возникают различные повреждения, которые приводят к опасным последствиям, таким как частичное разрушение оболочки и выброс радиоактивных веществ с последующим полным разрушением оболочки пенала. В основном рассматривают следующие виды повреждений:

- Схлопнутый дефект;
- Межкристаллическая коррозия;
- Выпадение зерен;
- Рост и разрыв большей части углубленного разрушения.

Рассмотрим подробнее факторы, благоприятствующие образованию данных деформаций.

Большие нагрузки, повышенная концентрация хлоридов на поверхности, геометрия щелей или защитная плёнка, водные условия на поверхности, наличие агрессивных сред и жидкие среды благоприятствуют возникновению трещинообразованию от коррозии, вызванной хлоридами. Она в свою очередь провоцирует развитие таких повреждений, как схлопнутый дефект и рост и разрыв большой части углубленного разрушения.

Межкристаллическая коррозия возникает из-за геометрии щелей или отсутствия защитной плёнки. Также ее развитию благоприятствует присутствие воды на поверхности и наличия агрессивных сред. Как следствие щелевой коррозии проявляется коррозия, выпадение зёрен и усиливается рост большой части углублённого разрушения.

Коррозия, вызываемая особенностями микробиологической среды, возникает по следующим причинам - значительное присутствие питательных веществ, изначальное присутствие колонии бактерий, относительная влажность на поверхности (более 60%). Всё это приводит к межкристаллической коррозии. Она также может образовываться вследствие точечной коррозии, которая развивается в условиях присутствия воды на поверхности и наличия агрессивных сред.

Выпадение зёрен происходит из-за коррозии по их границам, что зачастую обусловлено водной средой на поверхности, наличием чрезвычайно агрессивных примесей (например NH_4HSO_4) или чувствительной микроструктурой.

Значительное различие термического расширения, большие термические и эксплуатационные нагрузки, способствуют термической усталости и соответственно приводят к росту усталостных трещин, которые ведут к разрыву большой части углубленного разрушения.

1.3 Основные способы контроля сварных соединений

Необходимо уметь определять возникновение и развитие описанных процессов. На сегодняшний день это возможно сделать только путем обнаружения возникающих в процессе деградации материала дефектов. Важно уметь обнаружить описанные в предыдущем разделе дефекты на самой ранней стадии, а значит, применяемые методы обнаружения должны обладать высокой точностью.

Для сохранения целостности объекта контроля следует применять только неразрушающие методы контроля, такие как:

- Визуальный;
- Измерительный;
- Капиллярный;
- Контроль герметичности.
- Прогонкой металлическим калибром (шариком);
- Магнитопорошковый;
- Радиографический;
- Ультразвуковой.

Предприятие обязательно осуществляет визуальный контроль, а также радиографический или ультразвуковой.

Радиографический метод контроля сварных соединений осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 7512-86. Радиографический контроль сварных соединений позволяет выявлять наличие в них пор, непроваров, шлаковых, вольфрамовых окисных и других включений, подрезов, трещин. Основывается данный метод на различном поглощении материалами рентгеновских лучей, а степень поглощения напрямую зависит от атомного номера элементов и плотности среды конкретного материала. Наиболее частая применимость радиографического контроля обусловлена его точностью и надёжностью, тем более, что развитие других методов неразрушающего

контроля было на более низком уровне.

Однако значительным недостатком рассматриваемого метода является необходимость использования большого числа специального оборудования и расходных материалов. Также обязательно применение маркировки, что является процессом, требующим большого количества времени и внимания.

Ещё одним важным и ответственным фактором является обязательные соблюдать требования безопасности. Основными видами опасности для персонала при радиографическом контроле являются воздействие на организм ионизирующего излучения и вредных газов, образующихся в воздухе под воздействием излучения, и поражение электрическим током.

Альтернативным радиографическому методу контроля сварных соединений является развивающийся ультразвуковой контроль, который заключается в регистрации параметров упругих волн, возбуждаемых или возникающих в объектах. Чаще всего используют упругие волны ультразвукового диапазона.

Ультразвуковые волны обладают способностью проникать в материальные среды на большую глубину, преломляясь и отражаясь при попадании на границу двух материалов с различной звуковой проницаемостью. Именно это качество ультразвуковых волн используется в ультразвуковой дефектоскопии сварных соединений.

