

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

Инженерная школа ядерных технологий
Отделение ядерно-топливного цикла
Электроника и автоматика физических установок

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема работы
СИСТЕМА СТАБИЛИЗАЦИИ ПЛОТНОСТИ РАСТВОРА, СОДЕРЖАЩЕГО РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ЕМКОСТИ- СБОРНИКЕ

УДК 621.036.54:531.75:620.179

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
073А	Кыштымов И.В.		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Зеленецкая Е.П.	-		

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Тухватулина Л.Р.	канд. филос. наук, доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Акимов Д.В.	-		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Электроника и автоматика физических установок	Горюнов А.Г.	д-р техн. наук, доцент		

Томск – 2018 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Универсальные компетенции</i>	
Р1	Представлять современную картину мира на основе целостной системы естественнонаучных и математических знаний, а также культурных ценностей; понимать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства; быть готовым к анализу социально-значимых процессов и явлений, применять основные положения и методы гуманитарных, социальных и экономических наук при организации работы в организации, к осуществлению воспитательной и образовательной деятельности в сфере публичной и частной жизни.
Р2	Обладать способностями: действовать в соответствии с Конституцией РФ, исполнять свой гражданский и профессиональный долг, руководствуясь принципами законности и патриотизма, правилами и положениями, установленные законами и другими нормативными правовыми актами; к логическому мышлению, обобщению, анализу, прогнозированию, постановке исследовательских задач и выбору путей их достижения; понимать основы национальной и военной безопасности РФ; работать в многонациональном коллективе; формировать цели команды, применять методы конструктивного разрешения конфликтных ситуаций; использовать на практике навыки и умения в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ.
Р3	Самостоятельно, методически правильно применять методы

	самостоятельного физического воспитания для повышения адаптационных резервов организма и укрепления здоровья, готовностью к достижению и поддержанию должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности.
P4	Свободно владеть литературной и деловой письменной и устной речью на русском языке, навыками публичной и научной речи. Уметь создавать и редактировать тексты профессионального назначения, владеть одним из иностранных языков как средством делового общения.
P5	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и нести за них ответственность; быть готовым к принятию ответственности за свои решения в рамках профессиональной компетенции, принимать решения в нестандартных условиях обстановки и организовывать его выполнение, самостоятельно действовать в пределах предоставленных прав; самостоятельно применять методы и средства познания, обучения и самоконтроля для приобретения новых знаний и умений, в том числе в новых областях, непосредственно не связанных со сферой деятельности, развития социальных и профессиональных компетенций.
P6	Применять основные законы естественнонаучных дисциплин, математический аппарат, вычислительную технику, современные методы исследований процессов и объектов для формализации, анализа и выработки решения профессиональных задач.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Уметь самостоятельно повышать уровень знаний в области профессиональной деятельности, приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической

	<p>деятельности новые знания и умения; использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт, методы научно-исследовательской и практической деятельности, современные компьютерные технологии и базы данных в своей предметной области; работать с информацией в глобальных компьютерных сетях; оценивать перспективы развития АСУ и АСНИ физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), использовать современные достижения в научно-исследовательских работах.</p>
P8	<p>Применять знания о процессах в ядерных энергетических и физических установках, и о технологических процессах ядерного топливного цикла используя методы математического моделирования отдельных стадий и всего процесса для разработки АСУ ТП и АСНИ с применением пакетов автоматизированного проектирования и исследований.</p>
P9	<p>Использовать знания о протекающих процессах в ядерных энергетических установках, аппаратах производств ядерного топливного цикла, теории и практики АСУ ТП, при проектировании, настройке, наладке, испытаниях и эксплуатации современного оборудования, информационного, организационного, математического и программного обеспечения, специальных технических средств, сооружений, объектов и их систем; организовать эксплуатацию физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики), современного оборудования и приборов с учетом требований руководящих и нормативных документов; быть готовым к освоению новых образцов физических установок, составлению инструкций по эксплуатации оборудования и программ испытаний.</p>

P10	Использовать технические средства и информационные технологии, проводить предварительное технико-экономического обоснования проектных расчетов устройств и узлов приборов и установок, расчет, концептуальную и проектную проработку программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач с учетом неопределенностей объекта управления, разрабатывать способы применения программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ, решать инженерно-физические и экономические задачи, применяя знания теории и практики АСУ, включающее математическое, информационное и техническое обеспечения, для проектирования, испытания, внедрения и эксплуатации АСУ ТП и АСНИ.
P11	Понимать сущность и значение информации в развитии современного общества, соблюдать основные требования безопасности и защиты государственной тайны; выполнять мероприятия по восстановлению работоспособности физических установок (вооружения и техники, процессов и аппаратов атомной промышленности и энергетики) при возникновении аварийных ситуаций, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения; проводить анализ и оценку обстановки для принятия решения в случае возникновения аварийных ситуаций, экологическую безопасность, нормы и правило производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности.
P12	Разрабатывать проекты нормативных и методических материалов, технических условий, стандартов и технических описаний средств АСУ ТП и АСНИ, регламентирующих работу в сфере профессиональной деятельности; осуществлять

	<p>разработку технического задания, расчет, проектную проработку современных устройств и узлов приборов, установок (образцов вооружения, программно-технических средств АСУ ТП и АСНИ), использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов.</p>
P13	<p>Использовать в профессиональной деятельности нормативные правовые акты в области защиты государственной тайны, интеллектуальной собственности, авторского права и в других областях; осуществлять поиск, изучение, обобщение и систематизацию научно-технической информации, нормативных и методических материалов в сфере своей профессиональной деятельности.</p>
P14	<p>Проявлять и активно применять способность к организации и управлению работой коллектива, в том числе: находить и принять управленческие решения в сфере профессиональной деятельности; разрабатывать планы работы коллективов; контролировать соблюдение технологической дисциплины, обслуживания, технического оснащения, размещения технологического оборудования; организовывать учет и сохранность физических установок (вооружения и техники), соблюдение требований безопасности при эксплуатации; использовать основные методы защиты персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий.</p>
P15	<p>Демонстрировать способность к осуществлению и анализу научно-исследовательских, технологических и пуско-наладочных работ, разработке планов и программ их проведения, включая ядерно-физические эксперименты, выбору методов и средств решения новых задач с применением</p>

	<p>современных электронных устройств, представлению результатов исследований и формулированию практических рекомендаций их использования в формах научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных работ; выполнять полный объем работ, связанных с техническим обслуживанием физических установок с учетом требований руководящих и нормативных документов.</p>
--	--

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

Инженерная школа ядерных технологий
Отделение ядерно-топливного цикла
Электроника и автоматика физических установок

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель ООП 14.15.04

_____ А.Г. Горюнов
«12» марта 2018 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Дипломной работы

Студенту:

Группа	ФИО
073А	Кыштымов И.В.

Тема работы:

Система стабилизации плотности раствора, содержащего радиоактивные материалы в емкости-сборнике

Утверждена приказом директора ИЯТШ	от 20.03.2018 № 1954/с
---	------------------------

Дата сдачи студентом выполненной работы	18 июня 2018 г.
--	-----------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	1) Объект исследования – система стабилизации плотности раствора, содержащего радиоактивные материалы в емкости-сборнике. 2) Табличные значения массовых коэффициентов ослабления элементов.
---------------------------------	---

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1) Аналитический обзор применяющихся методов определения плотности. 2) Обзор условий среды применения системы определения плотности. 3) Разработка математической модели и компьютерной модели в среде Matlab/Simulink.
Перечень графического материала	1) Схема емкости-сборника для определения плотности жидкости. 2) Графики, отображающие результаты моделирования.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	доцент, канд. филос. наук Гухватулина Л.Р.
Социальная ответственность	старший преподаватель Акимов Д.В.

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12 марта 2018 г.
---	------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОЯТЦ ИЯТШ	Зеленецкая Е.П.			12.03.18

Задание принял к исполнению студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
073А	Кыштым И.В.		12.03.18

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 79 с., 20 рис., 15 табл., 27 источников, 1 прил.

ПЛОТНОСТЬ РАСТВОРА, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС, ЕМКОСТЬ-СБОРНИК, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ, ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЯ, КОЭФФИЦИЕНТ ОСЛАБЛЕНИЯ, РАДИОАКТИВНЫЕ МАТЕРИАЛЫ.

Объектом исследования является система стабилизации плотности раствора, содержащего делящиеся материалы.

Цель работы – обеспечение ядерной безопасности технологий на систему определения плотности раствора в емкости сборнике на неразрушающего метода анализа ядерных материалов, позволяющую стабилизировать плотность растворов, содержащих делящиеся элементы.

