

Школа \_\_\_\_\_ инженерная школа ядерных технологий \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки \_\_\_\_\_ 14.03.02 Ядерные физика и технологии \_\_\_\_\_  
 Отделение школы (НОЦ) \_\_\_\_\_ отделение ядерно-топливного цикла \_\_\_\_\_

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

| Тема работы   |
|---|
| <b>Разработка классической конструкции камеры для измерения ППР и проведение тестовых натуральных измерений</b> |

УДК 539.163:546.296:539.1.074

Студент

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 0А8А   | Сапожкова Карина Евгеньевна |         |      |

Руководитель ВКР

| Должность   | ФИО                        | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|----------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ | Вуколов Артем Владимирович | к.ф.-м.н.              |         |      |

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОСГН | Якимова Татьяна Борисовна | к.э.н.                 |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

| Руководитель ООП | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ      | Бычков П.Н. | к.т.н.                 |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП

| Код компетенции                                      | Наименование компетенции   |
|--|--|
| <b>Универсальные компетенции</b>                     |  |
| <b>УК(У)-1</b>                                       | Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач   |
| <b>УК(У)-2</b>                                       | Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений   |
| <b>УК(У)-3</b>                                       | Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде  |
| <b>УК(У)-4</b>                                       | Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)  |
| <b>УК(У)-5</b>                                       | Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах   |
| <b>УК(У)-6</b>                                       | Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни  |
| <b>УК(У)-7</b>                                       | Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности   |
| <b>УК(У)-8</b>                                       | Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций  |
| <b>УК(У)-9</b>                                       | Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи  |
| <b>Универсальные компетенции университета</b>        |  |
| <b>Общепрофессиональные компетенции</b>              |  |
| <b>ОПК(У)-1</b>                                      | Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования  |
| <b>ОПК(У)-2</b>                                      | Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий                                   |
| <b>ОПК(У)-3</b>                                      | Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны |
| <b>Общепрофессиональные компетенции университета</b> |  |
| <b>Профессиональные компетенции</b>                  |  |
| <b>ПК(У)-1</b>                                       | Способностью использовать научно-техническую информацию,   |

|                 |   |
|-----------------|---|
|                 | отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области   |
| <b>ПК(У)-2</b>  | Способностью проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа   |
| <b>ПК(У)-3</b>  | Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных  |
| <b>ПК(У)-4</b>  | Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования  |
| <b>ПК(У)-5</b>  | Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок  |
| <b>ПК(У)-6</b>  | Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли  |
| <b>ПК(У)-7</b>  | Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием  |
| <b>ПК(У)-8</b>  | Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ  |
| <b>ПК(У)-9</b>  | Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам   |
| <b>ПК(У)-10</b> | Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов  |
| <b>ПК(У)-11</b> | Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования  |
| <b>ПК(У)-12</b> | Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий   |
| <b>ПК(У)-13</b> | Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда |
| <b>ПК(У)-14</b> | Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем     |
| <b>ПК(У)-15</b> | Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам  |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа \_\_\_\_\_ инженерная школа ядерных технологий \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки \_\_\_\_\_ 14.03.02 Ядерные физика и технологии \_\_\_\_\_  
 Отделение школы (НОЦ) \_\_\_\_\_ отделение ядерно-топливного цикла \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Бычков П.Н.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                     |
|---------------------|
| бакалаврской работы |
|---------------------|

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

Студенту:

| Группа | ФИО                         |
|--------|-----------------------------|
| 0А8А   | Сапожкова Карина Евгеньевна |

Тема работы:

|  |                     |
|--|---------------------|
| Разработка классической конструкции камеры для измерения ППР и проведение тестовых натуральных измерений |                     |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)  | 04.02.2022. 35-84/с |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 03.06.2022 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| <b>Исходные данные к работе</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Блок детектирования БДЗА2-01.</li> <li>- Паяльное оборудование и слесарные инструменты.</li> <li>- Микроконтроллер, основные элементы разработанной схемы устройства.</li> </ul> |
|---------------------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Обзор существующих конструкций;</li> <li>- Изучение различных типов накопительных камер;</li> <li>- Разработка накопительной камеры;</li> <li>- Сборка устройства;</li> <li>- Тестовая проверка устройства;</li> <li>- Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение;</li> <li>- Социальная ответственность;</li> <li>- Заключение.</li> </ul> |
| <b>Перечень графического материала</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Презентация на защиту ВКР</li> <li>- Чертеж «Блок-схема для микроконтроллера»</li> </ul>   |

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

| Раздел  | Консультант                 |
|---|-----------------------------|
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | Якимова Татьяна Борисовна   |
| Социальная ответственность                                      | Передерин Юрий Владимирович |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 03.06.2022 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность   | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ | Вуколов А.В. | к.ф.-м.н.              |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                         | Подпись | Дата |
|--------|-----------------------------|---------|------|
| 0А8А   | Сапожкова Карина Евгеньевна |         |      |

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

Студенту:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  |
| 0А8А          | Сапожкова Карина Евгеньевна |

|                     |             |                              |                                      |
|---------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Школа</b>        | <b>ИЯТШ</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b> | <b>ОЯТЦ</b>                          |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность    | 14.03.02 Ядерные физика и технологии |

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

|  |  |
|--|--|
| <i>1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | <i>Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.</i> |
| <i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>  | <i>Коэффициенты для расчета заработной платы.</i>  |
| <i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>       | <i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>  |

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

|   |   |
|---|---|
| <i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> | <i>Потенциальные потребители результатов исследования. Проведение SWOT-анализа</i>  |
| <i>2. Планирование и формирование бюджета</i>   | <i>Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</i> |
| <i>3. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследований</i>                                       | <i>Интегральный финансовый показатель. Интегральные показатели ресурсоэффективности и эффективности.</i>  |

**Перечень графического материала:**

|  |
|--|
| <i>1. Матрица SWOT</i>   |
| <i>2. Оценка конкурентоспособности технических решений</i>               |
| <i>3. Альтернативы проведения НИИ</i>                                    |
| <i>4. График проведения и бюджет НИИ</i>                                 |
| <i>5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИИ</i> |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 15.03.2022 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|                  |              |                               |                |             |
|------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b> | <b>ФИО</b>   | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент ОСГН      | Якимова Т.Б. | К.Э.Н.                        |                | 15.03.2022  |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                |                |             |
|---------------|----------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>     | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 0А8А          | Сапожкова К.Е. |                | 18.03.2022  |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                             |
|---------------|-----------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                  |
| 0A8A          | Сапожкова Карина Евгеньевна |

|                     |             |                              |                                      |
|---------------------|-------------|------------------------------|--------------------------------------|
| <b>Школа</b>        | <b>ИЯТШ</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b> | <b>ОЯТЦ</b>                          |
| Уровень образования | Бакалавриат | Направление/специальность    | 14.03.02 Ядерные физика и технологии |

Тема ВКР:

Разработка классической конструкции камеры для измерения ППР и проведение тестовых натуральных измерений.

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

|   |   |
|---|---|
| Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения | Объектом исследования являются радиоактивные аэрозоли, содержащие продукты альфа-распада радия. |
|---|---|

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

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</li> <li>– СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</li> <li>– ГОСТ 31961-2012. Вентиляторы промышленные. Показатели энергоэффективности.</li> <li>– СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.</li> <li>– ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума.</li> <li>– ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.</li> <li>– ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</li> </ul> |
|--|---|

|  |   |
|--|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.</li> <li>– ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.</li> <li>– 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».</li> </ul> |
| <b>Производственная безопасность:</b><br><b>2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов</b><br><b>2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия</b> | Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– микроклимат;</li> <li>– шум;</li> <li>– освещенность рабочей зоны;</li> <li>– пожаровзрывобезопасность;</li> <li>– электробезопасность.</li> </ul>  |
| <b>3. Безопасность в аварийных ситуациях:</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– пожар;</li> <li>– травма в результате падение с высоты собственного роста;</li> <li>– поражение электрическим током.</li> </ul>  |

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал консультант:**

| Должность   | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-------------|----------------|------------------------|---------|------------|
| Доцент ОЯТЦ | Передерин Ю.В. | к.т.н.                 |         | 21.04.2022 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО            | Подпись | Дата       |
|--------|----------------|---------|------------|
| 0A8A   | Сапожкова К.Е. |         | 21.04.2022 |

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа \_\_\_\_\_ инженерная школа ядерных технологий \_\_\_\_\_  
 Направление подготовки \_\_\_\_\_ 14.03.02 Ядерные физика и технологии \_\_\_\_\_  
 Уровень образования \_\_\_\_\_ бакалавриат \_\_\_\_\_  
 Отделение школы (НОЦ) \_\_\_\_\_ отделение ядерно-топливного цикла \_\_\_\_\_  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ весенний семестр 2021/2022 учебного года \_\_\_\_\_

Форма представления работы:

бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 03.06.2022 |
|--|------------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)       | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 03.02.2022    | Составление задания на ВКР и выбор направления исследования | 10                                 |
| 10.02.2022    | Разработка общей методики проведения исследования           | 10                                 |
| 02.03.2022    | Подбор и изучение материалов по теме                        | 10                                 |
| 05.04.2022    | Проведение необходимых экспериментальных исследований       | 30                                 |
| 15.04.2022    | Обработка полученных данных                                 | 20                                 |
| 10.05.2022    | Оформление выполненной работы                               | 10                                 |
| 26.05.2022    | Подготовка к защите   | 10                                 |

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

| Должность   | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ | Вуколов А.В. | к.ф.-м.н.              |         |      |

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

| Должность   | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Доцент ОЯТЦ | Бычков П.Н. | к.т.н.                 |         |      |

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 96 с., 28 рис., 24 табл., 35 источников, 2 приложения.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, радиационный контроль, накопительная камера, блок детектирования.

Объектом исследования являются радиоактивные аэрозоли, содержащие продукты альфа-распада радия.

Предметом исследования является накопительная камера для регистрации альфа-излучения.

Целью данной работы является разработка накопительной камеры для регистрации альфа-излучения на основе блока детектирования БДЗА2-01.

Практическое задание бакалаврской работы выполнялось в корпусе № 10 аудитории № 118 НИ ТПУ.

Для разработки накопительной камеры использовано паяльное оборудование. Потребовались знания программирования микроконтроллеров и построения блок-схем в интерфейсной программе. Для тестирования установки воспользовались изотопами ОСАИ.

Итогом работы является разработанная и полностью собранная накопительная камера на основе блока детектирования БДЗА2-01.

На практике устройство позволяет регистрировать уровень альфа-излучения в помещениях и в полевых условиях благодаря герметичному корпусу. После дальнейших тестовых измерений устройства его установят на территории института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

Область применения: экспериментальные площадки для проведения полевых измерений ионизирующего излучения.

Экономическая эффективность/значимость работы: изготовленное устройство позволяет обеспечить контроль радиационной обстановки

помещений и открытой местности за минимальную стоимость готового устройства.

## Оглавление

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 15 |
| 1 Источники ионизирующего излучения.....   | 16 |
| 1.1 Естественные источники ионизирующего излучения .....                             | 18 |
| 1.1.1 Радионуклиды.....  | 20 |
| 1.2 Искусственные источники ионизирующего излучения.....                             | 23 |
| 2 Конструкционные особенности детекторов.....  | 28 |
| 2.1 Способы контроля радиационной обстановки.....                                    | 28 |
| 2.2 Существующие конструкции.....  | 31 |
| 3 Разработка конструкции.....  | 37 |
| 3.1 Корпус и составляющие части конструкции.....                                     | 37 |
| 3.2 Программы.....   | 43 |
| 3.2.1 Код для микроконтроллера Arduino.....  | 43 |
| 3.2.2 Программное обеспечение на основе LabVIEW2018.....                             | 45 |
| 3.3 Сборка конструкции .....   | 48 |
| 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....               | 52 |
| 4.1 Потенциальные потребители .....  | 52 |
| 4.2 Анализ конкурентных технических решений.....                                     | 53 |
| 4.3 SWOT-анализ.....   | 55 |
| 4.4 Планирование научно-исследовательских работ.....                                 | 58 |
| 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования.....                            | 58 |
| 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения..... | 60 |
| 4.5 Бюджет научно-технического исследования .....                                    | 63 |

|   |    |
|---|----|
| 4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования .....   | 64 |
| 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование .....   | 65 |
| 4.5.3 Основная заработная плата исполнителей .....  | 65 |
| 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления) .....   | 67 |
| 4.5.5 Накладные расходы.....  | 68 |
| 4.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.....                                     | 69 |
| 4.7 Выводы по разделу.....  | 72 |
| 5 Социальная ответственность.....   | 73 |
| 5.1 Анализ вредных и опасных факторов .....   | 73 |
| 5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на персональном компьютере (ПК) ..... | 75 |
| 5.2.1 Организационные мероприятия.....  | 75 |
| 5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК.....  | 75 |
| 5.3 Микроклимат .....   | 78 |
| 5.4 Освещение.....  | 79 |
| 5.5 Шум .....   | 81 |
| 5.6 Электробезопасность .....   | 82 |
| 5.7 Пожаровзрывобезопасность.....   | 83 |
| 5.8 Аварийные ситуации.....   | 85 |
| 5.9 Выводы по разделу.....  | 86 |
| Заключение .....  | 88 |
| Список использованных источников .....  | 89 |

|  |    |
|--|----|
| Приложение А                           |    |
| Код для микроконтроллера Arduino ..... | 93 |
| Приложение Б                           |    |
| Блок-схема для микроконтроллера .....  | 96 |

## Введение

В настоящее время радиационный контроль необходим для предотвращения радиационных аварий и для оперативного принятия оптимальных решений по защите персонала, населения и окружающей среды. Система радиационной безопасности является комплексной и трудоемкой задачей. Для ее успешного решения используются специальные приборы - устройства контроля, обеспечивающие измерения радиационных параметров.

На данный момент в мире активно появляются новые разработки для измерения уровня ионизирующего излучения. Надежность, долгий срок эксплуатации и простота в использовании являются основными параметрами для любых детектирующих устройств, и с каждым днем эти свойства улучшают благодаря новым идеям и технологиям. Также немаловажна стоимость материалов и самого устройства – чем она ниже, тем выше спрос и конкурентоспособность.

Целью данной работы является разработка накопительной камеры для регистрации альфа-излучения на основе блока детектирования БДЗА2-01.

Для достижения цели работы были поставлены следующие задачи:

- рассмотреть и сравнить существующие конструкции для измерения альфа-излучения;
- разработать схему накопительной камеры;
- собрать и протестировать устройство.

## 1 Источники ионизирующего излучения

Ионизирующее излучение представляет собой поток частиц, которые способны ионизировать вещество [1]. Отличительным признаком ионизирующего излучения является то, что оно образует электрические заряды противоположных знаков, взаимодействуя со средой и непосредственно веществом. То есть из нейтральных атомов или молекул создаются электрически заряженные ионы. Частицы в потоке могут быть как заряженными, так и электрически нейтральными.