УЗК позволяет проводить наиболее эффективный контроль качества, однако пока что является относительным, из-за чего требует создания калибровочных образцов.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Бакалаврские работы – это работы научного характера, связанные с научным поиском, проведением исследований с целью получения научных обобщений, изыскания принципов и путей создания (модернизации) продукции, они включают в себя:

– Фундаментальные исследования, выполняемые с целью расширения научных знаний, явлений и закономерностей их развития безотносительно к их конкретному практическому применению;

Поисковые исследования, выполняемые с целью нахождения путей использования выявленных явлений и закономерностей в конкретной области науки и техники для создания принципиально новых изделий, материалов и технологий;

– Прикладные исследования, направленные на решение научных проблем, совершенствование методов с целью получения конкретных результатов, используемых в опытно-конструкторских разработках при создании научно-технической продукции (в том числе технических средств обучения).

Перспективность научного исследования определяется не только важностью проделанной работы, но еще не в малой степени зависит и от коммерческой значимости. По этому поводу при предпроектном анализе следует учитывать и экономические стороны выполняемой работы. Оценка экономической стороны проекта поможет оптимально распределить ресурсы, контролировать состояние продвижения работы. Также через такую оценку разработчик может найти партнера для проведения дальнейших научных исследований и предоставить на рынок продукт исследования.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научного проекта, расчет

ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической части исследования.

3.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Результатом исследования является база данных дефектов сварных соединений, содержащая результаты индикаций ультразвукового контроля, целью которой является перевод относительного УЗК в количественный.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследования, был проведен анализ потребителей. Целевым рынком данной разработки будет являться область ядерного технического контроля и регулирования. Также данный метод необходим и в других отраслях, эксплуатирующих динамически нагруженные детали: нефтяной и газовой промышленности (буровое оборудование), транспортном машиностроении (бандажи колес локомотивов, вагонов, колеса шахтных вагонеток, крановые колеса) и других отраслях, где требуется обеспечение высокого уровня качества ответственных конструкций. Результаты проведенного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Сегментирование рынка

	Использование стандартизированной базы сварных соединений для УЗК		
	Атомная промышленность	Нефтяная и газовая промышленность	Транспортное машиностроение
Сильная потребность	+	+	+
Слабая потребность			

На Российском рынке на данный момент не существует методов и приборов для измерения дефектов сварных соединений металлических конструкций, основанных на использовании эффекта ультразвукового рассеяния.

3.2 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений предлагается производить по технологии QuaD. Она представляет собой гибкий инструмент измерения характеристик, описывающих качество новой разработки, ее перспективность на рынке и позволяет принимать решение целесообразности вложения денежных средств в научно-исследовательский проект. Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации.

Для упрощения процедуры проведения QuaD рекомендуется оценку проводить в табличной форме (таблица 4).

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путем по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 100 – наиболее сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Максимальный балл	Относительное значение	Средне-взвешенное значение
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Повышение производительности труда пользователя	0,2	100	100	1	20
2. Простота эксплуатации	0,05	70	100	0,7	3,5
3. Эффективность	0,05	90	100	0,9	4,5
4. Точность	0,15	90	100	0,9	13,5
5. Функциональность	0,15	100	100	1	15
Экономические критерии оценки эффективности					
1. Конкурентоспособность продукта	0,2	90	100	0,9	18
2. Цена	0,1	70	100	0,7	7
3. Финансовая эффективность научной разработки	0,1	70	100	0,9	9
Итого	1				90,5

Оценка качества и перспективности по технологии QuaD определяется по формуле:

$$P_{\text{ср}} = \sum B_i \cdot B_i \quad (1)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средневзвешенное значение показателя качества и перспективности научной разработки;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – средневзвешенное значение i -го показателя.

Значение $P_{\text{ср}}$ позволяет говорить о перспективах разработки и качестве проведенного исследования. Если значение показателя $P_{\text{ср}}$ получилось от 100 до 80, то такая разработка считается перспективной. Если от 79 до 60 – то перспективность выше среднего. Если от 59 до 40 – то перспективность средняя. Если от 39 до 20 – то перспективность ниже среднего. Если 19 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Как видно из анализа по технологии QuaD, данное исследование составило 90,5 баллов, что говорит о перспективности разработки.

3.3 SWOT-анализ

Следующим этапом является комплексный анализ внешней и внутренней среды проекта с помощью технологии SWOT (Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы)). Анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде, а также, в выявлении соответствия сильных и слабых сторон проекта. В результате составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приводится в работе (таблица 5).

