



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Школа	инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки ООП/ОПОП	14.04.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ):	Отделение ядерно-топливного цикла

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА МАГИСТРАНТА**

Тема работы
<b>Определение дисперсности радиоактивных аэрозолей в источниках выбросов радиоактивных веществ АО «ПО ЭХЗ»</b>

УДК 504.5:628.4.047:502.175

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM13	Седельникова Татьяна Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ	Семенов А.О.	к.т.н.		

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код компетенции	Наименование компетенции
<b>Универсальные компетенции</b>	
<b>УК(У)-1</b>	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
<b>УК(У)-2</b>	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
<b>УК(У)-3</b>	Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
<b>УК(У)-4</b>	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
<b>УК(У)-5</b>	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
<b>УК(У)-6</b>	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
<b>ОПК(У)-1</b>	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
<b>ОПК(У)-2</b>	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
<b>ОПК(У)-3</b>	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
<b>Профессиональные компетенции</b>	
<b>ПК(У)-1</b>	Способность к созданию теоретических и математических моделей в области ядерной физики и технологий
<b>ПК(У)-2</b>	Готовность применять методы исследования и расчета процессов, происходящих в современных физических установках и устройствах в области ядерной физики и технологий
<b>ПК(У)-3.</b>	Готовность разрабатывать практические рекомендации по использованию результатов научных исследований
<b>ПК(У)-4.</b>	Способность оценивать риск и определять меры безопасности для новых установок и технологий, составлять и анализировать сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать методы уменьшения риска их возникновения
<b>ПК(У)-5.</b>	Способность к анализу технических и расчетно-теоретических разработок, к учету их соответствия требованиям законов РФ в области ядерной и радиационной безопасности, атомной энергии
<b>ПК(У)-6.</b>	Способность объективно оценить предлагаемое решение или проект по отношению к современному мировому уровню, подготовить экспертное заключение
<b>ПК(У)-7.</b>	Способность формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании

<b>ПК(У)-8</b>	Готовность применять методы оптимизации, анализа вариантов, поиска решения многокритериальных задач, учета неопределенностей при проектировании
<b>ПК(У)-9.</b>	Способность решать задачи в области развития науки, техники и технологии с учетом нормативного правового регулирования в сфере интеллектуальной собственности
<b>ПК(У)-10.</b>	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
<b>ПК(У)-11.</b>	Способность к проектированию и экономическому обоснованию инновационного проекта, содержания, структуры и порядка его разработки



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Школа	инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки ООП/ОПОП	14.04.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ)	Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП  
\_\_\_\_\_ А.О. Семенов.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ  
на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской работы
---------------------

Обучающейся:

Группа	ФИО
0AM13	Седельниковой Татьяне Александровне

Тема работы:

Определение дисперсности радиоактивных аэрозолей в источниках выбросов радиоактивных веществ АО «ПО ЭХЗ»	
Утверждена приказом директора	Приказ № 33-46/с от 02.02.2023

Срок сдачи студентом выполненной работы:	26.05.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	В рамках исследования должно быть проведено исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Изучение принципа работы радиометров РИА-02М, РКС-АТ1329, iSolo; изучение карты расположения пробоотборных точек, выбор максимально представительных точек пробоотбора; обеспечение условия изокинетичности пробоотбора, выполнение отбора проб при учетом условия изокинетичности; выполнение отбора проб выбросов радиоактивных веществ при различных

	глубинах отбора; проведение измерений на аэрозольных фильтрах.
<b>Перечень графического материала</b>	Презентация, чертеж
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Социальная ответственность	Доцент ОЯТЦ, к.т.н., Передерин Юрий Владимирович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Профессор ОСГН ШБИП, к.э.н., Спицына Любовь Юрьевна
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:</b>	
Влияние радиоактивных аэрозолей на человека Образование и свойства радиоактивных аэрозолей Методы отбора проб аэрозолей	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	13.03.2023
---	------------

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM13	Седелникова Татьяна Александровна		



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Школа	инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки	14.04.02 Ядерные физика и технологии
Уровень образования	магистратура
Отделение школы	отделение ядерно-топливного цикла
Период выполнения	Весенний семестр 2022/2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН  
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
0AM13	Седельникова Татьяна Александровна

Тема работы:

Определение дисперсности радиоактивных аэрозолей в источниках выбросов радиоактивных веществ АО «ПО ЭХЗ»
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	13.03.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.03.2023	1. Составление технического задания и выбор направления исследований	10
31.03.2023	2. Разработка общей методики проведения исследований	10
07.04.2023	3. Подбор и изучение материалов по теме	10
28.04.2023	4. Проведение необходимых экспериментальных исследований и проверка полученных результатов	30
05.05.2023	5. Обработка полученных данных	20
19.05.2023	6. Оформление выполненной работы	10
26.05.2023	7. Подготовка к защите	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ	Яковлева В. С.	д.т.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. Преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ	Семенов А.О.	к.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 126 с., 34 рис., 33 табл., 39 источников.

Ключевые слова: изокинетичность, радиоактивные аэрозоли, контроль выбросов, объемная активность, система отбора проб аэрозолей, аэрозольные фильтры.

Объектом исследования являются отбираемые пробы радиоактивных аэрозолей в организованных источниках выбросов предприятия АО «ПО ЭХЗ».

В рамках данной работы впервые: системно исследовано техническое состояние вентсистем при помощи программных моделей, спроектирована и реализована схема подвижной пробоотборной трубки, разработан и применен на практике метод определения параметров аэрозолей в профиле вентсистем по предварительным точкам.

Целью данной работы является исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

В процессе исследования проводились: изучение принципа работы радиометров РИА-02М, 4-РКС-АТ1329, iSolo; изучение карты расположения пробоотборных точек; выбор максимально представительных точек пробоотбора; обеспечение условия изокинетичности пробоотбора, выполнение отбора проб при учетном условии изокинетичности; выполнение отбора проб выбросов радиоактивных веществ при различных глубинах отбора; проведение измерений на аэрозольных фильтрах.

Практическая значимость: результаты работы могут использоваться для постановки эксперимента по исследованию влияния параметров отбора проб воздуха на результаты измерения, в целях повышения экономической эффективности радиационного контроля.

В результате исследования было проведено исследование влияния различных условий и схем отбора проб с соблюдением условия изокинетичности, оценена финансовая составляющая работы и описаны внешние факторы, оказывающие влияние на исследование.

Область применения: атомная промышленность, научно-исследовательские центры.

## Определения, обозначения, сокращения

В данной работе описаны следующие термины с соответствующими определениями:

Седиментация – это оседание аэрозольных частиц под действием силы тяжести.

Диффузия – это процесс выравнивания плотностей (или концентраций) двух веществ при их смешивании друг с другом, т.е. взаимное проникновение веществ друг в друга.

Изокинетический отбор проб – отбор пробы при котором скорость и направление газа входящего в насадку пробоотборной трубки ( $v_n$ ) совпадает со скоростью газа в газоходе в точке отбора ( $v_s$ ).

Аэрозоль - это дисперсная система, состоящая из твердых или жидких частиц, находящихся во взвешенном состоянии в газе (обычно в воздухе).

Импактор – устройство для принудительного фракционного осаждения частиц аэрозоля с целью последующего определения их количества и размеров или для разделения частиц в объемном потоке газа.

Пробоотбор – проводимый согласно обязательным правилам отбор порций материала (вещества), выраженных в штуках, единицах массы или объема.

Дисперсность частиц - физическая величина, характеризующая размер взвешенных частиц в дисперсных системах. Это величина, показывающая какое число частиц можно уложить вплотную в одном кубическом метре. Чем меньше размер частиц, тем больше дисперсность.

Промышленная площадка (промплощадка) - охраняемая и огражденная территория размещения производственных, административных, санитарно-бытовых и вспомогательных зданий и сооружений предприятия (радиационного объекта).

ЗАТО – закрытое административно-территориальное образование

СИЗ – средства индивидуальной защиты.

РБ – радиационная безопасность.

## Содержание

Введение.....	11
1 Общая характеристика АО «ПО ЭХЗ» .....	13
2 Влияние радиоактивных аэрозолей на человека .....	15
2.1 Образование и свойства радиоактивных аэрозолей.....	17
2.2 Методы отбора проб аэрозолей.....	19
2.3 Изакинетический отбор проб и отклонения от него.....	21
2.4 Приемы отбора проб аэрозолей .....	22
2.4.1 Отбор проб с помощью аэрозольных фильтров.....	22
2.4.2 Отбор проб с помощью импакторов.....	23
3 Экспериментальное оборудование.....	25
3.1 Пробоотборный коллектор .....	25
3.2 Аналитические фильтры АФА-РСП-20 .....	25
3.3 Радиометр альфа-излучения РИА-02 М.....	26
3.4 Радиометр РКС – АТ1329 .....	27
3.5 Радиометр альфа и бета излучения iSolo .....	29
4 Выбор точек отбора проб радиоактивных аэрозолей .....	31
4.1 Определение влияния параметров отбора на результаты измерения .	37
5 Результаты исследования вентсистем .....	41
5.1 Анализ картины скоростей потока .....	41
5.2 Исследование влияния отклонений от условия изакинетичности на результаты измерения.....	44
6 Предпроектный анализ.....	63
6.1 Потенциальные потребители результатов исследования.....	63
6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	64
6.3 SWOT-анализ .....	68
6.4 Инициация проекта .....	72
6.4.1 Цели и актуальность проекта .....	72
6.5 Планирование управления научно-техническим проектом.....	74

6.5.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	74
6.6 Бюджет проекта .....	77
6.6.1 Материальные затраты.....	78
6.6.2 Основная заработная плата .....	80
6.6.3 Дополнительная заработная плата.....	82
6.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды .....	83
6.6.5 Накладные расходы.....	84
6.6.6 Прочие прямые затраты.....	84
6.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	85
7 Социальная ответственность .....	90
7.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности .....	90
7.2 Основные эргономические требования к правильному расположению рабочего места исследователя при работе с ПК .....	92
7.3 Производственная безопасность .....	93
7.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	93
7.3.2 Параметры микроклимата .....	94
7.3.3 Электромагнитное излучение .....	96
7.3.4 Ионизирующее излучение.....	97
7.3.5 Освещенность рабочей зоны.....	98
7.3.6 Шум.....	99
7.3.7 Психофизиологические факторы.....	100
7.3.8 Электробезопасность .....	101
7.3.9 Пожаровзрывоопасность .....	103
7.3.10 Аварийные и чрезвычайные ситуации (АС и ЧС).....	105
7.4 Выводы по главе «Социальная ответственность» .....	107
Заключение .....	108
Список использованных источников .....	109
Приложение А (справочное).....	113
Приложение Б (справочное).....	127

## Введение

Контроль промышленных выбросов является одной из необходимых мер по снижению их уровня. Как правило, в основе этих мероприятий лежит система государственных стандартов, по регулированию норм содержания загрязняющих веществ в выбросах. Они регламентируют нормы содержания загрязненных компонентов во всех выбросах с помощью методов измерения.

Управление радиационной безопасностью персонала объектов использования атомной энергии обеспечивает оперативный контроль объемной активности альфа излучающих аэрозолей, которая входит в состав радиационной безопасности персонала.

Для соблюдения требований по ограничению выбросов в атмосферный воздух и для обеспечения радиационной безопасности персонала большое значение имеет контроль объемной активности, дисперсного и фазового состава газо-аэрозольной смеси как в вентиляционной системе после очистки, так и в рабочих помещениях.

Особое внимание уделяется процедуре отбора проб загрязняющих веществ в выбросах, т.к. именно этот этап работы при неправильном его выполнении может вносить основную погрешность в результат измерения [1].

Таким образом, повышение точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия с учетом их физико-химических свойств путем экспериментального определения удельной активности аэрозольной составляющих и дисперсности аэрозольных частиц является актуальной задачей при осуществлении радиационного контроля.

Целью данной работы является исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение принципа работы радиометров РИА-02М, iSolo, РКС-АТ1329;
2. Изучение карты расположения пробоотборных точек, выбор максимально представительных точек пробоотбора;
3. Обеспечение условия изокинетичности пробоотбора, выполнение отбора проб при учтенном условии изокинетичности;
4. Выполнение отбора проб выбросов радиоактивных веществ при различных глубинах отбора;
5. Проведение измерений на аэрозольных фильтрах;

## **1 Общая характеристика АО «ПО ЭХЗ»**

Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод» (далее – АО «ПО ЭХЗ») расположено на территории, ЗАТО г. Зеленогорск, примерно в 150 км восточнее города Красноярск. Предприятие располагается в северо-западном направлении от города Зеленогорска на берегу реки Кан, на расстоянии 2,5 км от жилой зоны [2].

В соответствии с [3] АО «ПО ЭХЗ» по потенциальной радиационной опасности на население относится к объекту III категории, радиационное воздействие которого при аварии ограничивается территорией объекта. Категория объекта установлена «Решением об установлении категории АО «ПО ЭХЗ», согласованным с Межрегиональным управлением № 42 ФМБА России [2].

Деятельность предприятия базируется на ряде специализированных производств, оснащенных современным оборудованием, средствами контроля и испытаний. Все они обеспечивают высокие технические характеристики производимой продукции, соответствующие мировому уровню качества.

В соответствии с решением о полном прекращении производства высокообогащенного урана с 1988 г. предприятие выпускает низкообогащенный уран для изготовления топлива для энергетических реакторов. Кроме энергетического урана, производит стабильные изотопы для ряда отраслей промышленности [2].

Воздействие на окружающую среду предприятия происходит через:

- а) забор воды, которая используется для охлаждения оборудования внутри корпусов, поступающей из реки Кан;
- б) сбросы сточных вод, образующихся от охлаждения оборудования, дождевые стоки от промплощадки в открытую гидрографическую сеть;
- в) обращение с отходами производства и потребления;

- г) обращение с радиоактивными отходами;
- д) выбросы вредных химических веществ;
- е) выбросы радионуклидов.

Исследование параметров отбора проб выбросов радиоактивных аэрозолей является целью практической части данного исследования [4].

## **2 Влияние радиоактивных аэрозолей на человека**

При производстве обогащенного урана в цехе часть продуктов попадает в помещение рабочей зоны в виде радиоактивных веществ. В результате распространения радиоактивных аэрозолей в воздухе рабочей среды, есть вероятность облучения работников [5].

Доза внутреннего облучения характеризуется радионуклидным составом, дисперсностью и транспортабельностью частиц поступающих в организм.

Радиоактивное загрязнение кожных покровов, спецодежды, спецобуви и других средств индивидуальной защиты является существенным фактором, определяющим внешнее и внутреннее облучение человека. За счет того, что спецодежда, спецобувь и другие СИЗ непосредственно контактируют с телом человека, доза внешнего облучения персонала при радиоактивном загрязнении спецодежды и спецобуви больше, чем при таком же уровне радиоактивного загрязнения поверхностей помещений. Поскольку радиоактивные аэрозоли переходят в воздух с загрязненной спецодежды и других СИЗ в области дыхания человека (сфера радиусом около 50 см от лица), они создают дозу внутреннего облучения за счет ингаляционного поступления. Радиоактивное загрязнение кожных покровов создает опасность перкутанного поступления радионуклидов в организм, особенно через повреждения кожных покровов [6].

Если известны закономерности накопления, распределения, а также выведения радиоактивных газов и аэрозолей в организме человека, можно получить информацию о тканевых дозах, обусловленных внутренним облучением. Важную роль играет дозиметрия радиоактивных газов и аэрозолей, основной целью которой является своевременное оповещение персонала и населения.

Термин «инкорпорированные радионуклиды» относится к радионуклидам, которые попали в организм. Радионуклиды попадают в организм через три основных пути: дыхательную систему человека (ингаляционный путь), пищеварительную систему человека (ингаляционный путь), пищеварительную систему человека (пероральный путь), а также через кожные покровы человека. Радионуклиды также могут попадать внутрь организма через внешние органы и с помощью кровотока попадать во внутренние органы человека.

Радионуклиды, которые попадают в организм, могут вызвать внутреннее облучение, затем они частично распадаются и выводятся из организма в результате биологических метаболических процессов [7].

Их будущее зависит от свойств самих радионуклидов, происходящих в живых органах.

Доза внутреннего облучения, которую организм может поглотить, может вызвать серьезные биологические последствия, и является ключевым показателем радиационной опасности для организма [7].

Любой радионуклид, как естественного, так и искусственного происхождения, присутствующий в окружающей среде в форме жидкости, газа или пыли и который может оказаться в контакте с человеком, может быть включен в источники инкорпорированных радионуклидов.

Понимание воздействия радионуклидов на организм является важнейшей задачей. Необходимо учитывать химическую форму, растворимость и время пребывания радионуклида в организме. Состояние здоровья человека играет важную роль. Радиус поражения зависит от энергии излучения. Важно выбирать правильные методы и приборы для обнаружения радионуклидов и измерения поглощенной дозы. Только так можно защитить себя и окружающих от возможных негативных последствий.

## 2.1 Образование и свойства радиоактивных аэрозолей

Одним из возможных факторов воздействия производственной среды на персонал является загрязнение радиоактивными аэрозолями [8].

Большая часть облучения органов человека связана с вдыханием радиоактивных аэрозолей.

Взвешенные частицы, находящиеся в воздухе и содержащие естественные (продукты распада урана, тория, радия) или искусственные (продукты деления урана, активационные радионуклиды и прочие) элементы, называются радиоактивными аэрозолями [9].

В природе существует три радиоактивных семейства.

Семейство урана-радия имеет 19 нуклидов и начинается с изотопа  $^{238}_{92}\text{U}$  (содержание которого в природной смеси изотопов урана составляет 99,28 %), заканчивается стабильным изотопом свинца [10].

Второе семейство – актино-урана – начинается с другого изотопа урана  $^{235}_{92}\text{U}$  (именно этот изотоп используется в управляемых реакциях деления в атомных электростанциях). Среди элементов этого ряда есть актиний  $^{227}_{89}\text{Ac}$  – наличие радионуклида актиния и дало название этому ряду.

Третье семейство – семейство тория – начинается с радиоактивного изотопа тория  $^{232}_{90}\text{Th}$ , также имеет в своем составе изотоп радия  $^{224}_{88}\text{Ra}$ , превращающийся в радиоактивный газ радон ( $^{220}\text{Rn}$ ). Этот изотоп радона, учитывая его происхождение, имеет название торон [10].

Стабильность аэрозолей определяется рядом факторов, в первую очередь размером аэрозольных частиц.

Состояние устойчивости воздушных масс во многом зависит от размеров аэрозольных частиц. При естественном разрушении аэрозолей происходит три основных процесса: седиментация, диффузия и коагуляция. А для жидких аэрозолей, важным является их испарение.

В процессе диффузии аэрозоли оседают на окружающих объектах и предметах, а также происходит их столкновение друг с другом [11].

По мере увеличения размера частица будет увеличиваться в результате притягивания к ней более мелких частиц, пока ее размер не станет настолько большим, что она осядет под воздействием силы тяжести и давления.

Скорость коагуляционной реакции в аэрозолях зависит от размера частиц и их концентрации. Аэрозоль представляет собой смесь жидких и твердых частиц. Размеры их могут быть от микрона до сотен микронов.

Аэрозольные частицы образуются в результате механического процесса или в результате конденсации паров и газов. Они могут коагулироваться и конденсироваться во время перемещения в результате движения воздуха, а также при его разбавлении. Они могут растворяться в атмосфере, оседая на поверхности, которые поглощают их [11].

Для радиоактивных аэрозолей характерны следующие способы образования [12]:

а) некоторые радиоактивные элементы в процессе распада образуют радиоактивные газы (радон, торон, актион), попадающие в окружающий воздух. Эти газы в процессе конденсации образуют твердые частицы разной формы. Образующиеся в атмосфере продукты распада радиоактивных газов могут оседать на частицах воздуха;

б) в результате распада радиоактивных продуктов образуются радиоактивные вещества. Радиоактивные атомы имеют способность захватывания взвешенными частицами, в результате чего они могут распространяться в воздухе. Но они распространяются значительно на короткие расстояния от материнского вещества.

в) радиоактивные аэрозоли могут образовываться не только из продуктов распада радиоактивных элементов, но и из нерадиоактивных. Это происходит потому, что нерадиоактивные атомы могут увлечь за собой частицы радиоактивных элементов, которые затем оседают на пылинках в воздухе. Взаимодействуя с другими частицами (коагулируясь), оседают на поверхностях.