Существуют пять основных типов ионизирующего излучения:

1) Альфа-излучение представляет собой поток тяжелых заряженных частиц. Эти частицы состоят из двух протонов и нейтронов и называются подобно самому излучению – альфа-частицами. Они образуются в результате распада атомов таких элементов как уран, торий и радий. Данный тип излучения имеет малую проникающую способность. Остановить поток альфа-частиц может даже обычный лист бумаги. Но стоит заметить, что альфа-частицы имеют достаточно высокую ионизирующую силу. При попадании внутрь через пищу, воду или вдыхаемый воздух, они облучают внутренние органы и способны повредить клетки живого организма.

2) Бета-излучение представляет собой поток электронов или позитронов. Благодаря своим небольшим размерам, бета-частицы имеют большую проникающую способность, нежели альфа-частицы. Они образуются при распаде нейтрона в ядре. Остановить поток бета-частиц могут тонкие металлические слои, оконное стекло и иногда обычная одежда. Таким образом, данные частицы могут легко пройти через верхние слои кожи.

3) Нейтронное излучение представляет собой поток нейтронов, обладающих высокой проникающей способностью, благодаря отсутствию заряда. Данный тип излучения образуется при делении атомного ядра. Пролет высокоэнергетических нейтронов в воздухе может составлять сотни и тысячи

метров, а в твердых телах – несколько метров. Эти цифры варьируются в зависимости от энергии нейтронов и атомов вещества, с которыми происходит взаимодействие. Чтобы останавливать поток нейтронов на расстоянии менее метра, в качестве защиты используют барьеры из воды или бетона. Обычный источник нейтронного излучения находится внутри ядерного реактора [2].

4) Гамма-излучение представляет собой поток фотонов с высокой энергией. Эти частицы называют гамма-квантами. По своей природе это электромагнитное излучение с малой длиной волны. Оно образуется при переходах между возбужденными состояниями ядер атомов, в процессе ядерных реакций и при распадах и взаимодействиях элементарных частиц. Гамма-частицы проходят в веществе и воздухе достаточно большие расстояния и обладают большой проникающей способностью. Таким образом, гамма-кванты хорошо проникают в живые организмы и способны нанести вред и коже, и внутренним органам. При кратковременном облучении, но большой дозе облучение гамма-квантами может вызвать острую лучевую болезнь, а при продолжительном облучении может развиваться хроническая лучевая болезнь. Серьезными осложнениями лучевой болезни являются злокачественные образования. Однако при локальном воздействии гамма-излучение способно останавливать рост раковых клеток, что широко используется в медицине. В качестве защиты от гамма-излучения используют тяжелые и плотные вещества, например, железо и свинец.

5) Рентгеновское излучение подобно гамма-излучению, но занимает диапазон меньших энергий фотонов и частот. Главное их отличие в том, что при рентгеновском излучении гамма-квант образуется при взаимодействиях электронов или при переходах в атомной электронной оболочке, а при гамма-излучении – в ядерном переходе. Источниками рентгеновских лучей являются ускорители частиц и рентгеновская трубка. Рентгеновские лучи могут легко проникать через вещество и воздействовать на органы и ткани живых организмов. При несоблюдении мер защиты рентгеновское излучение может

стать причиной лучевой болезни. Данный тип излучения широко применяется в медицине – с его помощью можно получить изображение костей и внутренних органов. В лучевой терапии используют рентгеновские лучи, в частности при поверхностно расположенных органах. Также благодаря рентгеновским лучам определяют химический состав вещества и его структуру на атомном уровне [2].

### **1.1 Естественные источники ионизирующего излучения**

Ионизирующее излучение, создаваемое естественными источниками, образует естественный радиационный фон планеты Земля. Он включает в себя два основных компонента:

- космическое излучение;
- излучение от природных радионуклидов, находящихся в земной коре или воздухе.

Облучение от любых источников, естественных или искусственных, можно разделить на внешнее и внутреннее. При внешнем облучении источники находятся вне живого организма. Это относится к космическим лучам и радионуклидам в земной коре. Если радионуклиды попадают в организм путем вдыхания или проглатывания, то это можно отнести к внутреннему облучению.

Космические лучи представляют собой потоки частиц, движущихся с высокой энергией. Этими частицами являются фотоны, протоны, ядра гелия (альфа-частицы) и электроны [3].

Космические лучи, непосредственно влияющие на радиационный фон Земли, могут классифицироваться на следующие типы:

- 1) Галактические космические лучи. Их состав включает в себя протоны, электроны и позитроны. Их источниками можно назвать взрывы

сверхновых звезд, в процессе которых частицы ускоряются ударной волной. Это является причиной высоких энергий галактических лучей.

2) Солнечные космические лучи. Они состоят из протонов и имеют широкий диапазон энергий. Их энергия может колебаться вплоть до 100 МэВ. Перечисленные выше частицы образуются в результате солнечных вспышек, которые в свою очередь опасны во время космических полетов. Сама по себе солнечная вспышка представляет собой мощный взрыв на поверхности Солнца, выделяющий при этом колоссальную энергию. Всего за пару десятков минут образующиеся частицы от Солнца долетают до земного шара.

Галактические и солнечные лучи – это первичное космическое излучение. Взаимодействуя с атмосферой Земли, оно образует вторичное излучение, а точнее такие частицы как пионы, мюоны, нейтроны, позитроны, протоны и фотоны. Одна первичная частица может породить большое число вторичных.

После попадания в магнитное поле Земли, заряженные частицы образуют радиационные пояса. Внутренний пояс Земли состоит из электронов и протонов высоких энергий, а внешний – из электронов меньших энергий. Во время высокой активности Солнца радиационные пояса становятся серьезным препятствием для космических лучей.

Облучение от космических лучей является неравномерным. Оно зависит от активности Солнца и высоты над уровнем моря. Чем она выше, тем сильнее воздействие космических лучей на тот или иной объект. На рисунке 1 показана зависимость солнечного излучения при минимальной и максимальной активности Солнца от географической широты и высоты объекта над уровнем моря [3].

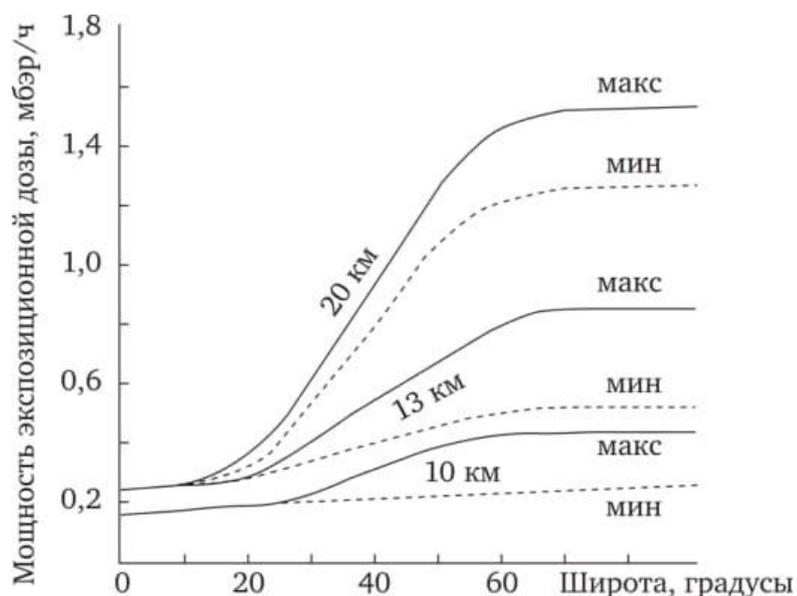


Рисунок 1. Зависимость мощности солнечного излучения от высоты объекта над уровнем моря и географической широты при минимальной и максимальной солнечной активности

Исходя из полученных зависимостей можно сделать вывод, что величина солнечного излучения возрастает при увеличении высоты над уровнем моря и географической широты. Таким образом, интенсивность излучения ниже на экваторе, так как на нем угол широты составляет 0 градусов.

### 1.1.1 Радионуклиды

Радионуклиды являются нестабильными элементами и в процессе распада они испускают энергию в виде ионизирующего излучения [4]. Природные радионуклиды являются неотъемлемой частью естественного радиационного фона земного шара. В таблице 1 приведены основные природные радионуклиды, находящиеся на Земле.

Таблица 1 - Характеристика некоторых природных радионуклидов

| Радионуклид | Весовое содержание в земной коре | Период полураспада, лет | Тип распада         |
|-------------|----------------------------------|-------------------------|---------------------|
| Уран-238    | $3 \cdot 10^{-6}$                | $4.5 \cdot 10^9$        | Альфа-распад        |
| Торий-232   | $8 \cdot 10^{-6}$                | $1.4 \cdot 10^{10}$     | Альфа, гамма-распад |
| Лютеций-176 | $3 \cdot 10^{-8}$                | $2.1 \cdot 10^{10}$     | Бета-, гамма-распад |
| Рубидий-87  | $8.4 \cdot 10^{-5}$              | $4.7 \cdot 10^{10}$     | Бета-распад         |
| Калий-40    | $3 \cdot 10^{-16}$               | $1.3 \cdot 10^9$        | Бета-, гамма-распад |
| Лантан-138  | $1.6 \cdot 10^{-8}$              | $1.1 \cdot 10^{11}$     | Бета-, гамма-распад |
| Самарий-147 | $1.2 \cdot 10^{-6}$              | $1.2 \cdot 10^{11}$     | Альфа-распад        |
| Ванадий-50  | $4.5 \cdot 10^{-7}$              | $5 \cdot 10^{14}$       | Гамма-распад        |
| Индий-115   | $1 \cdot 10^{-7}$                | $6 \cdot 10^{14}$       | Бета-распад         |

Как видно из таблицы 1, радионуклиды делятся по типу испускаемого излучения:  $\alpha$ -излучатели;  $\beta$ -излучатели;  $\gamma$ -излучатели. Главными характеристиками радионуклидов являются активность, энергия излучения и период полураспада – это время, за которое распадается половина радиоактивных ядер от первоначального количества данного радионуклида.

Главное отличие радионуклидных источников ионизирующего излучения от всех остальных в том, что их излучение непрерывно. Его интенсивность может уменьшаться только по причине радиоактивного распада радионуклидов [4].

Уран-238 является главным радионуклидом в урановых рудах. Он является долгоживущим наряду с такими элементами как уран-234, торий-230, радий-226 и полоний-210. Одним их опаснейших газообразных радионуклидов является радон.

Радиоактивные источники, которые имеют большой атомный вес, являются  $\alpha$ -излучателями. К ним относится большинство изотопов тория и

урана. Некоторые из  $\alpha$ -излучателей способны сами или за счет дочерних нуклидов испускать  $\gamma$ -излучение, например, торий-232. Стоит помнить, что альфа-излучение имеет потенциальную опасность, так как при попадании внутрь организма способно вызывать поражения внутренних органов и тканей в 20 раз сильнее, чем гамма-излучение, при равной дозе облучения.

Гамма-излучателями являются большинство известных на данный момент радионуклидов. Известно, что гамма-излучение – это в первую очередь электромагнитное излучение, обладающее высокой проникающей способностью. Оно является опасным для здоровья человека при внешнем и внутреннем облучении. Радионуклиды, испускающие гамма-излучение, имеют обширное применение: в медицине, радиационной физике, радиационной химии, сельском хозяйстве, для очистки промышленных стоков [5].

Ионизирующее излучение действует на человека в любой точке земного шара. Даже находясь в здании, на живые организмы действует внешнее излучение. Большую роль в этом играют радионуклиды, являющиеся частью составов строительных материалов, из которых сделан дом. Например, в деревянных домах мощность дозы внешнего излучения в несколько раз меньше, чем в кирпичных, каменных и бетонных.

Большую роль в естественном облучении человека играет радон. Радон – это простое вещество, которое в нормальных условиях представляет собой бесцветный инертный газ. Радон, являющийся тяжелым газом, не имеет полностью стабильных изотопов. Самый устойчивый из них -  $^{222}\text{Rn}$ . Его период полураспада составляет четыре дня.  $^{222}\text{Rn}$  входит в природное радиоактивное семейство урана-238 и является продуктом распада радия-226. Когда речь идет о радоне, принято иметь в виду именно этот изотоп.

Концентрация радона в воздухе зависит от таких факторов как погода и геологическая обстановка. Так, например, гранит, содержащий природный уран, является активным источником радона. Наличие осадков препятствуют выходу радона в воздух – дождь и снег заполняют микротрещины в почве.

Радон выходит на поверхность через эти трещины, а также вместе с подземной водой и различными разломами. Сам человек способствует выходу радона на поверхность путем создания шахт и месторождений по добыче руды.

Радон, особенно при большой концентрации, несет опасность для здоровья человека из-за своей токсичности. Продукты распада радона попадают в легкие человека вместе с воздухом и задерживаются в них. При распаде радона выделяются альфа-частицы, поражающие внутренние органы и ткани. Данный процесс происходит в легких и вызывает внутренние ожоги. Именно по этой причине данный газ является одним из главных факторов риска рака легких.

Ключевая величина, характеризующая активность радона на конкретном участке или в помещении – плотность потока. Определяя плотность потока радона, можно сделать вывод, насколько исследуемый объект пригоден для жизни и нахождения в нем [5].

Источников радона несколько – это могут быть грунтовые воды, почва, уголь, природный газ. Радон способен выделяться из строительных материалов, которые содержат в своем составе радий. Примером такого материала является фосфогипс.

Стоит отметить, что в зимний период наблюдаются достаточно высокие уровни концентрации радона в зданиях. Причина этого – плотно закрытые окна. Из-за невозможности рассеиваться, радон проникает в здание через фундамент и остается внутри.

## **1.2 Искусственные источники ионизирующего излучения**

В настоящее время благодаря деятельности человека были созданы искусственные радионуклиды и промышленные источники излучения. Однако наибольший вклад в облучение человека вносят медицинские обследования, в частности, рентгенологические (диагностика) и лучевая терапия. Базовыми из

медицинских диагностических обследований являются флюорография и рентген зубов. Их необходимо делать регулярно.

Их промышленных источников ионизирующего излучения главными являются ускорители заряженных частиц. Благодаря ним можно получить поток частиц с очень высокой энергией, которая будет в разы превосходить энергию от природных радионуклидов. Высокие энергии заряженных частиц испускаются за счет действия электрического поля с направлением вдоль импульса заряженной частицы [6].

Промышленные источники отличаются от естественных тем, что излучение от них можно остановить, просто прекратив работу того или иного устройства. Естественные источники, наоборот, излучают постоянно.

В процессе работы ускорителей возникает четыре типа ионизирующего излучения:

- первичное излучение – создается частицами непосредственно в процессе ускорения;
- вторичное излучение – возникает при взаимодействии ускоренной частицы с материалами ускорителя, мишенями и различной аппаратурой;
- рассеянное излучение – возникает при взаимодействии вторичного излучения с материалами ускорителя, аппаратурой и мишенями;
- остаточное излучение – возникает при образовании наведенной активности после взаимодействия материалов с излучением.