В процессе исследования проводился аналитический обзор применяющихся методов определения плотности и обзор условий среды применения системы определения плотности.

В результате работы были разработаны математическая модель и компьютерная модель системы стабилизации плотности в среде Matlab/Simulink.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В данной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 12.1.003–83. Система стандартов безопасности труда. Шум.
Общие требования безопасности

ГОСТ 12.4.051-87. Система стандартов безопасности труда (ССБТ).
Средства индивидуальной защиты органа слуха

СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96 Электромагнитные излучения
радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ). Санитарные правила и нормы

СанПиН 2.2.4.548-96 "Гигиенические требования к микроклимату
производственных помещений

ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно гигиенические требования к
воздуху рабочей зоны

В данной работе применены следующие сокращения:

система автоматического управления; САУ.

объект управления; ОУ.

неразрушающий анализ; НРА.

ионизирующее излучение; ИИ.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	14
1 Теоретическая часть.....	17
1.1 Аналитический обзор	17
1.1.1 Метод гидростатического взвешивания	17
1.1.2 Флотационный поплавковый метод.....	20
1.1.3 Плотномеры объёмно-весового типа	21
1.1.4 Методы на основе перепада давления	22
1.1.5 Вибрационные методы.	26
1.1.6 Радиоизотопные методы измерения плотности.....	31
1.1.7 Заключение по обзору	33
1.2 Математическое описание определения плотности методом НРА	34
1.2.1 Моноэнергетическая плотнометрия.....	39
1.2.2 Многоэнергетическая плотнометрия	40
2 Практическая часть	43
2.1 Описание объекта исследования	43
2.2 Разработка компьютерной модели объекта в среде Matlab.....	45
2.3 Идентификация объекта	50
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение ..	53
3.1 SWOT-анализ.....	53
3.2 План проекта.....	56
3.3 Бюджет научного исследования	59
3.3.1 Затраты на специальное оборудование.....	59
3.3.2 Основная заработная плата	59
3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды	61
3.3.4 Расчет потребляемой энергии.....	62
3.4 Группировка затрат по статьям	63
3.5 Заключение по разделу.....	65
4 Социальная ответственность	66

4.1 Введение.....	66
4.2 Анализ вредных факторов.....	67
4.2.1 Нормирование производственного шума	67
4.2.2 Нормирование освещенности в помещении	69
4.2.3 Мероприятия по защите от электромагнитного излучения.....	70
4.2.4 Мероприятия по выполнению норм микроклимата	71
4.3 Анализ опасных факторов.....	72
4.3.1 Мероприятия по электробезопасности	72
4.3.2 Мероприятия по пожарной безопасности	74
4.4 Охрана окружающей среды	75
4.5 Защита в чрезвычайных ситуациях	75
4.6 Заключение	78
Заключение	79
Список использованных источников	81
Приложение А	82

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возросли требованиями в промышленности к безопасности и к процессу производства промежуточной и конечной продукции. Это относится ко всему: выработке электроэнергии, химической промышленности и другим отраслям. Для бесперебойного и качественного выпуска продукции необходимо следить за технологией и соблюдением технологического процесса.

Необходимость строгого контроля технологических процессов и гарантии бесперебойной работы также важна в современной энергетике, которая должна обеспечивать возрастающие потребности промышленности и рядовых потребителей, например, только величина потребляемой электроэнергии в России равна 6602,66 кВт·ч на душу населения по данным 2014 г. Доля атомной выработки в общей энергетике России на 2017 год составляла 19,25 %, которая в перспективе будет только расти.

Атомная энергетика использует топливо ядерной чистоты. Под ядерной чистотой подразумевается практически полное очищение топлива от компонентов с высоким сечением поглощения нейтронов. Чтобы получить ядерное топливо необходимо произвести сложный технологический цикл, состоящий из процессов добычи урановых пород, их обогащения, растворения, очистки и обогащения непосредственно самого урана, а также переработки отработанного ядерного топлива.

В процессах очистки и переработки сырья и производства топлива должна соблюдаться общая масса ядерно-делящихся компонент в продуктах ниже критической, так как при достижении критической массы возможна самопроизвольная цепная ядерная реакция деления, что ведет к радиационной аварии.

					643.ФЮРА.00008-01 81 01			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кыштымов</i>				Введение	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Зеленецкая</i>							
<i>Консульт</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>							
						ТПУ ФТИ Группа 073А		

В процессе растворения и очистки уран находится в основном в растворе кислот или гидрокарбонатов. Все технологические процессы цикла являются потенциально опасными, так как компоненты, в первую очередь, сам уран или плутоний, являются радиоактивными, а растворы с отработанным топливом дополнительно содержит значительное количество радиоактивных изотопов. В связи с этим безопасная переработка растворов, содержащих делящиеся материалы, требует контроля технологических параметров производства ядерного топлива и переработки ядерных материалов, а именно в случае растворов, содержащих делящиеся материалы, может требоваться контроль температуры раствора, плотности, концентрации отдельных компонентов, контроль расхода.

Измерение плотности растворов, содержащих радиоактивные материалы, участвующих в технологических процессах, важно потому, что по ней можно судить о количестве какого-либо элемента или вещества в растворах и смесях. Это важный параметр во многих отраслях промышленности. В химических производствах и производствах ядерно-топливного цикла определение плотности и, следовательно, концентрации особенно важно, так как предъявляются высокие требования к чистоте исходного сырья.

В целях безопасности и снижения материальных затрат химического ядерного производства, необходимо на стадии проекта определять и моделировать параметры режимов технологических процессов. В частности, необходимо проводить моделирование системы определения плотности растворов.

1 Теоретическая часть

1.1 Аналитический обзор

1.1.1 Метод гидростатического взвешивания

Данная работа посвящена определению и стабилизации плотности растворов, содержащих дегазируемые материалы. Существуют различные методы измерения плотности, в основе которых лежат различные физические явления.

Каждый метод имеет свои достоинства и недостатки, обусловленные принципом измерения параметров. В зависимости от условий среды, где будет работать плотномер, выбирается тип датчика на основе какого-либо метода, который лучше всего подходит для работы. Необходимо провести аналитический обзор, чтобы определить пригодность того или иного метода измерения для работы с растворами, содержащими радиоактивные материалы.

В методе гидростатического взвешивания используются коромысловые плотномеры. Данный метод является подходящим в случаях, когда предпочтение отдается простоте измерения и скорости его осуществления, или в случае, когда работа идет при высоких давлениях.

При полном погружении твердого тела в исследуемую жидкость вытесняется объем жидкости, равный объему этого тела. Для измерения объема определяя его вес P_1 в воздухе, затем взвешивают, полностью погрузив в жидкость с известной плотностью ρ_v (в данном случае вода) и определяют вес P_2 . После этого измеряют вес тела в исследуемой жидкости и определяют его вес P_3 . Запишем условия равновесия для этих случаев:

					643.ФЮРА.00008-01 81 01			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>	<i>Кыштымов</i>				Теоретическая часть	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Зеленецкая</i>							
<i>Консульт</i>								
<i>Н. Контр.</i>	<i>Ефремов</i>							
<i>Утверд.</i>	<i>Горюнов</i>							
						ТПУ ФТИ Группа 073А		

$$mg = N_1 - \rho_{\text{возд}} gV, \quad (1.1)$$

$$mg = N_1 - \rho_{\text{возд}} gV, \quad (1.2)$$

$$mg = N_2 - \rho_{\text{ж}} gV, \quad (1.3)$$

где $\rho_{\text{ж}}$ – плотность исследуемой жидкости;

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воды;

$\rho_{\text{возд}}$ – плотность воздуха;

g – ускорение свободного падения;

V – объем погружаемого тела;

m – масса погружаемого тела;

N – сила натяжения нити подвеса тела.