В процессе производства радиоактивных материалов происходят такие процессы как выпаривание, дробление, механическая обработка. В результате данных процессов происходит образование радиоактивных аэрозолей.

Характеристику количества радиоактивных аэрозолей, проводится с помощью их концентрации. Существует два типа концентраций: счетная и массовая.

Активность радиоактивных аэрозолей определяется их радионуклидной концентрацией. Радионуклидная концентрация – это количество радиоактивных элементов, распадающихся в единицу объема, или активность единицы объема атмосферного воздуха.

Свойства аэрозолей зависят от размера их частиц. По дисперсности аэрозоли могут быть классифицированы на три категории [12]:

1) крупнодисперсные (нестабильные) – частицы размер в диаметре которых превышает 10 мкм; Их легко можно обнаружить с помощью микроскопа. Из-за большого размера они быстро оседают, находясь в воздухе очень короткое время

2) среднедисперсные (относительно стабильные) – частицы размер в диаметре которых находится от 10 мкм и выше; В зависимости от размера и концентрации данные частицы, могут находиться в состоянии взвешенности различное время. Они значительно медленнее оседают в воздухе в отличии от крупнодисперсных частиц.

3) мелкодисперсные или высокодисперсные – это частицы диаметр которых не превышает 1 мкм; Подчиняясь законам броуновского движения, они перемещаются также как молекулы воздуха.

## **2.2 Методы отбора проб аэрозолей**

Поддержание и определение радиоактивных аэрозолей в воздухе производственных помещений является первоочередной задачей радиационного контроля.

Для определения количества аэрозолей в воздухе существует несколько методов. При проведении косвенного метода происходит извлечение частиц из газовой среды.

Прямой метод проводится в определенном объеме газовой среды, с изучением активности радионуклида с помощью ионизационной камеры и счетчика [13]. Для того, чтобы извлечь радиоактивные аэрозоли из газовой среды применяется седиментация или фильтрация. Методы определения содержания радиоактивных аэрозолей в воздухе можно условно разделить на две категории [14].

В основе первого метода лежит изучение частиц в ограниченном объеме.

В результате чего можно измерить точное количество взвешенных частиц в единице объема газовой среды.

Методы второй группы контролируют уровень радиоактивных выпадений из атмосферного воздуха.

Возможные условия отбора образцов проб с помощью данного метода можно разделить на пять групп:

- 1) открытые участки (атмосферный воздух);
- 2) производственные помещения;
- 3) замкнутые объемы при нормальном барометрическом давлении (например, камеры, ящики, вентиляция и другие подобные сооружения);
- 4) Поддерживаемые в вакууме замкнутые объемы (вакуумные линии и установки);
- 5) замкнутые объемы с избыточным давлением (компрессионные коммуникации и установки).

Также существуют методы для определения концентрации радиоактивного газа в воздухе, которые основываются на счете частиц или квантов [14].

Для данного метода используются газонаполненные счетчики, которые помогают достичь наибольшей точности измерения, так как происходит регистрация каждого акта распада.

При помощи ионизационных камер определяется уровень концентрации. С помощью радиометрии и гамма-спектрометрии можно определить изотопный состав радионуклидов, содержащихся в пробах воздуха.

Для осуществления технологического контроля и контроля РБ содержания и радиоактивности аэрозолей в воздухе производственных помещений используют различные стационарные и переносные радиометры.

Например, для измерения альфа-активных аэрозолей могут использоваться радиометры РИА-02 М, iSolo, РКС-АТ1239.

### **2.3 Изокинетический отбор проб и отклонения от него**

Аэрозоли должны быть отобраны изокинетично в противном случае, полученный результат концентрации пыли будет недостоверным [15], условие применяется, если дисперсность частиц в потоке более или равна 5 мкм).

Отношение скоростей  $v_n/v_s$ , выраженное в долях, характеризует отклонения от условия изокинетичности отбора проб рисунок 4.1 [16].

Проба аэрозоля, отобранная при соотношении  $v_n/v_s$  от 0,95 до 1,15 – считается отобранной изокинетично таблица 4.1 [16].

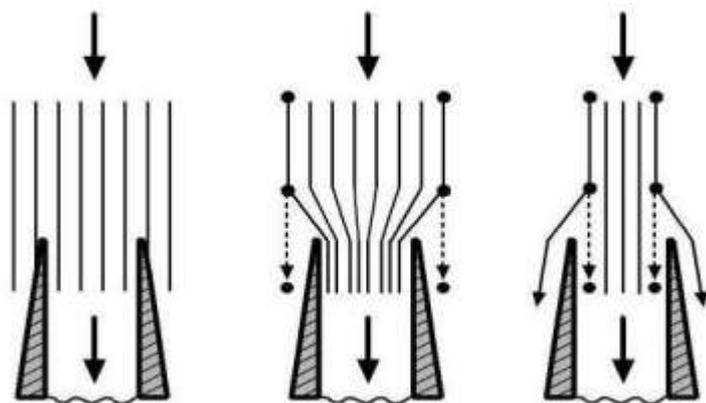


Рисунок 4.1 - Правильный и ошибочные способы отбора проб аэрозолей

Таблица 4.1 – Параметры концентрации и массы аэрозолей при отборе проб

	Изокинетично $v_n/v_s=1$	$V$ в насадке $> v$ газа $v_n/v_s > 1$	$V$ в насадке $< v$ газа $v_n/v_s < 1$
Концентрация в насадке	Точная	Пониженная	Повышенная
Масса аэрозоля на фильтре	Точная	Недостаточная	Избыточная

## 2.4 Приемы отбора проб аэрозолей

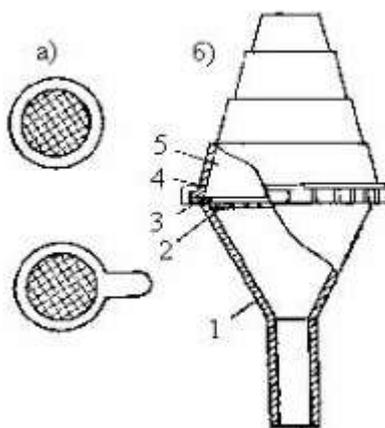
### 2.4.1 Отбор проб с помощью аэрозольных фильтров

В атмосфере содержится множество твердых частиц аэрозолей, которые значительно превышают размеры атомов и молекул и не могут быть уловлены обычными сорбентами.

Фильтры для отбора проб могут быть различных типов.

Наиболее популярными являются волокнистые фильтры типа АФА (аналитические фильтры аэрозолей), мембранные фильтры, электрофильтры, импакторы, и другие.

При отборе пробы через фильтр (рис. 4.2а), помещенный в фильтродержатель (рис. 4.2б), определенный объем воздуха аспирируется через мембранный фильтр. Широкое применение нашли мембранные фильтры, которые позволяют улавливать даже мелкие частицы [18].



1- корпус фильтродержателя; 2 – сетка; 3 – прижимное кольцо; 4 – накидная гайка; 5 – конусная насадка.

Рисунок 4.2 - Фильтры (а) и фильтродержатель (б)

Аэрозольные фильтры улавливают частицы за счет инерционного осаждения (действует только для частиц с высокой скоростью потока и большого размера) и броуновского движения (для частиц очень маленького размера, улавливаются в то время пока фильтрующийся воздух проходит через фильтр). Данный механизм эффективен для пористых и мембранных фильтров [18].

#### 2.4.2 Отбор проб с помощью импакторов

Другим методом отбора проб аэрозолей называется отбор проб с помощью импакторов. Данный метод основан на механизме инерционного осаждения твердых частиц в зависимости от размера.

Поток воздуха со скоростью  $V_0$  направляется на плоскую пластину (рис.4.3), расположенную на расстоянии  $L$  от сопла. Силы инерции заставляют частицы двигаться по прямой линии. Эффективность сбора частиц возрастает при увеличении отношения  $V_0/L$  [19].

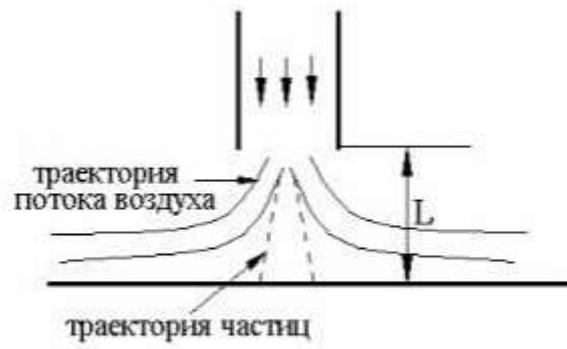


Рисунок 4.3– принцип действия импактора

В каскадных импакторах последовательно используют потоки с разными  $V_0$  и  $L$ , что позволяет собрать частицы по размерам [19].

### 3 Экспериментальное оборудование

#### 3.1 Пробоотборный коллектор

Анализируемый поток отбирают из основного потока в установленных точках отбора проб в течение измеряемого периода времени, при обязательной фиксации объема отобранной пробы [21].

Проба извлекается с помощью пробоотборной линии, которая состоит из:

- 1) Пробоотборной трубки;
- 2) Фильтродержатель с фильтром;
- 3) Газовый счетчик;
- 4) Вакуумная система (насос).

Схема отбора проб представлена на рисунке 5.1

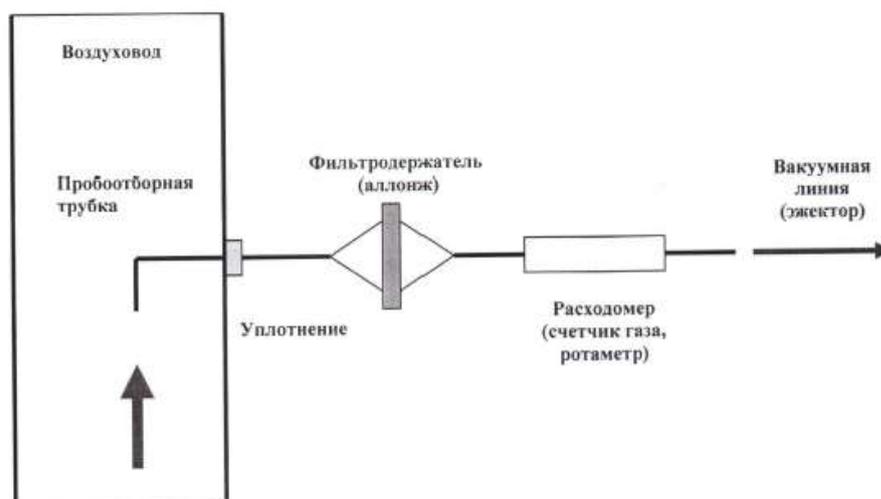


Рисунок 5.1 - Схема отбора проб газовой смеси выбросов для определения содержания радиоактивных веществ

#### 3.2 Аналитические фильтры АФА-РСП-20

Аналитические фильтры АФА-РСП предназначены для улавливания и определения изотопного состава и объемной активности радиоактивных аэрозолей рисунок 5.2.

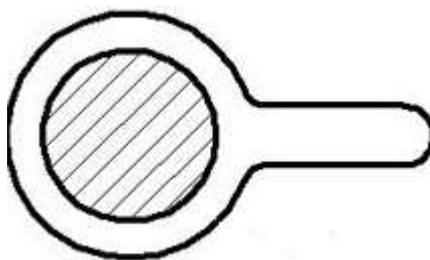


Рисунок 5.2 - Внешний вид фильтра АФА-РСП-20

Метод анализа аэрозолей при работе с фильтрами основан на улавливании аэрозольных частиц на фильтр из определенного объема воздуха (газа) и последующего измерения спектра уловленного осадка на фильтре с помощью радиоспектрометрических приборов, либо объемной активности с помощью радиометрических [18].

### **3.3 Радиометр альфа-излучения РИА-02 М**

Радиометр РИА-02 М предназначен для измерения активности по альфа-излучению одновременно четырех образцов (проб) путем измерений плотности потока альфа излучения.

Принцип работы РИА-02 М заключается в регистрации и накоплении импульсов, поступающих во время измерения от сцинтилляционных детекторов альфа-излучения, их следующая обработка и анализ на ЭВМ.

Радиометр выполнен в металлическом корпусе настольного типа и состоит из основания с прободержателями, четырех детекторов, четырех блоков питания высоковольтных, источника питания низковольтного, кожуха, передней и задней панелей. Внешний вид радиометра представлен на рисунке 5.3 [22].



Рисунок 5.3 - Радиометр альфа-излучения четырехканальный

Таблица 5.1 – Характеристики радиометра альфа-излучения РИА-02 М

Наименование	Значение
Диапазон измерения активности проб по альфа-излучению	От $10^{-2}$ до $2,5 \cdot 10^3$ Бк
Эффективность регистрации альфа-частиц	Для изотопов $U^{234}$ , $Pu^{239}$ = 0.4 Для изотопа $U^{238}$ = 0.3
Площадь чувствительной поверхности детекторов	38 см <sup>2</sup>
Габаритные размеры	Не более 510*375*445 мм (ширина*высота*глубина)
Масса	Не более 55 кг

### 3.4 Радиометр РКС – АТ1329

Радиометр предназначен для эксплуатации в лабораторных условиях и применяется для контроля уровня облучения персонала и объектов окружающей среды.

Радиометр РКС – АТ1329 предназначен для измерений:

1) суммарной альфа-активности и/или суммарной бета активности счетных образцов на основе аэрозольных аналитических фильтров типа АФА-РСП (далее фильтры) либо аналогичных;

2) суммарной альфа-активности и/или суммарной бета активности счетных образцов, приготовленных из вещества пробы (например, путем выпаривания либо любым другим методом, обеспечивающим получение «толстого» образца);

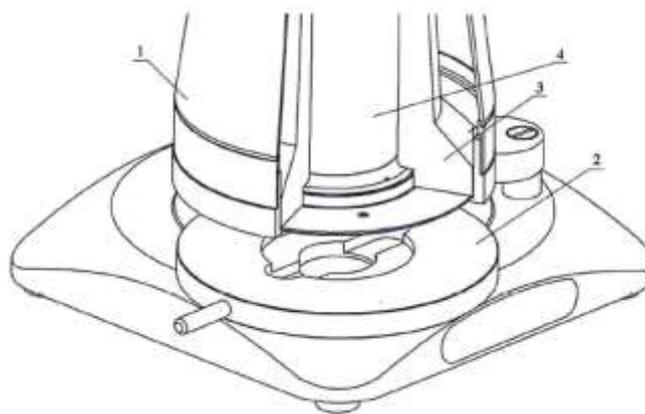
3) активности, плотности потока, внешнего альфа- и/или бета-излучения.

Внешний вид радиометра РКС – АТ1329 представлен на рисунке 5.4. Конструктивно радиометр выполнен в виде двух соединенных вместе корпусов. В конусообразном корпусе расположены детектор и светозащитные прокладки. В цилиндрическом корпусе расположены узел ФЭУ и электронные компоненты [22].



Рисунок 5.4 - Внешний вид радиометра РКС – АТ1329

Внешний вид устройства размещения образцов и блока защиты представлен на рисунке 5.6. Устройство размещения счетных образцов (2) выполнено из нержавеющей стали. Блок защиты (3) изготовлен из свинцово-сурьмянистого сплава.



1 – корпус; 2 – устройство размещения образцов; 3 – БЗ; 4 – БД  
 Рисунок 5.6 - Общий вид устройства размещения образцов и блока защиты

Таблица 5.2 - Характеристики радиометра РКС – АТ1329

Измеряемая величина		Диапазон измерений	Предел допускаемой основной относительной погрешности, %
Плотность потока альфа-, бета-частиц, мин <sup>-1</sup> см <sup>2</sup>		0,6 - 6 10 <sup>6</sup>	±20
Внешнее альфа-, бета-излучение, с <sup>-1</sup>		0,1 - 10 <sup>5</sup>	±20
Радионуклид	Энергия альфа-частиц	Относительная чувствительность	
U <sup>238</sup>	4151,0	1,00±0,10	
	4198,0		
U <sup>234</sup>	4722,0	1,00±0,10	
	4775,0		
Pu <sup>239</sup>	5105,1	1,00	
	5143,1		
	5155,8		
Pu <sup>238</sup>	5456,3	1,00±0,10	
	5499,07		

### 3.5 Радиометр альфа и бета излучения iSolo

Радиометр iSolo является переносным прибором для измерения активности альфа- и бета- излучающих радионуклидов в стекловолоконных фильтрах для анализа мазков, в мембранных фильтрах для измерения проб воздуха, а также в насыпных и в твердых пробах.

Принцип работы прибора основан на регистрации импульсов, возникающих при взаимодействии альфа- и бета- частиц с пассивированными

ионно-имплантированным планарным кремниевым детектором PIPS, с последующим разделением импульсов по амплитудам. В процессе измерений автоматически вносится поправка на присутствующие продукты распада радона и торона. Внешний вид радиометра iSolo представлен на рисунке 5.7 [22].

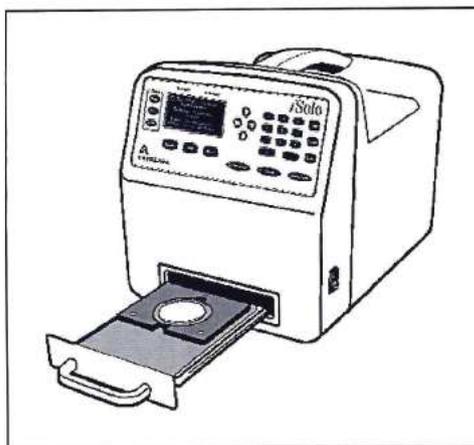


Рисунок 5.7 - Внешний вид радиометра iSolo с выдвинутым лотком

#### 4 Выбор точек отбора проб радиоактивных аэрозолей

В качестве мест отбора проб были выбраны следующие вентиляционные системы, обладающие наибольшей активностью радиоактивных аэрозолей (с целью уменьшения влияния систематической погрешности на результат измерения):

- 1) ВГ-1 здания 308;
- 2) ВГ-2 здания 308;
- 3) В-10 здания 310.

Выбор максимально представительных точек отбора осуществлялся на основании текста публикации [23]

Согласно [23], подбор пробоотборных точек необходимо начинать с проверки на соответствие критериям приемлемости, указанным в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Критерии приемлемости при выборе точки пробоотбора

Параметр	Критерий приемлемости
Завихрение потока	Средний угол наклона плоскости отбора должен быть не более 20 градусов
Распределение скоростей в широких трубах (диаметр более 0,3 м) и малых трубах (диаметр менее 0,3 м)	Коэффициент вариации (КВ)* не должен превышать 20% в центральной части трубы, охватывающей, как минимум, 2/3 всего поперечного сечения трубы
Распределение концентраций аэрозольных частиц в широких и малых трубах	Коэффициент вариации не должен превышать 20% в центральной части трубы, охватывающей, как минимум, 2/3 всего поперечного сечения трубы
*Коэффициент вариации определяется как отношение стандартного отклонения переменной к ее среднему значению, выраженное в процентах.	