Таблица 5 – SWOT-анализ

	Сильные стороны	Слабые стороны
	– Полученные предварительные результаты; – Использование современного универсального оборудования; – Финансовая стабильность проекта; – Актуальность тематики.	– Несовершенство алгоритма обработки данных контроля; – Отсутствие возможности автоматизированной обработки результатов; – Ограниченный выбор методов обработки экспериментальных образцов; – Отсутствие охранного документа на полученные результаты интеллектуальной деятельности; – Возможность поломки измерительного оборудования.
Возможности – Возможность применения методики на универсальном оборудовании УЗК; – Востребованность результатов исследования в атомной промышленности; – Появление дополнительного спроса со стороны различных отраслей промышленности; – Использование инфраструктуры ТПУ с использованием финансирования.	– Внедрить методику оценки качества на базе универсального оборудования УЗК; – Осуществить возможность проведения корреляционного анализа с референтным методом.	– Разработать алгоритм обработки полученных результатов; – Внедрить процедуру автоматизации контроля; – Адаптировать методику контроля для образцов, обработанных различными методами; – Осуществить возможность замены универсального оборудования УЗК.
Угрозы – Отсутствие спроса на результаты исследования; – Появление аналогичной продукции от компаний-конкурентов; – Развитие других методов обработки деталей; – Задержки финансирования; – Отсутствие оборудования для измерений в связи с его поломкой.	– Привлечь финансирование из других источников; – Адаптировать методику для контроля упрочненных деталей вне зависимости от метода упрочнения.	– Усовершенствовать методику обработки результатов; – Оформить охранный документ; – Приобрести необходимое оборудование для проведения измерений.

3.4.1 Планирование этапов и работ по выполнению бакалаврской работы

Для выполнения научных исследований сформирована рабочая группа, в состав которой входят научный руководитель и дипломник. Порядок составления этапов и работ приведен в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Выбор направления исследования	1	Изучение проблемы и подбор литературы.	Руководитель, дипломник
	2	Изучение и анализ литературы, а также выбор наиболее подходящего метода решения проблемы.	Дипломник
Разработка технического задания на бакалаврскую работу	3	Составление и утверждение технического задания.	Руководитель
Теоретические и расчетные исследования	4	Анализ существующих требований к обеспечению всеобъемлющей безопасности в случае продления срока эксплуатации АЭС	Дипломник
	5	Анализ ответственных компонентов АЭС и способов повышения их надежности	
	6	Обзор методов, пригодных для контроля качества выбранных компонентов в целях обеспечения безопасности	
	7	Выбор наиболее подходящего метода	Дипломник
	8	Разработка экспериментальных установок	
	9	Проведение экспериментов, обработка и анализ полученных данных	
Обобщение и оценка результатов	10	Анализ и формирование выводов по полученным результатам НИР.	Руководитель, дипломник
	11	Составление пояснительной записки и подготовка графического материала.	Дипломник
	12	Подготовка темы к защите.	Руководитель, дипломник

3.4.2 Определение трудоемкости выполнения бакалаврской работы

Трудовые затраты представляют собой затраты, которые непосредственно связаны с выполнением исполнителем работ. Зачастую они являются весомой

составляющей при проведении научно-исследовательских работ. Чтобы рассчитать трудовые затраты необходимо оценить время, которое каждый человек (исполнитель) тратит на выполнение своих заданий.

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях (чел.-дн.) и носит вероятностный характер, поскольку зависит от множества факторов. Ожидаемое (среднее) значения трудоемкости работ $t_{ож}$ определяется при помощи формулы:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (2)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дн.; $t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность выполнения каждого задания (работ) в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. В расчете используется выражение:

$$T_{p\ i} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i}, \quad (3)$$

где $T_{p\ i}$ – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Вычисление продолжительности работ необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65%. Результаты расчетов трудоёмкости и продолжительности одной работы сведены в таблице 7.

3.4.3 Разработка календарного плана работ

Так как выполнение выпускной квалификационной работы предполагает рассмотрение относительно небольшой темы, поэтому ожидаемый объем работ будет также относительно небольшой. В связи с этим в качестве наиболее удобного и наглядного вида календарного плана работ был выбран ленточный график проведения НИР в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта представляет собой график, состоящий из отрезков, располагающихся на горизонтальной шкале времени. Каждый отрезок соответствует отдельному заданию или работе. Номер этапа, соответствующий конкретному заданию или работе, размещается по вертикали. Начало, конец и длина отрезка на шкале времени соответствуют началу, концу и длительности задачи.