По характеру траектории частиц ускорители делятся на два типа - циклические и линейные. В циклических траектория имеет вид спирали, а в линейных – вид, близкий к прямой линии [6].

В таблице 2 указаны основные циклические и линейные ускорители с их характеристиками.

Таблица 2 - Основные типы ускорителей заряженных частиц

| Тип ускорителя | Название ускорителя                                 | Ускоряемые частицы          | Энергия, МэВ |
|----------------|---|-----------------------------|--------------|
| Циклический    | Бетатрон  | Электроны                   | 100-150      |
|                | Циклотрон, микроотрон                               | Протоны (и ионы), электроны | 20-25        |
|                | Изохронный циклотрон, секторный микроотрон          | Протоны, электроны          | До 1000      |
|                | Фазотрон  | Протоны                     | До 1000      |
| Линейный       | Электростатический ускоритель, каскадный ускоритель | Протоны, электроны          | До 20        |
|                | Линейный индукционный ускоритель                    | Электроны                   | 50-100       |
|                | Линейный резонансный ускоритель                     | Протоны, электроны          | До 50 тыс.   |

Линейный ускоритель является основой в аппаратах лучевой терапии. Заряженные частицы в данных ускорителях проходят каждые ускоряющие промежутки один раз. Схема линейного ускорителя представлена на рисунке 2.

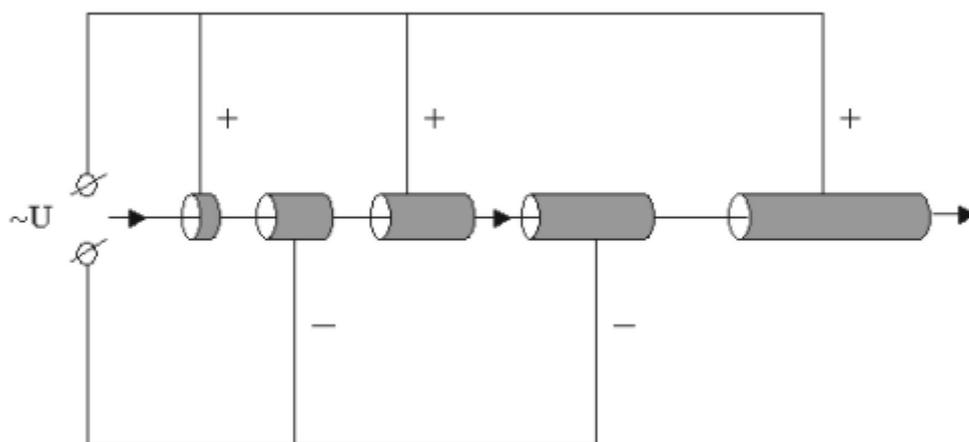


Рисунок 2. Схема устройства линейного ускорителя

Как видно из рисунка, линейный ускоритель состоит из установленных в ряд цилиндрических трубок с определенным промежутком. Частица, пролетая через трубки, в промежутках приобретает многократное ускорение. Ускоряющее поле сосредоточено в промежутках между трубками. Длина трубок постепенно увеличивается, так как скорость частицы после ускорения в предыдущем промежутке возрастает. Чем больше трубок и промежутков, тем сильнее можно разогнать частицы [7].

В циклических ускорителях частицы несколько раз проходят одни и те же ускоряющие промежутки. За счет этого их энергия увеличивается. Постоянное магнитное поле наблюдается в циклотронах и фазотронах, а переменное – в синхротронах и бетатронах. В случае переменного магнитного поля темп ускорения частиц напрямую связан с темпом роста магнитного поля.

В медицине широко используются ускорители заряженных частиц. Их применение основано на лечении пациентов с онкологическими заболеваниями и удалении злокачественных опухолей. Для этих целей используются бетатроны, микротроны и линейные ускорители. Основная задача лучевой терапии – повредить спирали ДНК раковых клеток, предотвратить их деление и привести к гибели.

Ускорители электронов необходимы для терапии поверхностных опухолей. Глубина проникновения электронов зависит от их энергии и подвергается регулировке. А лучшими характеристиками для лучевой терапии обладают тяжелые ионы. Они хуже рассеиваются в отличие от протонов, благодаря чему могут глубоко проникать в организм и поражать внутренние опухоли.

Также ускорители заряженных частиц находят применение в стерилизации медицинской аппаратуры и инструментов и производстве препаратов в области радиационной фармакологии. С помощью ускорителей можно проводить неразрушающий контроль, изготавливать элементы микроэлектроники и модифицировать свойства материалов.

Лишь 1 % от всех существующих в настоящее время ускорителей используется для научных исследований в области ядерной физики, физики элементарных частиц и твердого тела. Пучки вторичных частиц нашли применение в области химических и биофизических исследований [7].

## **2 Конструкционные особенности детекторов**

### **2.1 Способы контроля радиационной обстановки**

Обеспечение радиационной безопасности является полноценной системой, включающей в себя контроль радиационной обстановки. Главная цель проведения этих действий – контроль условий, в которых воздействие ионизирующего излучения может нанести вред человеку и его здоровью. В контроль радиационной обстановки обязательно включают поддержание работы радиационного объекта и его отдельных технологических систем в рамках оптимального технологического регламента [8].

Контроль радиационной обстановки включает в себя дозиметрический и радиометрический контроль. Они проводятся с помощью специальных приборов и систем. Данные системы работают автоматически и обеспечивают безопасность помещения, в котором находятся радиационно-опасные объекты, а также помогают принять решение в случае непредвиденной аварии. Проведение дозиметрического и радиометрического контроля помогает решить следующие задачи:

- подтвердить факт и оценить степень радиоактивного заражения окружающей среды и ее элементов (например, воздух, вода, техника, здания, одежда);
- огородить зоны, подвергшиеся радиоактивному заражению;
- назначить и провести дезактивацию зараженного объекта;
- измерить дозы облучения, которые люди могли получить при нахождении в зараженной зоне.

При контроле радиационной обстановки на ядерном объекте учитываются такие параметры как особенность технологических процессов, потенциальная радиационная опасность, категория объекта. Также должны быть учтены дополнительные параметры, характеризующие уровень облучения разных категорий лиц.

Контроль радиационной обстановки проводят непосредственно в производственных помещениях радиационного объекта, на его территории, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения [9].

Контроль радиационной обстановки можно классифицировать на индивидуальный и групповой. При индивидуальном контроле используются приборные устройства, а при групповом – либо приборные средства, либо расчетные методы. Для индивидуального контроля применяются индивидуальные дозиметры, а для группового – сигнализаторы и дозиметры. Расчетный метод заключается в определении дозы излучения по существующим средним уровням. Учитывается степень защиты и продолжительность облучения.

Цель проведения индивидуального контроля – получение данных о дозе облучения каждого работника, находящемся в зараженной зоне. А групповой контроль проводится для получения данных о средней дозе облучения всего персонала.

Для контроля радиационной обстановки используются устройства, которые должны обеспечивать измерения радиационных параметров. В дальнейшем по полученным параметрам проводится оценка доз внешнего и внутреннего облучения и сравнение с установленными значениями уровня контрольного. Контрольный уровень не является допустимым значением контролируемой величины. Он создан для того, чтобы в ситуациях, когда уровень контроля превышает, соблюдать определенные установленные действия.

При измерении ионизирующего излучения в помещении, содержащем радиационный объект, учитывают требования и характеристики приборов. Также приборы подбираются в соответствии с обстоятельствами, при которых они используются (например, лабораторные или промышленные условия). В таблице 3 приведены основные приборы для контроля радиационной обстановки, их характеристики и применение [10].

Таблица 3 - Существующие приборы для измерения уровня ионизирующего излучения

| Прибор                               | Применение  | Преимущества  | Недостатки  |
|--------------------------------------|---|---|---|
| Сцинтилляционный детектор            | Гамма-излучение, рентгеновское излучение          | Высокая эффективность, данные о конкретном нуклиде            | Температурная нестабильность, ограниченное разрешение                       |
| Фотопленочный дозиметр               | Гамма-, бета-излучение, индивидуальная дозиметрия | Простота, использование при смешанном излучении               | Считывание данных только в лабораторных условиях, одноразовое использование |
| Пропорциональный счетчик             | Альфа-, бета-излучение, мониторинг загрязнения    | Эффективность   | Высокая чувствительность к повреждениям                                     |
| Ионизационная камера                 | Гамма- бета-излучение, мониторинг мощности дозы   | Хорошие дозиметрические характеристики                        | Чувствительность к условиям окружающей среды                                |
| Жидкостный сцинтилляционный детектор | Бета-излучение, анализ трития                     | Высокая эффективность для низкоэнергетического бета-излучения | Радиохимическая подготовка проб   |
| Счетчик Гейгера-Мюллера              | Гамма-излучение, мониторинг мощности дозы         | Быстрота отклика, простота, прочность                         | Ограниченный энергетический диапазон  |
| Полупроводниковый детектор           | Гамма-излучение, рентгеновское излучение          | Большой диапазон энергий, прочность                           | Малая эффективность при больших энергиях                                    |

## 2.2 Существующие конструкции

Для измерения плотности потока радона, претерпевающего альфа-распад, широко используют накопительные камеры. Они позволяют измерять уровень альфа-излучения в почве, воздухе и даже воде [11].

Существует две принципиальные схемы камер: с открытым объемом камеры (рис. 3, а) и с замкнутым объемом (рис. 3, б-в).

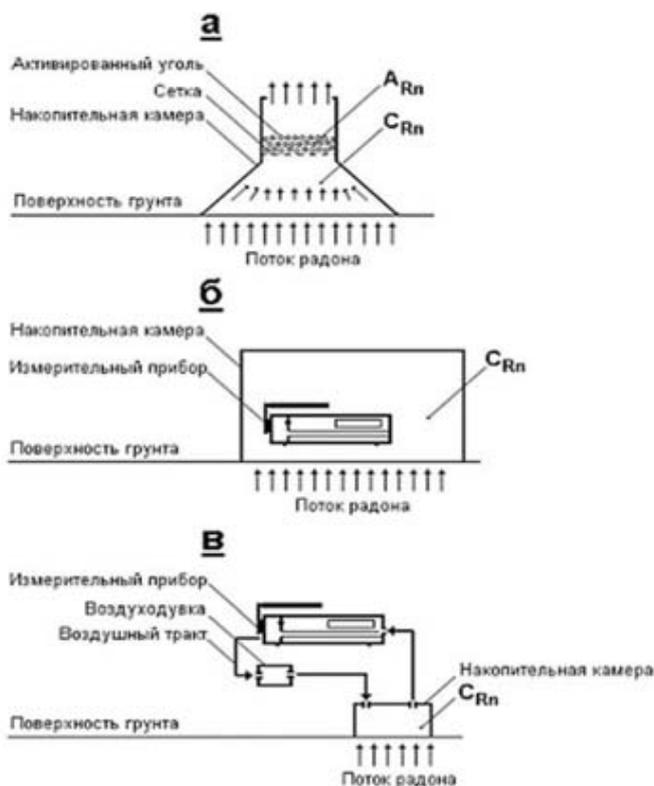


Рисунок 3. Схемы накопительных камер для измерения плотности потока радона: а) открытый объем; б-в) замкнутый объем

В проточной схеме (а) поток воздуха без препятствий проникает через слой активированного угля в накопительной камере, а затем выходит наружу. В итоге весь содержащийся в воздушном потоке радон задерживается в слое угля. В этом слое он постепенно накапливается. Данное накопление имеет линейный характер.

Схемы (б) и (в) носят название классических схем и практически одинаковы между собой. Их главное отличие в том, что в схеме (б) прибор

помещен внутри накопительной емкости, а в схеме (в) – вне накопительной емкости, из-за чего требуется постоянная прокачка воздуха из емкости в камеру для измерений (пробоотборник) и обратно. Таким образом, в схеме (в) обязательно используется воздуходувка [11].

«Альфарад плюс» является радиометром радона и торона. Принцип его действия основан на электростатическом осаждении заряженных ионов из отобранной пробы воздуха на поверхность полупроводникового детектора, расположенного в измерительной камере.

С помощью данного прибора можно проводить измерение объемной активности радона и торона в воздухе, а также измерять содержание радона в пробах воды и грунта. Для этого в комплекте идут пробоотборники и воздуходувка. Благодаря небольшим размерам, радиометр является переносным и может использоваться в полевых условиях. Устройство показано на рисунке 4.

В «Альфарад плюс» включены разные режимы измерений. Используя данный радиометр, можно обрабатывать результаты, а затем сохранять ее на компьютер. Для этого используется карта памяти [12].



Рисунок 4. Внешний вид радиометра «Альфарад плюс»

Как видно по внешнему виду радиометра, у него есть специальный сенсорный дисплей, с помощью которого можно представить результаты в графическом виде. Он может измерять объемную активность, плотность потока, а также климат (температура, влажность, давление).

Существует три модификации «Альфарад плюс», отличающиеся по составу блоков измерения. Они представлены на рисунке 5.



Рисунок 5. Модификации Комплекса «Альфарад плюс»

Каждая из представленных выше модификаций является измерительным комплексом для мониторинга объемной активности радона и торона.

В комплекте радиометра «Альфарад плюс-АР» имеется блок измерения эквивалентной равновесной объемной активности и блок измерения объемной активности.

«Альфарад плюс-А» содержит только блок измерения ЭРОА.

«Альфарад плюс-Р» имеет блок измерения ОА.

«Альфарад плюс-АР» и «Альфарад плюс-Р» можно использовать с автономной воздуходувкой и пробоотборниками.

Каждый из представленных измерительных комплексов имеет защиту от несанкционированного доступа к рабочим частям блока. Это необходимо для того, чтобы предотвратить воздействие на блок, которое может повлиять на результаты измерений. Это осуществляется с помощью специальных

пломб, которые устанавливаются на места возможного доступа к рабочим частям блоков [12].

Еще одним примером измерительного комплекса для мониторинга радона является КАМЕРА-01 (рис. 6).



Рисунок 6. Внешний вид измерительного устройства – КАМЕРА-01

Данное устройство может измерять объемную активность в воздухе, среднюю объемную активность, плотность потока радона в воде и на поверхности земли. В данной установке используется метод сорбции радона на активированном угле с последующим измерением активности сорбированного радона в лабораторных или полевых условиях. В качестве пассивного пробоотборника применяется накопительная камера, содержащая внутри рабочий слой активированного угля [13].

Из зарубежных производителей стоит отметить немецкую фирму «SARAD GmbH». Радиометр RTM-2200 позволяет измерять только объемную активность радона и торона в отличие от ранее рассмотренных радиометров «Альфарад плюс» и «КАМЕРА-01», которые являются комбинированными и позволяют измерять и объемную активность, и плотность потока [14].

К радиометру RTM-2200 можно подключить до 4 дополнительных радоновых камер (исследования почвенных газов, датчиков в помещении), и тем самым обеспечивается возможность одновременно измерять концентрацию радона в нескольких помещениях, используя один монитор. Его внешний вид приведен на рисунке 7.