Выбранные участки вентиляции обладают следующими параметрами  
таблица 6.2:

Таблица 6.2 – Параметры участков вентиляции

Вентсистема	Параметры
ВГ-1 (рисунок 1)	1. Круглое сечение; 2. Длина прямого участка трубы - 3,5 метра; 3. Диаметр - 1400 мм; 4. Скорость газа, поступающего в вентсистему - 10 м/с

Продолжение Таблицы 6.2

Вентсистема	Параметры
ВГ-2 (рисунок 2)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Прямоугольное сечение;</li> <li>2. Длина прямого участка трубы - 10 м;</li> <li>3. Размер воздуховода - 1800 x 800 мм;</li> <li>4. Производительность - <math>1,1 \cdot 10^5</math> м<sup>3</sup>/час</li> </ol>
ВГ-10 (рисунок 3)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Круглое сечение;</li> <li>2. Длина прямого участка трубы - 4 м;</li> <li>3. Диаметр - 800 мм;</li> <li>4. Скорость газа, поступающего в вентсистему - 7,3 м/с</li> </ol>

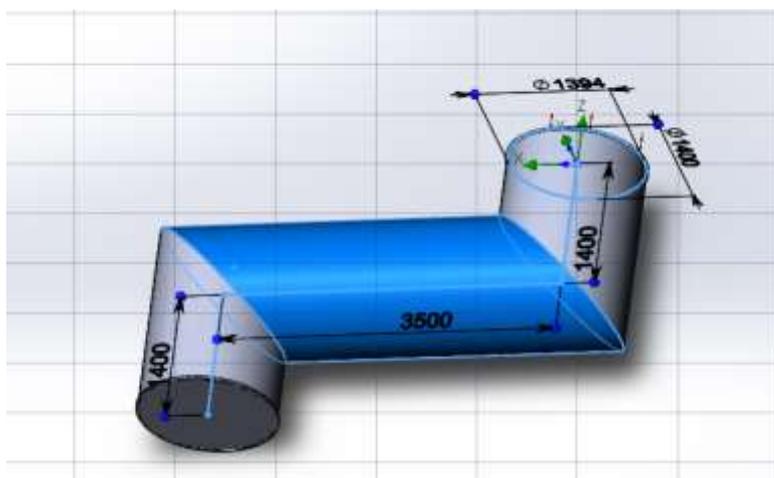


Рисунок 6.1 - Вентсистема ВГ-1 зд. 308

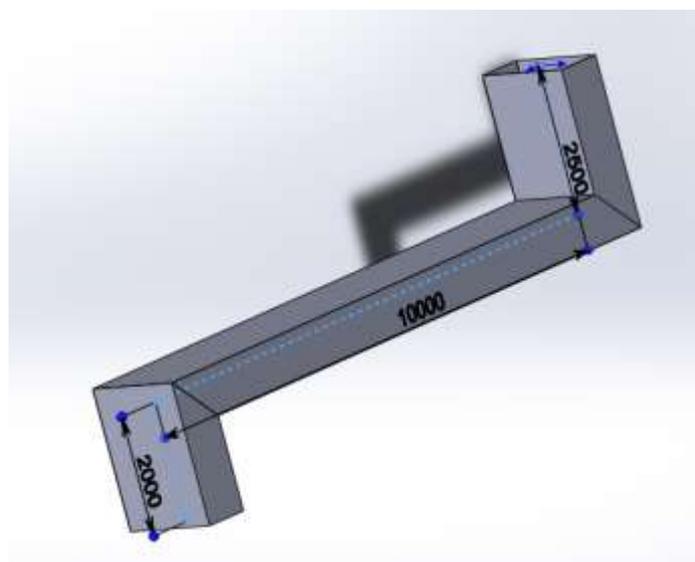


Рисунок 6.2 - Вентсистема ВГ-2 зд. 308

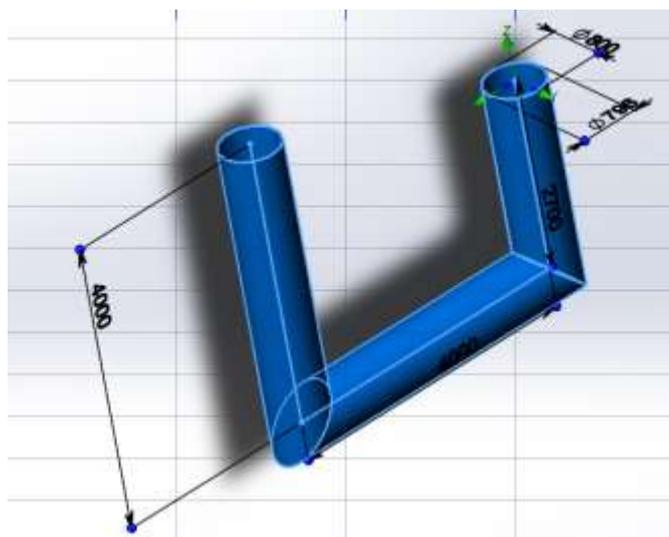


Рисунок 6.3 - Вентсистема ВГ-10 зд. 310

В связи с тем, что сечения отбора на выбранных вентсистемах расположены на длинных прямых участках трубы, первый критерий из таблицы 6.1 выполняется (средний угол наклона плоскости отбора меньше 20 градусов).

Для проверки критериев приемлемости 2 и 3 из таблицы 6.1, было использовано программное обеспечение Solidworks Flow Simulation 2015, позволяющее смоделировать движение аэрозолей внутри вентсистемы.

Скорости потока в отдельных точках сечения приведены на рисунках 6.4,6.5,6.6; распределение концентраций аэрозольных потоков - на рисунках 6.7,6.8,6.9.

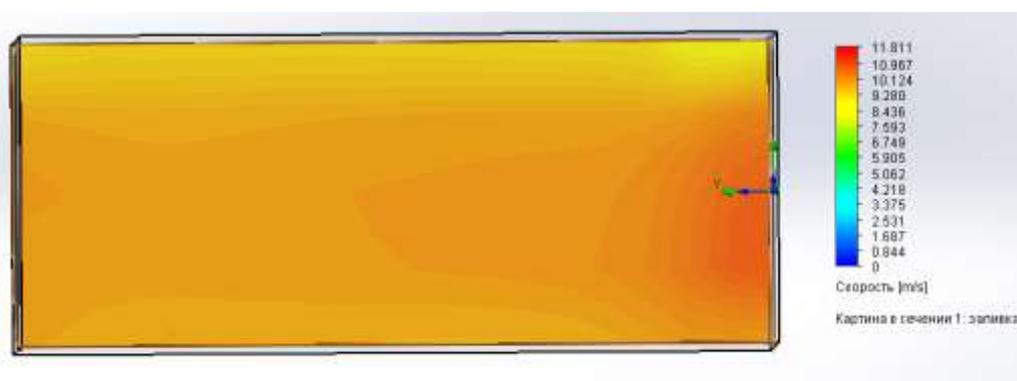


Рисунок 6.4 - Диаграмма скоростей потоков в центральной части вентсистемы ВГ-1 зд. 308

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$KB_{\vartheta \text{ ВГ-1}} = \frac{\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-1}}}{\mu_{\vartheta \text{ ВГ-1}}} \cdot 100\% = \frac{0,78}{9,24} \cdot 100\% = 8,45\%,$$

где  $\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-1}}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{\vartheta \text{ ВГ-1}}$  - среднее значение,  $KB_{\vartheta \text{ ВГ-1}}$  - коэффициент вариации

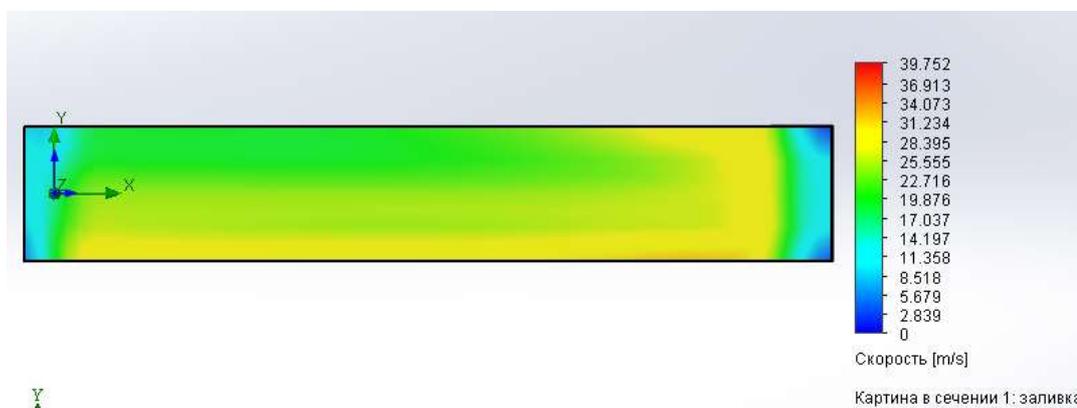


Рисунок 6.5 - Диаграмма скоростей потоков в центральной части вентсистемы ВГ-2 зд. 308

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$KB_{\vartheta \text{ ВГ-2}} = \frac{\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-2}}}{\mu_{\vartheta \text{ ВГ-2}}} \cdot 100\% = \frac{2,83}{22,72} \cdot 100\% = 12,46\%,$$

где  $\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-2}}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{\vartheta \text{ ВГ-2}}$  - среднее значение,  $KB_{\vartheta \text{ ВГ-2}}$  - коэффициент вариации

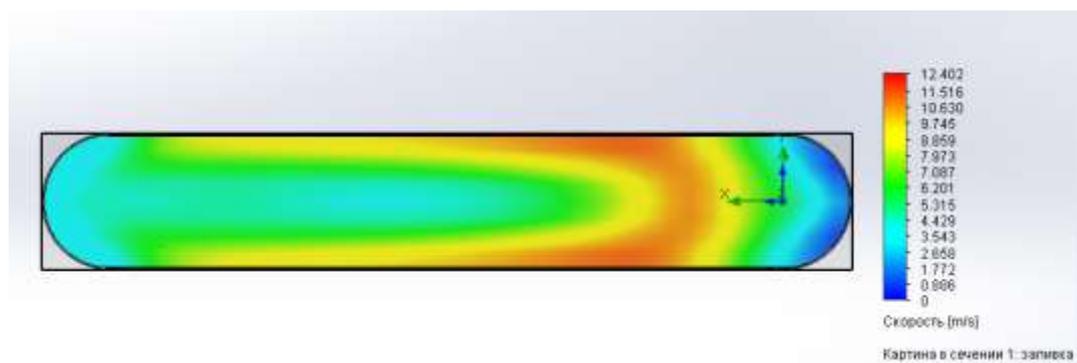


Рисунок 6.6 - Диаграмма скоростей потоков в центральной части вентсистемы ВГ-10 зд. 310

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$KB_{\vartheta \text{ ВГ-10}} = \frac{\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-10}}}{\mu_{\vartheta \text{ ВГ-10}}} \cdot 100\% = \frac{1,40}{7,10} \cdot 100\% = 19,72\%,$$

где  $\sigma_{\vartheta \text{ ВГ-10}}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{\vartheta \text{ ВГ-10}}$  - среднее значение,  $\text{КВ}_{\vartheta \text{ ВГ-10}}$  - коэффициент вариации

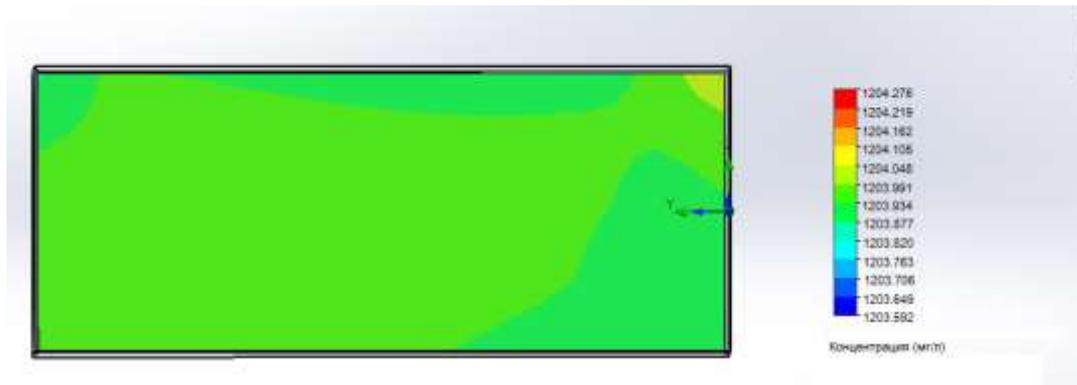


Рисунок 6.7 - Диаграмма концентраций аэрозолей в центральной части вентсистемы ВГ-1 зд. 308

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$\text{КВ}_{\text{А ВГ-1}} = \frac{\sigma_{\text{А ВГ-1}}}{\mu_{\text{А ВГ-1}}} \cdot 100\% = \frac{0,074}{1204,02} \cdot 100\% = 0,006\%,$$

где  $\sigma_{\text{А ВГ-1}}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{\text{А ВГ-1}}$  - среднее значение,  $\text{КВ}_{\text{А ВГ-1}}$  - коэффициент вариации

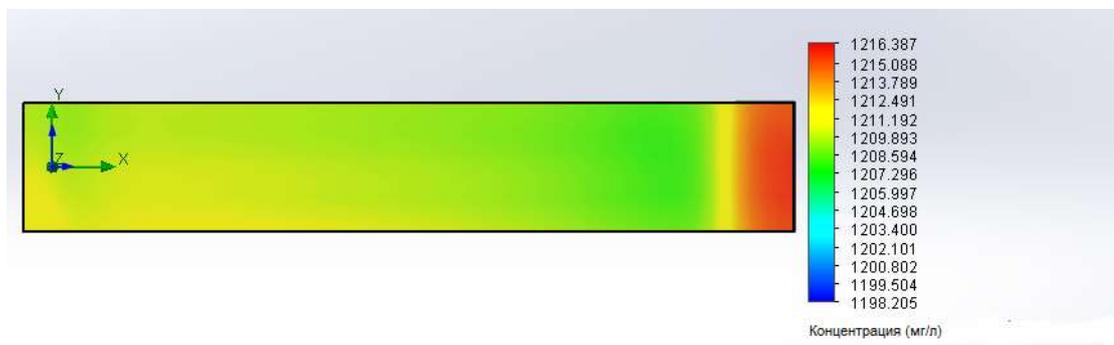


Рисунок 6.8 - Диаграмма концентраций аэрозолей в центральной части вентсистемы ВГ-2 зд. 308

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$\text{КВ}_{\text{А ВГ-2}} = \frac{\sigma_{\text{А ВГ-2}}}{\mu_{\text{А ВГ-2}}} \cdot 100\% = \frac{1,452}{1209,99} \cdot 100\% = 0,12\%,$$

где  $\sigma_{\text{А ВГ-2}}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{\text{А ВГ-2}}$  - среднее значение,  $\text{КВ}_{\text{А ВГ-2}}$  - коэффициент вариации

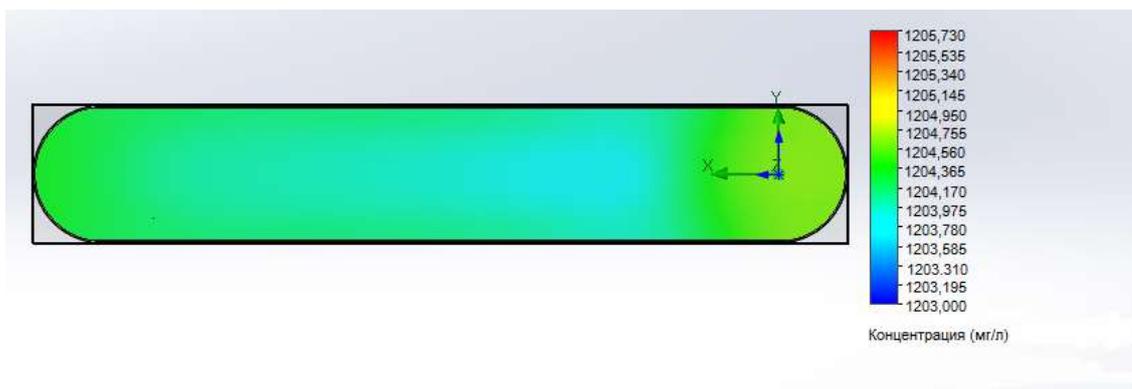


Рисунок 6.9 - Диаграмма концентраций аэрозолей в центральной части вентсистемы ВГ-10 зд. 310

Рассчитаем коэффициент вариации полученной модели:

$$КВ_{А ВГ-10} = \frac{\sigma_{А ВГ-10}}{\mu_{А ВГ-10}} \cdot 100\% = \frac{0,333}{1204,03} \cdot 100\% = 0,028\%,$$

где  $\sigma_{А ВГ-10}$  - стандартное отклонение,  $\mu_{А ВГ-10}$  - среднее значение,  $КВ_{А ВГ-10}$  - коэффициент вариации

Эпюры скоростей и концентраций в центральной части трубы соответствуют коэффициенту вариации меньше 20%, в связи с чем в соответствии с [1], выбрано однозондовое исполнение пробоотборной системы.

Наиболее представительные сечения отбора в соответствии с моделями, принятые к исполнению, приведены на рисунках 6.10,6.11,6.12.

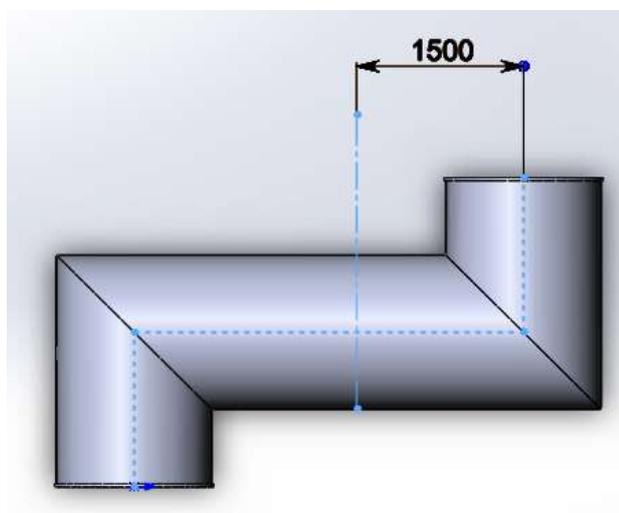


Рисунок 6.10 - Сечение отбора на вентсистеме ВГ-1 зд. 308

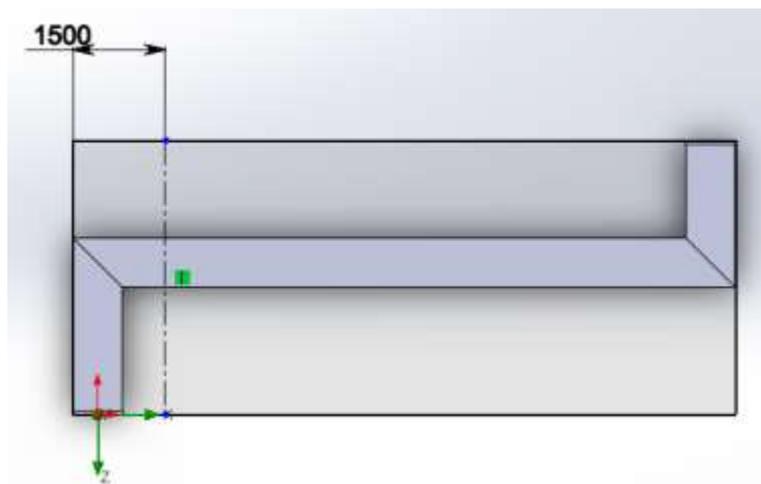


Рисунок 6.11 - Сечение отбора на вентсистеме ВГ-2 зд. 308

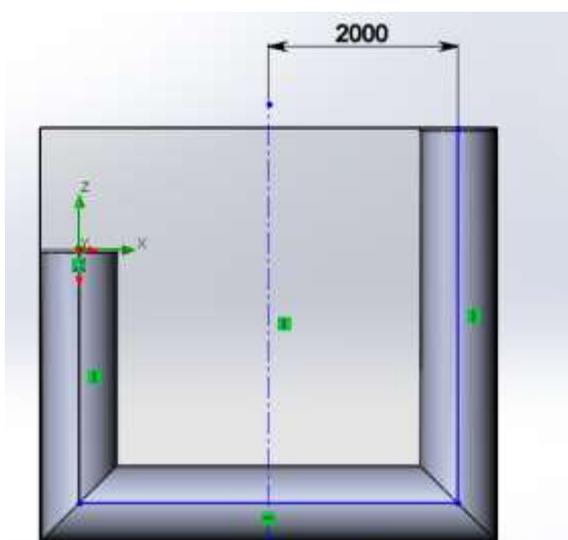


Рисунок 6.12 - Сечение отбора на вентсистеме ВГ-10 зд. 310

#### 4.1 Определение влияния параметров отбора на результаты измерения

Согласно рекомендациям, изложенным в Руководстве по безопасности при использовании атомной энергии "Рекомендации по методам и средствам контроля за выбросами радиоактивных веществ в атмосферный воздух" [15](РБ-135-17), изокинетичность отбираемой пробы аэрозолей и потока в нормируемом источнике с отслеживанием изменений расхода в источнике

необходимо соблюдать в случае, если дисперсность частиц в потоке более или равна 5 мкм.