Для удобства построения календарного план-графика, длительность этапов в рабочих днях переводится в календарные дни и рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k, \quad (4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения одной работы в календарных днях; T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

k – коэффициент календарности, предназначен для перевода рабочего времени в календарное.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (5)$$

где $T_{кг}$ – количество календарных дней (кал. дн.) в году.

Примем, что число календарных дней равно 365, выходных – 104, праздничных – 9. Исходя из этого, коэффициент календарности равен:

$$k = \frac{365}{365 - 104 - 9} \approx 1,45.$$

Длительность этапов в календарных днях сведена в таблице 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения НИР

Этап	t_{min} , чел.- дн.	t_{max} , чел.- дн.	$t_{ож}$, чел.- дн.	Исполнители	T_p , раб. дн.	T_k , кал. дн.
1	5	10	7	2 (Р., Д.)	3,5	5
2	15	20	17	1(Д.)	17	25
3	1	2	1,4	1(Р.)	1,4	2
4	10	15	12	1(Д.)	12	17
5	5	7	5,8	1(Д.)	5,8	8
6	12	15	13,2	1(Д.)	13,2	20
7	2	3	2,4	1(Д.)	2,4	4
8	5	7	5,8	1(Д.)	5,8	8
9	15	20	17	1(Д.)	17	25
10	5	7	5,8	2 (Р., Д.)	2,9	4
11	10	15	12	1(Д.)	12	17
12	5	10	7	2 (Р., Д.)	3,5	5
ИТОГО:			106,4		96,5	140

Таблица 8 – Построение диаграммы Ганта

№ этапа	Содержание работ	Должность исполнителя	T_k , кал. дн.
1	Изучение проблемы и подбор литературы.	Р, Д	5
2	Изучение и анализ литературы, а также выбор наиболее подходящего метода решения проблемы.	Д	25
3	Составление и утверждение технического задания.	Р	2
4	Анализ существующих требований к обеспечению всеобъемлющей безопасности в случае продления срока эксплуатации АЭС	Д	17
5	Анализ ответственных компонентов АЭС и способов повышения их надежности	Д	8
6	Обзор методов, пригодных для контроля качества выбранных компонентов в целях обеспечения безопасности	Д	20
7	Выбор наиболее подходящего метода	Д	4
8	Разработка экспериментальных установок	Д	8
9	Проведение экспериментов, обработка и анализ полученных данных	Д	25

Продолжение таблицы 8

№ этапа	Содержание работ	Должность исполнителя	T_k , кал. дн.
10	Анализ и формирование выводов по полученным результатам НИР.	Р, Д	4
11	Составление пояснительной записки и подготовка графического материала.	Д	17
12	Подготовка темы к защите.	Р, Д	5

3.5 Определение плановой себестоимости проведения НИР

3.5.1 Состав затрат, включаемый в себестоимость НИР

Определение затрат на выполнение НИР производится путем составления калькуляции по отдельным статьям затрат всех видов необходимых ресурсов. Калькуляция является основным документом, на основании которого осуществляется планирование и учет затрат на научные исследования.

Калькуляция плановой себестоимости проведения НИР составляется по следующим статьям затрат:

- а) материалы (материальные затраты);
- б) оплата труда работников, непосредственно участвующих в НИР;
- в) отчисления во внебюджетные фонды;
- г) прочие прямые расходы;
- д) спецоборудование для научных и исследовательских работ;
- е) накладные расходы.

Пункты а-д относятся к прямым затратам, связанным непосредственно с выполнением НИР. Величина прямых затрат определяется прямым счетом. Накладные расходы (статья е) подразумевают затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб. Величина накладных расходов рассчитываются косвенным способом.

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР

Этапы и подэтапы		Т _к , кал.дн	Время выполнения работ											
			Февраль			Март			Апрель			Май		
1	1	Изучение проблемы и подбор литературы.	5											
2	2	Изучение и анализ литературы, а также выбор наиболее подходящего метода решения проблемы.	25											
	3	Составление и утверждение технического задания.	2											
	4	Анализ существующих требований к обеспечению всеобъемлющей безопасности в случае продления срока эксплуатации АЭС	17											
3	5	Анализ ответственных компонентов АЭС и способов повышения их надежности	8											
	6	Обзор методов, пригодных для контроля качества выбранных компонентов в целях обеспечения безопасности	20											
	7	Выбор наиболее подходящего метода	4											
	8	Разработка экспериментальных установок	8											
	9	Проведение экспериментов, обработка и анализ полученных данных	25											
	10	Анализ и формирование выводов по полученным результатам НИР.	4											
	12	Составление пояснительной записки и подготовка графического материала.	17											
	11	Подготовка темы к защите.	5											
Итого дней					- научный руководитель					- студент				