Выразим объем V сначала из уравнений (1.1) и (1.2), учитывая равенство по модулю $P = N$:

$$V = \frac{P_1 - P_2}{g(\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{возд}})}, \quad (1.4)$$

затем из уравнений (1.1) и (1.3):

$$V = \frac{P_1 - P_3}{g(\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{возд}})}. \quad (1.5)$$

где P_1 – вес тела в воздухе;

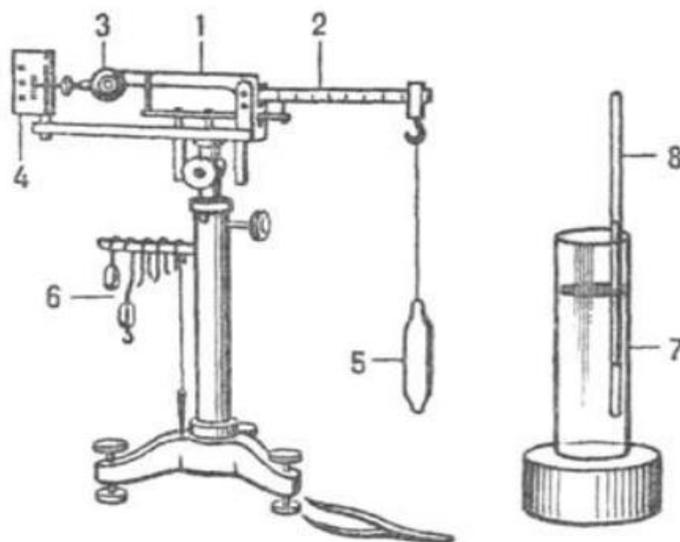
P_2 – вес тела в воде;

P_3 – вес тела в исследуемой жидкости.

Приравняв уравнений (1.4) и (1.5), найдем расчетную формулу для вычисления плотности исследуемой жидкости $\rho_{\text{ж}}$ (формула (1.6)):

$$\rho_{\text{ж}} = \frac{P_1 - P_3}{P_1 - P_2} \cdot (\rho_{\text{в}} - \rho_{\text{возд}}) + \rho_{\text{возд}}. \quad (1.6)$$

На рисунке 3 показаны гидростатические весы Мора-Вестфалья.



1 – неравноплечее коромысло; 2, 4 – указательные шкалы; 3 – неподвижный противовес; 5 – стеклянный поплавок; 6 – гири-рейтеры; 7 – сосуд с жидкостью; 8 – термометр.

Рисунок 1 – Гидростатические весы Мора-Вестфалья

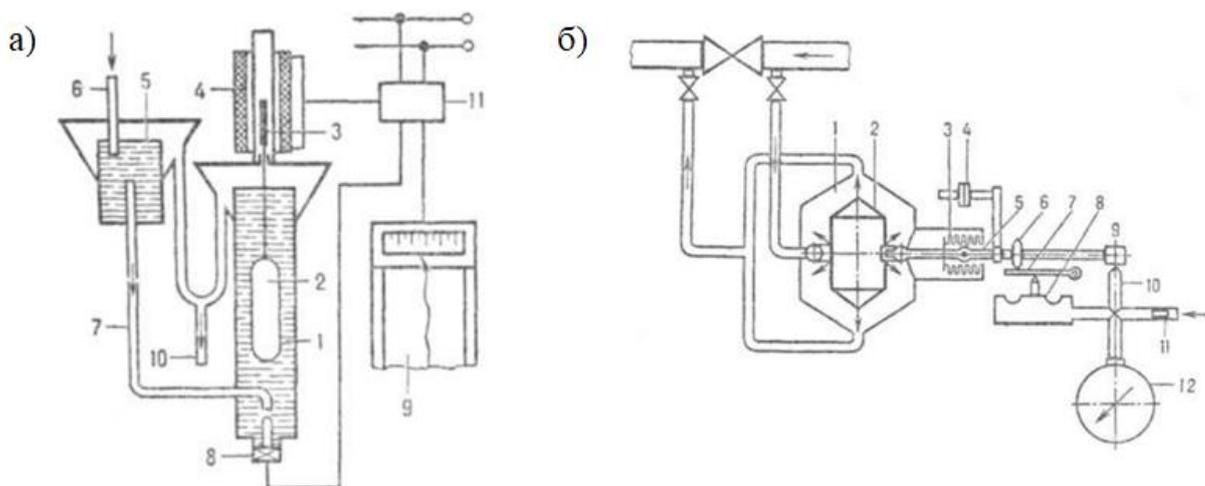
Широкое применение для определения плотности жидкостей находят коромысловые плотномеры, которые являются, иными словами, гидростатическими весами, считаясь простыми по конструктивному исполнению и удобными в обращении устройствами. Преимуществом этих устройств, считается то, что для определения характеристики плотности с их помощью требуется относительно малое количество жидкости или вещества по сравнению с большинством других методов, а именно требуется менее одного

литра. Метод гидростатического используется только для жидкостей, находящихся в какой-либо емкости в покое. Для постоянно перекачиваемых жидкостей в интенсивном технологическом процессе данный метод не подходит. Его погрешность при достаточно высокой точности поддержания температуры жидкости и образца не превышает 0.1 %. Максимальная вязкость жидкости, при которой метод работает, равна 0,001 м²/с [2, 3].

1.1.2 Флотационный поплавковый метод

Данный метод характеризуется тем, что погруженный в жидкость поплавок приводится в состояние равновесия, так называемое флотационное равновесие. Флотационному равновесию свойственно равенство плотностей поплавка и жидкости. При определении плотности поплавка и соответствующей температуры флотационного равновесия определяется и плотность жидкости при данной температуре измерений. Для получения точных данных измеряемая жидкость должна быть невязкой

Различают плотномеры с плавающим и погруженным в жидкость поплавком. В одном случае глубина его погружения обратно пропорциональна плотности испытываемой жидкости, в другом эта плотность прямо пропорциональна массе поплавка. Первый тип плотномера показан на рисунке 4, второй – на рисунке 5 [4]



На схеме а обозначены: 1 – основной сосуд; 2 – поплавок; 3 – сердечник; 4 – катушка; 6 – входная труба; 7 – подводящая труба; 8 – термометр сопротивления; 9 – вторичный прибор; 10 – отводящая труба.

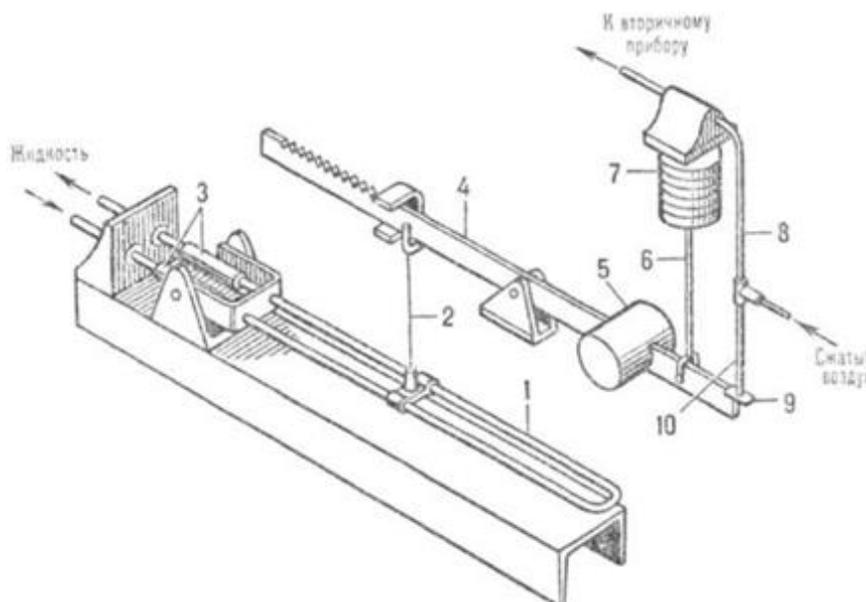
На схеме б обозначены: 1 – камера; 2 – поплавок; 3 – уплотнительный сильфон; 4 – противовес; 5 – коромысло; 6 – ролик; 7 – рычаг; 8 – мембранная коробка; 9 – заслонка; 10 – сопло; 11 – дроссель питающего воздуха; 12 – вторичный прибор.

Рисунок 2 – Плотномер с плавающим поплавком для жидкости (а) и с погруженным поплавком для жидкостей (б)

1.1.3 Плотномеры объёмно-весового типа

Принцип работы данных измерителей состоит в том, что масса вещества имеет прямо пропорциональную зависимость от плотности при постоянном объеме этого вещества. Для определения плотности достаточно будет непрерывно взвешивать какой-то объем протекающей по трубопроводу жидкости. Преимуществами этих устройств является то, что ими можно определять плотность пульп, суспензий, жидкостей (высокой степени загрязненности, вязких и летучих); снятые ими показания не зависят от времени протекания жидкости и её свойств. Данными устройствами возможно определять плотность при высоких показателях давлений (макс. 2,5 МПа). Измерительная полость устройства имеет неизменное поперечное сечение, что

предотвращает осаждение твердых включений из потока, они обладают высокими параметрами чувствительности и высокой точности измерения; диапазон измерений данными приборами регулируется в широких пределах (100 - 2000 кг/м³). Ограничение области использования объемно-весовых плотномеров объясняется недопустимостью включений газов в жидкости. Данный прибор показан на рисунке 6 [4].