В соответствии с результатами работы [24], дисперсность частиц в потоке всех выбросных вентсистем лежит в диапазоне, меньшем 5 мкм. Однако, в целях подтверждения сохранения данной закономерности, было принято решение о проектировании нескольких тестовых пробоотборных систем, удовлетворяющих изокинетическому отбору проб. В целях наибольшей представительности анализа и наименьшего влияния погрешности измерений данные пробоотборные системы были установлены на вентсистемах с наибольшей активностью аэрозолей.

Схема пробоотборной системы приведена на рисунке 6.13. Чертёж подвижного устройства пробоотборной трубки представлен на рисунке 6.14.



Рисунок 6.13 - Схема пробоотборной системы

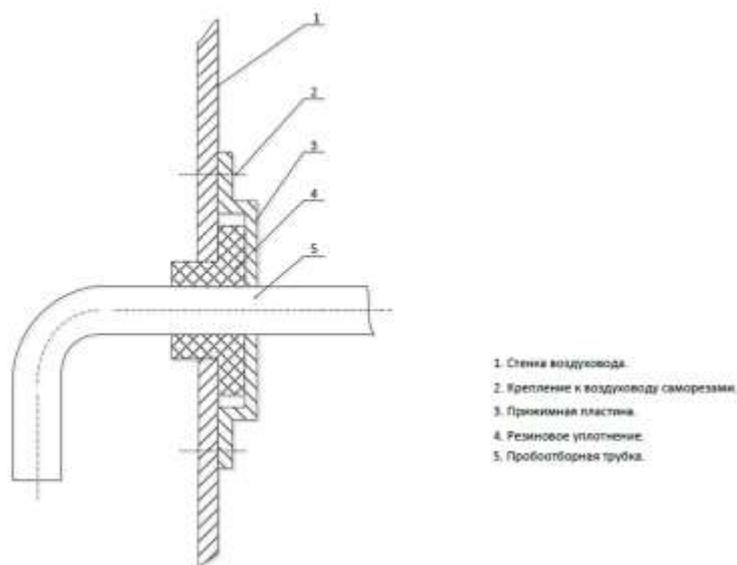


Рисунок 6.14 – Пробоотборная трубка

Однако, изокинетическая схема отбора обладает большой практической сложностью, в связи с необходимостью точной настройки скоростей. Точная настройка скорости отбора проб для достижения изокинетических условий отбора проб требует, чтобы скорость движения аэрозолей в вентсистеме и пробоотборной трубке измерялась с неизменной точностью. Также изменение расхода воздуха в вентсистеме, ухудшение подачи вакуума пробоотборника или изменение метрологических параметров счетчиков могут привести к отклонению от первоначального изокинетического дизайна. В рамках данной работы было проведено исследование влияния отклонения параметров отбора от условия изокинетичности на результаты измерений [23].

Данные о пробах выбросов были проанализированы на наличие тенденций и отклонений. Результаты с отклонениями исследованы и задокументированы с определением причин. Окончательные результаты измерений приведены с учетом поправок на эффективность счета, вычет фона и распад короткоживущих радионуклидов, дающих дополнительную альфа-активность в пробе.

Основной массив измерений был произведен согласно [25] на приборах РИА-02М, РКС-АТ1329А (для проверки сходимости измерений между двумя

приборами). Согласно требованиям методики, аэрозольные фильтры после снятия с фильтродержателя необходимо выдержать в течении 5 дней для распада короткоживущих радионуклидов. Для подтверждения того, что активность на фильтре была обусловлена целевыми изотопами  $^{234}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ , часть фильтров дополнительно прошла измерения на альфа-радиометре iSolo в режиме компенсации радона.

## 5 Результаты исследования вентсистем

### 5.1 Анализ картины скоростей потока

В исследуемых вентсистемах перед началом набора статистики было проведено измерение скоростей с помощью прибора ДМЦ-01М рисунки 7.1, 7.3, 7.5, а затем для существующего оборудования при входных скоростях, сходных с реальными, была построена модель распределения скоростей в вентсистеме с помощью программного обеспечения Solidworks Flow Simulation 2015 рисунки 7.2, 7.4, 7.6 для условно идеального состояния вентсистемы, с целью определения внутренних дефектов и коррозионных отложений, влияющих на скорость движения аэрозолей, по отличиям моделей.

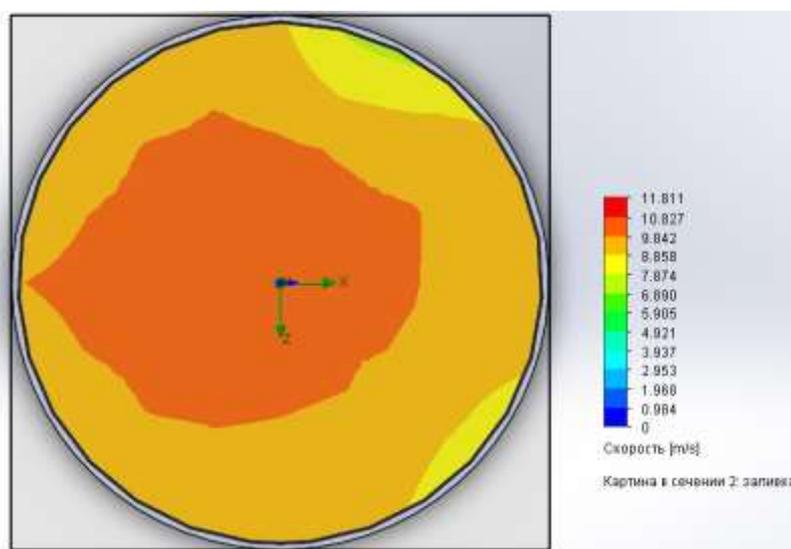


Рисунок 7.1 - Модель, построенная с учетом реальных значений, измеренных в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-1

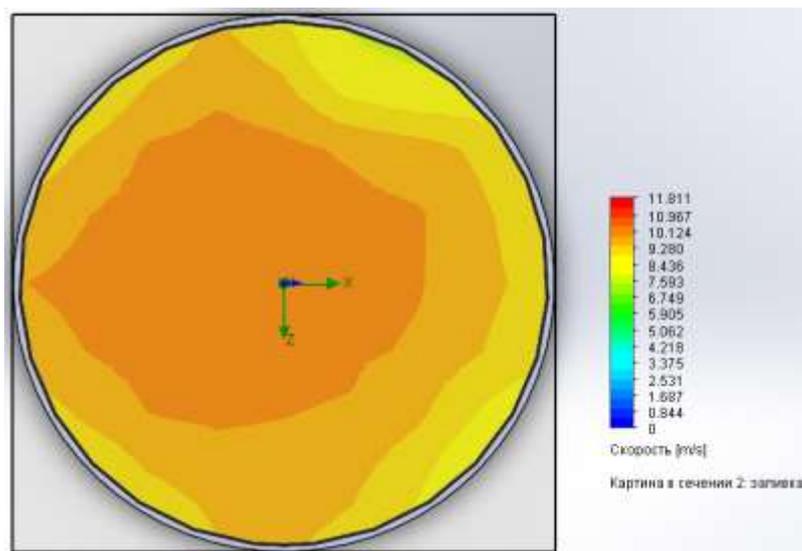


Рисунок 7.2 - Условно идеальная модель распределения скоростей в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-1

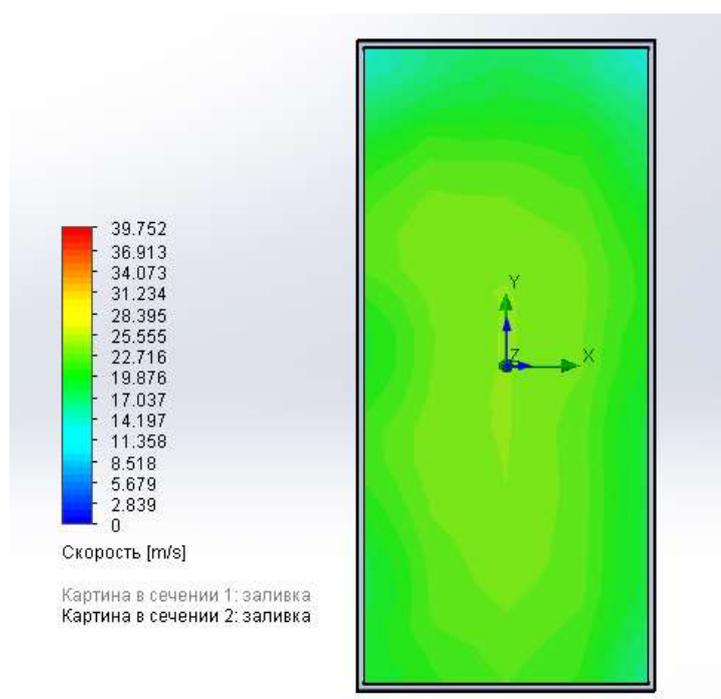


Рисунок 7.3- Модель, построенная с учетом реальных значений, измеренных в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-3

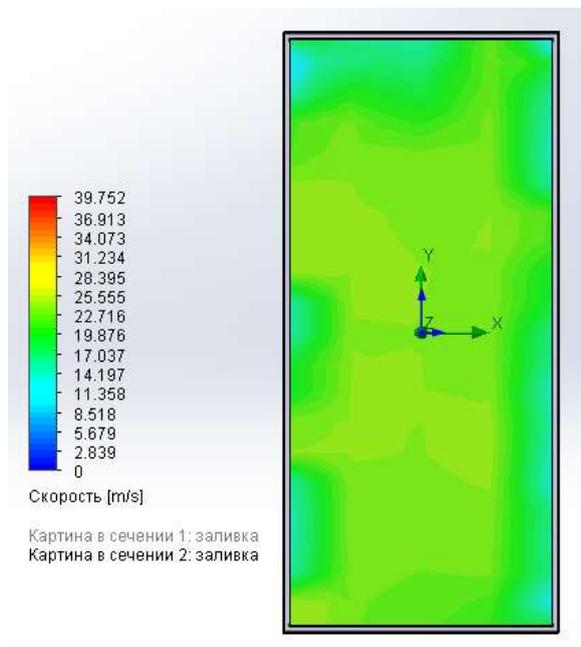


Рисунок 7.4 - Условно идеальная модель распределения скоростей в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-3

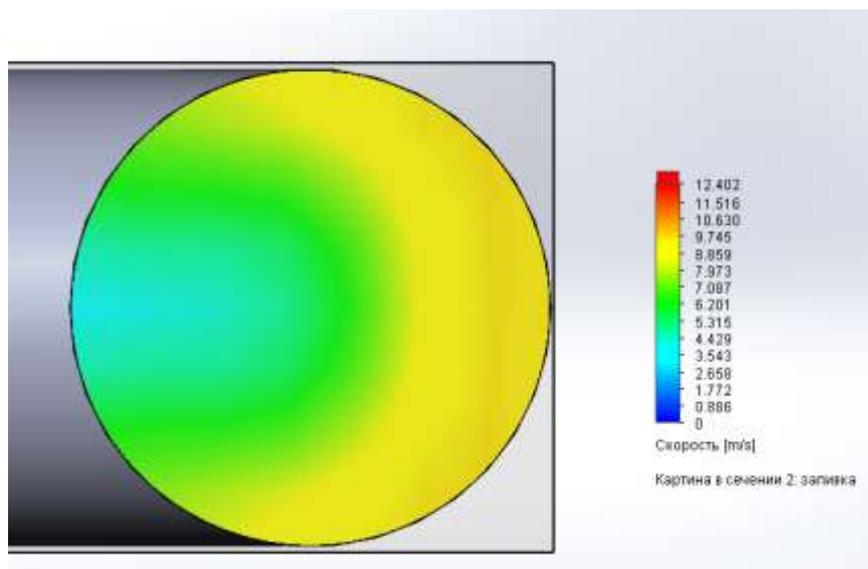


Рисунок 7.5- Модель, построенная с учетом реальных значений, измеренных в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-10

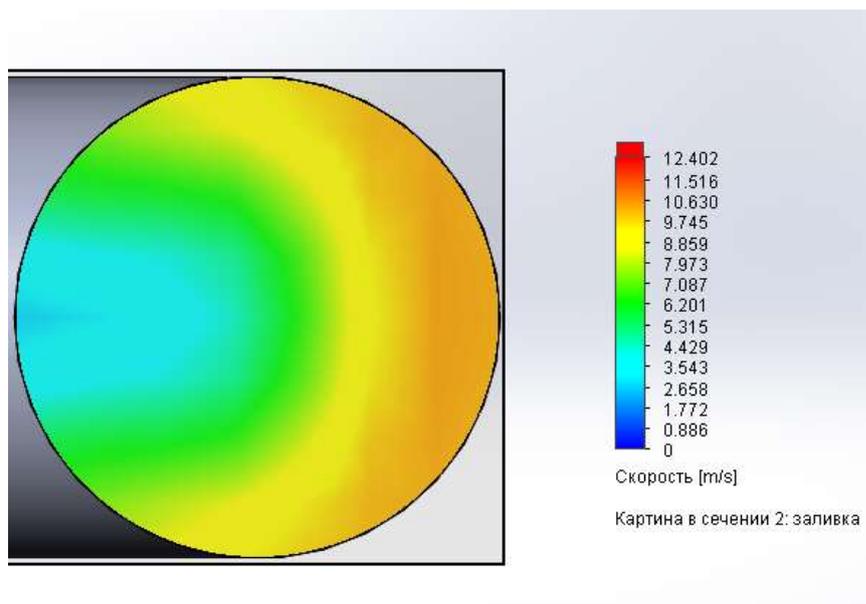


Рисунок 7.6 - Условно идеальная модель распределения скоростей в контролируемом сечении вентсистемы ВГ-10

Полученные картины скоростей имеют несущественные отличия, что говорит о высокой степени чистоты внутренней поверхности вентсистем, а также отсутствии дефектов, способных со временем внести отклонения от изокинетического отбора проб.

## 5.2 Исследование влияния отклонений от условия изокинетичности на результаты измерения

Отбор проб каждой серии измерений проводился в соответствии со следующей схемой:

1. Производится измерение скорости в точках сечения пробоотбора по горизонтали и вертикали (положения 1-5 на рисунке 7.1);
2. Конец пробоотборной трубки приводится к положению 3;
3. С помощью вентиля регулируется скорость в пробоотборной трубке до измеренной в центре сечения (отбор приводится к изокинетичному);
4. Производится отбор проб выбросов на аэрозольный фильтр в течение часа;
5. Фильтр снимается с фильтродержателя;

б. Производится искусственное отклонение от условия изокINETИЧНОСТИ - конец пробоотборной трубки в вертикальном и горизонтальном положении приводится поочередно к положениям 1, 2, 4, 5 в соответствии с рисунками 3 и 4, в каждом положении проводится отбор проб на отдельный аэрозольный фильтр.

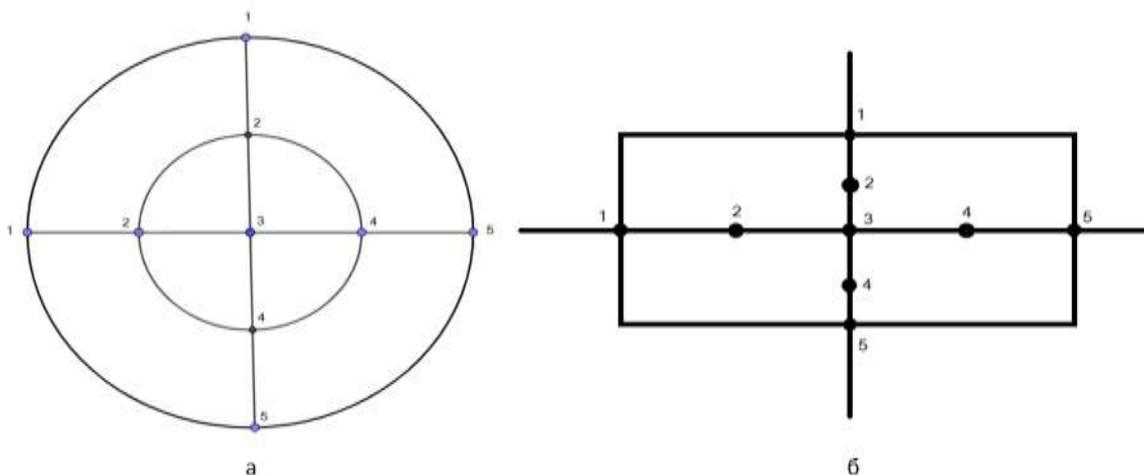


Рисунок 7.1 - Схема положения конца пробоотборной трубки в круглом (а) и прямоугольном (б) трубопроводе

Всего было проведено 5 серий измерений, 1 серия дополнительно измерялась на альфа-радиометре iSolo, для подтверждения отсутствия влияния короткоживущих радионуклидов на результат измерения. В соответствии с методикой измерений результат был пересчитан в Бк/м<sup>3</sup>.