Рисунок 7. Немецкий радиометр RTM-2200

Работа измерительной камеры основана на принципе электростатического осаждения в поле высокого напряжения и, несмотря на малый объём, камера обладает невероятной чувствительностью. Для каждого измеренного значения прибор сохраняет полный альфа-спектр. Это обеспечивает точность полученных данных в любой момент измерения.

Для сравнения стоимости трех рассмотренных радиометров в качестве источника взяли гипермаркет профоборудования.

Стоимость радиометра «КАМЕРА-01» - 873000 рублей. Страна-производитель – Россия.

Стоимость радиометра «Альфарад плюс» различается в зависимости от комплектации и модификации. Так, например, «Альфарад плюс», включающий в себя набор автономной воздуходувки с пробоотборниками стоит 277000 рублей. «Альфарад плюс-А», который позволяет измерять только ЭРОА радона и торона стоит 173000 рублей. А стоимость радиометра «Альфарад плюс-АР», в котором имеется блок измерения эквивалентной равновесной объемной активности и блок измерения объемной активности,

намного выше и составляет 350000 рублей. Страна-производитель данных радиометров – Россия.

Стоимость немецкого радиометра RTM-2200 составляет более миллиона рублей.

Все существующие конструкции по измерению уровня объемной активности радиоактивных газов решают следующие задачи:

- проведение радиационно-гигиенических обследований зданий, сдаваемых в эксплуатацию после окончания строительства, реконструкции или капитального ремонта, а также действующих жилых, общественных и производственных зданий;
- классифицирование объектов по степени радиационной опасности;
- поиск источников поступления радиоактивных газов в здания и сооружения;
- оценка радиационной обстановки в рудниках;
- поиски месторождений урана.

### 3 Разработка конструкции

Блок детектирования БДЗА2-01 необходим для регистрации альфа-излучения в интервале энергий от 4,18 до 5,15 МэВ. Данное устройство позволяет регистрировать альфа-излучение с загрязненной поверхности. Его принцип работы основан на регистрации альфа-излучения детектором ZnS (Ag). Таким образом, устройство представляет собой детектор на основе люминофора ZnS (Ag) и органического стекла. Альфа-частица попадает в люминофорный слой ZnS (Ag) и вызывает появление вспышки света. Данные световые вспышки преобразуются фотоумножителем в электрические импульсы, которые усиливаются блоком выходного каскада. Полученные на выходе блока детектирования импульсы напряжения пропорциональны распределению альфа-частиц по энергиям.

#### 3.1 Корпус и составляющие части конструкции

Внешний вид блока детектирования БДЗА2-01 представлен на рисунке 8.



Рисунок 8. Внешний вид блока детектирования БДЗА2-01

Чертеж конструкции представлен на рисунке 9.

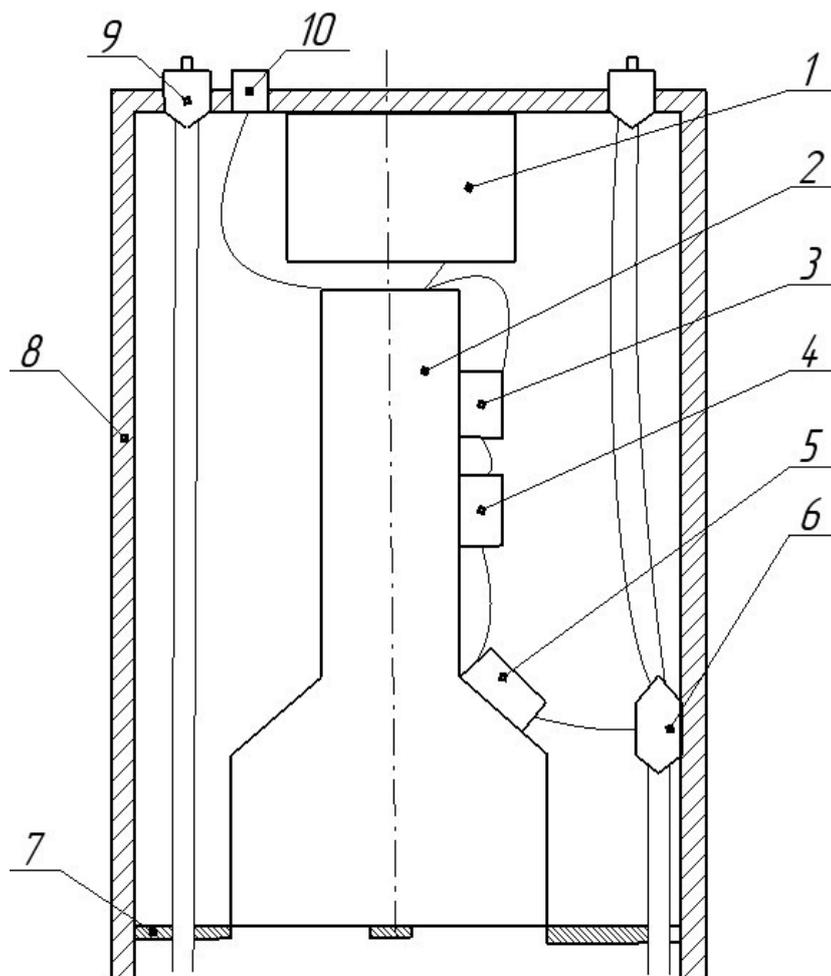


Рисунок 9. Схема конструкции: 1 – блок питания; 2 – Блок детектирования; 3 – стабилизатор напряжения; 4 – счетчик на основе микроконтроллера Arduino; 5 – Реле; 6 – насос; 7 – опора для блока детектирования; 8 – корпус; 9 – клапан; 10 – вход

Общий принцип работы сконструированного устройства следующий: с блока питания 1 подается напряжение на детектор 2, который, в свою очередь, соединен со счетчиком 4 через стабилизатор напряжения 3 для защиты от перепадов. Микроконтроллер Arduino 4 связан с реле 5, которое осуществляет контроль над насосом 6, которая позволяет закачивать новый воздух через клапаны 9. В корпус 8 встроена опора 7 для того, чтобы блок детектирования оказался над землей для снятия пробы. Вход USB 10 нужен для подключения к компьютеру для снятия показаний.

Общая схема накопительной камеры представлена на рисунке 10.

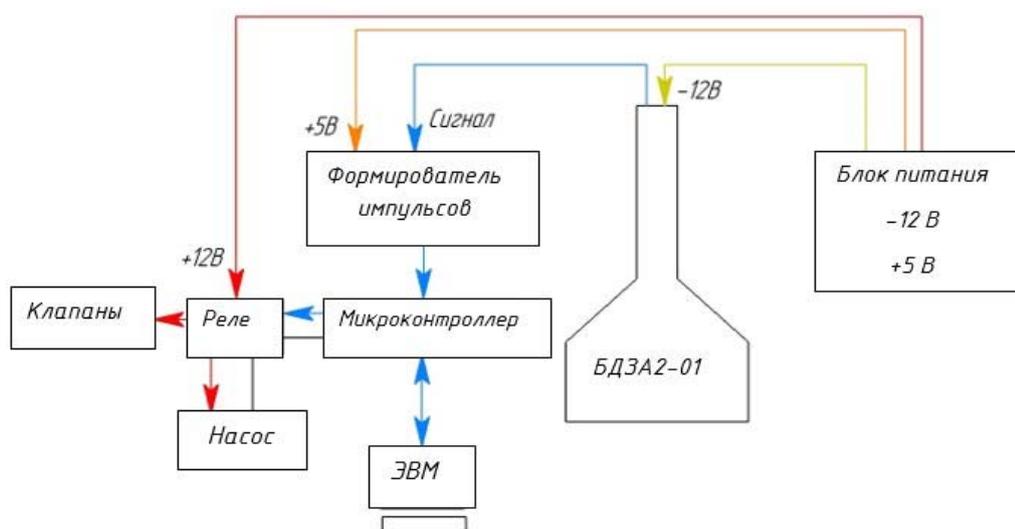


Рисунок 10. Схема камеры для регистрации альфа-излучения

Для питания блока детектирования используется компьютерный блок питания на 12В. Сигнал в виде электрических импульсов с датчика идет на формирователь импульсов для усиления сигнала. После этого преобразованный сигнал идет на плату Arduino, с которой уже идет на компьютер. Для того, чтобы в накопительной камере не скапливались излишки радиоактивных газов, используется специальный насос, который выполняет роль продувки (вентилятора). Для его управления (регулировка времени включения и выключения) используется электромагнитное реле, к которому также подключаются клапаны, открывающие и закрывающие доступ к внешней среде.

В установку входит формирователь импульсов - это электронное устройства для генерирования и преобразования электрических импульсов.

Для данной работы был разработан формирователь, главным элементом которого является усилитель LM358.

Микросхема LM358 в одном корпусе содержит два независимых маломощных операционных усилителя с высоким коэффициентом усиления и частотной компенсацией. Данная микросхема отличается низким потреблением тока. Особенность данного усилителя – возможность работать в

схемах с однополярным питанием от 3 до 32 вольт. Выход имеет защиту от короткого замыкания [15].

По документации LM358 можно увидеть, что в одном корпусе заключено сразу два операционных усилителя. Следовательно, в каждом имеется два входа и столько же выходов. Две ножки предназначены для подачи питающего напряжения. Всего микросхема имеет восемь выводов. Внешний вид формирователя LM358 и его схема представлены на рисунке 11.

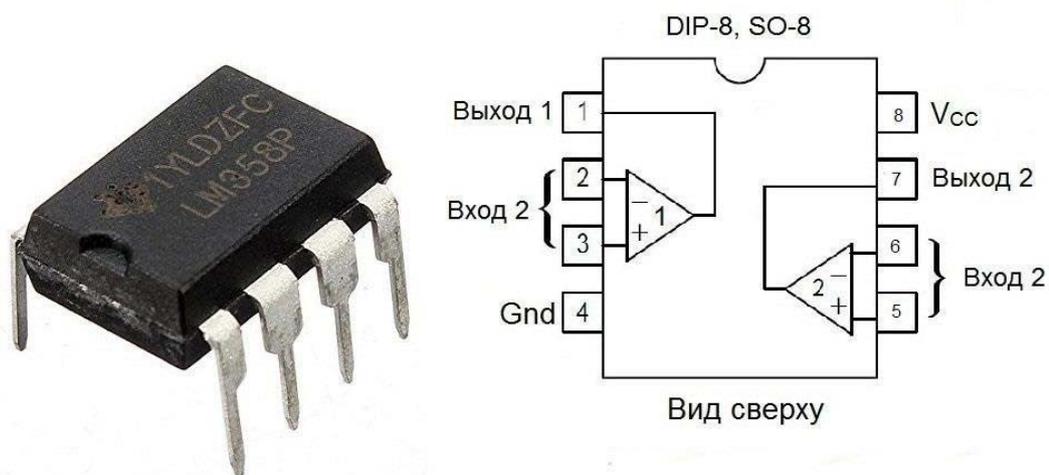


Рисунок 11. Формирователь импульсов LM358

Формирователь импульсов был доработан и усовершенствован путем внедрения усилителя LM358. Итоговая схема представлена на рисунке 12.

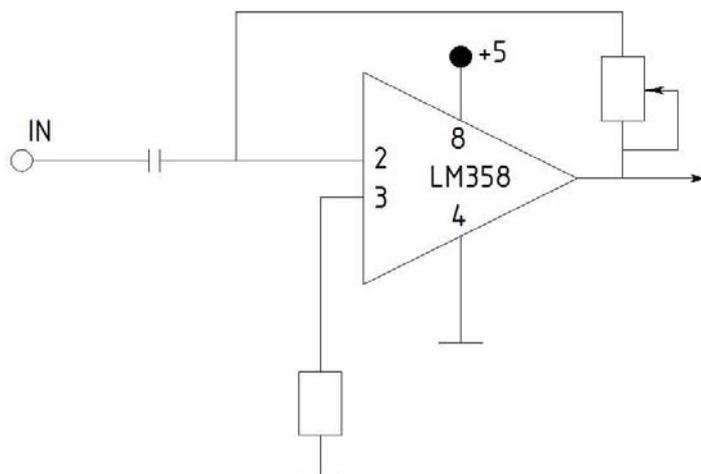


Рисунок 12. Схема формирователя импульсов

Вид формирователя непосредственно в конструкции блока детектирования представлен на рисунке 13.

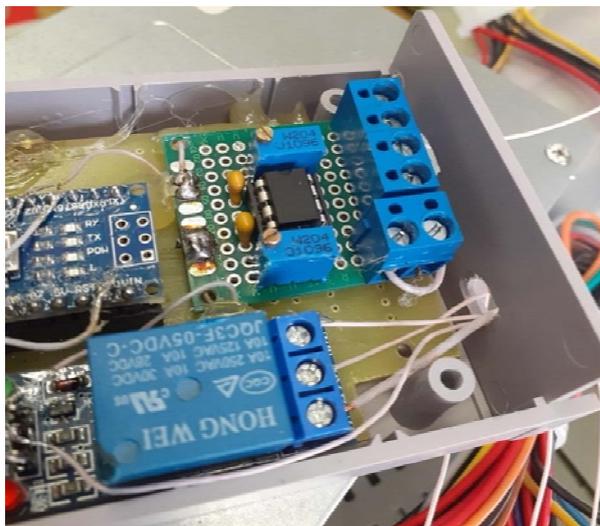


Рисунок 13. Формирователь импульсов в конструкции БДЗА2-01

За правильное функционирование продувки и клапанов отвечает реле. Оно является одной из самых важных составляющих частей блока детектирования. Именно реле питает и управляет работой системы продувки камеры накопления. Его внешний вид представлен на рисунке 14.



Рисунок 14. Электромагнитное реле

Питание на реле идет напрямую от блока питания (12В постоянного напряжения). Программируется реле при помощи специального счетчика на основе микроконтроллера «Arduino».

Для того, чтобы в накопительную камеру не поступал лишний воздух, искажая результаты измерений, в камере предусмотрены специальные клапаны, которые будут открываться и закрываться с определенной периодичностью для равномерного очищения камеры накопления от излишков радиоактивных газов. Внешний вид такого клапана представлен на рисунке 15.



Рисунок 15. Электромагнитный клапан

Данные клапаны подключаются к электромагнитному реле, которое ими же и управляет. Питание клапанов – 12В постоянного напряжения.

Для удаления излишков радиоактивных газов из накопительной камеры была использована компактная «продувка», состоящая из вентилятора ( $\approx 25 \times 25$  мм), двух диффузоров и пластикового корпуса, в который помещался вентилятор. Данная конструкция питалась от реле. Ее внешний вид представлен на рисунке 16.



Рисунок 16. Ранее использованная продувка

Но с целью увеличить скорость удаления воздуха, данная продувка и электромагнитный клапан в дальнейшем были заменены насосом, используемым в кофеварочных устройствах – «насос Defond Phoenix-50 B2P для кофемашин Krups и Moulinex» (см. рис. 17). Данная замена позволила сделать продувку более мощной, а саму установку - более компактной. Таким образом, насос выполняет функцию вентилятора и клапана.