1 – U-образная трубка; 2, 6 – тяги; 3 – соединительные патрубки; 4 – рычаг; 5 – противовес; 7 – сильфон; 8 – трубка для подачи воздуха; 9 – заслонка; 10 – сопло.

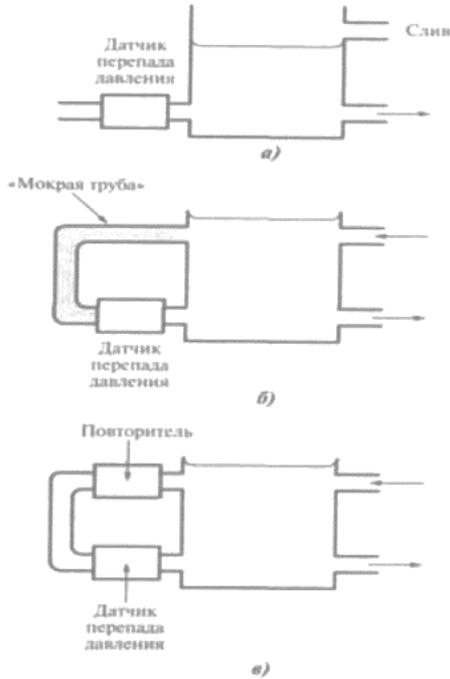
Рисунок 6 – Объемно-весовой плотномер

1.1.4 Методы на основе перепада давления

В основе методов используется разница давлений между двумя уровнями жидкости, рассчитываемая по формуле (1.7):

$$\Delta P = h\rho g, \quad (1.7)$$

где h – высота между уровнями;
 ρ – плотность вещества в жидком состоянии;
 g – ускорение свободного падения.



а – простой по перепаду давления;
 б – метод «с мокрой трубой»; в – метод с повторителем давления

Рисунок 7 – Методы измерения плотности по перепаду давления

В основе одного из методов, основанного на определении давления, используется перепад давления между двумя уровнями. В данном случае над датчиком должен быть постоянный уровень жидкости, и, следовательно, перепад давления будет зависеть только от плотности этой жидкости (рисунок 7). Возможно также измерение перепада давления между двумя разными уровнями жидкости. Перепад прямо пропорционален плотности жидкости.

Рассматриваемый способ называется методом «с мокрой трубой», в которой находится разделительная жидкость, у которой плотность выше плотности рабочей жидкости, которую измеряют. Если нет возможности

использования разделительной жидкости, используется повторитель давления, воспроизводящий давление в верхнем уровне и позволяющий прибору следить за перепадом давления между уровнями жидкости.

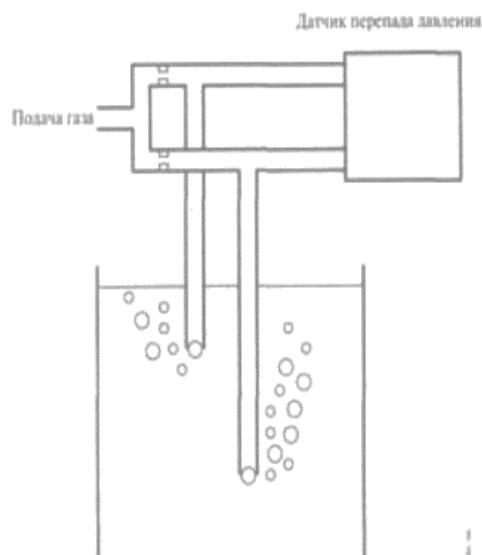


Рисунок 8 – Пузырьковый метод

Плотномеры гидро- и аэростатического действия также основаны на измерении давления. Плотномеры гидростатического типа могут применяться, как для определения характеристик плотности жидкостей, так и для газовых сред. При измерении показателей плотности в жидкой среде анализируемая жидкость постоянно проходит через камеру с расположенными в ней измерительными сифонами. Между этими сифонами существует определенное расстояние по высоте, составляющее определенную величину H , на один сифон действует при этом большее гидростатическое давление, чем на другой. Сифоны заполняются вспомогательной жидкостью. Один из сифонов служит для компенсации температуры и, по существу, является жидкостным термометром с манометром. Разность усилий, возникающая по причине разности гидростатических давлений в сифонах, создает на измерительном устройстве момент вращения, который передается в преобразователь силы, где происходит преобразование в унифицированный сигнал (электрический или пневматический) [4].

К методам на основе определения давления относится также измерение гидростатическим плотномером. Гидростатический плотномер для снятия показаний плотности в среде газа работает по методу, основанному на замере гидростатического давления. Принцип измерения базируется на продувке сжатого газа. Устройства данного типа находят спрос в технологических процессах на предприятиях химического производства, где измерение показаний плотности осуществляется уже в самих устройствах технологического оборудования, в которых устанавливаются трубки при их размещении на разной глубине погружения. Газ, как правило, воздух, подаётся от регулятора расхода на пневматические дроссели, а затем и на трубки. Через открытые отверстия трубок газ барботирует через жидкость. Гидростатическое давление в столбах жидкостей определяет давление находящегося в трубках газа. Разность давлений в трубках замеряет дифференциальный манометр, на котором потом выдается сигнал. Использование двух трубок исключает вероятность воздействия измененного уровня жидкости на окончательные показания измерений.

Также стоит упомянуть пузырьковый метод. Данный метод используется и для измерения уровня. Принцип данного метода основывается на выходе газа в виде пузырьков (рисунок 8). Газ проходит в трубки, открытые концы которых погружаются в жидкую среду на разных глубинах, ограничивая давление в трубках. Размещение трубок в жидкости на разной глубине дает перепад давления между трубками. Измерением перепада давления в трубках определяется плотность рабочей жидкости. Данный метод не пригоден для контроля и определения плотности жидкостей, содержащихся в закрытых ёмкостях и имеющих твердые частицы, способные заблокировать трубки. Однако, хорошо подходит для агрессивных жидкостей при условии защиты погружаемых в эту жидкость трубок от агрессивных воздействий [4].

1.1.5 Вибрационные методы.

В данном методе чувствительными элементами вибрационных датчиков плотности служат трубки, цилиндры или пластины, закрепленные в неподвижных основаниях и приводимые в автоколебательный режим движения системой возбуждения. Большое распространение получили трубчатые резонаторы, внутри которых протекает контролируемая среда. Материал трубок должен иметь большой модуль упругости и обладать малым внутренним затуханием (сталь, титан, кварцевое стекло и т. д.). Известно, что частота поперечных колебаний трубки описывается уравнением:

$$f = \frac{\lambda^2}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot J}{m \cdot l^3}}, \quad (1.8)$$

где λ – постоянная, зависящая от условий закрепления трубки;

E – модуль упругости материала трубки;

J – момент инерции поперечного сечения трубки;

m – масса трубки;

l – длина трубки.

С учетом массы жидкости, находящейся внутри трубки, уравнение можно преобразовать к виду:

$$f = f_0 \cdot \left(\frac{\rho_T \cdot \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right)}{\rho_T \cdot \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right) + \rho} \right), \quad (1.9)$$

где f_0 – частота колебаний пустого резонатора;
 ρ_T – плотность материала трубки;
 D – наружный диаметры трубки;
 d – внутренний диаметры трубки;
 ρ – плотность жидкости.

В уравнении (1.9) можно сделать замену (формула (1.10)):

$$q = \rho_T \cdot \left(\frac{D^2}{d^2} - 1 \right) \quad (1.10)$$

Тогда уравнение (1.9) примет следующий вид (формула (1.11)):

$$f = f_0 \cdot \left(\frac{q}{q + \rho} \right), \quad (1.11)$$

Из уравнения (1.11) можно выразить плотность исследуемой жидкости (формула (1.11)):

$$\rho = q \cdot \left(\frac{f_0^2}{f^2} - 1 \right). \quad (1.12)$$

В общем случае частота колебаний резонаторов зависит не только от плотности протекающей жидкости, но и от ее температуры. Температурную погрешность вибрационного датчика можно определить из выражения:

$$\Delta f_t = \frac{f_{t_0}}{2 \cdot (q + \rho)} \cdot [q \cdot (\gamma - \alpha) + \rho \cdot (2\alpha - \beta + \gamma)] \cdot \Delta t, \quad (1.13)$$

где f_{t_0} – частота колебаний резонатора с жидкостью при начальной температуре t_0

α – температурный коэффициент линейного расширения материала трубки;

β – температурный коэффициент объемного расширения жидкости;

γ – температурный коэффициент модуля упругости материала трубки;

Δt – отклонение температуры жидкости от начального значения.

Экспериментальные исследования показывают, что частота колебаний трубчатых резонаторов не зависит от давления и вязкости протекающей жидкости.