Результаты измерений приведены в таблице 7.1

Таблица 7.1 – Результаты измерений

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
1	ВГ-1	3	10,8	10,8	2,327	2,174	2,414	-
		1 (по вертикали)	9,8	10,8	2,226	2,436	2,346	-
		2 (по вертикали)	10,3	10,8	2,318	2,342	2,241	-
		4 (по вертикали)	10,4	10,8	2,349	2,438	2,226	-
		5 (по вертикали)	9,9	10,8	2,343	2,277	2,433	-
		1 (по горизонтали)	9,8	10,8	2,488	2,372	2,252	-
		2 (по горизонтали)	10,2	10,8	2,232	2,304	2,427	-
		4 (по горизонтали)	10,3	10,8	2,359	2,281	2,216	-
		5 (по горизонтали)	9,9	10,8	2,194	2,146	2,180	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
2	ВГ-1	3	10,6	10,6	2,113	2,192	-	-
		1 (по вертикали)	9,5	10,6	2,185	2,183	-	-
		2 (по вертикали)	10,3	10,6	2,066	2,190	-	-
		4 (по вертикали)	10,7	10,6	2,111	2,053	-	-
		5 (по вертикали)	9,7	10,6	2,164	2,105	-	-
		1 (по горизонтали)	9,9	10,6	2,132	2,060	-	-
		2 (по горизонтали)	10,3	10,6	2,187	2,068	-	-
		4 (по горизонтали)	10,1	10,6	2,175	2,037	-	-
		5 (по горизонтали)	9,9	10,6	2,178	2,064	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
3	ВГ-1	3	10,9	10,9	2,342	2,346	-	-
		1 (по вертикали)	9,9	10,9	2,564	2,476	-	-
		2 (по вертикали)	10,9	10,9	2,507	2,458	-	-
		4 (по вертикали)	10,6	10,9	2,367	2,583	-	-
		5 (по вертикали)	9,3	10,9	2,392	2,408	-	-
		1 (по горизонтали)	8,9	10,9	2,378	2,395	-	-
		2 (по горизонтали)	10,1	10,9	2,494	2,503	-	-
		4 (по горизонтали)	10,0	10,9	2,486	2,516	-	-
		5 (по горизонтали)	9,2	10,9	2,496	2,408	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
4	ВГ-1	3	10,4	10,4	2,915	2,913	-	-
		1 (по вертикали)	9,6	10,4	2,843	3,000	-	-
		2 (по вертикали)	11,1	10,4	2,948	2,924	-	-
		4 (по вертикали)	12,6	10,4	3,080	3,026	-	-
		5 (по вертикали)	10,2	10,4	2,999	2,940	-	-
		1 (по горизонтали)	9,8	10,4	2,935	3,130	-	-
		2 (по горизонтали)	9,3	10,4	3,136	3,096	-	-
		4 (по горизонтали)	10,2	10,4	2,821	3,024	-	-
		5 (по горизонтали)	9,8	10,4	3,153	2,934	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
5	ВГ-1	3	11,3	11,3	4,192	4,233	-	-
		1 (по вертикали)	10,3	11,3	4,273	4,131	-	-
		2 (по вертикали)	10,1	11,3	4,152	4,312	-	-
		4 (по вертикали)	10,9	11,3	4,158	4,197	-	-
		5 (по вертикали)	9,6	11,3	4,221	4,250	-	-
		1 (по горизонтали)	9,3	11,3	4,353	4,315	-	-
		2 (по горизонтали)	10,3	11,3	4,204	4,257	-	-
		4 (по горизонтали)	10,2	11,3	4,182	4,302	-	-
		5 (по горизонтали)	9,5	11,3	4,189	4,168	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
1	ВГ-3	3	22,8	22,8	0,208	0,267	0,141	-
		1 (по вертикали)	22,3	22,8	0,356	0,161	0,191	-
		2 (по вертикали)	22,4	22,8	0,235	0,280	0,216	-
		4 (по вертикали)	22,1	22,8	0,323	0,164	0,293	-
		5 (по вертикали)	22,3	22,8	0,125	0,251	0,183	-
		1 (по горизонтали)	22,6	22,8	0,288	0,174	0,268	-
		2 (по горизонтали)	22,0	22,8	0,214	0,178	0,130	-
		4 (по горизонтали)	22,4	22,8	0,272	0,295	0,269	-
		5 (по горизонтали)	22,4	22,8	0,150	0,193	0,305	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
2	ВГ-3	3	23,5	23,5	0,485	0,434	-	-
		1 (по вертикали)	22,7	23,5	0,415	0,488	-	-
		2 (по вертикали)	22,8	23,5	0,441	0,533	-	-
		4 (по вертикали)	22,6	23,5	0,372	0,450	-	-
		5 (по вертикали)	22,4	23,5	0,382	0,481	-	-
		1 (по горизонтали)	22,9	23,5	0,434	0,484	-	-
		2 (по горизонтали)	22,4	23,5	0,501	0,519	-	-
		4 (по горизонтали)	22,2	23,5	0,390	0,461	-	-
		5 (по горизонтали)	22,4	23,5	0,433	0,508	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерения	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
3	ВГ-3	3	23,4	23,4	0,628	0,470	-	-
		1 (по вертикали)	22,1	23,4	0,570	0,494	-	-
		2 (по вертикали)	22,4	15,1*	0,237*	0,488*	-	Временные неполадки насоса
		4 (по вертикали)	22,3	23,4	0,633	0,635	-	-
		5 (по вертикали)	22,8	23,4	0,589	0,489	-	-
		1 (по горизонтали)	22,3	23,4	0,546	0,498	-	-
		2 (по горизонтали)	22,4	23,4	0,490	0,632	-	-
		4 (по горизонтали)	22,1	23,4	0,505	0,526	-	-
		5 (по горизонтали)	22,8	23,4	0,597	0,610	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
4	ВГ-3	3	25,1	25,1	0,542	0,646	-	-
		1 (по вертикали)	22,3	25,1	0,683	0,471	-	-
		2 (по вертикали)	24,2	25,1	0,629	0,568	-	-
		4 (по вертикали)	23,4	25,1	0,613	0,505	-	-
		5 (по вертикали)	25,0	25,1	0,546	0,600	-	-
		1 (по горизонтали)	24,8	25,1	0,585	0,680	-	-
		2 (по горизонтали)	23,3	25,1	0,655	0,556	-	-
		4 (по горизонтали)	25,0	25,1	0,626	0,620	-	-
		5 (по горизонтали)	24,7	25,1	0,525	0,536	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
5	ВГ-3	3	23,5	23,5	0,714	0,692	-	-
		1 (по вертикали)	21,7	23,5	0,711	0,795	-	-
		2 (по вертикали)	20,1	23,5	0,681	0,687	-	-
		4 (по вертикали)	22,1	23,5	0,693	0,754	-	-
		5 (по вертикали)	20,9	23,5	0,754	0,751	-	-
		1 (по горизонтали)	24,1	23,5	0,801	0,728	-	-
		2 (по горизонтали)	23,0	23,5	0,782	0,779	-	-
		4 (по горизонтали)	21,9	23,5	0,796	0,693	-	-
		5 (по горизонтали)	20,6	23,5	0,753	0,705	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
1	ВГ-10	3	7,3	7,3	4,598	4,609	4,210	-
		1 (по вертикали)	9,3	7,3	4,308	4,219	4,773	-
		2 (по вертикали)	8,6	7,3	4,344	4,353	4,586	-
		4 (по вертикали)	8,2	7,3	4,580	4,251	4,648	-
		5 (по вертикали)	8,3	7,3	4,351	4,547	4,311	-
		1 (по горизонтали)	5,4	7,3	4,276	4,411	4,437	-
		2 (по горизонтали)	8,2	7,3	4,206	4,704	4,204	-
		4 (по горизонтали)	10,2	7,3	4,440	4,583	4,425	-
		5 (по горизонтали)	11,3	7,3	4,627	4,646	4,574	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерения	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329 А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
2	ВГ-10	3	7,9	7,9	5,992	6,025	-	-
		1 (по вертикали)	9,5	7,9	5,953	5,851	-	-
		2 (по вертикали)	8,3	7,9	6,290	5,921	-	-
		4 (по вертикали)	8,0	1,4*	3,763*	3,912*	-	Засор пробоотборной трубки
		5 (по вертикали)	8,0	7,9	5,777	6,226	-	-
		1 (по горизонтали)	5,8	7,9	6,215	6,173	-	-
		2 (по горизонтали)	8,1	7,9	6,127	6,000	-	-
		4 (по горизонтали)	11,4	7,9	6,195	6,210	-	-
		5 (по горизонтали)	12,0	7,9	6,297	6,268	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
3	ВГ-10	3	7,5	7,5	4,112	4,281	-	-
		1 (по вертикали)	9,3	7,5	3,922	3,907	-	-
		2 (по вертикали)	8,9	7,5	4,039	4,034	-	-
		4 (по вертикали)	7,1	7,5	3,907	4,012	-	-
		5 (по вертикали)	7,3	7,5	3,879	3,906	-	-
		1 (по горизонтали)	6,9	7,5	3,875	4,106	-	-
		2 (по горизонтали)	7,3	7,5	4,058	4,238	-	-
		4 (по горизонтали)	9,4	7,5	4,071	3,970	-	-
		5 (по горизонтали)	9,1	7,5	4,200	4,214	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
4	ВГ-10	3	7,1	7,1	3,307	3,328	-	-
		1 (по вертикали)	9,9	7,1	3,203	3,325	-	-
		2 (по вертикали)	8,6	7,1	3,205	2,961	-	-
		4 (по вертикали)	7,3	7,1	3,186	3,319	-	-
		5 (по вертикали)	7,0	7,1	3,415	3,425	-	-
		1 (по горизонтали)	6,5	7,1	3,294	3,342	-	-
		2 (по горизонтали)	7,9	7,1	3,337	3,293	-	-
		4 (по горизонтали)	9,1	7,1	3,126	3,345	-	-
		5 (по горизонтали)	9,0	7,1	3,386	2,988	-	-

Продолжение таблицы 7.1

№ серии измерений	Вентсистема	Положение пробоотборной трубки	Скорость в контролируемом сечении, м/с	Скорость в пробоотборной трубке, м/с	Результат измерения на РИА-02М, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на РКС-АТ1329А, Бк/м <sup>3</sup>	Результат измерения на iSolo, Бк/м <sup>3</sup>	Примечание
5	ВГ-10	3	7,2	7,2	4,257	4,566	-	-
		1 (по вертикали)	9,7	7,2	4,807	4,512	-	-
		2 (по вертикали)	8,3	7,2	4,216	4,661	-	-
		4 (по вертикали)	7,5	7,2	4,833	4,102	-	-
		5 (по вертикали)	7,1	7,2	4,792	4,415	-	-
		1 (по горизонтали)	6,0	7,2	4,170	4,315	-	-
		2 (по горизонтали)	8,1	7,2	4,713	4,129	-	-
		4 (по горизонтали)	9,5	7,2	4,563	4,255	-	-
		5 (по горизонтали)	9,4	7,2	4,774	4,261	-	-

Анализ результатов проведенных измерений показал, что чёткая зависимость между отклонением от условия изокинетичности и активностью радиоактивных аэрозолей на фильтре отсутствует. При изменении положения трубки значения объемной активности меняются незначительно, в пределах погрешности методики, что подтверждает вывод работы [24] о малой дисперсности аэрозольных частиц в вентсистемах АО "ПО ЭХЗ", что позволяет не соблюдать изокинетичность отбора.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0AM13	Седельниковой Татьяне Александровне

Школа	ИЯТШ	Отделение школы	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/ООП/ОПОП	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Максимальный бюджет исследования: 938040 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Районный коэффициент города Томска -1,3
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Размер отчислений во внебюджетные фонды -30%.

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НТИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Проведение оценки экономической эффективности использования всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Оценка конкурентоспособности технических решений
3. Матрица SWOT
4. Инициация проекта
5. График проведения и бюджет НТИ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	13.03.2023
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM13	Седельникова Татьяна Александровна		

## **6 Предпроектный анализ**

### **6.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Результатом исследования является изобретение метода отбора проб радиоактивных аэрозолей с соблюдением условия изокинетичности.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по энергетике, атомная и научно-исследовательские центры, также предприятия по хранению и переработке радиоактивных отходов (далее – РАО).

Данное разделение происходит потому, что три вышеупомянутые области выполняют различные задачи. Первоочередная задача атомной промышленности в РФ – максимально безопасное получение энергии, научно-исследовательских центров – изобретение инновационных технологий, предприятий по хранению и переработке РАО – сохранение окружающей среды от вредоносного воздействия излучения радиоактивных отходов.

Заказчиком данного проекта является Акционерное общество «Производственное объединение «Электрохимический завод (далее - АО"ПО ЭХЗ"). Данное предприятие занимается производством обогащённого урана с помощью газовых центрифуг, также выпускает стабильные и радиоактивные изотопы различных химических элементов, производством фтористоводородной кислоты на основе переработки обедненного гексафторида урана. Заказчик данного проекта относится к предприятиям атомной промышленности и имеет сильную потребность в данной методике.

Источником финансирования также является ТПУ, которое имеет сильную потребность в данной методике для развития научной и исследовательской деятельности. Результаты сегментирования представлены на рисунке 6.1

		Изобретение метода отбора проб радиоактивных аэрозолей с соблюдением условия изокинетичности		
		Атомная промышленность	Научно-исследовательские центры	Хранение и переработка РАО
Потребность	Сильная			
	Слабая			

Рисунок 6.1 - Карта сегментирования рынка метода отбора проб

Таким образом все три отрасли имеют сильную потребность в методике включения метода отбора проб радиоактивных аэрозолей с соблюдением условия изокинетичности: атомная промышленность с проведением данного метода получает способность получать достоверность результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятий с соблюдением требований надзорных органов, научно-исследовательские центры получают новый стойкий метод, который может использоваться для множества научных целей, предприятия хранения и переработки РАО с внедрением данного метода, смогут более точно рассчитывать активность радиоактивных аэрозолей, что позволит снизить вредоносное воздействие излучение радиоактивных излучений на окружающую среду и работающий персонал.

## **6.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам.

Для проведения анализа конкурентоспособности разработки будет использоваться оценочная карта, приведенная в таблице 6.1.

В качестве конкурирующих исследований были приняты метод отбора проб без соблюдения изокинетичности - $b_{11}$  (данный метод используется на всех предприятиях атомной промышленности) и метод отбор проб с соблюдением изокинетичности в одном положении - $b_{12}$  (данный метод изобрели в Санкт-Петербургском горном университете), разрабатываемый метод отбора проб с соблюдением изокинетичности с многоточечным пробоотбором по диаметру вентрубы -  $b_{ip}$ . Первый конкурирующий метод достаточно легок в проведении отбора проб, так как не требует применения дополнительных условий при проведении. Главный недостаток данного метода состоит в том, что при проведении отбора проб данным методом не учитывается размер и скорость частиц, что в свою очередь приводит к достаточно большой погрешности результатов измерения. Более сложным методом является метод проведения отбора проб с соблюдением условий изокинетичности. Преимущество данного метода в том, что при отборе проб измеряется скорость отбора проб в пробоотборнике и венсисистеме, что позволяет проводить измерения с достаточной точностью, но не позволяет измерять скорость частиц в различных плоскостях венсисистемы. Построение пробоотборных точек данным методом является достаточно трудоемким и дорогостоящим.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum V_i * b_i = 4,24$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);

$b_i$  – средневзвешенное значение  $i$ -го показателя.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Все показатели, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять единицу.

Определены следующие технические критерии оценки:

- Время наработки данных – технические характеристики вычислительных технологий.
- Помехоустойчивость – способность устройства выполнять свои функции при наличии помех.
- Мобильность – возможность передвижения установок для работы в различных местах.
- Потребность в ресурсах памяти – технические характеристики вычислительных технологий.
- Наличие отходов – чистота производства.
- Простота в эксплуатации – удобство в использовании.

Помимо технических критериев оценки ресурсоэффективности определены также и экономические критерии оценки:

- Конкурентоспособность продукта – соотношение достоинств и недостатков различных способов обеспечения.
- Стоимость реализации проекта – оценка финансовых затрат на реализацию проекта.
- Трудоемкость – количество времени, затрачиваемого на установление пробоотборной точки.
- Финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами.

Таблица 6.1 – Оценочная карта для сравнения конкурирующих разработок

Факторные признаки (P <sub>j</sub> )	Вес критерия, w <sub>j</sub>	Баллы			Конкурентоспособность		
		b <sub>ip</sub>	b <sub>i1</sub>	b <sub>i2</sub>	B <sub>jp</sub>	B <sub>j1</sub>	B <sub>j2</sub>
<b>Технические критерии оценки</b>							
1.Время наработки данных	0,09	4	4	2	0,36	0,36	0,18

Продолжение таблицы 6.1

Факторные признаки (P <sub>j</sub> )	Вес критерия, w <sub>j</sub>	Баллы			Конкурентоспособность		
		b <sub>ip</sub>	b <sub>i1</sub>	b <sub>i2</sub>	B <sub>jp</sub>	B <sub>j1</sub>	B <sub>j2</sub>
<b>Технические критерии оценки</b>							
2. Помехоустойчивость	0,15	4	2	4	0,6	0,3	0,6
3. Мобильность	0,08	5	5	5	0,32	0,32	0,32
4. Потребность в ресурсах памяти	0,06	3	3	3	0,18	0,18	0,18
5. Наличие отходов	0,03	5	5	3	0,15	0,15	0,09
6. Безопасность	0,12	4	4	4	0,48	0,48	0,48
7. Простота в эксплуатации	0,15	5	2	5	0,75	0,3	0,75
<b>Экономические критерии оценки</b>							
8. Конкурентоспособность продукта	0,06	5	2	4	0,3	0,12	0,24
9. Цена	0,12	5	5	2	0,6	0,6	0,24
10. Финансирование научной разработки	0,06	3	1	3	0,18	0,06	0,18
11. Трудоемкость	0,08	4	2	5	0,32	0,16	0,4
<b>Итого:</b>	1	-	-	-	4,24	3,03	3,66

Как показал анализ, метод отбора проб с соблюдением условия изокинетичности с многоточечным пробоотбором по диаметру вентрубы наиболее конкурентоспособно, поскольку является наиболее удобным в эксплуатации и позволяет достигать более точных результатов. Полученные данные в таблице 3 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

### 6.3 SWOT-анализ

SWOT – анализ – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный научно-исследовательского проекта.

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой

проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

SWOT-анализа представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта.

Первый этап анализа представлен в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Матрица SWOT

	<b>Сильные стороны научно - исследовательского проекта:</b> С1. Простота в использовании. С2. Достижение достоверности результатов (более точный результат). С3. Нет необходимости специальной подготовки персонала. С4. Простота обработки данных.	<b>Слабые стороны научно – исследовательского проекта:</b> Сл1. Требуется дополнительный человек для записи результатов. Сл2. Длительная обработка результатов.
<b>Возможности:</b> В1. Возможность соединения измерительной системы с ПЭВМ. В2. Возможность использования данного метода для любых локализаций вентсистем. В3. Оборудование и материалы легкодоступны.		
<b>Угрозы:</b> У1. Поломка оборудования. У2. Сброс датчика с необходимого положения в вентрубе.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивные матрицы представлены в таблицах 6.3-6.7. Каждый фактор помечается знаками «+» (сильное соответствие сторон возможностям) или «-» (слабое соответствие).

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

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

Таблица 6.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	B1	+	-
	B2	-	-
	B3	-	-

Таблица 6.5 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	У1	+	-	+	-
	У2	+	-	-	-

Таблица 6.6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	-	-
	У2	-	+

В таблице 6.7 представлена итоговая матрица SWOT – анализа.

Таблица 6.7 – Итоговая матрица SWOT

	<p><b>Сильные стороны проекта:</b>  С1. Простота в использовании.  С2. Достижение достоверности результатов (более точный результат).  С3. Нет необходимости специальной подготовки персонала.  С4. Простота обработки данных.</p>	<p><b>Слабые стороны проекта:</b>  Сл1. Требуется дополнительный человек для записи результатов.  Сл2. Длительная обработка результатов.</p>
<p><b>Возможности:</b>  В1. Возможность соединения измерительной системы с ПЭВМ.   В2. Возможность использования данного метода для любых локализаций вентсистем.   В3. Оборудование и материалы легкодоступны.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»:</b>  1. Простота обработки данных может повыситься при соединении измерительной системы с ПЭВМ.  2. Так как нет необходимости специальной подготовки персонала, данный метод возможен в других измерениях, т.е. не только при радиационном мониторинге.  3. Использование данной методики возможно на любом предприятии.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»:</b>  1. Возможность соединения измерительной системы с ПЭВМ способна избавить от необходимости в дополнительном человеке, а также значительно снижает скорость обработки результатов.</p>
<p><b>Угрозы:</b>  У1. Поломка оборудования.  У2. Сброс датчика с необходимого положения в вентрубе.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»:</b>  1. Так как разработка проста в реализации, сбросе датчика с необходимого положения можно заменить данный датчик на дополнительный.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»:</b>  1. В случае поломки оборудования решением может стать облачное хранилище.  2. Сокращения длительной обработки результатов можно добиться если усовершенствовать измерительную систему встроенными датчиками</p>

На основе результатов SWOT-анализа можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный

исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

## **6.4 Инициация проекта**

### **6.4.1 Цели и актуальность проекта**

В данном разделе представляется описание разработки концепции проекта по исследованию отбора проб в организованных источниках выбросов с соблюдением условий изокинетичности отбираемой пробы аэрозолей.

В соответствии с пунктом 21 Руководства по безопасности при использовании атомной энергии «Рекомендации по методам и средствам контроля за выбросами радиоактивных веществ в атмосферный воздух», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, техническому и атомному надзору от 30 августа 2017 г. №347, отбор проб в организованных источниках выбросов рекомендуется осуществлять с соблюдением условий изокинетичности отбираемой пробы аэрозолей и потока в нормируемом источнике (если дисперсность частиц в потоке более или равна 5 мкм).

Поэтому для повышения точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия АО «ПО ЭХЗ» необходимо провести исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

*Цель проектной работы* - исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

Особое внимание уделяется процедуре отбора проб загрязняющих веществ в выбросах, т.к. именно этот этап работы при неправильном его выполнении может вносить основную погрешность в результат измерения.

Таким образом, повышение точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия с

учетом их физико-химических свойств путем экспериментального определения удельной активности аэрозольной составляющих и дисперсности аэрозольных частиц является актуальной задачей при осуществлении радиационного контроля.

Для того чтобы узнать в каком направлении проводить исследование, был проведен анализ потребителей.

Целевым рынком данного исследования будут являться предприятия по переработке и хранению ядерных материалов, в том числе по производству урана.

Таблица 6.8 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Предприятия по переработке и хранению ядерных материалов	Создание новой методики по отбору проб при осуществлении радиационного контроля.
Атомная промышленность	Создание новой методики по отбору проб с соблюдением требований надзорных органов.
Научно-исследовательские центры	Получение нового стойкого метода для дальнейших изобретений.
ТПУ	Получение нового стойкого метода для дальнейших изобретений.
АО «ПО ЭХЗ»	Создание новой методики по отбору проб с соблюдением требований надзорных органов.

Таблица 6.9 – Цель и результаты проекта

Цель проекта:	Создание методики по отбору проб с учетом влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.
Ожидаемые результаты проекта:	Создание методики обеспечивающую повышение точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия с учетом их физико-химических свойств.
Критерии приемки результата проекта*:	Соблюдение условий изокинетичности при отборе проб.
Требования к результату проекта:	Требование:
	Быстрота проведения измерений
	Простота эксплуатации пробоотборного механизма
	Соблюдение условий изокинетичности при проведении отбора проб.