Рисунок 17. Насос, использующийся в качестве продувки

## 3.2 Программы

### 3.2.1 Код для микроконтроллера Arduino

Счетчик на основе микроконтроллера Arduino является неотъемлемой частью конструкции. Arduino — это небольшая плата с собственным

процессором и памятью (см. рис. 18). На плате также есть пара десятков контактов, к которым можно подключать всевозможные компоненты.



Рисунок 18. Внешний вид Arduino

Устройство не нуждается в использовании программаторов, так как у него есть выход USB. Программное обеспечение Arduino представляет собой инструменты с открытым исходным кодом, доступные для расширения опытными программистами [16].

В таблице 4 представлены технические характеристики «Arduino Nano» [17].

Таблица 4 - Технические характеристики «Arduino Nano»

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| Микроконтроллер                    | Atmel ATmega168 или ATmega328           |
| Рабочее напряжение                 | 5 В                                     |
| Входное напряжение (рекомендуемое) | 7-12 В                                  |
| Входное напряжение (предельное)    | 6-20 В                                  |
| Цифровые Входы/Выходы              | 14                                      |
| Аналоговые входы                   | 8                                       |
| Постоянный ток через вход/выход    | 40 мА                                   |
| Флеш-память                        | 16 Кб (ATmega168) или 32 Кб (ATmega328) |
| Тактовая частота                   | 16 МГц                                  |
| Размеры                            | 1.85 см x 4.2 см                        |

Среда разработки Arduino состоит из встроенного текстового редактора программного кода, области сообщений, окна вывода текста, панели инструментов с кнопками часто используемых команд и нескольких меню. Для загрузки программ и связи среда разработки подключается к аппаратной части Arduino [18].

Помимо самого счетчика импульсов для микроконтроллера ArduinoNano была написана программа, отвечающая за открытие и закрытие клапанов продувки путем управления реле. Код программы Arduino представлен в приложении А.

При подключении устройства к ПК через USB, используется программа Arduino и полученный ранее код. На экране монитора ПК выводятся значения, считанные с детектора. На мониторе отображается количество радиоактивных частиц, прошедших через детектор.

### **3.2.2 Программное обеспечение на основе LabVIEW2018**

LabVIEW - это программное обеспечение для системного проектирования приложений с быстрым доступом к аппаратному обеспечению и аналитическим данным [19].

С помощью данной программы можно решать инженерные задачи различных областей применения и даже создать собственную визуализацию реальных сигналов на основе данных. Данное программное обеспечение позволяет создавать гибкие тестовые приложения, управляющие сразу несколькими приборами, а также разрабатывать пользовательские интерфейсы для оптимизации производительности производственных тестов и операционных затрат [20].

Внешний интерфейс LabVIEW2018 представлен на рисунке 19.

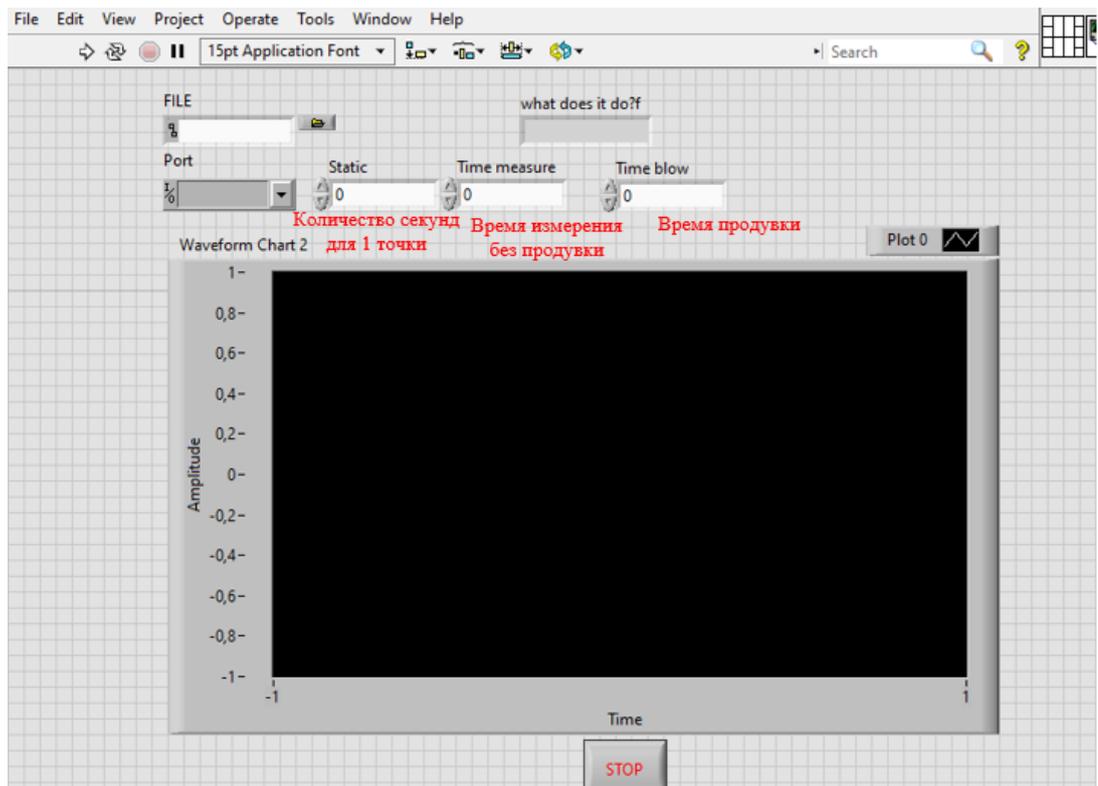


Рисунок 19. Интерфейс LabVIEW2018

На рисунке 20 представлена схема устройства, по которой проходит сигнал и транслируется на экране.

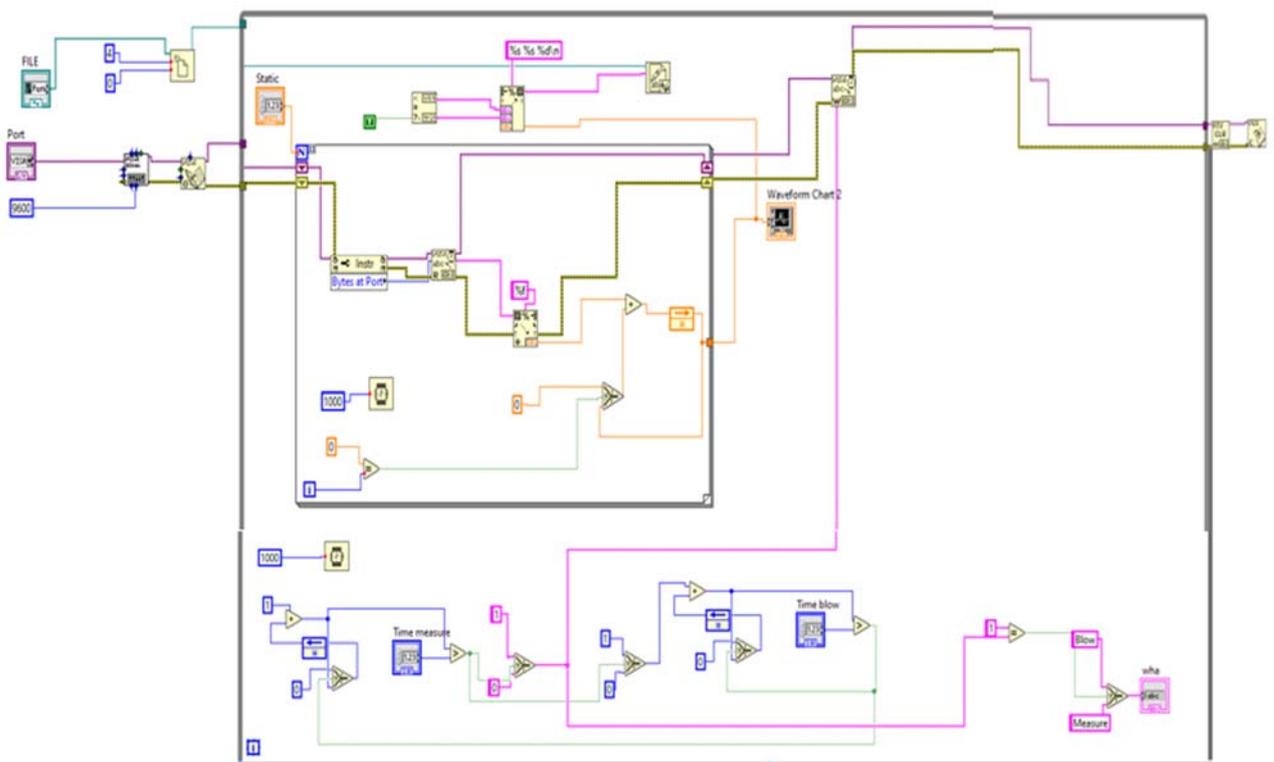


Рисунок 20. Схема в LabVIEW2018

Для понимания получаемых схем необходимо знать основные типы данных, которые в данных схемах используются. На рисунке 21 показаны основные типы, которые отличаются по цвету и структуре.

Логический тип является классическим типом Bool и принимает два значения — Истина (True) или Ложно (False), Отображаются зеленым цветом [21].

Комплексные числа — числа с мнимой единицей, также делятся по точности представления. Отображаются оранжевым цветом.

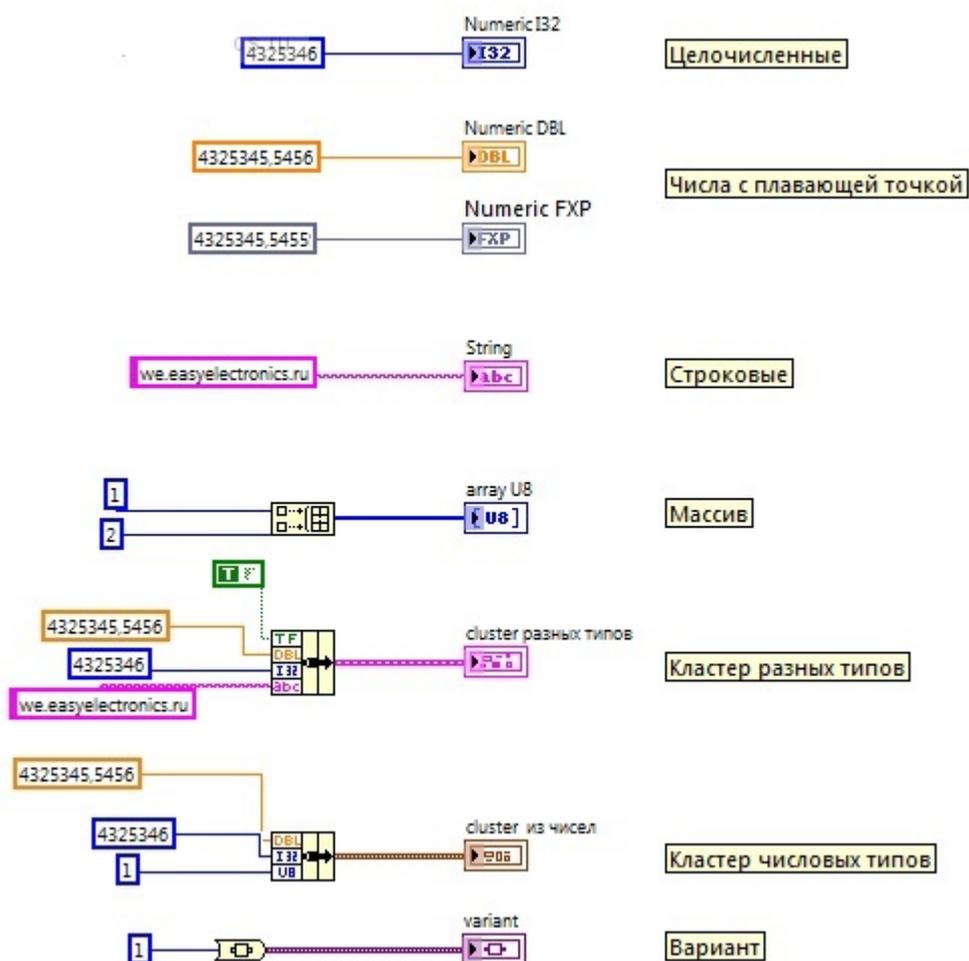


Рисунок 21. Типы данных в схемах LabVIEW

Целочисленные данные могут содержать в себе знаки (например, I32, I64) или не иметь знаков (U8, U16). Цифра после буквы обозначает бит,

который занимает данный тип. Целочисленные типы данных отображаются на схемах синим цветом.

Числа с плавающей точкой классифицируются по точности представления (то есть по количеству битов) на расширенную, двойную и одинарную точности. Отображаются оранжевым цветом.

Строковые — часто применяемый тип данных. Важным фактором является то, что символ и строка в LabVIEW являются тождественными понятиями. Отображаются розовым цветом.

Массивы — тип, представляющий из себя объединение одинаковых типов. Отображаются на схемах тем цветом, элементами которого образован, но более толстыми линиями. Если же размерность массива двойная (массив из массивов) или тройная, то отображается двойной или тройной линией цветом элементов.

Кластеры — тип, который представляет из себя объединение разных типов. Если элементы кластера относятся к разным типам, то он отображается толстой розовой линией. Если образован только целочисленными и/или числами с плавающей точкой, то на схемах он представляется в виде толстой темно-оранжевой линии.

Вариант является таким типом, к которому можно привести любой другой. Отображается толстым серым цветом [21].

### **3.3 Сборка конструкции**

Данная конструкция должна быть изолирована, чтобы накопленные альфа-частицы (пылинки с содержанием альфа-изотопов) не уносились ветром. Эту задачу выполняет корпус, изготовленный из металлической трубы. Внешний вид рабочей части конструкции без корпуса и с корпусом представлены на рисунках 22-23.



Рисунки 22-23. Общий вид конструкции без корпуса и с корпусом

Опора для конструкции была выполнена из лишней части трубы (см. рис. 24). Она помещается непосредственно в корпус и плотно прилегает к стенкам, что позволяет обойтись без использования каких-либо дополнительных крепежных материалов.

Опора выполнялась с помощью болгарки и плоскогубцев.



Рисунок 24. Опора для блока детектирования. а - вид сверху; б - опора в составе конструкции; в - вид снизу

Для проверки работы установки, ее подключали к программам Arduino, LabVIEW с помощью USB-провода (см. рис. 25). А также проверяли работоспособность с помощью подключения к осциллографу - были рассмотрены импульсы, полученные благодаря вольфрамовым электродам.



Рисунок 25. Подключение установки к компьютеру

Также был создан пустой текстовый файл, для того, чтобы на него шла запись сигнала. При нажатии цифры 0 установка начинает прокачку (это занимает около тридцати секунд), при нажатии цифры 1 – закрывает. Измерения проводятся постоянно.