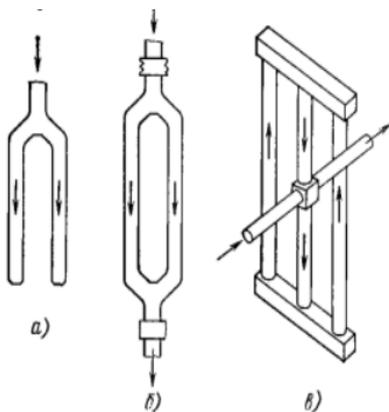
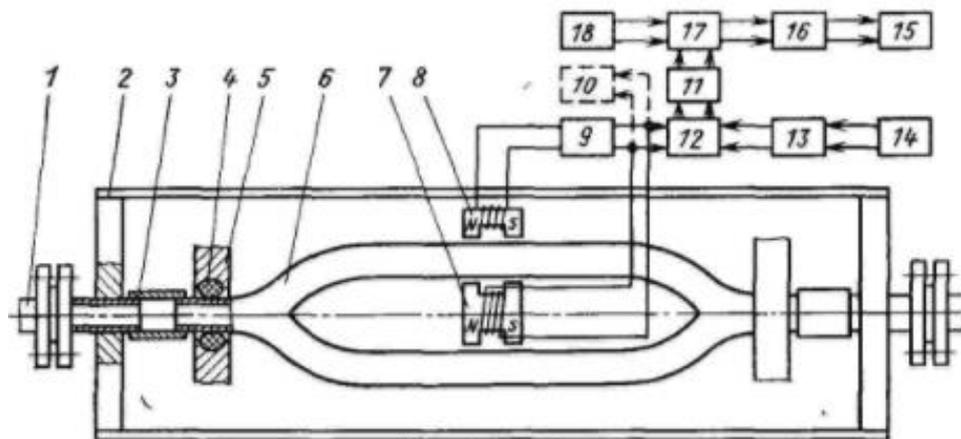


Рисунок 9 – Камертонные резонаторы разомкнутого (а) и замкнутого (б, в) типа

В качестве резонаторов применяют механические камертонные осцилляторы, отличающиеся малым рассеянием колебательной энергии в узлах их закрепления. На рисунке 9 показаны камертонные резонаторы разомкнутого и замкнутого типов. Последние обладают рядом преимуществ (по сравнению с разомкнутыми), к которым можно отнести отсутствие позиционной ошибки, зависящей

от расположения резонатора в пространстве, и большую начальную частоту колебаний при тех же габаритных размерах, что обуславливает более высокую чувствительность датчика к изменению плотности контролируемой жидкости.

На рисунке 10 приведена схема резонаторного плотномера проточного типа, выполненного в виде сдвоенного трубчатого камертона. Ветви камертона 6 приводятся в режим автоколебаний в противофазе системой возбуждения, состоящей из возбудителя колебаний 7, приемника колебаний 8 и усилителя 9. Магнитные силы катушки возбуждения приводят трубу при прохождении через витки электрического тока (переменного) в колебательные движения. Вторая катушка, служащая приёмником, регистрирует амплитуду колебаний. Выходной сигнал служит обратной связью через усилитель, которые питает катушку возбуждения. При возбуждении поддерживаются колебательные движения трубы с её собственной частотой, зависящей от массы трубы, включая её содержимое. При постоянном объёме трубы частота её колебаний меняется в зависимости от плотности жидкости, находящейся в ней. Камертон служит звеном положительной обратной связи, и стабильность его собственной резонансной частоты, определяемая добротностью колебательной системы, характеризует точностные возможности прибора в целом. Резонатор отделен от опор 5 резиновыми манжетами 4, а жидкость подводится к нему по эластичным элементам 3, которые предотвращают передачу продольных колебаний опор камертона датчику корпусу 2 и технологическому трубопроводу 1. Кроме того, элементы 3 защищают камертон от воздействия температурных деформаций корпуса и трубопровода.



1 – трубопровод; 2 – корпус; 3 – эластичный элемент; 4 – демпфирующие резиновые манжеты; 5 – опоры; 6 – ветви камертона; 7 – катушка-возбудитель; 8 – катушка-приемник; 9 – усилитель; 10 – частотомер; 11 – фильтр низких частот; 12 – устройство сравнения; 13 – делитель частоты; 14 – кварцевый резонатор; 15 – записывающее устройство; 16 – термокомпенсатор; 17 – прецизионный частотомер.

Рисунок 10 – Схема проточного резонаторного плотномера

Выходной сигнал датчика, в виде зависящей от плотности частоты переменного тока может регистрироваться цифровым частотомером 10, подключаемым к выходу усилителя 9.

Если от плотномера требуется получить аналоговый сигнал в виде напряжения или силы тока, прибор обеспечивают рядом дополнительных устройств, которые входят в схему преобразователя. Девиация частоты датчика при изменении плотности среды в рабочем диапазоне обычно не превышает 10 % собственной частоты резонатора. В связи с этим необходимой чувствительности и точности измерения полезного сигнала достигают применением дифференциальной схемы. Пассивный (сравнительный) канал такой схемы содержит кварцевый генератор 14 опорной частоты с блоком 13, который делит частоту генератора до величины, близкой к частоте резонатора в

начале рабочего диапазона. Сигналы активного и пассивного каналов схемы сравниваются в устройстве 12, и разностная частота выделяется низкочастотным фильтром 11. Прецизионный частотомер 17 преобразует дискретный сигнал в аналоговый, который можно регистрировать стандартным записывающим устройством 15. Аналоговый сигнал, соответствующий разности начальной частоты датчика и опорной частоты, компенсируется блоком установки нуля 18. Поправка к показаниям прибора при изменении температуры измеряемой среды вводится автоматически термокомпенсатором 16, представляющим собой неравновесный мост с терморезистором в одном из плеч, помещенным в анализируемую среду. Показания плотномера не зависят от вязкости контролируемой среды, так как на резонансную частоту датчика влияет только масса жидкости, находящейся внутри резонатора.

Датчик можно изготавливать из различных упругих материалов (углеродистая, легированная и коррозионностойкая стали, алюминий, кварцевое стекло).

Изменение температуры контролируемой жидкости и окружающей среды вызывает появление дополнительной погрешности, так как при этом изменяются геометрические параметры датчика, модуль упругости и плотность материала его стенок [4, 5].

Вибрационные плотномеры можно применять для измерения плотности, как чистых жидкостей, так и суспензий в интервале от 0 до 100 кг/м³ [5].

1.1.6 Радиоизотопные методы измерения плотности

Плотномеры данного вида представляют собой бесконтактные устройства. Являются частным видом методов неразрушающего анализа (НРА). То есть, чувствительный элемент не контактирует со средой, плотность которой

нам нужно будет определить. Данное оборудование целесообразно выбирать для применения при определении показателей плотностей агрессивных жидких сред или жидкостей с довольно высокой вязкостью, пульп и жидкостей, работа с которыми связана с высоким давлением или проводится при высокой температуре в больших трубопроводах. К их услугам прибегают лишь тогда, когда другие, описанные нами выше плотномеры применять невозможно. Большим достоинством устройств радиоизотопного действия является возможность их применения в труднодоступных местах для контроля плотности среды. Однако, сильная зависимость величины регистрируемых показаний от физических свойств среды или контролируемого вещества считается негативным эффектом, и это требует отдельной градуировки на шкале устройства для каждого вида вещества.

Определение характеристики плотности жидкостей, находящихся в трубопроводах и ёмкостях, посредством гамма-излучения может осуществляться двумя способами. Один из этих способов основан на поглощении излучения жидкостью, он базируется на следующем процессе. После прохода через жидкость у прямого пучка гамма-излучения определяется уровень ослабления интенсивности. Источник излучения и приемник лучей размещаются по обеим сторонам трубопровода (ёмкости) по линии его (её) диаметра. Прямой пучок гамма-излучения попадает в приемник излучения, как только проходит через стенки трубопровода (ёмкости) и через проверяемую жидкую среду.

Аналитически ослабление гамма-излучения описывается формулой:

$$\frac{J}{J_0} = e^{-\mu d} \quad (1.14)$$

где J – интенсивность гамма-излучения после прохождения через вещество;
 J_0 – интенсивность гамма-излучения до прохождения через вещество;
 μ – линейный коэффициент поглощения;
 d – толщина слоя вещества.

Для кусков руд либо для смеси линейный коэффициент поглощения:

$$\mu = \sum \frac{\alpha_i \mu_i}{100}, \quad (1.15)$$

где α_i – содержание i -го элемента в смеси в процентах;
 μ_i – линейный коэффициент поглощения для каждого компонента.