3.5.2 Формирование и расчет затрат, включаемых в себестоимость

3.5.2.1 Материальные затраты

Этот пункт включает в себя стоимость всех материалов, необходимых для выполнения НИР. К категории материалов относят:

- Сырье, основные и вспомогательные материалы;
- Покупные полуфабрикаты и комплектующие изделия;
- Электроэнергия (на технологические цели).

Стоимость материалов формируется исходя из цены их приобретения и платы за транспортировку (упаковку и доставку), осуществляемую сторонними организациями. Если расходы сторонних организаций, связанные с доставкой материальных ресурсов для НИР, незначительны (2-4%), то их можно опустить.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$C_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{\text{расх}i}, \quad (6)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{\text{расх}i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Величина коэффициента (k_T), отражающего соотношение затрат по доставке материальных ресурсов и цен на их приобретение, зависит от условий договоров поставки, видов материальных ресурсов, территориальной удаленности поставщиков и т.д. Транспортные расходы принимаются в пределах 15-25% от стоимости материалов. Примем $k=0,15$.

Калькуляция расходов на материалы приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество, шт./упак.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Канцелярские товары	Бумага для принтера, формат А4, 500 шт., Скрепки канцелярские 50 шт., ручки 2 шт., карандаши 2 шт., ластик 1шт., нож канцелярский 1шт., корректор 1шт.	1	575,00	575,00
Покупные материалы	Связывающая среда, клей, салфетки	1	1200,00	1200,00
Итого по статье C_M				1725,00

3.5.2.2 Оплата труда работников, непосредственно занятых выполнением НИР

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИР, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату.

$$C_{\text{зн}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (из табл. 10);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях), см. табл. 11.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	104
- праздничные дни	9	9
Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	24
- невыходы по болезни	–	–
Действительный годовой фонд рабочего времени	256	228

Месячный должностной оклад руководителя (аспирант кафедры):

$$Z_{\text{м рук.}} = Z_{\text{мс}} \times K_p, \quad (10)$$

где $Z_{\text{мс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

K_p – районный коэффициент, равный 1,3.

Согласно отраслевой системе оплаты труда основная месячная заработная плата руководителя (ассистент кафедры) составляет 18221,96 руб.

$$Z_{\text{м рук.}} = (18221,96) \times 1,3 = 23688,55(\text{руб.}),$$

$$Z_{\text{исп.}} = (6976) \times 1,3 = 9068,8(\text{руб.}),$$

Среднедневная зарплата руководителя и дипломника соответственно равны:

$$Z_{\text{дн рук.}} = \frac{18221,96 \times 10,4}{256} \approx 715 (\text{руб.}),$$

$$З_{\text{дн дип.}} = \frac{9068,8 \times 11,2}{228} \approx 445 \text{ (руб.)}.$$

Заработная плата руководителя и дипломника за время работы над дипломной работой составляет соответственно:

$$З_{\text{осн рук.}} = 715 \times 11,3 \approx 8079,5 \text{ (руб.)},$$

$$З_{\text{осн дип.}} = 445 \times 95,1 \approx 42319 \text{ (руб.)}.$$

Результаты расчета основной заработной платы сведены в таблице 12.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР:

$$З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} \times \kappa_{\text{доп}}, \quad (11)$$

где $\kappa_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты.

Примем коэффициент дополнительной зарплаты равным 0,15 для руководителя и 0,12 для дипломника. В таблице 9 сведена информация по основной и дополнительной заработной плате.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \cdot \kappa_{\text{внеб}}, \quad (12)$$

где $\kappa_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды/

На 2016 г. в соответствии с Федеральным закона от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2016 году водится пониженная ставка – 27,1%.

Таблица 12 – Заработная плата исполнителей НИР

Заработная плата, руб.	Руководитель	Дипломник
Основная зарплата	7 845,251	10 746,3
Дополнительная зарплата	1176,79	1289,56
Зарплата исполнителя	9022,039	12035,86
Внебюджетные отчисления	2444,97	3261,72
Итого по статье $C_{3П}$	26764,59	

3.5.2.3 Спецоборудование для научных и экспериментальных работ

Статья включает в себя затраты на приобретение и изготовление стендов, испытательных станций, приборов и устройств, предназначенных для использования в качестве объектов испытаний и исследований, необходимых для выполнения конкретной НИР. Определение затрат по этой статье производится по фактической стоимости приобретения с учетом транспортно-заготовительных расходов (таблица 13).