Для тестирования накопительной камеры были взяты эталонные спектрометрические источники альфа-излучения ОСАИ, а именно плутоний. Эталонные источники представляют собой плоские стальные диски, на поверхность которых нанесен радиоактивный материал.

Источники ОСАИ изготавливаются на основе радионуклидов радий-226, торий-228, уран-232, уран-233, уран-234, нептуний-237, плутоний-236,

плутоний-238, плутоний-239, плутоний-242, америций-241, америций-243, кюрий-244, калифорний-252.

Полученный график представлен на рисунке 26.

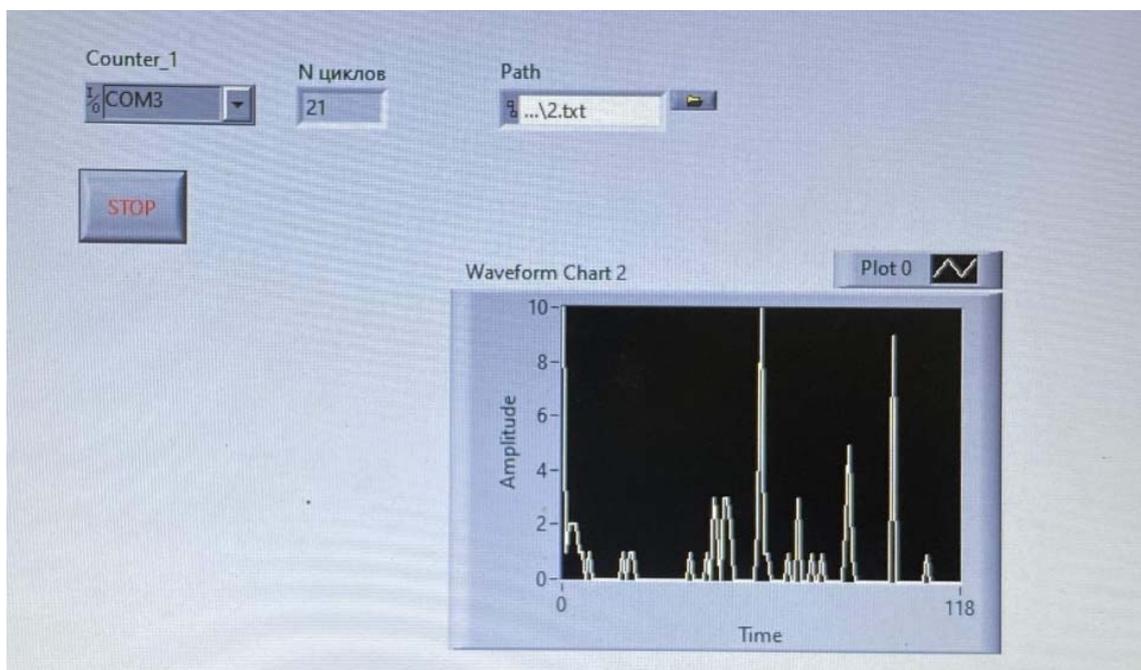


Рисунок 26. График в программе LabVIEW

## **4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В настоящее время перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно для разработчиков, которые должны представлять состояние и перспективы проводимых научных исследований.

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- расчет научно-технического эффекта.

### **4.1 Потенциальные потребители**

В данной работе представлена разработка накопительной камеры для регистрации альфа-излучения. Данное устройство может работать в лабораторных и полевых условиях, что является большим преимуществом и может заинтересовать организации, в которых необходим контроль радиационной обстановки в зданиях компаний и за их пределами. Разработка и сборка устройства проводилась в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ.

Потенциальными потребителями могут быть:

- Национальный исследовательский Томский Политехнический Университет;
- Институт Мониторинга Климатических и Экологических Систем СО РАН.

#### **4.2 Анализ конкурентных технических решений**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты. Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения подбираются, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки, создания и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее

слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок) представлена в таблице 5. В качестве конкурентных решений были выбраны два устройства, позволяющих регистрировать альфа-излучение, в том числе проводить измерения объемной активности и плотности потока радона и торона. Этими устройствами стали радиометры «Альфарад плюс» российского производства и RTM-2200 немецкого производства.

Таблица 5 - Оценочная карта

| Критерии оценки  | Вес критерия | Баллы          |                 |                 | Конкурентоспособность |                 |                 |
|--|--------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------|
|  |              | Б <sub>ф</sub> | Б <sub>к1</sub> | Б <sub>к2</sub> | К <sub>ф</sub>        | К <sub>к1</sub> | К <sub>к2</sub> |
| <b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>                    |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 1 Сложность производства   | 0,13         | 3              | 3               | 3               | 0,39                  | 0,39            | 0,39            |
| 2 Простота эксплуатации  | 0,16         | 5              | 5               | 4               | 0,8                   | 0,8             | 0,64            |
| 3 Срок эксплуатации  | 0,16         | 5              | 4               | 5               | 0,8                   | 0,64            | 0,8             |
| 4 Возможность перепрограммирования (изменение частоты и других параметров) | 0,07         | 5              | 2               | 2               | 0,35                  | 0,14            | 0,14            |
| 5 Энергетический диапазон  | 0,13         | 3              | 4               | 4               | 0,39                  | 0,52            | 0,52            |
| <b>Экономические критерии оценки эффективности</b>                         |              |                |                 |                 |                       |                 |                 |
| 6 Конкурентоспособность продукта   | 0,1          | 5              | 5               | 4               | 0,5                   | 0,5             | 0,4             |
| 7 Цена   | 0,18         | 5              | 3               | 1               | 0,9                   | 0,54            | 0,18            |
| 9 Финансирование научной разработки  | 0,07         | 4              | 4               | 4               | 0,28                  | 0,28            | 0,28            |
| <b>Итого</b>   | <b>1</b>     |                |                 |                 | <b>4,41</b>           | <b>3,81</b>     | <b>3,35</b>     |

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной работы;

Б<sub>к1</sub> – Альфарад плюс;

Б<sub>к2</sub> – RTM-2200.

По результатам проведенного анализа видно, что разработанный радиометр для регистрации альфа-излучения не уступает другим заводским. Данный факт определенно обусловлен весомыми достоинствами данного устройства, которые являются определяющими при выборе: цена, простота эксплуатации и другое.

### **4.3 SWOT-анализ**

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

Результаты SWOT-анализа учитываются при разработке структуры работ, выполняемых в рамках научно-исследовательского проекта. Первый этап анализа представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Матрица SWOT

|  | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Дешевизна сборочного устройства.<br>С2. Простота использования.<br>С3. Безопасность проведения исследований.<br>С4. Простота технического обслуживания. | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Недостаточное количество экспериментов, доказывающих достоверность получаемых данных.<br>Сл2. Отсутствие сертификации. |
|--|--|---|
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование инфраструктуры ТПУ.<br>В2. Появление дополнительного спроса на продукт.<br>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. |  |   |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Рост цен на составляющие компоненты устройства.<br>У2. Развитая конкуренция технологий производства.<br>У3. Недостаточная точность данных.     |  |   |

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивные матрицы представлены в таблицах 7-10. Каждый фактор помечается знаками «+» (сильное соответствие сторон возможностям) или «-» (слабое соответствие).

Таблица 7 - Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и ВОЗМОЖНОСТИ»

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

Таблица 8 - Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и ВОЗМОЖНОСТИ»

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

Таблица 9 - Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

| Сильные стороны проекта |    |    |    |    |    |
|-------------------------|----|----|----|----|----|
| Угрозы                  |    | C1 | C2 | C3 | C4 |
|                         | У1 | +  | -  | +  | +  |
|                         | У2 | +  | -  | +  | -  |
|                         | У3 | -  | -  | -  | -  |

Таблица 10 - Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

| Слабые стороны проекта |    |     |     |
|------------------------|----|-----|-----|
| Угрозы                 |    | Сл1 | Сл2 |
|                        | У1 | -   | -   |
|                        | У2 | +   | +   |
|                        | У3 | -   | -   |

В таблице 11 составлена итоговая матрица SWOT-анализа.

Таблица 11 - Итоговая матрица SWOT

|  | <b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>С1. Дешевизна сборочного устройства.<br>С2. Простота использования.<br>С3. Безопасность проведения исследований.<br>С4. Простота технического обслуживания. | <b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b><br>Сл1. Недостаточное количество экспериментов, доказывающих достоверность получаемых данных.<br>Сл2. Отсутствие сертификации.             |
|--|--|---|
| <b>Возможности:</b><br>В1. Использование инфраструктуры ТПУ.<br>В2. Появление дополнительного спроса на продукт.<br>В3. Повышение стоимости конкурентных разработок. | Простота и дешевизна продукта увеличит его конкурентоспособность.  | При получении сертификации устройства появится дополнительный спрос.  |
| <b>Угрозы:</b><br>У1. Рост цен на составляющие компоненты устройства.<br>У2. Развитая конкуренция технологий производства.<br>У3. Недостаточная точность данных.     | Даже при росте цен на составляющие компоненты устройства, оно все равно будет дешевле своих конкурентов.   | При отсутствии сертификации спрос на конкурирующую продукцию будет значительно выше.<br>Если установка не позволяет получать данные с высокой точностью, она не будет пользоваться большим спросом. |

#### 4.4 Планирование научно-исследовательских работ

##### 4.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение и выбор участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для оптимизации работ удобно использовать классический метод линейного планирования и управления.

Результатом такого планирования является составление линейного графика выполнения всех работ. Порядок этапов работ и распределение исполнителей для данной научно-исследовательской работы приведен в таблице 12.

Для выполнения научных исследований формируется группа, состоящая из бакалавра и научного руководителя.

Таблица 12 - Основные этапы работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                 | № раб | Содержание работ                                  | Должность исполнителя          |
|--|-------|---|--------------------------------|
| Разработка технического задания                | 1     | Составление и утверждение технического задания    | Научный руководитель           |
|  | 2     | Календарное планирование ВКР                      | Бакалавр, научный руководитель |
| Выбор способа решения поставленных задач       | 3     | Обзор научной литературы                          | Бакалавр                       |
|  | 4     | Подбор необходимых программ                       | Бакалавр, научный руководитель |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5     | Разработка оптимальной схемы блока детектирования | Бакалавр, научный руководитель |
|  | 6     | Построение блок-схемы для написания кода          | Бакалавр                       |
|  | 7     | Написание кода для Микроконтроллера Arduino       | Бакалавр                       |
|  | 8     | Сборка разрабатываемого устройства                | Бакалавр                       |
|  | 9     | Тестовая проверка устройства                      | Бакалавр, научный руководитель |
| Обобщение и оценка результатов                 | 10    | Оценка полученных результатов                     | Бакалавр, научный руководитель |
| Оформление комплекта документации ВКР          | 11    | Составление пояснительной записки                 | Бакалавр                       |

#### 4.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления сметы. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости используется следующая формула:

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

где  $t_{\text{ож}i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дни;

$t_{\text{min}i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы чел.-дни;

$t_{\text{max}i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, чел.-дни.

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

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

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

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

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118 - 14} = 1,56, \quad (5)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

На основе таблицы 13 строится календарный план-график в виде диаграммы Ганта (рисунок 27).

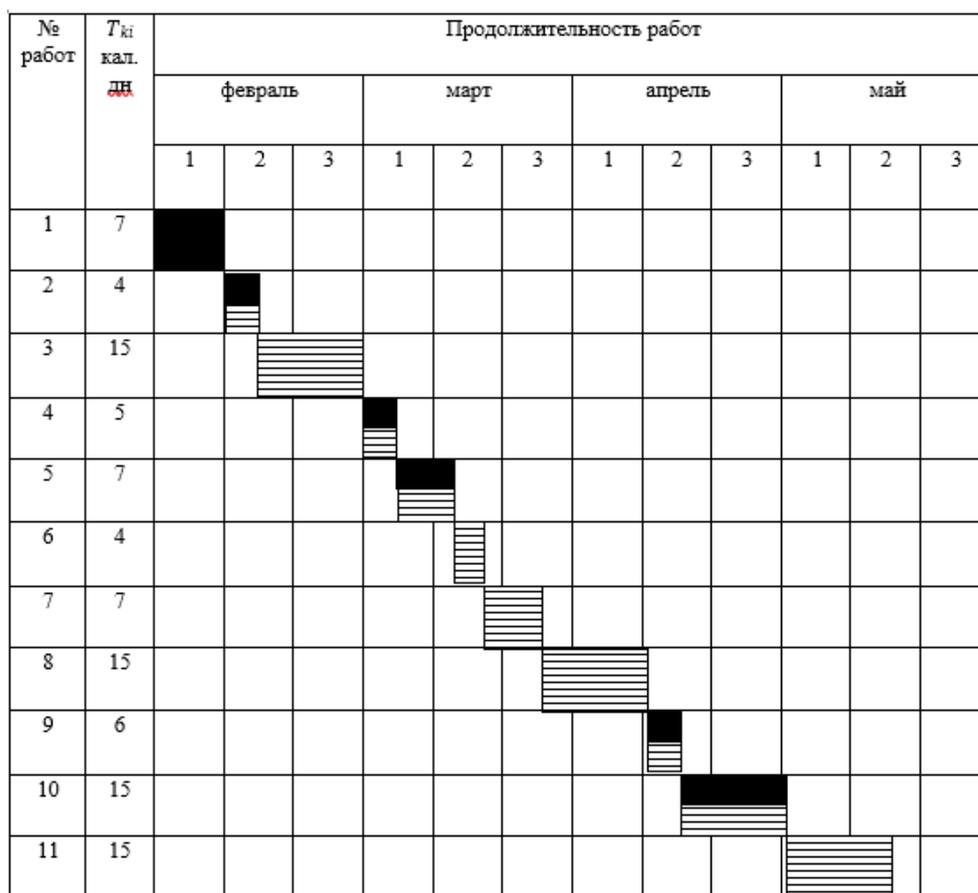
Исполнитель 1 – научный руководитель, исполнитель 2 – бакалавр.