Другой способ определения плотности посредством гамма-излучения базируется на контроле ослабления интенсивности гамма-излучения, пучок которого подвергается рассеянию в жидкости. Источник излучения и приемник гамма-излучений размещают по одной стороне трубопровода, а не по обе, как в первом случае, и экранируют, чтобы в приемник поступало только то гамма-излучение, пучки которого прошли через процесс рассеяния в жидкости. Далее путь прямого пучка излучения проходит к свинцовому поглотителю [4, 6].

1.1.7 Заключение по обзору

При всём разнообразии методов измерения плотности для растворов, содержащих делящиеся элементы, применяющихся в технологических процессах ядерного топливного цикла, подходят лишь немногие методы. Важно отметить, что среда измерения может иметь, помимо высокой интенсивности

ионизирующего излучения, ещё и высокую коррозионную активность. В случае работы с химически агрессивными веществами приборы ещё можно защитить применением стойких материалов, например, применением в контактирующих со средой измерения частях и деталях плотномера в качестве материала нержавеющей стали.

Высокая интенсивность ионизирующего излучения негативно влияет на электрические схемы и сенсоры, вызывая сильнейшие искажения регистрируемого электрического сигнала. В связи с этим применение метода определения плотности на основе методов неразрушающего контроля становится необходимым, так оно предполагает определение плотности раствора, в том числе и в емкостях-сборниках, без вмешательства в идущий технологический процесс. При этом достигается практически непрерывный контроль состояния технологического объекта, так как регистрация измеренных значений идет , которые предполагают качественное и количественное определение каких-либо параметров путем взаимодействия исследуемого вещества с каким-либо видом радиоактивного излучения.

1.2 Математическое описание определения плотности методом НРА

Суть ослабления гамма-излучения описывается следующим образом. Гамма-излучение образца, обладающая интенсивностью I_0 , падает на поглощающий образец толщины L . Интенсивность излучения I , прошедшего через образец, описывается следующим выражением:

$$I = I_0 e^{-\mu_0 L}, \quad (14)$$

Отношение интенсивности излучения, прошедшего через образец, к интенсивности источника называется коэффициентом пропускания гамма-излучения, который выражается следующим образом:

$$T = \frac{J}{J_0}. \quad (14)$$

На рисунке 6 показана зависимость коэффициента ослабления излучения на примере трех значений энергий гамма-излучений. На рисунке можно заметить, что коэффициент пропускания увеличивается с увеличением энергии гамма-излучения и уменьшается с увеличением толщины поглощающего образца. Эксперименты с различными источниками и поглотителями показали, что коэффициент ослабления вещества μ , зависит от энергии гамма-излучения, атомного номера Z и плотности ρ поглотителя. Например, платина или свинец, имея высокую плотностью и большой атомный номер, пропускает гораздо меньшую долю падающего излучения, чем, например, алюминий или титан такой же толщины. Коэффициент ослабления в уравнении (14) называется линейным коэффициентом ослабления.

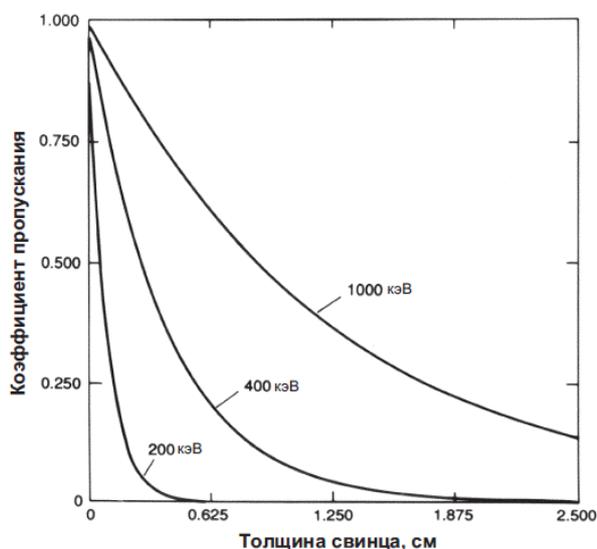


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента пропускания гамма-квантов μ от толщины свинцового поглотителя L

Альфа- и бета-частицы имеют длину пробега или тормозной путь, которые достаточно хорошо определены. Гамма-кванты, как можно видеть на рисунке 6, не имеют определенной длины пробега. Величина обратная коэффициенту ослабления $1/\mu$, имеет размерность длины и чаще всего называется средней длиной свободного пробега. Средней длиной свободного пробега называется расстояние, которое проходит гамма-квант в поглощающем образце до взаимодействия, которая также равна толщине поглотителя, при которой коэффициент пропускания равен $1/e$ или 0,37.

Линейный коэффициент ослабления является простейшим коэффициентом ослабления, который можно измерить экспериментальным путем, но он обычно не приводится в справочных таблицах из-за зависимости от плотности поглощающего материала. Например, вода в разных агрегатных состояниях (вода, пар, лед) имеют различные линейные коэффициенты ослабления для одной и той же энергии, хотя это, по сути, одно и то же вещество.

Гамма-кванты взаимодействуют, в основном, с электронами атомов, следовательно, коэффициент ослабления должен быть пропорционален плотности электронов P , которая пропорциональна объемной плотности поглощающего материала. Однако, для конкретного вещества отношение плотности электронов к объемной плотности вещества является константой Z/A , которая не зависит от объемной плотности. Отношение Z/A является практически постоянным для всех химических элементов, кроме самых тяжелых элементов и водорода:

$$P = Z\rho / A, \quad (15)$$

где P – плотность электронов;

Z – атомный номер;

ρ – массовая плотность;

A – массовое число.

Отношение линейного коэффициента ослабления к плотности вещества μ_e / ρ называется массовым коэффициентом ослабления μ и имеет размерность площади на единицу массы ($\text{см}^2/\text{г}$). Если судить по единице измерения этого коэффициента, то можно утверждать, что коэффициент имеет смысл эффективного сечения взаимодействия электронов на единицу массы поглотителя. Массовый коэффициент ослабления может быть выражен через сечение реакции σ (см^2):

$$\mu = \frac{N_0\sigma}{A}, \quad (16)$$

где N_0 – число Авогадро ($6,02 \cdot 10^{23}$);

A – массовое число поглощающего элемента.

Физический смысл сечение взаимодействия представляет собой вероятность взаимодействия гамма-квантов с отдельным атомом. Используя массовый коэффициент ослабления, уравнение (14) можно представить в следующем виде:

$$I = I_0 e^{-\mu\rho L} = I_0 e^{-\mu x}, \quad (17)$$

где $x = -\rho L$.

Массовый коэффициент ослабления не зависит от плотности; например, как было упомянуто выше, вода в различных агрегатных состояниях имеют одно и то же значение μ . Массовый коэффициент ослабления чаще приводится в справочных таблицах, чем линейный коэффициент ослабления, поскольку он количественно определяет вероятность взаимодействия гамма-квантов с конкретным элементом. В работах содержатся широко используемые таблицы массовых коэффициентов ослабления элементов. Для вычисления массового коэффициента ослабления в материалах со сложным химическим составом используется уравнение (18):

$$\mu = \sum \mu_i w_i, \quad (18)$$

где μ_i – массовый коэффициент ослабления i -го элемента;

w_i – массовая доля i -го элемента [4, 5].

Определяемыми величинами являются интенсивности падающего и прошедшего излучений. Их отношение I/I_0 называется коэффициентом ослабления T материала для рассматриваемой энергии излучения. Если известны значения любых двух из трех величин, то третья величина может быть определена измерением коэффициента пропускания. Большим достоинством процедуры, с помощью которой измеряется коэффициент пропускания фотонов, является то, что данные обрабатываются как отношение двух величин, измеренных в одинаковых условиях, устраняя множество систематических факторов, которые часто затрудняют измерение абсолютной интенсивности фотонов.

Источником измеряемого электромагнитного излучения может служить искусственный рентгеновский источник, испускающий кванты с непрерывным энергетическим спектром, или естественный источник гамма-излучения, который испускает гамма-кванты с дискретным набором энергий. Материал образца помещается между фотонным источником и фотонным детектором. Коэффициент пропускания образца определяется путем определения интенсивности фотонов источника как при наличии (I), так и в отсутствие (I_0) материала образца.