Таблица 6.10 Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, дни
1	Побережников А.Д., ТПУ, старший преподаватель к.ф-м.н.	Руководитель проекта	Координирует деятельность участников проекта	104
2	Спицына Л.Ю., ТПУ, доцент ОСГН ШБИП	Эксперт проекта (1)	Координирует работу в области финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	14
3	Передерин Ю.В., ТПУ, доцент ОЯТЦ к.т.н.	Эксперт проекта (2)	Координирует работу в области социальная ответственность	13
4	Седельникова Т.А., ТПУ, магистрант	Исполнитель по проекту	Выполнение работ по реализации проекта	174

#### *Ограничения проекта и допущения проекта*

1. Бюджет проекта – 938040 руб.
2. Источник финансирования – финансирование АО «ПО ЭХЗ», средства ТПУ
3. Сроки проекта:
  - 3.1 Дата утверждения плана управления проектом - 10.02.2022
  - 3.2 Дата завершения проекта – 15.05.2023
4. Ограничение по времени проведения экспериментов (проведение измерения занимает 1 час, в будние дни недели с 11:00-16:00)

### **6.5 Планирование управления научно-техническим проектом**

#### **6.5.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Действующими исполнителями работ являются: Руководитель, консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» (далее – консультант ЭЧ), консультант по разделу «Социальная ответственность» (далее – консультант СО), магистрант.

Таблица 6.11 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Длительность, дни	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	5	Руководитель проекта; Эксперт проекта (1); Эксперт проекта (2); Исполнитель по проекту
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	3	Руководитель проекта; Исполнитель по проекту
	3	Сбор и поиск тематической литературы в рамках проекта	20	Руководитель проекта; Исполнитель по проекту
	4	Патентный обзор литературы	7	Исполнитель по проекту
	5	Календарное планирование работ по теме	5	Руководитель проекта, Исполнитель по проекту
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Изучение принципа работы радиометров	7	Исполнитель по проекту
	7	Изучение карты расположения пробоотборных точек	7	Исполнитель по проекту
	8	Изготовление пробоотборных точек	1	Исполнитель по проекту
	9	Выполнение отбора проб при учтённом условии изокинетичности	4	Исполнитель по проекту
	10	Выполнение отбора проб выбросов радиоактивных веществ при различных глубинах отбора	1	Исполнитель по проекту
	11	Измерение активности на аэрозольных фильтрах	1	Исполнитель по проекту
Обобщение и оценка результатов	12	Оценка эффективности полученных результатов	3	Руководитель проекта, Исполнитель по проекту
	13	Определение целесообразности проведения ВКР	3	Руководитель проекта, Исполнитель по проекту

Продолжение таблицы 6.11

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Длительность, дни	Должность исполнителя
Проведение ВКР				
Разработка технической документации и проектирование	14	Создание дозиметрических планов для проведения измерений	35	Руководитель проекта, Исполнитель по проекту
	15	Проведение расчетов и их анализ	30	Исполнитель по проекту
	16	Оценка эффективности производства и применения разработки	2	Исполнитель по проекту, Эксперт проекта (1)
	17	Разработка социальной ответственности по теме	2	Исполнитель по проекту, Эксперт проекта (2)
Оформление комплекта документации по ВКР	18	Составление пояснительной записки	25	Исполнитель по проекту
<b>Итого: 174 дня</b>				

Составим график Ганта на основе календарного плана проекта (рисунок 6.2)

№ Работы	Тк кал. дни	Продолжительность выполнения работ																				
		Ноя.			Дек.			Янв.			Фев.			Мар.			Апр.			Май		
		2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	5	█																				
2	3	█																				
3	20		█																			
4	7			█																		
5	5				█																	
6	7					█																
7	7						█															
8	1							█														
9	4								█													
10	1									█												
11	1										█											
12	3											█										
13	3												█									
14	35													█								
15	30														█							
16	9																			█		
17	8																				█	
18	25																					█

Исполнитель по проекту	Руководитель проекта	Эксперт проекта (2)	Эксперт проекта (1)
------------------------	----------------------	---------------------	---------------------

Рисунок 6.2- график Ганта

## 6.6 Бюджет проекта

При планировании бюджета проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета проекта используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы.
2. Затраты на оплату труда работников.

3. Отчисления во внебюджетные фонды.
4. Работы, выполняемые сторонними организациями.
5. Спецоборудование для научных и экспериментальных работ.
6. Прочие прямые расходы.
7. Накладные расходы.

Статьи 1-7 относятся к прямым затратам, величину прямых затрат, как правило, следует определять прямым счетом, это затраты, связанные непосредственно с выполнением конкретного научно-технического исследования, остальные затраты рассчитываются косвенным способом, это затраты на содержание аппарата управления, общетехнических и общехозяйственных служб, они объединяются в статье «Накладные расходы».

### 6.6.1 Материальные затраты

Основными материальными затратами данного проекта являются затраты на фильтры-АФА, пробоотборные трубки. Результаты по материальным затратам представлены в таблице 6.12. Транспортно-заготовительные расходы составляют 5% от цены.

Таблица 6.12 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Аналитические фильтры	–	25 шт	30	750
Датчик	–	1 шт	500	500
Пинцет	–	1 шт	20	20
Банка	–	1 шт	80	80
Всего за материалы				1350
Транспортно-заготовительные расходы				67,5
<b>Итого по статье: 1417,5 руб.</b>				

Оборудование, используемое в проектной работе, уже имелось в лаборатории. В данной статье включены в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования. Стоимость оборудования, используемого при выполнении проекта учитывается в виде амортизационных

отчислений.

К спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относятся радиометр альфа-излучения РИА – 02 М.

Радиометр альфа-излучения РИА – 02 М, который используется для выполнения измерений активности проб по альфа-излучению при физических исследованиях в области охраны окружающей среды, ориентировочная стоимость составляет 80 000 000 рублей при назначенном сроке службы 30 лет, для отбора пробы используется пробоотборный коллектор ориентировочная стоимость 130 000 000 рублей – 25 лет, радиометр РКС – АТ1329 1 – 500 000 рублей – 20лет, дозиметрическая камера 200 000 рублей – 10 лет, радиометр iSolo 70 000 000 рублей – 25 лет, , газовый счетчик и фильтродержатель стоимостью 10 000 000 и 15 000 000 рублей соответственно.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного научного проекта и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в виде амортизационных отчислений:

$$A = \frac{A_{\text{соб}}}{T}$$

$$A_{\text{д}} = \frac{A}{365}$$

$$A_{\text{м.р}} = A_{\text{д}} \times N$$

где  $A$  – норма амортизации, %;

$A_{\text{соб}}$  – сумма оборудования

$A_{\text{д}}$  – сумма амортизации, руб. в день;

$A_{\text{м.р}}$  – сумма амортизации за время научной работы, руб.

$N$ - количество дней эксплуатации;

$T$ - срок службы.

Таблица 6.13 - Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№	Наименование оборудования	Дней эксплуатации	Срок службы	Стоимость	Амортизационные отчисления
1	Радиометр РИА-80	2	30 лет	80 млн.руб.	14611,87 руб.
2	Пробоотборный коллектор	1	25 лет	130 млн.руб.	14246,57 руб.
3	Радиометр iSolo	2	25 лет	70 млн.руб.	15342,46 руб.
4	Газовый счетчик	15	15 лет	10 млн.руб.	82191,78 руб.
5	Фильтродержатель	30	15 лет	15 млн.руб.	123287,67 руб.
6	Радиометр РКС	2	20 лет	500 тыс.руб.	137 руб.
7	Дозиметрическая камера	2	10 лет	200 тыс.руб.	109,56 руб.
<b>Итого</b>					<b>249926,91 руб</b>

Ежегодная сумма амортизационных отчислений оборудования Celsius42 TCS будет равна, учитывая формулы:

$$A_{м.р} = \frac{A_{соб} \times N}{365 \times T} = \frac{80 \times 10^6 \times 2}{365 \times 30} = 14611,8 \text{ руб.}$$

Следующее оборудование рассчитано аналогичным способом.

### 6.6.2 Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Зарботная плата исполнителя проекта рассчитывается по формуле:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где  $Z_{осн}$  – основная зарботная плата;  $Z_{доп}$  – дополнительная зарботная плата.

Основная зарботная плата ( $Z_{осн}$ ) исполнителя проекта рассчитывается последующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

где  $Z_{осн}$  – основная зарботная плата одного работника;

$T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{дн}$  – среднедневная зарботная плата работника, руб.

Среднедневная зарботная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \times M}{F_{д}}$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпускев 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 6.14).

Таблица 6.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель проекта	Исполнитель по проекту	Эксперт проекта (1)	Эксперт проекта (2)
Календарное число дней	365	365	365	365
Количество нерабочих дней				
- выходные дни	19	19	19	19
- праздничные дни	6	6	6	6
Потери рабочего времени				
- отпуск	48	48	48	48
- невыходы по болезни				
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p$$

где  $Z_b$  – базовый оклад, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 6.15.

Таблица 6.15– Расчет основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб	к <sub>р</sub>	З <sub>м</sub> , руб	З <sub>дн</sub> , руб.	Тр,раб.дн.	Зосн, руб.
Руководитель проекта	30847	1,3	40101,1	1 662	104	172848
Исполнитель по проекту	17890		23257	964	174	167736
Эксперт проекта (1)	27500		35750	1481	2	2962
Эксперт проекта (2)	27500		35750	1481	2	2962
<b>Итого:</b>						<b>346508</b>

### 6.6.3 Дополнительная заработная плата

В данную статью включается сумма выплат, предусмотренных законодательством о труде, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.п. (в среднем – 12 % от суммы основной заработной платы).

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от

основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 0,12;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

В таблице 6.16 приведена форма расчёта основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 6.16 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель проекта	Исполнитель по проекту	Эксперт проекта (1)	Эксперт проекта (2)
Основная зарплата, руб.	172848	167736	2962	2962
Дополнительная зарплата, руб.	20741,8	20128,3	356	356
Зарплата исполнителя, руб.	193589	187864	3318	3318
<b>Итого по статье: 388089 руб.</b>				

#### 6.6.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья отражает 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 следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}})$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды, равный 30,2%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} * \sum(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 * 388089 = 117203 \text{ руб.}$$

### 6.6.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Накладные расходы составляют 30 % от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении научного исследования.

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 * 388089 = 116427 \text{ руб.},$$

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

### 6.6.6 Прочие прямые затраты

В данной статье расходов рассматриваются затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием, которые рассчитываются по формуле:

$$C = T_{\text{эл}} \cdot P \cdot t_{\text{об}}$$

где  $T_{\text{эл}}$  – тариф на электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт\*ч);

$P$  – мощность оборудования, кВт;

$t_{\text{об}}$  – время использования оборудования, ч.

Результаты расчета по данной статье представлены в таблице 6.17.

Таблица 6.17 – Расчет прочих прямых затрат

Наименование	Время работы, ч	Мощность потребления электроэнергии, кВт	Цена за 1 кВт, руб.	Затраты на электроэнергию (Зэ), руб.
Компьютер	272 (примерно 2чв день на протяжении всего проекта 136 дней)	0,5	5,8	789

Продолжение таблицы 6.17

Наименование	Время работы, ч	Мощность потребления электроэнергии, кВт	Цена за 1 кВт, руб.	Затраты на электроэнергию (Зэ), руб.
Радиометр РИА	2	30	5,8	348
Пробоотборный коллектор	1	100	5,8	580
Дозиметрическая камера	2	80	5,8	928
Радиометр РКС	4	1,8	5,8	42
<b>Итого:</b>				<b>3499</b>

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице.

Таблица 6.18 – Бюджет затрат проекта

№ п/п	Наименование статьи	Сумма, руб.
1	Материальные затраты	1417,5
2	Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных работ)	249926,91
3	Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	346508
4	Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	41582
5	Отчисления во внебюджетные фонды	117203
6	Контрагентские расходы	360
7	Накладные расходы	116427
8	Прочие прямые затраты	3499
<b>Бюджет затрат проекта:</b>		<b>876 923 руб.</b>

Таким образом, плановая себестоимость проекта составляет 876 923 рублей. Основные затраты приходятся на заработную плату исполнителей проекта.

### 6.7 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}},$$

где  $I_{\text{фин}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в разгах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в разгах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Тогда, рассчитывая значение интегрального финансового показателя учтем, что Исп.1 – использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода, Исп. 2 – использования использования только одного типа визуализации.

$$I_{\text{фин}}^{\text{Исп1}} = \frac{485453 - 120000}{485453} = 0,75$$

$$I_{\text{фин}}^{\text{Исп2}} = \frac{485453 - 90000}{485453} = 0,81$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i * b_i,$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в форме таблицы (таблица 6.19), где Исп.1 – использование всех трех типов визуализации для контроля эффективности метода, Исп.2 – использования только одного типа визуализации.

Таблица 6.19 – Оценка характеристик исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка Исп. 1	Оценка Исп. 2
Точность измерений	0,4	5	3
Удобство в эксплуатации	0,15	4	4
Стоимость внедрения	0,1	4	3
Энергосбережение	0,2	3	4
Безопасность	0,25	5	2

$$I_{p-Исп.1} = 5 * 0,35 + 4 * 0,15 + 4 * 0,1 + 3 * 0,2 + 5 * 0,25 = 4,6$$

$$I_{p-Исп.2} = 3 * 0,35 + 4 * 0,15 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 + 2 * 0,25 = 3,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{испi}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{испi} = \frac{I_{p-испi}}{I_{финр}}$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта (таблица 3.2) и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{ср}$ ):

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}}$$

Таблица 6.20 – Сравнительная эффективность разработки

<b>Показатели</b>	<b>Исп. 1</b>	<b>Исп. 2</b>
Интегральный финансовый показатель разработки	0,75	0,81
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,6	3,25
Интегральный показатель эффективности	6,13	4,01
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,52	

Как видно из расчетов, использование всех трех средств визуализации является наиболее оптимальным и целесообразным решением, однако все зависит от конкретного места использования связи с наличием или отсутствием оборудования.

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0AM13	Седельниковой Татьяне Александровне

<b>Школа</b>	ИЯТШ	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	ОЯТЦ
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	14.04.02 Ядерные физика и технологии

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<i>1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:</i>	вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, электромагнитное излучение); опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
--	---

<i>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i>	требования охраны труда при работе на ПЭВМ; электробезопасность; пожаровзрывобезопасность;
---	--

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

<i>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды</i>	действие фактора на организм человека; приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).
---	---

<i>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведенной среды</i>	электробезопасность (причины, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
--	--

<b>Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком</b>	13.03.2023
--	------------

**Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению обучающийся:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM13	Седельникова Татьяна Александровна		

## **7 Социальная ответственность**

Особое внимание уделяется процедуре отбора проб загрязняющих веществ в выбросах, т.к. именно этот этап работы при неправильном его выполнении может вносить основную погрешность в результат измерения.

Таким образом, повышение точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия с учетом их физико-химических свойств путем экспериментального определения удельной активности аэрозольной составляющих и дисперсности аэрозольных частиц является актуальной задачей при осуществлении радиационного контроля.

Поэтому для повышения точности отбора проб и достоверности результатов определения радиоактивных веществ в выбросах предприятия АО «ПО ЭХЗ» необходимо провести исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

*Цель проектной работы* - исследование влияния различных условий и схем отбора, а также соблюдения условия изокинетичности, на достоверность полученных результатов измерения.

Данный раздел посвящен анализу вредных и опасных факторов производственной среды воздействующие на исполнителя работ, находящегося в лаборатории радиационного контроля площадью 50 м<sup>2</sup> г. Зеленогорск, предприятия АО «ПО ЭХЗ». Также будут рассмотрены вопросы обеспечения защиты от них, на основе требований действующих нормативных документов, а также мероприятия в аварийных и чрезвычайных ситуациях.

### **7.1 Правовые вопросы обеспечения безопасности**

В сфере охраны труда основным законодательным органом является Трудовой кодекс Российской Федерации [25].

Охрана труда - система сохранения жизни и здоровья работников в

процессе трудовой деятельности, включающая в себя правовые, социально-экономические, организационно-технические, санитарно-гигиенические, лечебно-профилактические, реабилитационные и иные мероприятия.

Каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда; обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;

- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующих профессиональных рисках и их уровнях, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;

- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда до устранения такой опасности, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами;

- обеспечение в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 г. N 197-ФЗ (ТК РФ) (с изменениями и дополнениями) 18.05.2022 Система ГАРАНТ 14/35 средствами коллективной и индивидуальной защиты и смывающими средствами, прошедшими подтверждение соответствия в установленном законодательством Российской Федерации о техническом регулировании порядке; обучение по охране труда за счет средств работодателя;

- дополнительное профессиональное образование или профессиональное обучение за счет средств работодателя в случае ликвидации рабочего места вследствие нарушения работодателем требований охраны труда;

- гарантии и компенсации в связи с работой с вредными и (или) опасными условиями труда, включая медицинское обеспечение, в порядке и

размерах, не ниже установленных настоящим Кодексом, другими федеральными законами и иными нормативными правовыми актами Российской Федерации либо коллективным договором, трудовым договором;

- обращение о проведении проверки условий и охраны труда на его рабочем месте федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на осуществление федерального государственного контроля (надзора) за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права, органами исполнительной власти, осуществляющими государственную экспертизу условий труда, а также органами профсоюзного контроля за соблюдением трудового законодательства и иных актов, содержащих нормы трудового права [25];

В [25], говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

## **7.2 Основные эргономические требования к правильному расположению рабочего места исследователя при работе с ПК**

Рабочее место при работе с ПК должно составлять не менее чем  $6 \text{ м}^2$  [26].

Разработка методики и работы производилась в лаборатории радиационного контроля  $50 \text{ м}^2$ , что является достаточным значением.

Пространство для ног должно соответствовать следующим параметрам: высота пространства для ног не менее 600 мм, расстояние сиденья до нижнего края рабочей поверхности не менее 150 мм, а высота сиденья 420 мм [26].

Так же предусмотрены следующие требования к организации рабочего места пользователя ПЭВМ: Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления.

Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ. Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию [27]. Рабочее кресло в лаборатории радиационного контроля предназначено для работы с ПЭВМ и отвечает приведенным требованиям.

### 7.3 Производственная безопасность

#### 7.3.1 Анализ опасных и вредных производственных факторов

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические. Опасные и вредные факторы, сформированные производственным процессом, приведены в таблице 7.1.

Таблица 7.1 – Опасные и вредные факторы на рабочем месте

Факторы	Нормативные документы
1. Параметры микроклимата	<i>СанПиН 1.2.3685-21</i> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
2. Электромагнитное излучение	<i>СанПиН 1.2.3685-21</i> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
3. Ионизирующее излучение	<i>СанПиН 2.6.1.2523-09</i> Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009
4. Освещенность рабочей зоны	<i>СанПиН 1.2.3685-21</i> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания

## Продолжение таблицы 7.1

Факторы	Нормативные документы
6. Шум	<i>СанПиН 1.2.3685-21</i> Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
7. Психофизиологические факторы	<i>СП 2.2.3670-20</i> Санитарно-эпидемиологические требования к условиям труда
8. Электробезопасность	<i>ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ.</i> Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
8. Пожаровзрывоопасность	<i>СП 12.13130.2009.</i> Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

### 7.3.2 Параметры микроклимата

Основными показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

ЭВМ, вспомогательная техника, а также приборы освещения в процессе работы выделяют тепло. Высокая температура способствует быстрой утомляемости и перегреву организма при нахождении в непосредственной близости от источников тепла. Влажность также оказывает значительное влияние на терморегуляцию человека, так низкая влажность может привести к высыханию кожи, слизистых оболочек и общему обезвоживанию организма, а высокая – к повышенной отдаче тепла и возможному перегреву организма.

Микроклимат помещений нормируется для холодного периода года, характеризуемого среднесуточной температурой наружного воздуха, равной +10 °С и ниже, а также для теплого периода года, характеризуемого среднесуточной температурой наружного воздуха выше +10 °С [28].

В таблице 7.2 приведены оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне, которые установлены санитарными нормами для различных категорий работ в разные периоды года [28]. Работа за ПЭВМ относится к 2 категории работ –помещения в которых люди заняты умственным трудом, учебой.