Таблица 13 - Временные показатели проведения научного проекта

| Название работы                                | Трудоёмкость работ         |       |                            |       |                           |       | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |
|--|----------------------------|-------|----------------------------|-------|---------------------------|-------|--|--|
|  | $t_{\text{min}}$ , чел-дни |       | $t_{\text{max}}$ , чел-дни |       | $t_{\text{ож}}$ , чел-дни |       |  |  |
|  | Исп 1                      | Исп 2 | Исп 1                      | Исп 2 | Исп 1                     | Исп 2 |  |  |
| Составление и утверждение технического задания | 3                          | -     | 6                          | -     | 4,2                       | -     | 4,2  | 7  |
| Календарное планирование ВКР                   | 2                          | 2     | 3                          | 3     | 2,4                       | 2,4   | 2,4  | 4  |
| Обзор научной литературы                       | -                          | 7     | -                          | 14    | -                         | 9,8   | 9,8  | 15   |
| Подбор необходимых программ                    | 1                          | 3     | 3                          | 6     | 1,8                       | 4,2   | 3  | 5  |

Продолжение таблицы 13

|  |    |    |    |    |      |      |      |     |
|--|----|----|----|----|------|------|------|-----|
| Разработка схемы камеры                  | 3  | 3  | 7  | 7  | 4,6  | 4,6  | 4,6  | 7   |
| Построение блок-схемы для написания кода | -  | 2  | -  | 4  | -    | 2,8  | 2,8  | 4   |
| Написание кода для микроконтроллера      | -  | 3  | -  | 6  | -    | 4,2  | 4,2  | 7   |
| Сборка разрабатываемого устройства       | -  | 7  | -  | 14 | -    | 9,8  | 9,8  | 15  |
| Тестовая проверка                        | 1  | 1  | 2  | 2  | 3,5  | 3,5  | 3,5  | 6   |
| Оценка полученных результатов            | 7  | 7  | 14 | 14 | 9,8  | 9,8  | 9,8  | 15  |
| Составление пояснительной записки        | -  | 7  | -  | 14 | -    | 9,8  | 9,8  | 15  |
| <b>Итого:</b>                            | 17 | 42 | 35 | 84 | 26,3 | 60,9 | 63,9 | 100 |



■ - исполнитель 1 (научный руководитель)

▨ - исполнитель 2 (бакалавр)

Рисунок 27. Диаграмма Ганта

#### 4.5 Бюджет научно-технического исследования

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

1. Материальные затраты НТИ;
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
3. Основная заработная плата исполнителей темы;
4. Дополнительная заработная плата исполнителей темы;
5. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);

6. Затраты на научные и производственные командировки;
7. Накладные расходы.

#### **4.5.1 Расчет материальных затрат научно-технического исследования**

Материальные затраты включают в себя стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

В таблице 14 представлены материальные затраты.

Таблица 14 - Материальные затраты

| Наименование                    | Единица<br>изм. | Количество | Цена за ед.,<br>руб. | Сумма, руб. |
|---------------------------------|-----------------|------------|----------------------|-------------|
| Высоковольтный преобразователь  | шт              | 1          | 426                  | 426         |
| Микроконтроллер Arduino         | шт              | 1          | 440                  | 440         |
| Электромагнитный клапан         | шт.             | 2          | 448                  | 896         |
| Модуль реле 1-канальный         | шт.             | 1          | 124                  | 124         |
| Кофеварочная помпа для продувки | шт.             | 1          | 2800                 | 2800        |
| Блок детектирования БДЗА2-01    | шт              | 1          | 6000                 | 6000        |
| Припой с канифолью              | шт              | 1          | 120                  | 120         |
| Итого                           |                 |            |                      | 10806       |

#### 4.5.2 Расчет затрат на специальное оборудование

В данный расчет включаются все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по данной теме.

Таблица 15. Затраты на специальное оборудование

| №     | Наименование оборудования | Кол-во, ед. | Срок полезного использования, лет | Время использования, мес. | НА, % | Цена оборудования, руб |
|-------|---------------------------|-------------|-----------------------------------|---------------------------|-------|------------------------|
| 1     | Паяльная станция          | 1           | 7                                 | 0,16                      | 0,14  | 5100                   |
| 2     | Ноутбук LENOVO Ideapad    | 1           | 3                                 | 1,2                       | 0,3   | 23000                  |
| Итого |                           |             |                                   |                           |       | 28100                  |

#### 4.5.3 Основная заработная плата исполнителей

В данном разделе рассчитывается 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 окладов и тарифных ставок.

Расчет основной заработной платы одного работника ведется по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{р}}, \quad (6)$$

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

$T_{\text{р}}$  – продолжительность работ, выполняемых работником, раб.дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \quad (7)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб;

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

$k_{д}$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

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

Месячный должностной оклад инженера (студента-бакалавра) за месяц:

$$Z_{м} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = 17000 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 33150 \text{ руб}$$

Месячный должностной оклад руководителя за месяц:

$$Z_{м} = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_{д}) \cdot k_{р} = 26300 \cdot (1 + 0,3 + 0,2) \cdot 1,3 = 51285 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}, \quad (8)$$

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

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_{д}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дней.

Среднедневная заработная плата руководителя:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}} = \frac{51285 \cdot 10,3}{251} = 2104,5 \text{ руб}$$

Среднедневная заработная плата инженера:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}} = \frac{33150 \cdot 10,3}{251} = 1360,3 \text{ руб}$$

Расчет основной заработной платы руководителя:

$$Z_{осн} = 2104,5 \cdot 26,3 = 55348,35 \text{ руб}$$

Расчет основной заработной платы инженера:

$$Z_{осн} = 1360,3 \cdot 60,9 = 82842,27 \text{ руб}$$

Таблица 16. Баланс рабочего времени исполнителей

| Показатели рабочего времени                                    | Руководитель | Инженер  |
|--|--------------|----------|
| Календарное число дней   | 365          | 365      |
| Количество нерабочих дней<br>-выходные дни<br>-праздничные дни | 53<br>14     | 53<br>14 |
| Потери рабочего времени<br>-отпуск<br>-невыходы по болезни     | 48           | 48       |
| Действительный годовой фонд<br>рабочего времени                | 251          | 251      |

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной заработной платы 0,12 .

Дополнительная заработная плата руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 55348,35 = 6641,8 \text{ руб}$$

Дополнительная заработная плата инженера:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} = 0,12 \cdot 82842,27 = 9941,1 \text{ руб}$$

Таблица 17. Основная заработная плата

| Исполнители       | $Z_{\text{тс}}$ ,<br>руб. | $k_{\text{пр}}$ | $k_{\text{д}}$ | $k_{\text{р}}$ | $Z_{\text{м}}$ ,<br>руб | $Z_{\text{дн}}$ ,<br>руб. | $T_{\text{р}}$ ,<br>раб.<br>дн. | $Z_{\text{осн}}$ ,<br>руб. |
|-------------------|---------------------------|-----------------|----------------|----------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Руководитель      | 26300                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 51285                   | 2104,5                    | 26,3                            | 55348                      |
| Инженер (студент) | 17000                     | 0,3             | 0,2            | 1,3            | 33150                   | 1360,3                    | 60,9                            | 82842                      |
| Итого:            |                           |                 |                |                |                         |                           |                                 | 138190                     |

#### 4.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данном разделе отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам

государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

Для руководителя:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,32 \cdot (55348,35 + 6641,8) = 19836,8 \text{ руб}$$

Для инженера:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,32 \cdot (82842,27 + 9941,1) = 29690,7 \text{ руб}$$

В данных формулах  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату на внебюджетные фонды. Общая ставка взносов составляет – 30,2 %.

#### 4.5.5 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 5) \cdot k_{\text{нр}} = 243207,02 \cdot 0,16 = 38913,12 \text{ руб}$$

В формуле  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы. Величина коэффициента равна 16%.

Таблица 18. Статьи на затраты без учета накладных расходов

| Статьи                   |           |                           |                                 |                      |                                    |
|--------------------------|-----------|---------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------------|
| 1                        | 2         | 3                         | 4                               | 5                    | 6                                  |
| Специальное оборудование | Материалы | Основная заработная плата | Дополнительная заработная плата | Страховые отчисления | Итого без учета накладных расходов |
| 28100                    | 10806     | 138190,62                 | 16582,9                         | 49527,5              | 243207                             |

На основании рассчитанных затрат научно-исследовательской работы сформирован итоговый бюджет затрат проекта, представленный в таблице 19.

Таблица 19. Затраты проекта

| Номер | Наименование статьи   | Сумма, руб. | Примечание            |
|-------|---|-------------|-----------------------|
| 1     | Материальные затраты НИР  | 10806       | Пункт 4.5.1           |
| 2     | Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ | 28100       | Пункт 4.5.2           |
| 3     | Затраты по основной заработной плате исполнителей темы                    | 138190,62   | Пункт 4.5.3           |
| 4     | Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы              | 16582,9     | Пункт 4.5.3           |
| 5     | Отчисления во внебюджетные фонды  | 49527,5     | Пункт 4.5.4           |
| 6     | Накладные расходы   | 38913       | 16 % от суммы ст. 1-5 |
| 7     | Бюджет затрат НТИ   | 282120      | Сумма ст. 1- 6        |

#### 4.6 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 по формуле:

$$I_{\text{исп}}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} , \quad (10)$$

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

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

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

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

Так разработка имеет только одно исполнение, то:

$$I_{\text{исп}}^i = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = 1$$

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

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^n a_i \cdot b_i , \quad (11)$$

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;

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 20.

Таблица 20. Оценка характеристик исполнения проекта

| Критерии \ Объект исследования        | Весовой коэффициент параметра | Оценка       |
|---------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| Дешевизна по сравнению с конкурентами | 0,3                           | 5            |
| Удобство в эксплуатации               | 0,15                          | 5            |
| Энергетический диапазон               | 0,1                           | 3            |
| Надежность                            | 0,2                           | 4            |
| Безопасность                          | 0,25                          | 5            |
| <b>ИТОГО</b>                          | <b>1</b>                      | <b>22/25</b> |

$$I_p = 0,3 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,25 \cdot 5 = 4,6$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{исп}}^i$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп}}^i = \frac{I_{\text{р-исп}}^i}{I_{\text{финр}}^i} \quad (12)$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Результаты представлены в таблице 21.

Сравнительная эффективность проекта ( $\mathcal{E}_{\text{ср}}$ ):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп}}^i}{I_{\text{исп}}^i} \quad (13)$$

Таблица 21. Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели  | Данный проект |
|---|---|---------------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки           | 1             |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 4,6           |
| 3 | Интегральный показатель эффективности                   | 4,6           |

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности. В данном случае имеет лишь один вариант решения задачи. Следовательно, предоставленный вариант и предполагается лучшим.

#### 4.7 Выводы по разделу

В результате выполнения целей раздела можно сделать следующие выводы:

– Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что использованная для моделирования программа является наиболее актуальной и перспективной, имея при этом конкурентоспособность на рынке.

– В ходе планирования для руководителя и инженера (студента-бакалавра) был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Определено следующее: общее количество дней для выполнения работ составляет 100 дней; общее количество дней, в течение которых работал инженер, составляет 60,9 дней; общее количество дней, в течение которых работал руководитель, составляет 26,3 дней;

– Для оценки затрат на реализацию проекта разработан проектный бюджет, который составляет 282120 руб.;

– Исходя из полученных данных и проведенного анализа эффективности, можно сделать вывод, что первый вариант исполнения является наиболее эффективным с позиции ресурсоэффективности.

В выполненной выпускной квалификационной работе были достигнуты экономические и технические критерии эффективности за счет функциональных возможностей разработки, а также социальные за счет востребованности такой технологии на рынке.

## **5 Социальная ответственность**

Данная работа заключается в разработке радиометра радиоактивных аэрозолей на основе блока детектирования БДЗА2-01. Разработка и сборка конструкции осуществлялась в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ. К этапам проведения данной работы относятся:

- Изучение конструкционных особенностей существующих конструкций, предназначенных для регистрации альфа-излучения;
- Разработка схемы радиометра радиоактивных аэрозолей;
- Сборка устройства по разработанной схеме;
- Написание кода для микроконтроллера Arduino;
- Тестовая проверка и анализ данных.

Данный раздел посвящен анализу вредных и опасных факторов производственной среды для операторов ПЭВМ, а также при работе с установками, генерирующими ионизирующее излучение. Также будут решены вопросы обеспечения защиты от них на основе требований действующих нормативных документов.

### **5.1 Анализ вредных и опасных факторов**

Выявление вредных и опасных факторов осуществлялась с использованием нормативного документа [22].

Вредные производственные факторы приводят к заболеванию или усугубляют уже имеющиеся заболевания, опасные производственные факторы приводят к травме, в том числе смертельной [22].

В ходе выполнения эксперимента на здоровье персонала могут влиять такие вредные и опасные факторы, как повышенный уровень радиации, поражение электрическим током, недостаточная освещенность рабочей зоны, отклонение показателей микроклимата и повышенный уровень шума в

помещении [22]. Помимо этого, необходимо рассмотреть соответствует ли помещению требованиям пожаровзрывобезопасности. В таблице 22 представлены все возможные вредные и опасные факторы, а также нормативные документы. Далее каждый из факторов будет рассмотрен более подробно.

Таблица 22 - Вредные и опасные факторы

| Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015) | Нормативные документы   |
|------------------------------|---|
| Микроклимат                  | ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях   |
| Шум                          | ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1)   |
| Освещенность рабочей зоны    | СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1)   |
| Пожаровзрывобезопасность     | 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)<br>ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования    |
| Электробезопасность          | ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ)<br>ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность<br>ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи |

## **5.2 Обоснование и разработка мероприятий по снижению уровней опасного и вредного воздействия и устранению их влияния при работе на персональном компьютере (ПК)**

### **5.2.1 Организационные мероприятия**

Трудовой кодекс РФ осуществляет регулирование отношений между работником и работодателем, которые касаются продолжительности рабочего дня, предоставления отпусков, оплат труда и т.д. Продолжительность рабочего дня устанавливается согласно трудовому договору, однако не должна превышать 40 часов в неделю. При работе с вредными или опасными условиями труда длительность рабочего дня составляет 8 часов (при 36-часовой рабочей неделе) и 6 часов (при 30-часовой рабочей неделе). В ночное время продолжительность смены сокращается на 1 час.

Каждому работнику должен быть предоставлен перерыв во время рабочего дня не менее 30 минут, но не более 2 часов, который не включается в рабочее время. Каждому работнику предоставляется отпуск в 28 календарных дней. При работе с вредными или опасными условиями труда предоставляются дополнительные отпуска [23].

### **5.2.2 Организация рабочего места оператора ПК**

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как на рисунке 28 [24].

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне «а» (в центре); клавиатура – в зоне «г» или «д»; системный блок размещается в зоне «б» (слева); принтер находится в зоне «а» (справа); документация: в зоне легкой досягаемости

ладони – в зоне «в» (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

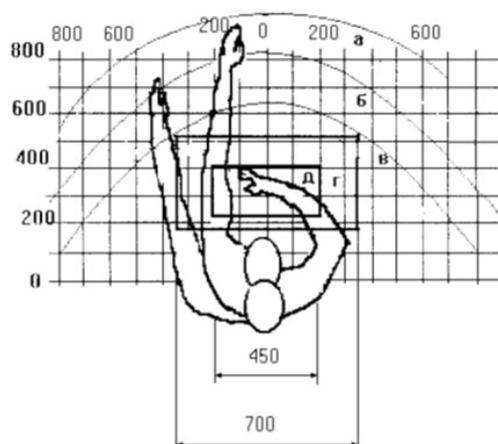


Рисунок 28. Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования [24]:

1) Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680-800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

2) Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра независимая, легко осуществляемая и имеет надёжную фиксацию. Высота сиденья регулируется в пределах 400-500 мм. Глубина сиденья

составляет 380 мм, а ширина – 400 мм. Высота опорной поверхности спинки 300 мм, ширина – 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья изменяется в пределах 90°-10°. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) является полумяжкой, с нескользящим, не электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

3) Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте  $\pm 3$  см
- по наклону от 10° до 20° относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

4) Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100-300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15°. Более удобно работать с клавишами, имеющими вогнутую поверхность, четырёхугольную форму с закруглёнными углами. Конструкция клавиши должна обеспечивать оператору ощущение щелчка. Цвет клавиш должен контрастировать с цветом панели.