1.2.1 Моноэнергетическая плотнометрия

Если образец состоит из одного вещества или смеси веществ, состав которых тщательно контролируется, кроме одного из компонентов, то коэффициент пропускания образца при одной энергии гамма-излучения может быть использован для измерения концентрации (плотности ρ) изменяющегося компонента. Обычно используются источники гамма-излучения дискретной энергии. Например, рассмотрим двухкомпонентную систему – раствор урана в азотной кислоте, компоненты которой имеют соответствующие плотности ρ и ρ_0 и массовые коэффициенты ослабления μ и μ_0 , при данной энергии гамма-излучения. Логарифм коэффициента пропускания фотонов при этой энергии выражается как:

$$\ln T = -(\mu\rho + \mu_0\rho_0)x. \quad (19)$$

Для неизвестной плотности ρ имеем:

$$\rho = -\left(\frac{1}{\mu x}\right) \ln T - \frac{\mu_0 \rho_0}{\mu}. \quad (20)$$

Уравнение (20) может применяться для определения концентрации неизвестного количества вещества ρ при известной и контролируемой концентрации растворителя ρ_0 .

При определении концентрации ядерных материалов (урана и плутония) в растворах крайне необходимо, чтобы коэффициенты массового ослабления для растворителя μ_0 и ядерного материала μ были определены корректно, и чтобы состав растворителя (ρ_0) был хорошо известен и постоянен от образца к образцу. Образцы растворов должны быть защищены от загрязнений, поскольку они вызвали бы изменения в эффективных значениях ρ и ρ_0 .

Для определения толщины материалов известного и тщательно контролируемого состава также возможно использование коэффициента пропускания T . Измеренное значение интенсивности прошедших фотонов одной энергии через металлы и другие твердые вещества при постоянной геометрии обрабатывается и переводится непосредственно единицы длины. Такая информация является полезной для оперативного контроля некоторых промышленных технологических процессов.

1.2.2 Многоэнергетическая плотнометрия

Измерение коэффициента пропускания фотонов при одной энергии позволяет проводить анализ только одного вещества или только одного компонента смеси; концентрация других компонентов должна оставаться постоянной. Измерение коэффициента пропускания фотонов при двух значениях энергии позволяет проводить анализ двух компонентов смеси. Такое

комплексное измерение будет тем успешнее, чем больше отличаются друг от друга коэффициенты ослабления двух компонентов. Анализ концентрации элемента с высоким Z в растворителе с низким Z является примером двухэнергетического плотнометрического измерения.

Имеется смесь двух компонентов с неизвестными концентрациями ρ_1 и ρ_2 . Пусть массовый коэффициент ослабления i -го элемента, измеренный при j -й энергии, определяется выражением:

$$\mu_i^j = \mu_i(E_j), \quad ()$$

и определим коэффициент пропускания при j -й энергии как:

$$T = \exp[-(\mu_1^j \rho_1 + \mu_2^j \rho_2) x]. \quad ()$$

Измерение двух коэффициентов пропускания дает два уравнения для двух неизвестных плотностей:

$$\begin{aligned} (-\ln T_1) / x &= M_1 = \mu_1^1 \rho_1 + \mu_2^1 \rho_2, \\ (-\ln T_2) / x &= M_2 = \mu_1^2 \rho_1 + \mu_2^2 \rho_2. \end{aligned} \quad (23)$$

Приписывая измеренное поглощение двум компонентам образца, мы фактически определяем значение интенсивности падающего излучения, которая является интенсивностью, прошедшей пустой контейнер для образца. Решениями указанных выше уравнений являются:

$$\rho_1 = (M_1 \mu_2^2 - M_2 \mu_2^1) / D,$$

$$\rho_2 = (M_2 \mu_1^1 - M_1 \mu_1^2) / D,$$

$$D = \mu_1^1 \mu_2^2 - \mu_2^1 \mu_1^2. \quad (24)$$

Чтобы уравнения (23) имели решение, знаменатель не должен быть равен нулю в выражениях. Это условие обеспечивается, если массовые коэффициенты ослабления для двух компонентов имеют существенно различающиеся зависимости от энергии. Отсюда можно сделать вывод, что анализ является выполнимым, если компоненты могут отличаться друг от друга по поглощающим свойствам. Этот критерий предполагает в дальнейшем два возможных варианта выбора энергий фотонов. Первый, если используются две значительно отличающиеся энергии, то различия в наклоне кривой зависимости μ от E для компонентов с высоким Z и низким Z являются достаточными, чтобы провести различие между ними. Второй, если для более тяжелого компонента (с более высоким Z выбрать) близлежащие энергии фотонов, находящиеся на обеих сторонах края поглощения, то окажется, что энергетическая зависимость для массового коэффициента ослабления материала с более высоким Z будет иметь противоположный наклон по отношению к коэффициенту ослабления компонента с низким Z , что делает два компонента легко различимыми. Такой подход наиболее перспективен для анализа ядерных материалов в матрицах с низкой плотностью или для анализа двухкомпонентных ядерных материалов.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 SWOT-анализ

В самом начале выполнения проекта при поставке целей и задач, а также в ходе работы над ним необходимо определять конкурентоспособность проекта. Объективно оценить конкурентоспособность можно при помощи SWOT-анализа. SWOT позволяет оценить сильные и слабые стороны проекта, возможности для реализации и развития и угрозы, которые могут сделать проект неактуальным. В качестве сильных сторон проекта можно отметить замещение реального эксперимента численным моделированием, высокая скорость расчета, гибкость, обусловленная возможностью быстрой корректировки параметров и конфигурации модели, экономия ресурсов на проведении экспериментов.

Слабыми сторонами проекта является ограниченная точность полученных в результате моделирования данных, малое число потребителей, заинтересованных в результатах исследования и моделирования, а также малое число работников, по причине которого нет специалистов по маркетингу.

Основной возможностью разработки является применение разрабатываемой модели для различных существующих систем, которое может быть достигнуто путем частичного изменения проекта, а также реализация в других программных средах.

Разработка адекватной модели процесса определения плотности радиоизотопными методами, которая может быть применена в других средах при минимальном изменении, является основной стратегией развития данного проекта.

					643.ФЮРА.00008-01 81 01				
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					
Разраб.	Кыштымов				Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение		Лит.	Лист	Листов
Провер.	Зеленецкая								
Консульт									
Н. Контр.	Ефремов								
Утверд.	Горюнов								
					ТПУ ФТИ Группа 073А				

Угрозами данному проекту является более распространенное применение систем определения плотности, основанных на других методах измерения, что приведет к неактуальности разрабатываемой математической модели и отсутствия спроса и заказчиков.

Все особенности данного проекта и внешние факторы, влияющие на проект, отображены в матрице SWOT (таблица 1).

Определено соответствие сильных сторон научного исследования внешним условиям среды, а именно возможностям для развития проекта (таблица 2). По итогам анализа всех сильных и слабых сторон и условий внешней среды составлена итоговая матрица SWOT (таблица 3).

Таблица 1 – Матрица SWOT

Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта:
<p>С1. Замещение эксперимента численным моделированием.</p> <p>С2. Быстрота расчета.</p> <p>С3. Гибкость модели.</p> <p>С4. Экономия ресурсов.</p>	<p>Сл1. Неточность параметров модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие точных сведений о существующих экспериментальных системах.</p> <p>Сл3. Узкий круг потребления продукта (модели).</p> <p>Сл4. Малое число занятых работников</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Применение модели для экспериментов с различными условиями.</p> <p>В2. Развитие энергетики на «быстрых» реакторах.</p> <p>В3. Отсутствие конкурентов.</p> <p>В4. Независимость от мирового рынка.</p>	<p>Угрозы:</p> <p>У1. Разработка более подходящей модели для моделирования.</p> <p>У2. Разработка новых подходящих методов определения плотности.</p> <p>У3. Изменение потребностей узкого круга потребителей</p> <p>У4. Отсутствие заказчиков проекта.</p>

Таблица 2 – Интерактивная матрица проекта

		Сильные стороны проекта			
		C1	C2	C3	C4
Возможности проекта	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	0	+
	B3	-	-	-	-
	B4	-	-	0	+

Таблица 3 – Итоговая матрица SWOT проекта

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>C1. Замещение эксперимента численным моделированием.</p> <p>C2. Быстрота расчета.</p> <p>C3. Гибкость модели.</p> <p>C4. Экономия ресурсов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Неточность параметров модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие точных сведений о существующих экспериментальных системах.</p> <p>Сл3. Узкий круг потребления продукта (модели).</p> <p>Сл4. Малое число занятых работников</p>
<p>Возможности:</p> <p>B1. Применение модели для экспериментов с различными условиями.</p> <p>B2. Развитие энергетики на «быстрых» реакторах.</p> <p>B3. Отсутствие конкурентов.</p> <p>B4. Независимость от мирового рынка.</p>	<p>Возможность быстрого моделирования с минимальными материальными затратами и быстрой корректировкой необходимых параметров.</p> <p>Независимость от поставщиков материальных ресурсов.</p>	<p>Уточнение параметров объекта исследования и корректировка модели. Обеспечение возможности быстрой настройки проекта под изменяющиеся условия для расширения сферы применения.</p>

Продолжение таблицы 3

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Замещение эксперимента численным моделированием.</p> <p>С2. Быстрота расчета.</p> <p>С3. Гибкость модели.</p> <p>С4. Экономия ресурсов.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Неточность параметров модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие точных сведений о существующих экспериментальных системах.</p> <p>Сл3. Узкий круг потребления продукта (модели).</p> <p>Сл4. Малое число занятых работников</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Разработка более подходящей модели для моделирования.</p> <p>У2. Разработка новых подходящих методов определения плотности.</p> <p>У3. Изменение потребностей узкого круга потребителей</p> <p>У4. Отсутствие заказчиков проекта.</p>	<p>Адаптация модели под изменяющиеся требования или технологию производства.</p>	<p>Разработка точной модели под измененную технологию производства, поиск заинтересованных лиц в дополненной и уточненной модели.</p>

3.2 План проекта

В рамках планирования научного проекта составляется календарный график проекта, который может быть представлен в виде линейного графика.