Таблица 7.2 – Оптимальные и допустимые нормы параметров микроклимата в рабочей зоне

Период года	Категория помещения	Температура воздуха, °С		Результирующая температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная	допустимая	оптимальная, не более	допустимая
Холодный	2 категория	19-21	18-23	18-20	17-22	45-30	60-30	0,2	0,3
Теплый	Помещения с пост. пребыванием людей	23-25	18-28	22-24	19-27	60-30	65-30	0,15	0,25

В лаборатории радиационного контроля выполняются нормативы по микроклимату [28].

Для поддержания санитарных норм достаточно иметь естественную неорганизованную вентиляцию помещения, обеспечивающую постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха [29].

Для расчёта производительности воздухообмена вентилятора в лаборатории радиационного контроля:

$$W = V * K$$

Высота потолков 3 м. Площадь помещения 50 м<sup>2</sup>. Объем помещения 150 м<sup>3</sup>. K = 10 ч<sup>-1</sup>, что соответствует норме по [29]. Подставляя известные значения в формулу, получим W = 1500 м<sup>3</sup>ч<sup>-1</sup>. Исходя из имеющихся критерий, подойдет вихревая воздуходувка SCL итальянской марки FPZ, с максимальной производительностью 1764 м<sup>3</sup>ч<sup>-1</sup> [30].

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха являются

основными мерами по поддержанию нормальных значений параметров микроклимата на рабочем месте. В помещениях для работы с ПЭВМ должна производиться ежедневная влажная уборка, а также систематическое проветривание после каждого часа работы [27].

### 7.3.3 Электромагнитное излучение

Экран и системные блоки ЭВМ производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать таблице 7.3 [28]. Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы [31].

Таблица 7.3 - Допустимые уровни электрических и магнитных полей

Тип воздействия	Напряженность электрического поля, кВ/м	Индукция (напряженность магнитного поля), Тл(А/м)
В помещении рабочей зоны	0,5	10,0(8,0)

Существуют следующие способы защиты от ЭМП:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- соблюдение рационального режима труда и отдыха в течение рабочего дня в зависимости от вида и категории трудовой деятельности [31].

Во время выполнения работы использовали монитор на основе жидких кристаллов, что позволило свести к минимуму воздействие электромагнитного излучения. Также были установлены регламентируемые перерывы через 1,5–2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5–2,0 часа

после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы [31].

### 7.3.4 Ионизирующее излучение

Основным источником ионизирующего излучения в рабочем помещении является фильтр с собранными радиоактивными аэрозолями для измерения объемной активности.

Под влиянием ионизирующих излучений в организме происходит торможение функций кроветворных органов, нарушение нормальной свертываемости крови и увеличение хрупкости кровеносных сосудов, расстройство деятельности желудочно-кишечного тракта, истощение организма, снижение сопротивляемости организма инфекционным заболеваниям, увеличение числа белых кровяных телец (лейкоцитоз).

В таблице 7.4 приведены основные пределы доз [32].

Таблица 7.4 – Основные пределы доз

Нормируемые величины	Пределы доз	
	Персонал (группа А)*	Население
Эффективная доза	20 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 50 мЗв в год	1 мЗв в год в среднем за любые последовательные 5 лет, но не более 5 мЗв в год
Эквивалентная доза в год в		
– хрусталике глаза	150 мЗв	15 мЗв
– коже	500 мЗв	50 мЗв
– кистях и стопах	500 мЗв	50 мЗв

Основные пределы доз, как и все остальные допустимые уровни воздействия персонала группы Б, равны 1/4 значений для персонала группы А.

Для обеспечения радиационной безопасности при использовании источников ионизирующего излучения необходимо руководствоваться следующими принципами:

- поддерживать индивидуальные дозы облучения от всех источников излучения не выше допустимого облучения;

- поддерживать на минимальном уровне индивидуальные дозы облучения от всех источников излучения.

К работе допускаются лица, не имеющие медицинских противопоказаний, отнесенные к категории персонала группы А или персонал группы Б в сопровождении персонала группы А, прошедшие инструктаж по радиационной безопасности [32].

### 7.3.5 Освещенность рабочей зоны

Причинами недостаточности естественного и искусственного освещения являются отдаленность рабочего места от источников освещения, недостаточная мощность и не качественность источников освещения, неподходящие погодные факторы или время суток. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения. В таблице 7.5 представлены гигиенические нормативы показателей естественного и искусственного освещения эксплуатируемых помещений [28].

Таблица 7.5 – Гигиенические нормативы показателей естественного и искусственного освещения эксплуатируемых помещений

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Отн. Продолжительность зрительной работы при направлении зрения на рабочую поверхность, %	Искусственное освещение				Естественное освещение	
					Освещ. На рабочей поверхности от системы общего освещения, лк, не менее	Цилиндрическая освещенность, лк	Объединенный показатель	Коэффициент пульсации, %	%	
									Верхнем или комбинированным	Боковым
высокий	От 0,3 до 0,5	Б	1	Не менее 70	300	100	21	15	3,0	1,0
							18			
			2	Менее 70	200	75	24	20	2,5	0,7
							18			

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

Причинами недостаточности естественного и искусственного освещений являются отдаленность рабочего места от источников освещения, недостаточная мощность и некачественность источников освещения, неподходящие погодные факторы или время суток. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения [28].

Необходимая освещенность на рабочем месте достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами. Посчитаем необходимое число светильников  $n$  по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m},$$

$E$  – нормированная освещенность,  $E = 300$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $S = 50$  м<sup>2</sup>;

$Z$  – поправочный коэффициент светильника,  $Z = 1,2$ ;

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K = 1,2$ ;

$F$  – световой поток одной лампы, ЛД 40,  $F = 2130$  лк;

$U$  – коэффициент использования,  $U = 0,55$ ;

$m$  – число ламп в светильнике,  $m = 2$ .

Подставив значения получаем  $n = 9,21$  шт. Но так как необходимо целое число, то округлив в большую сторону, получаем 10 светильников, что соответствует количеству ламп в лаборатории радиационного контроля.

### 7.3.6 Шум

Шум ухудшает условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание,

ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ). Допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ [28].

За рабочей поверхностью уровень шума от ЭВМ достигает 30 дБ, что находится в пределах нормы [28]. Уровень шума от вихревой воздуходувки составляет 53 дБ, поэтому дополнительных средств защиты не требуется, т.к. не превышает установленных норм [28].

### **7.3.7 Психофизиологические факторы**

Психофизиологические опасные и вредные производственные факторы, делятся на: физические перегрузки (статические, динамические) и нервно психические перегрузки (умственное перенапряжение, монотонность труда, эмоциональные перегрузки).

Трудовая деятельность работников непромышленной сферы относится к категории работ, связанных с использованием больших объемов информации, с применением компьютеризированных рабочих мест, с частым принятием ответственных решений в условиях дефицита времени, непосредственным контактом с людьми разных типов темперамента и т.д. Это обуславливает высокий уровень нервно-психической перегрузки, снижает функциональных на активность центральной нервной системы, приводит к расстройствам в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [33].

В ходе проведения работ соблюдается правильный режим труда и отдыха и переутомления и стресса не возникает [33].

### **7.3.8 Электробезопасность**

Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, элементы электрооборудования. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно. Электрический ток, проходя через живой организм оказывает термическое (ожоги, нагрев и повреждение кровеносных сосудов, перегрев сердца, мозга и других органов), электролитическое (разложение органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом) и биологическое действие (нарушение внутренних биоэлектрических процессов, свойственных нормально действующему организму и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями).

Исполнитель работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Опасность поражения электрическим током существует в следующих случаях [34]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;

– при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Напряжения прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки, не должны превышать значений, указанных в таблице 7.6 [34].

Таблица 7.6 – Допустимые уровни напряжений прикосновения и токи, протекающие через тело человека при нормальном (неаварийном) режиме электроустановки

Род тока	$U, В$	$I, мА$
	не более	
Переменный, 50 Гц	2,0	0,3
Переменный, 400 Гц	3,0	0,4
Постоянный	8,0	1,0

Примечания:

Напряжения прикосновения и токи приведены при продолжительности воздействия не более 10 мин в сутки и установлены исходя из реакции ощущения.

Напряжения прикосновения и токи лиц, выполняющих работу в условиях высоких температур (выше 25 °С) и влажности (относительная влажность более 75%), должны быть уменьшены в три раза.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклучение в корпуса электропоражающих элементов, заклчение в корпус токоведущих частей) [35].

Категории помещений по электробезопасности:

1 категория – без повышенной опасности (БПО) [35]

Помещения без повышенной опасности это обычные жилые или офисные здания. Предприятия социальной сферы детские дошкольные учреждения, школы, больницы и так далее. Основные требования для 1-й категории:

Сухие — 60% и влажные помещения влажность воздуха в которых не должна превышать 75%.

- Работающая приточно-вытяжная вентиляция. Не должно быть токопроводящей пыли и химических соединений в воздухе.

- Температура окружающего воздуха не превышает +35°C.

- Покрытие пола должно быть выполнено из материалов, не проводящих электричество.

Лаборатория радиационного контроля подходит под помещения 1 класса, помещение без повышенной опасности [35].

### **7.3.9 Пожаровзрывоопасность**

В зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий [36].

Возможные причины загорания:

- неисправность токоведущих частей установок;
- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов: документы, двери, столы, изоляция кабелей и т.п.

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на:

организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации. К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [37].

К режимным мероприятиям относятся, установление правил организации работ, и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорюемых или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;

- правильное размещение оборудования;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования [37].

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

1. Сообщить руководству (дежурному).
2. Позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС (112).
3. Принять меры по ликвидации аварии в соответствии с инструкцией [37].

### **7.3.10 Аварийные и чрезвычайные ситуации (АС и ЧС)**

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Есть два вида чрезвычайных ситуаций:

- техногенная;
- природная.

К техногенным ЧС можно отнести пожары, взрывы, диверсии, выбросы ядовитых веществ. К природным ЧС относятся природные катаклизмы. Наиболее вероятной техногенной ЧС являются пожары [38].

К опасностям несчастного случая относится внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое движение или энергия [38].

Рассмотрим возможные аварийные ситуации в лаборатории радиационного контроля, а именно:

- падение с высоты собственного роста;
- удар током;

– возникновение пожара.

Примеры аварийных и чрезвычайных ситуаций и меры их предотвращения и ликвидации последствий АС и ЧС представлены в таблице 7.7.

Таблица 7.7 - Примеры аварийных и чрезвычайных ситуаций и меры их предотвращения и ликвидации последствий АС и ЧС

№	Аварийная ситуация	Мероприятия по предотвращению АС и ЧС	Мероприятия по ликвидации последствий АС и ЧС
1	Удар током	1. Проведение инструктажей. 2. Заземление всех электроустановок. 3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры.	1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока; 2. вызвать скорую помощь (112); 3. Если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой; . При отсутствии дыхания нужно немедленно делать искусственное дыхание и массаж сердца.
2	Травматизация при падении с высоты собственного	Своевременное проведение инструктажа. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Содержание помещения в надлежащем порядке.	1. Осмотреть или опросить пострадавшего; 2. вызвать скорую помощь (112); 3. остановить кровотечение, если оно имеется; 4. если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник (резкая боль в позвоночнике при малейшем движении), необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.
3	Пожар	Своевременное проведение инструктажа. 2. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях. Установка датчиков дыма и огня. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии. 5. Контроль работы электроприборов.	прекратить работу 2. обесточить помещение, прекратить поступление воздуха; 3. сообщить о случившемся руководителю подразделения; позвонить в подразделение пожарной охраны по телефону 01 или 112; . по возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара первичными средствами пожаротушения.

В данном подразделе рассмотрены потенциальные аварийные ситуации, которые могут возникнуть при работе в лаборатории радиационного контроля. Рассмотрены мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий этих ситуаций согласно [37,38,39].

#### **7.4 Выводы по главе «Социальная ответственность»**

В разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности работников, рассмотрены возможные вредные и опасные факторы (микроклимат [28], электрический ток [34], ионизирующее излучение [32], освещение [28], шум [28], пожаровзрывоопасность [36]), также проведен их анализ и обоснован ряд мероприятий по снижению их воздействия на исследователя.

Работа в лаборатории радиационного контроля не принесет вред работнику. Помещение отнесено к классу В по пожаровзрывоопасности [36], к 1 категории по электробезопасности [35], к IV категории по радиационному воздействию [32].

Проанализированы возможные аварийные и чрезвычайные ситуации и описаны мероприятия по их предотвращению, мероприятия по ликвидации последствий АС и ЧС. Наиболее вероятной АС и ЧС является возникновение пожара на рабочем месте вследствие возгорания оборудования.

Описаны методы снижения воздействия вредных и опасных факторов на исследователя.

## **Заключение**

Разработана схема экспериментального пробоотбора.

Подтверждено выполнение критериев приемлемости для контролируемых сечений.

Проведена проверка технического состояния вентсистем через сравнение профилей распределения скоростей с программной моделью.

Собрана статистика результатов измерения скоростей, аэрозольной активности при различных глубинах пробоотбора.

Подтверждена малая дисперсность аэрозольных частиц в вентсистемах АО «ПО ЭХЗ».

## Список использованных источников

1. Мокров Ю. Г., Мокров К. Ю., Дементьева А. Е. Контроль выбросов радиоактивных веществ в атмосферный воздух из организованных источников предприятий //Ильинские чтения 2022. – 2022. – С. 24-25.
2. Выбросы в атмосферный воздух / [Электронный ресурс] // Политика АО «ПО «Электрохимический завод» в области радиационной безопасности: [сайт]. — URL: [https\\www.ecp.ru](https://www.ecp.ru) (дата обращения: 24.05.2023).
3. Романович И. К. и др. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ 99/2010). – 2010.
4. Выбросы радионуклидов / [Электронный ресурс] // Политика АО «ПО «Электрохимический завод» в области радиационной безопасности: [сайт]. — URL: [https\\www.rosatom.ru](https://www.rosatom.ru) (дата обращения: 24.05.2023).
5. Кутьков В. А., Кухта Б. А. Влияние радиоактивных аэрозолей на человека //Анри. – 2006. – №. 4. – С. 2-21.
6. Герасименко А. С., Дорохов С. В., Криворотова В. В. Особенности прямых измерений для оценки объемной активности радионуклидов в воздухе рабочей зоны //Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2022. – Т. 24. – №. 3. – С. 3-14.
7. Бандажевский Ю. И. и др. Клинико-экспериментальные аспекты влияния инкорпорированных радионуклидов на организм. – 1995.
8. Уайт П. Высокоэффективная очистка воздуха. – Рипол Классик, 2014.
9. Кутьков В. А., Кухта Б. А. Радиологические свойства радиоактивных аэрозолей //Анри. – 2006. – №. 4. – С. 2-21.
10. Пузанов А. В. и др. Радиоактивные элементы ( $^{238}\text{U}$  (Ra),  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). – 2008. – №. 6. – С. 53-57
11. Шафиев Т. Р. Математическая модель для мониторинга и прогнозирования процесса распространения аэрозольных частиц в атмосфере

//Проблемы вычислительной и прикладной математики. – 2020. – №. 1. – С. 69-84.

12. Пащенко С. Э., Лазарева Л. С., Гераськин А. А. Способ отбора проб аэрозоля. – 1991.

13. Коузов П. А., Скрябина Л. Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. – 1983.

14. Рекомендации по методам и средствам контроля за выбросами радиоактивных веществ в атмосферный воздух. РБ-135-17.

15. Шугуров Э. В. и др. Способ изокинетического отбора проб из газового потока. – 1990.

16. Галкин А. К., Рыбалко В. К., Коваленко В. В. Изокинетический пробоотборник. – 1984.

17. Ровный С. И. и др. Аэрозольный фильтр. – 2007.

18. Тютюнников А. В., Пантелеев С. М., Крашенников О. А. Способ отбора проб аэрозоля осаждением в импакторе. – 1983

19. Чекалов Л. В., Санаев Ю. И. Свойства промышленных пылей и эффективность электрофильтров //АО «Кондор–Эко», Семибратово. – 2018.

20. Шермаков А. Е., Власкин Н. М., Родионов К. В. Пробоотборный коллектор для представительного отбора газо-аэрозольной среды из сбросной трубы. – 2019.

21. Котлов В. М. Радиометр. – 1992.

22. Кочерыгин, А. В., Павлов, С. В., Лачугин, А. В. О выборе точек отбора проб при проектировании автоматизированных систем для контроля объемной активности радиоактивных аэрозолей из вентиляционных труб на объектах атомной отрасли [Текст] / А. В. Кочерыгин, С. В. Павлов, А. В. Лачугин // АНРИ. — 2018. — № 2(93). — С. 12.

23. Воробьев Ю.А, Гришмановская Т.В, Определение дисперсного состава радиоактивных аэрозолей в подразделениях ПО "ЭХЗ»: Дипломная работа кафедры ПФ / Воробьев Ю.А, Гришмановская Т.В, ; Томский Политехнический Университет. — Томск, 2000. — с.

24. Методика РД 95 10360-2005 "Выбросы промышленных предприятий. Методы определения объемной активности альфа-излучающих нуклидов"
25. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018).
26. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора [Текст]. – Введ. 1996-07- 10. – М.: Стандартиформ, 2008 – С.4.
27. ГОСТ 12.2.032-78. ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя [Текст]. – Введ. 1978-04- 26. – М.: Издательство стандартов, 1978 – С.5.
28. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания
29. ГОСТ 32548 - 2013. Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия.
30. Воздуходувки.про. – Режим доступа: <https://vozduhoduvki.pro/> (дата обращения 10.05.2023).
31. Об основах охраны труда в Российской Федерации: Федеральный закон от 17 июля 1999 №181 – ФЗ // Российская газ. – 1999. – 24.07. – С. 4
32. СанПиН 2.6.1.2523-09 Нормы радиационной безопасности НРБ- 99/2009.
33. СП 2.2.3670-20. Санитарно – эпидемиологические требования к условиям труда
34. ГОСТ 12.1.038-82. ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.
35. Правила устройства электроустановок (ПЭУ).
36. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643).
37. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

38. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.  
Термины и определения.

39. Федеральный закон от 21.12.1994 N 68-ФЗ (ред. от 01.04.2020) «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

## Приложение А

(справочное)

### Formation of radioactive aerosols

Обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM13	Седельникова Татьяна Александровна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Яковлева В.С.	д.т.н.		

Консультант – лингвист отделения школы ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Квашнина О.С.			

## **Formation of radioactive aerosols**

### **Effects of radioactive aerosols on humans**

The operation of equipment for the production of enriched uranium is accompanied by the release of radioactive substances into the atmospheric air and the air of the working area. Radioactive gases and aerosols in the air can be a source of exposure to personnel and the public [5].

Operational and periodic monitoring of the volumetric activity of alpha-emitting aerosols is an essential part of ensuring the radiation safety of personnel in the production of enriched uranium and the public, and one of the main methods for minimizing the risks of the inhalation route of technogenic radionuclides entering the body [6].

The peculiarities of assessing the dose of internal exposure during inhalation intake are the characteristics of the inhaled air: radionuclide composition, dispersion, phase composition and type of transportability.

Radioactive contamination of the skin, overalls, footwear and other personal protective equipment is a significant factor that determines the external and internal exposure of a person. Due to the fact that overalls, safety shoes and other personal protective equipment directly contact the human body, the dose of external exposure of personnel with radioactive contamination of overalls and safety shoes is greater than with the same level of radioactive contamination of indoor surfaces. Since radioactive aerosols pass into the air from contaminated workwear and other individual protection means in the area of a person's breathing (a sphere with a radius of about 50 cm from the face), they create an internal dose due to inhalation intake. Radioactive contamination of the skin creates the danger of percutaneous entry of radionuclides into the body, especially through damage to the skin [6].

Information about tissue doses during internal exposure can be obtained if the patterns of accumulation, distribution and release of radioactive gases and aerosols from the human body are known. An important role is played here by dosimetry of

radioactive gases and aerosols, the main purpose of which is timely warning of personnel or the public.