Таблица 13 – Приобретенное спецоборудование

Наименование	Марка	Количество, шт./упак.	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Программное обеспечение	CIVA	1	3000000,00	3000000,00
Портативный компьютер	Lenovo	1	50000,00	50000,00
Всего за материалы				3000000,00
Затраты по доставке и монтажу в размере 15%				457500,00
Итого по статье C_{CO}				3457500,00

3.5.2.4 Контрагентные расходы

В контрагентные расходы могут быть включены: затраты на приобретение научно-технической литературы; расходы на пользование Интернетом, аренду спецоборудования, командировки, почтовые и телеграфные расходы и т.п. Контрагентные расходы составляют 3-5% от суммы предыдущих статей:

$$C_{ПР} = (C_M + C_{ЗП} + C_{CO} + C_{ВНЕБ}) \times \kappa_{пр} = (1725,00 + 26764,59 + 352187,5) \times 0,05 \approx 19033,85 \text{ (руб.)},$$

где $\kappa_{пр}$ – коэффициент контрагентных расходов, принятый равным 0,05.

3.5.2.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{НАКЛ} = \sum_{\text{всех статей}} \times k_{накл} \approx 63953,75 \text{ (руб.)},$$

где $k_{накл}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в данной работе приняты равными 16 %.

Калькуляция плановой себестоимости НИР на основании полученных данных по отдельным статьям затрат приведена в таблице 14.

Таблица 14 – Калькуляция плановой себестоимости

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Материальные затраты (C_M)	1725,0000
Затраты на оплату труда работников, непосредственно занятых созданием НИР ($C_{ЗП}$), включая отчисления во внебюджетные фонды ($C_{ВНБФ}$)	26764,5900
Спецоборудование для научных работ ($C_{СО}$)	3457500,0000
Контрагентные расходы ($C_{ПР}$)	19033,8500
Накладные расходы ($C_{НАКЛ}$)	63953,7504
Итого себестоимость НИР ($C_{НИР}$)	3568977,1900

3.6 Анализ экономической эффективности НИР

Полная себестоимость НИР составила 3568977,19 рублей. В выполнении НИР было задействовано 2 человека. Временные затраты составили 97 рабочих дней или 140 календарных дня.

Экономический эффект дипломной работы, выраженный в денежных средствах, определить не представляется возможным. В ходе работы была разработана стандартизированная база данных дефектов сварных соединений для ультразвукового контроля, также было проведено исследование существующих методов ультразвуковой диагностики и выявлены их недостатки.

Список публикаций студента

1. Твердохлебова Т.С., Лидер А.М., Салчак Я.А., Шаравина С.В. Разработка стандартизированной базы дефектов сварных соединений пеналов для сухого хранения ОЯТ// VI Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, 14-16 октября 2015г., г. Томск: Изд. СТИ НИЯУ МИФИ, 2015. – 147с.;
2. Твердохлебова Т.С., Лидер А.М., Салчак Я.А., Шаравина С.В. Количественный ультразвуковой анализ за счёт внедрения стандартизированной базы данных дефектов сварных соединений// Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее: сборник научных трудов IV Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых «Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее» в 3 т. Т.1/Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 265 с.;
3. Твердохлебова Т.С., Лидер А.М., Салчак Я.А., Шаравина С.В. Количественная ультразвуковая оценка дефектов сварных соединений объектов атомной энергетики//Инновации в атомной энергетике: сб. тезисов докладов конференции молодых специалистов (25–26 ноября 2015 г., Москва). – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2015. – 86 с.;
4. Твердохлебова Т.С., Лидер А.М., Салчак Я.А., Шаравина С.В. Количественная ультразвуковая оценка дефектов сварных соединений объектов атомной энергетики// Инновации в атомной энергетике: сб. докладов конференции молодых специалистов (25–26 ноября 2015 г., Москва). – М.: Изд-во АО «НИКИЭТ», 2015.– 688 с.;
5. Твердохлебова Т.С., Лидер А.М., Салчак Я.А. Обеспечение технической безопасности пеналов с ОЯТ методом ультразвукового контроля// Ф503 Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине:

сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции. – Томск, 2016. – 262 с.