Линейный график проекта представлен в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Календарный план проекта

Номер работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление технического задания	2	6.02.2018	8.02.2018	Зеленецкая Е.П.
2	Изучение литературы	22	9.02.2018	3.03.2018	Кыштымов И.В.
3	Анализ процессов	4	4.03.2018	8.03.2018	Кыштымов И.В.
4	Математическое описание	15	9.03.2018	24.03.2018	Кыштымов И.В.
5	Разработка модели	40	24.03.2018	3.05.2018	Кыштымов И.В.
6	Тестирование модели	5	3.05.2018	8.05.2018	Зеленецкая Е.П. Кыштымов И.В.
7	Оценка адекватности модели	5	8.05.2018	13.05.2018	Зеленецкая Е.П. Кыштымов И.В.

Таблица 5 – Календарный план-график проведения работ

№ работы	Вид работы	Исполнители	T _к , дн	Продолжительность выполнения работ												
				Февраль			Март			Апрель			Май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление технического задания	Руководитель	2	■												
2	Изучение литературы	Дипломник	22	▨	▨											
3	Анализ процессов	Дипломник	4			▨										
4	Математическое описание	Дипломник	15				▨									
5	Разработка модели	Дипломник	40					▨	▨	▨	▨	▨				
6	Тестирование модели	Руководитель, дипломник	5										▨	■		
7	Оценка адекватности модели	Руководитель, дипломник	5												▨	

▨ – дипломник

■ – руководитель

3.3 Бюджет научного исследования

3.3.1 Затраты на специальное оборудование

В статью «затраты на специальное оборудование для научных работ» включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене. Под специальным оборудованием в данном случае понимается персональный компьютер форм-фактора ноутбук, используемый как средство разработки и текстовый редактор.

При приобретении спецоборудования необходимо учесть затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НИИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Стоимость ноутбука на момент приобретения составляла 38000 р. По причине того, что стоимость ноутбука меньше 40000 р. и первоначально компьютер не приобретался для выполнения научных исследований, амортизацию рассчитывать не надо.

3.3.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в

размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы представлен в таблице 6.

Основная заработная плата работника рассчитывается по следующей формуле (1.1):

$$Z_{\text{ОСН}} = Z_{\text{ДН}} \cdot T_{\text{РАБ}}, \quad (3.1)$$

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

$Z_{\text{ДН}}$ – среднедневная заработная плата работника;

$T_{\text{РАБ}}$ – продолжительность работ, выполняемых работником.

Для расчета среднедневной заработной платы необходимы размеры окладов руководителя и сотрудника-дипломника, а также размер премий и повышающих коэффициентов.

Оклад руководителя составляет 17000 р.

Оклад дипломника составляет 0 р.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (1.2):

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{Z_{\text{М}} \cdot M}{F_{\text{Д}}}, \quad (3.2)$$

где $Z_{\text{М}}$ – оклад работника;

M – количество месяцев работы без отпуска в год, равного 11,2 при отпуске 24 рабочих и пятичасовой рабочей неделе;

$F_{\text{Д}}$ – годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, равный 247 дням.

$Z_{\text{М}}$ – месячный должностной оклад работника вычисляется по следующей формуле (1.3):

$$Z_{\text{М}} = Z_{\text{ТС}} \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot 1,3 = 22100 \text{ р.}, \quad (3.3)$$

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

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Среднедневная заработная плата руководителя (формула (1.4)):

$$Z_{\text{ДН}} = \frac{22100 \cdot 11,2}{247} = 1002 \text{ р.} \quad (3.4)$$

Зарплата дипломника не вычисляется, так она равна 0.

Таблица 6 – Расчет основной заработной платы

Этап	Исполнитель	Трудоемкость, чел.-дн.	З/п на один чел.-дн. р.	Всего з/п, р.
Составление технического задания	Руководитель	2	1002	2004
Изучение литературы	Дипломник	22	0	0
Анализ процессов	Дипломник	4	0	0
Математическое описание	Дипломник	15	0	0
Разработка модели	Дипломник	40	0	0
Тестирование модели	Руководитель	5	1002	5010
Тестирование модели	Дипломник	5	0	0
Оценка адекватности модели	Руководитель	5	1002	5010
Оценка адекватности модели	Дипломник	5		
Итого				12024

3.3.3 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из формулы (1.5):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}} = 12024 \cdot 0,302 = 3631,3 \text{ р.}, \quad (3.5)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст. 58 закона № 212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, в 2018 году продолжает действовать пониженная ставка на размер страховых взносов – 30,2%. Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, р.	Дополнительная заработная плата, р.
Руководитель	12024	0
Инженер	0	0
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Отчисления во внебюджетные фонды, р.		
Руководитель	3631,3	
Инженер	0	
Итого	3631,3	

3.3.4 Расчет потребляемой энергии

Основным ресурсом, потребляемым в ходе выполнения научного исследования, является электроэнергия, необходимая для работы компьютера. Для расчета стоимости потребляемой электроэнергии необходимо знать потребляемую мощность компьютером, время работы и текущий тариф на электроэнергию. Расчет производится по формуле (1.6):

$$A = W \cdot N \cdot T \cdot P, \quad (3.6)$$

где W – продолжительность рабочего дня в часах, равная 6;

N – продолжительность работ в днях;

T – тариф на электроэнергию;

P – мощность, потребляемая оборудованием.

В данном случае оборудование – ноутбук, и по техническим характеристикам, мощность ноутбука равна 65 Вт. Стоимость одного киловатт-часа электроэнергии составляет 3,25 рублей. Значит, за 6-часовой рабочий день затраты на работу ноутбука составят: $6 \cdot 1 \cdot 3,25 / 1000 \cdot 65 = 1,28$ р.

3.4 Группировка затрат по статьям

Группировка затрат по статьям отображена в таблице 8.

Весь бюджет исследования составил 18298,1 р.

Таблица 8 – Группировка затрат по статьям

Вид работ	Основная з/п с учетом р/к, р.	Доп. з/п с учетом р/к, р.	Отчисления на соц. нужды, р	Затраты на э/э, р	Накладные расходы, р	Итого себестоимость, р
1	2004	0	605,2	2,6	417,9	3029,7
2	0	0		28,2	4,5	32,7
3	0	0		5,1	0,8	5,9
4	0	0		19,2	3	22,2
5	0	0		51,2	8,2	59,4
6	5010	0	1513	6,4	1044,7	7574,1
7	5010	0	1513	6,4	1044,7	7574,1
Итого						18298,1

3.5 Заключение по разделу

В экономическом планировании и оценке ресурсоэффективности научно-исследовательской работы по разработке модели системы определения плотности проведен SWOT-анализ и вычислен бюджет научного исследования.

Бюджет работ составляет 18298,1 рублей, что является малой суммой для научного исследования. Данный проект эффективен, так как позволяет проводить эксперименты для изучения реальных систем на модели, которые не нуждаются в материальных ресурсах, кроме электроэнергии для инструментов моделирования. Кроме того, моделирование занимает гораздо меньшее количество времени, нежели чем эксперимент на физических моделях или реальных системах. В случае необходимости внесения поправок в модель в случае изменения предполагаемых условий эксперимента и эксплуатации это сделать легче, чем в реальных системах, которые необходимо заново настраивать и калибровать. В дополнение ко всему, обслуживание и настройка реальных систем является оплачиваемой работой для персонала, имеющего соответствующую квалификацию.