Incorporated are those radionuclides that have got inside a living organism. There are three main ways in which radionuclides enter the body: through the respiratory organs (inhalation route), through the digestive organs (oral route) and through the skin. The organs of respiration, digestion and skin in this case act not only as "gates" and "overpasses" for radionuclides. For some time they contain incoming radionuclides, and in this case they can be called an input "depot", since part of the radionuclides enters the bloodstream and is carried with the bloodstream through the internal organs and tissues directly related to the external environment. As a result, this part of the radionuclides passes from the blood into the internal organs and tissues of humans and animals. Their further fate is determined both by the properties of the radionuclides themselves and by the processes occurring in living organisms. Ultimately, incorporated radionuclides partially decay and are partially excreted from the body as a result of biological metabolic processes [7].

Being incorporated for some time in organs and tissues, radionuclides create internal irradiation of living organisms. The absorbed dose during internal exposure can be comparable to the biological consequences, and in this case it acts as a measure of the radiation hazard of those radioactive substances that, being in the external environment, can get inside the body [7].

The sources of incorporated radionuclides are any radioactive substances of natural and artificial origin that are in the external environment in liquid, gaseous and dusty forms and with which human or animal contact is possible. In each of the listed primary "depots" the mechanism of radionuclides getting into the blood has its own characteristics. Important factors in this case are the chemical form of the radionuclide, its solubility in the liquid medium of the input "depot" and the time spent in it, as well as the state of the living organism; in particular, an excess or deficiency of a vital element, the analogue of which can be the considered radionuclide, as well as the functional purpose of this "depot" [7].

## Aerosol sampling methods

One of the possible factors of the impact of the production environment on personnel is contamination with radioactive aerosols [8].

A large proportion of human exposure is due to the intake of radioactive aerosols contained in the inhaled air into the body.

Radioactive aerosols are suspended particles in the air having natural (decay products of uranium, thorium, radium) or artificial (uranium fission products, activation radionuclides, etc.) nature [9].

Most of the radioactive elements found in nature can be arranged in three consecutive chains that are called radioactive families. These three families of radioactive isotopes mainly determine the radioactivity associated with human exposure in the natural conditions of its existence.

The uranium-radium family has 19 nuclides and begins with the isotope  $^{238}_{92}\text{U}$  (the content of which in the natural mixture of uranium isotopes is 99.28%), ends with a stable isotope of lead [10].

The second family, actino-uranium, begins with another uranium isotope  $^{235}_{92}\text{U}$  (it is this isotope that is used in controlled fission reactions in nuclear power plants). Among the elements of this series there is actinium  $^{227}_{89}\text{Ac}$  - the presence of the actinium radionuclide gave the name to this series.

The third family - the thorium family - begins with the radioactive isotope of thorium  $^{232}_{90}\text{Th}$ , also contains the radium isotope  $^{224}_{88}\text{Ra}$ , which turns into radioactive gas radon ( $^{220}\text{Rn}$ ). This isotope of radon, given its origin, is called thoron [10].

The stability of aerosols is determined by many factors and, above all, by the size of aerosol particles. The natural destruction of aerosols occurs as a result of three main processes: sedimentation, diffusion and coagulation. For liquid aerosols, evaporation plays a significant role.

As a result of diffusion, aerosol particles settle on surrounding objects and also collide with each other [11].

Mutual collision of particles leads to their coagulation - sticking together of particles of small diameter as a result of their collision and the formation of a larger particle. The resulting larger particle will also further increase in size as a result of new small particles sticking to it until it increases so much that it settles under the action of gravity. It has been established that the coagulation of fine aerosols occurs the faster, the smaller the particle size and the higher their concentration.

Aerosol particles in the atmosphere are liquid and solid particles. Their size varies from a fraction of a micron to several hundred microns.

All aerosol particles are formed as a result of the condensation of gases or vapors, or as a result of mechanical processes. They may be transformed by coagulation or condensation at the same time as they are transported by air movement and dilution. They can disappear from the atmosphere and settle on some surfaces, which act as a sink [11].

The following methods of formation are typical of radioactive aerosols [12]:

a) some radioactive elements in the process of decay form radioactive gases (radon, thoron, actinon), which enter the surrounding air. The decomposition products of these gases as a result of bulk condensation can form solid particles of various sizes. In addition, the decay products of radioactive gases, formed in the atmosphere, can settle on particles suspended in the air;

b) many radioactive elements, when decaying, form a number of radioactive products. In this case, during the decay process, radioactive atoms enter the air, which can be captured by suspended particles. Although such atoms fly away from the parent matter in the air at a distance of only 0.1 mm, as a result of diffusion and convection, they can be carried away far from the place of their formation;

c) radioactive aerosols can also be formed if the decay products of the main radioactive element are non-radioactive. The reason for this is that non-radioactive atoms of decay products, flying away from the parent substance, can carry away particles of a radioactive element, which then settle on dust particles suspended in the air. As a result of diffusion, aerosol particles settle on surrounding objects and also collide with each other. Mutual collisions of particles lead to their coagulation.

Radioactive aerosols are formed during the production and processing of radioactive materials (crushing, mechanical processing, evaporation, boiling, etc.),

The number of aerosols can be characterized by their concentration, meaning under it the number of particles or their mass per unit volume of atmospheric air. Therefore, there are countable and mass concentrations.

Radioactive aerosols are characterized by active concentration. The active concentration is understood as the decay rate of radionuclides per unit volume or the activity per unit volume of atmospheric air.

### **Formation of radioactive aerosols**

Aerosols may be referred to as a complex mixture of different chemical components in form of liquid or solid matter suspended in the air, generally termed particulate matter. The term aerosol was introduced about 90 years ago as an analogy to the hydrosol, a stable liquid suspension of solid particles. An aerosol is a two-phase system consisting of solid or liquid particles and the gas (air) they are suspended in. The significance of atmospheric aerosol particles for climate and air quality is well recognized. There has been a good deal of investment in term of extensive research on physicochemical characterization, source apportionment and diverse effects (ranging from human health to climate forcing) of aerosols in recent years. However, aerosol particles are comparatively less understood than gas phase species due to their heterogeneous distribution, short atmospheric lifetimes and the analytical challenges faced when investigating small particles.

The influence of aerosols on climate change has been acknowledged as a very important topic in a number of studies. The importance of aerosol research lies in the fact that aerosol influences greatly a number of important factors concerning the atmosphere. Aerosols have impacts on cloud formation, precipitation, fog formation, visibility, solar radiation budget and health. Physical and chemical properties play an important role in estimation of the impacts of aerosols on various vital climatic processes.

The chemical composition of aerosols is very important, as knowledge of the composition of aerosols provides not only information about sources but also estimation of their health impacts. The chemical composition of aerosol is very complex and it depends on number of factors like sources of direct emissions, as well as chemical and photochemical processes taking place in atmosphere. The chemical composition of aerosol is highly variable on different sampling sites depending on the surrounding environment and the meteorological factors there. In addition, the chemical composition is variable for different size distributions of aerosols because fine and coarse particles are produced by different processes. Particles collected in regions influenced by anthropogenic emissions and those in aged air masses are more complex than those in remote regions. Thus, they may contain not only the organics from biogenic emissions but also complex organics that either have been directly emitted from sources associated with human activities or have been formed in air from reactions of primary emissions.

### **Sample collection**

Aerosol samples are usually acquired by drawing ambient air through a filter material using a pump. Particulate mass collected on the filters is used for subsequent quantification of its chemical components by off-line laboratory analysis. Filter based sampling is a highly developed measurement technique that applies to the quantification of a wide variety of chemical components in air-borne particulate matter. A particle sampling filter consists of a tightly woven fibrous mat or a plastic membrane that has been penetrated by microscopic pores.

There are several different types of filters available with different physical and chemical properties. However, it is important to note that no single filter medium is appropriate for all desired analyses. Sometimes it is necessary to sample on multiple substrates when chemical characterization is required. It is necessary to pay a considerable attention to the properties of substrate employed for particle deposition, because it must be well suited for the sampling itself as well as for reliable execution of the subsequent steps such as digestion, extraction and analysis. Several

characteristics including particle sampling efficiency, mechanical and chemical stability, temperature stability, blank filter composition, flow resistance and loading capacity, cost and availability are important in selection of filter media.

Different samplers like high volume samplers, medium volume samplers and low volume samplers have been devised with different inlets for aerosol sampling. Size-selective inlets are based on inertial classification to remove particles larger than a specified aerodynamic size. The most commonly used inertial classifiers are impactors and cyclones. The impactors accelerate the aerosol through a slit towards an impaction substrate located normal to the axis of the flow. Choices of sampler and filter media depend on the sampling site and kind of analysis desired after sample collection. The efficiency with which particles enter the inlet can be more or less than 100% and varies with particle size, wind speed, and direction.

The technique for measuring particulate mass concentrations involves filtration. Filters are weighed under controlled temperature and relative humidity conditions before and after sampling, and mass concentrations are determined from the increase in filter mass divided by volume of air sampled. Generally, low or high volume samplers are used for sampling. In these samplers air is passed through a filter, which traps particulates while gases and vapors pass through the filter, and are then trapped by a solid adsorbent placed after the filter.

One important factor to be kept in mind while sampling aerosols for organic constituents analysis is the sampling artifacts which might arise because the presence of condensable, multiphase or semi-volatile compounds complicates collection of organic particulate matter. Both positive and negative artifacts can be observed while sampling particulate matter from air because of the semi-volatile behavior of certain organic species. Some of the vapor phase organic species may adsorb on the filter giving a positive artifact. A negative artifact may result from volatilization of particulate phase semi-volatile organic species, already caught by the filter. Also chemical degradation of some compounds in particulate phase by oxidants contributes to negative sampling artifacts. However, these artifacts have been overcome by the introduction of denuder sampling techniques instead of

conventional samplers. Gas phase is trapped on a sorbent coated on the surface of a denuder trap before the filter. Also a scrubber for oxidizing agents as ozone can be used in the same way to avoid the chemical degradation (negative artifact).

The methods for the quantitative determination of aerosols in the air, including radioactive substances, are based on either an indirect method, when particles are first removed from a gaseous medium with their subsequent study, or a direct method for studying the radionuclide radioactivity in a certain volume of a gaseous medium. Methods in which the solid or liquid phase is separated from the gaseous medium are most often based on sedimentation, filtration, inertial and electrostatic sedimentation. The direct method involves the use of flow ionization chambers, counters, or chambers into which a certain volume of air is taken for research [13].

Sedimentation methods for determining the content of aerosols in the air can be conditionally divided into two groups [14].

The methods of the first group make it possible to estimate the content of aerosols in a limited volume. In this case, it is possible to quantify aerosols per unit volume of the gaseous medium, in the other case, sedimentation occurs from an unlimited volume, so the results of the study are expressed in the number or mass of particles settled per unit area in a certain time. Sedimentation methods make it possible to determine particles ranging in size from 1 to 30  $\mu\text{m}$ .

Methods of the second group control the level of radioactive fallout from the atmospheric air.

All possible sampling conditions using this method can be divided into five groups:

- 1) open areas (atmospheric air);
- 2) premises for production, auxiliary and other purposes;
- 3) closed volumes under conditions of normal barometric pressure (or approaching it): chambers, boxes, ventilation ducts, etc.;
- 4) closed volumes under vacuum (vacuum lines and installations);
- 5) closed volumes under excessive pressure (compression communications and installations).

The concentration of radioactive gas in the air can be determined by methods based on counting individual particles or quanta and on measuring the ionization effect [14].

To count individual particles or quanta, internal filling counters are used. In this case, the gaseous preparation is injected directly into the detector or the detector is immersed (partially or completely) in the gas under investigation.

Evaluation of the concentration from the ionization effect is carried out using so-called ionization chambers with a gas wall or internal filling chambers.

The highest accuracy of gas concentration measurement is achieved when using internal filling meters. In these cases, the radioactive gas is injected directly into the working volume, which ensures the registration of almost every act of decay.

Methods based on the use of various types of scintillators have found wide distribution in measuring the concentration of tritium and carbon.

When determining the isotopic composition of radionuclides in air samples, radiochemical and gamma-spectrometric methods are used.

Direct measurement of the content and radioactivity of aerosols in the air of industrial premises is carried out using various stationary and portable radiometers of specific volumetric activity (technological control and control of RB).

### **Isokinetic sampling**

To obtain a representative sample independent of particle size, it is necessary to remove the sample stream isokinetically, i.e. with the same velocity as the main stream. The following figure shows the pattern of the flow lines in the vicinity of a thin-walled sampling probe, with  $w$  - the velocity of the main flow and  $v$  - the velocity of the sample flow:

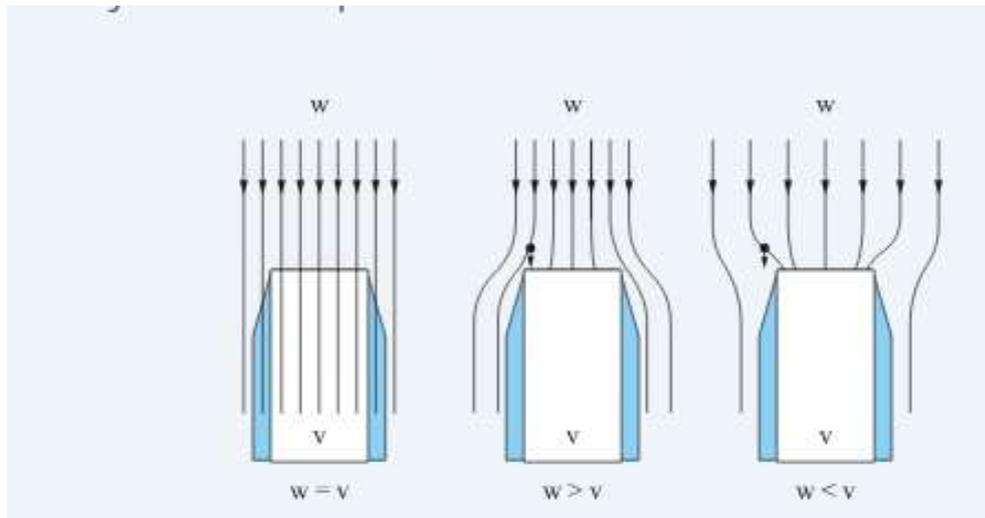


Figure 1 – Sampling of gas with dust particles

In the isokinetic case ( $w=v$ , Fig. 1), all particles flowing toward the intake opening are equally collected. If the sample taking velocity is too low ( $w>v$ ), heavy particles can enter the probe even if the flow line on which they were located passes by the probe. Thus too many large particles are collected. If the sample taking velocity is too high ( $w<v$ ), heavy particles fail to adhere to the flow.

Given the aforementioned equation,  $V_f = V_n$ , the diameter of the isokinetic probe will vary depending on the velocity of the particle counter's air flow. The higher the flow rate, the larger the diameter of the isokinetic probe.

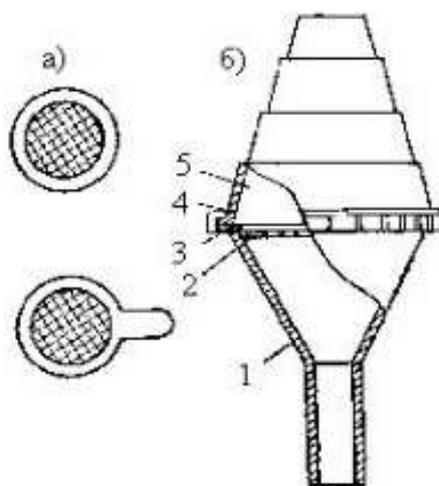
For example, when particle counter's inlet velocity is less than the calculated probe's nozzle velocity ( $V_f < V_n$ ), i.e., using an isokinetic probe that is too large, the sample results will be biased high (i.e., over-sampled) due to inertia of large macroparticles  $> 5\mu\text{m}$ . Similarly, when the particle counter's inlet velocity is greater than the calculated probe velocity ( $V_f > V_n$ ), i.e., using an isokinetic probe that is too small, the sample results will be biased low (i.e., under-sampling) as larger macroparticles belonging to the sample break through the airstream and bypass the probe's inlet.

### Sampling with aerosol filters

Solid particles and aerosols that enter the air are much larger than atoms and molecules and are not captured by conventional sorbents. Therefore, for sampling aerosols and suspended solids, specific methods are used, the most common of which is sampling on filters [17].

The most widely used are AFA type fibrous filters (aerosol analytical filters), as well as membrane filters, electrostatic precipitators, impactors, etc.

When sampling through a filter (Fig. 4.2a), placed in a filter holder (Fig. 4.2b), a certain volume of air is aspirated. Filters made of paper, glass fiber, ceramics, Teflon are used. In recent years, membrane filters made from nitrocellulose or other polymeric materials have become widely used. The filter structure is formed by a multilayer system of high porosity, which makes it possible to effectively retain even the smallest particles of a substance [18].



1- filter holder housing; 2 - grid; 3 - clamping ring; 4 - union nut; 5 - cone nozzle.

Figure 4.2 - Filters (a) and filter holder (b)

The efficiency of filters is related to two processes: inertial settling (effective only for large particles at high flow rates) and Brownian motion (which turns out to be significant for very small particles, the diffusion of which, at a distance of several micrometers from the surface, has time to pass during the time that the filtered air

passes through the filter). This mechanism works for both porous and membrane filters and explains why particles smaller than the pores in the filter are retained on its surface.

### **Sampling with impactors**

Another technique for sampling aerosols and particulate matter is the use of impactors based on the mechanism of inertial settling. An air flow with a speed  $V_0$  is directed to a flat plate (Fig. 4.3) located at a distance  $L$  from the nozzle. Inertial forces cause particles to move in a straight line. The particle collection efficiency increases with increasing  $V_0/L$  ratio [19].

In cascade impactors, flows with different  $V_0$  and  $L$  are sequentially used, which makes it possible to collect particles by size [19].

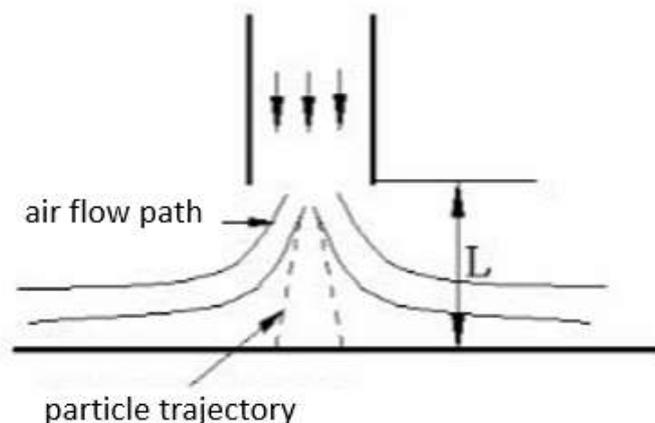


Figure 4.3 - the principle of operation of the impactor

### **Sampling with electrostatic precipitators**

Physical, chemical and biological properties of aerosols, such as total mass and particle number density, spectrum of sizes, variety of shapes, and chemical composition of the particulates are subjects of atmospheric monitoring. Atmospheric particulates range in size over many orders of magnitude from nano-particles of

nucleated clusters up to tens of micrometers. The most common method of collecting aerosols is by filtration on fibrous or porous membrane filters. Precipitation by inertial forces is also obtained with cyclones as well as with single-stage or cascade impactors. For chemical analysis the samples are commonly digested in nitric acid, dissolved and subsequently analyzed in liquid form.

For direct analysis, atmospheric aerosols have been collected on graphite substrates in cascade impactors.

A third method for sampling aerosols is the use of electrostatic precipitators. The principle of their operation is based on passing an air flow between two electrodes, on which a potential difference is applied. The particles are ionized and stick to one of the electrodes [20].

However, all approaches of inertial precipitation show cutoff against small aerodynamic diameters. First work with electrostatic aerosol sampling has been carried out by Torge by employing graphite tubes for analysis with atomic absorption spectrometry (AAS). Measurements by Torge and Hartkamp showed high precipitation efficiency (>98%).

Problems of calibration were due to the fact that solid sampling AAS (SSAAS) was not established, at this time. The first proposal to introduce solid samples directly with the platform, owing to the stationary temperature platform furnace (STPF) concept, as sample boat into the AAS instrument was made by Kurfürst and Rues by employing a SM1 spectrometer (Grün Analytische Meßsysteme GmbH, industry partner of this project). In the interim the method of direct solid sampling has been established. State of the art is the solid sampling boat technique with electrothermal atomization (ETA) AAS (ETAAS), as well as with electrothermal vaporization (ETV), but also with Continuum Source Coherent Forward Scattering Spectrometers (CS-CFS).

## **Приложение Б**

(справочное)