5) При однообразной умственной работе, требующей значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, рекомендуется выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки, которые не рассеивают внимание (малонасыщенные оттенки холодного зеленого или голубого цветов). При работе, требующей интенсивной умственной или физической напряженности, рекомендуются оттенки тёплых тонов, которые возбуждают активность человека [24].

### 5.3 Микроклимат

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

В таблице 23 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах, которые установлены санитарными нормами для различных категорий работ в разные периоды года. При работе за ПЭВМ категория работ является легкой (Ia), поскольку не возникает систематических физических нагрузок [25].

Таблица 23 - Оптимальные параметры микроклимата

| Период года | Категория работ по уровню энергозатрат, Вт | Температура воздуха, °С | Температура поверхностей, °С | Относительная влажность воздуха, % | Скорость движения воздуха, м/с |
|-------------|--|-------------------------|------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|
| Холодный    | Ia (до 139)                                | 22-24                   | 21-25                        | 60-40                              | не более 0,1                   |
| Теплый      | Ia (до 139)                                | 23-25                   | 22-26                        | 60-40                              | не более 0,1                   |

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений [25]. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещение должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м<sup>3</sup> на человека – не менее 30 м<sup>3</sup> в час на человека; при объёме помещения более 40 м<sup>3</sup> на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

Система отопления должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными

требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. Параметры микроклимата в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ регулируются системой центрального отопления, и имеют следующие значения: влажность – 40 %, скорость движения воздуха – 0,1 м/с, температура летом – 20-25 °С, зимой – 13-15 °С.

Для расчета кратности воздухообмена вентилятора в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ объемом  $V=105,7 \text{ м}^3$  ( $S=30,2 \text{ м}^2$ ,  $h=3,5 \text{ м}$ ), который будет обеспечивать циркуляцию воздушных масс в помещении, воспользуемся формулой:

$$W = V \cdot k, \quad (14)$$

где  $k$  – нормированная кратность воздухообмена (для лабораторий  $k=3$ ). Подставляя данные в формулу, получим характеристику кратности воздухообмена вентилятора  $W = 317,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Таким образом, в аудиторию необходимо поставить вихревую воздуходувку SEKO BL060001022 с мощностью 320 м<sup>3</sup>/ч [26]. Основным недостатком такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительного нагревания.

Аудитория 118 10 корпуса ТПУ соответствует нормам по микроклимату помещений в соответствии с документом [25].

## 5.4 Освещение

Недостаточная освещенность способствует возрастанию нагрузки на органы зрения, приводит к утомляемости организма, способствует развитию близорукости. В то время излишне яркий свет слепит, снижает зрительные функции, приводит к перевозбуждению нервной системы.

Главной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости. Внутри

помещений по способу размещения светильников и распределению освещенности различают следующие системы искусственного освещения: общее и комбинированное.

Общим называется освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием или рабочими местами, так и вспомогательную. В зависимости от расположения светильников различают равномерное и локализованное общее освещение. При общем равномерном освещении светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно, обеспечивая тем самым одинаковую освещенность всего помещения. Оно применяется, как правило, когда расположение рабочих зон при проектировании неизвестно либо при гибкой планировке. При общем локализованном освещении светильники размещают с учетом расположения технологического оборудования, создавая на отдельных поверхностях требуемый уровень освещения.

Комбинированная система освещения состоит из общего и местного освещения. Общее освещение предназначено для освещения проходов и участков, где работы не производятся, а также для выравнивания яркости в поле зрения работающих. Местное освещение обеспечивается светильниками, 89 располагаемыми непосредственно на рабочих местах. Ему следует отдавать предпочтение, если в нескольких рабочих зонах помещения должны решаться различные зрительные задачи и поэтому для них требуются различные уровни освещенности. Оно также необходимо, когда рабочие места территориально отдалены друг от друга. При этом следует иметь в виду, что устройство только местного освещения недопустимо, так как оно создает большую разность освещенности рабочих поверхностей и окружающего пространства, что неблагоприятно сказывается на зрении.

При учете особенностей процесса работ на компьютере допускается применение системы общего равномерно освещения. Для общего освещения

применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Естественное и искусственное освещение нормируется документом [27].

Количество источников освещения  $n$  для помещения рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}, \quad (15)$$

где  $E$  – нормированная освещенность ( $E=300$  лк);

$S$  – площадь помещения ( $S=30,2$ );

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

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

$F$  – световой поток одной лампы ЛД 40 ( $F=2130$  лм);

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

$m$  – число ламп в светильнике ( $m=2$ ).

Переходя к расчетам, получим число источников освещения:

$$n = \frac{300 \cdot 30,2 \cdot 1,2 \cdot 1,2}{2130 \cdot 0,55 \cdot 2} = 5,57 \text{ шт.}$$

Таким образом, необходимое количество источников света в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ примем равным 6 шт.

## 5.5 Шум

Превышение уровня шума. возникает при работе механических и электромеханических изделий.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ). В соответствии с [28] 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. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности.

В 118 аудитории 10 корпуса ТПУ уровень шума от воздуходувки составляет 69 дБ.

В рассматриваемой аудитории дополнительная звукоизоляция не требуется, так как предельное значение уровня шума не достигается.

Защита от повышенных уровней шума осуществляется методами его снижения в источнике образования и на пути распространения, устройством экранов и звукопоглощающих облицовок, средствами индивидуальной защиты согласно [28].

118 аудитория 10 корпуса ТПУ не превышает допустимый уровень шума в соответствии с документом [28].

## **5.6 Электробезопасность**

Биологически активными являются электрические и магнитные поля, напряженность которых превышает предельно допустимые уровни.

Опасные и вредные последствия для человека от воздействия электрического тока, электрической дуги, электрического и магнитного полей, электростатического поля и ЭМИ проявляются в виде электротравм, механических повреждений и профессиональных заболеваний [29].

Степень воздействия зависит от экспозиции фактора, в том числе от рода и величины напряжения и тока, частоты электрического тока, пути тока через тело человека, продолжительности воздействия электрического тока или электрического и магнитного полей на организм человека, условий внешней среды [30].

Устанавливает предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов, протекающих через тело человек. Под напряжением прикосновения понимается напряжение между двумя точками цепи тока, которых одновременно касается человек. Нормы предназначены для проектирования способов и средств защиты от поражения электрическим током людей при их взаимодействии с электроустановками. Они соответствуют прохождению тока через тело человека по пути «рука – рука» или «рука – ноги».

Стандарт предусматривает нормы для электроустановок при нормальном (неаварийном) режиме их работы, а также при аварийных режимах производственных и бытовых электроустановок.

К основным мероприятиям по обеспечению электробезопасности электроустановок можно отнести:

- 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 (заключение в корпуса электро-поражающих элементов, заключение в корпус токоведущих частей).

По электробезопасности аудитория № 118 10 корпуса ТПУ была отнесена к 1-му классу (помещение без повышенной опасности) [29].

## **5.7 Пожаровзрывобезопасность**

Согласно [31], 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.

Возможные причины возгорания:

- 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 [32].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования.

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.

Аудитория № 118Б 10 корпуса ТПУ отнесена к категории В по пожароопасности [33].

## 5.8 Аварийные ситуации

Аварийная ситуация – сочетание условий и обстоятельств, создающих угрозу возникновения аварий и других происшествий, которые могут привести к взрыву, пожару, отравлению, гибели или травмированию (заболеванию) людей, животных, потерям материальных ценностей.

В таблице 24 приведены возможные аварийные ситуации в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ и мероприятия по их предотвращению и ликвидации их последствий [34].

Таблица 24 - Аварийные ситуации и мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий

| № | Аварийные ситуации                                      | Мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций   | Мероприятия по ликвидации последствий аварийных ситуаций   |
|---|---|--|--|
| 1 | Травма в результате падения с высоты собственного роста | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Содержание помещения в надлежащем порядке.</li><li>2. Ограничение рабочего пространства.</li><li>3. Своевременное проведение инструктажа.</li></ol> | <ol style="list-style-type: none"><li>1. Осмотреть или опросить пострадавшего;</li><li>2. При необходимости вызвать скорую помощь (112);</li><li>3. Остановить кровотечение, если оно имеется;</li><li>4. При повреждении головы пострадавшего уложить на живот и повернуть его голову на ту сторону, с которой выделяется больше жидкости;</li><li>5. При падении с высоты, 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.</li></ol> |

## Продолжение таблицы 24

|   |                               |  |   |
|---|-------------------------------|--|---|
| 2 | Поражение электрическим током | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заземление всех электроустановок;</li> <li>2. Ограничение рабочего пространства;</li> <li>3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры;</li> <li>4. Своевременное проведение инструктажа.</li> </ol>             | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока;</li> <li>2. Вызвать скорую помощь;</li> <li>3. Если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой [35];</li> <li>4. Пострадавшему надо дать понюхать нашатырный спирт, сбрызнуть лицо водой, растереть и согреть тело;</li> <li>5. При отсутствии дыхания нужно немедленно делать искусственное дыхание и массаж сердца.</li> </ol> |
| 3 | Пожар                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях;</li> <li>2. Установка датчиков дыма и огня;</li> <li>3. Своевременное проведение инструктажа;</li> <li>4. Не оставлять включенными электроприборы.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Позвонить 112;</li> <li>2. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха;</li> <li>3. Немедленно сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны;</li> <li>4. По возможности приступить к тушению очага возгорания имеющимися средствами пожаротушения (огнетушителями).</li> </ol>   |

### 5.9 Выводы по разделу

В разделе рассмотрены вредные и опасные факторы и разработаны способы исключения их воздействия или минимизации этого воздействия:

- микроклимат [25-26];
- освещение [27];
- шум [28];
- электробезопасность [29-30];
- пожаробезопасность [31-33].

В разделе также рассмотрены аварийные ситуации, которые могут произойти в 118 аудитории 10 корпуса ТПУ и мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий.

По электробезопасности аудитория № 118 10 корпуса ТПУ была отнесена к 1 классу [29].

По пожаровзрывобезопасности помещение отнесено к категории В [33].

## **Заключение**

В ходе работы рассмотрены основные типы устройств, позволяющих регистрировать ионизирующее излучение, а также существующие детекторы альфа-излучения для сравнения их характеристик и стоимости.

В результате работы сконструирована накопительная камера для регистрации альфа-излучения на основе блока детектирования БДЗА2-01. Для наглядного представления количества накопленных альфа-частиц к установке подсоединена плата Arduino, для которой был написан код. Это позволило представить результаты в численном виде. Для представления данных в виде графика построена блок-схема камеры в программе LabVIEW. Это позволило записывать данные в режиме реального времени.

Благодаря герметичному корпусу собранная установка может быть использована и в лабораторных, и в полевых условиях.

Устройство протестировано с использованием образцового спектрометрического источника альфа-излучения - плутоний-239. Установка показала наглядные результаты в виде количества накопленных альфа-частиц и спектра альфа-излучения. Таким образом, накопительная камера успешно работает.

При сравнении стоимости установки с другими известными радиометрами альфа-излучения, собранная накопительная камера показала наилучший бюджетный результат. Себестоимость установки составила 10806 рублей, в то время как минимальная стоимость известного продающегося детектора 200000 рублей. Таким образом, эксплуатация собранной накопительной камеры в 20 раз выгоднее других детекторов.

В дальнейшем конструкцию установят на территории института мониторинга климатических и экологических систем СО РАН.

## Список использованных источников

1. Б.П. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений: //Учебник для вузов/Под ред. Е.Л.Столяровой – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат 1986. – 464 с
2. Латфуллин И.А. Основы поражающего действия ионизирующего излучения на организм человека//Учебное пособие / И.А.Латфуллин. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 194 с
3. Беспалов, В.И. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом / В.И. Беспалов. – 4-е изд., исправ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2008. – 369 с.: ил.
4. Бекман И.Н. Радиоактивность, радионуклиды и радиация: // Учебное пособие/ Издатель Мархотин П. Ю., 2012. — 400 с
5. Москалев Ю.И. Отдаленные последствия воздействия ионизирующих излучений / Ю.И. Москалев. — М.: Медицина, 1991. — 464 с.
6. Павлов В.М. Линейные ускорители: Часть I: Ускоряющие системы:// Учебное пособие/Новосибирск, 1999. – 108 с.
7. Ратнер, Б. С. Ускорители заряженных частиц/Наука, 1966. – 151 с
8. МУ 2.6.1.14-2001 Контроль радиационной обстановки. Общие требования. Ионизирующее излучение, радиационная безопасность.
9. Болоздыня, Александр Иванович. Детекторы ионизирующих частиц и излучений. Принципы и применения//Учебное пособие / А. И. Болоздыня, И. М. Ободовский. – Долгопрудный: Интеллект, 2012. – 204 с.: ил. – Библиогр.: с. 202-204
10. Яковлева В.С. Инструментальные методы радиационных измерений//Учебное пособие/ Яковлева В.С. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 168 с. 100
11. Измерение плотности потока радона. [Электронный ресурс] URL: <https://nortest.pro/uslugi/analiz-pochvy/izmerenie-plotnosti-potoka-radona.html>

12. Альфарад плюс (радиометры радона). [Электронный ресурс] URL: <https://ekosf.ru/product-category/pribory-po-brendu/alfarad-plyus-radiometry-radona/>
13. КАМЕРА-01. Комплекс измерительный для мониторинга радона. [Электронный ресурс] URL: <https://ekosf.ru/product/kamera-01/>
14. RTM-2200 (PPA-2200) – Радиометры радона и торона. [Электронный ресурс] URL: <https://ekosf.ru/product/rtm-2200-ppa-2200/>
15. Описание и применение операционного усилителя LM358. [Электронный ресурс] URL: <https://www.joyta.ru/5934-opisanie-i-primenenie-operacionnogo-usilitelya-lm358/>
16. Описание микроконтроллера Arduino. [Электронный ресурс] URL: <http://arduino.ru/>
17. Arduino Nano Pro Mini. [Электронный ресурс] URL: [http://arduino-kid.ru/arduino\\_nano\\_promini\\_uno\\_mega](http://arduino-kid.ru/arduino_nano_promini_uno_mega)
18. Очкуренко Г.О. Программирование микроконтроллеров семейства Atmega на базе системы Arduino//Теория и практика современной науки. - 2019. - № 4 (46). – с. 178-183
19. Среда разработки приложений LabVIEW. [Электронный ресурс] URL: <https://izmeril.com/catalog3-4-16/>
20. Бутырин П.А. Лекции по LabVIEW. [Электронный ресурс] URL: <http://ftemk.mpei.ru/ctl/pdfs/036.pdf>
21. LabVIEW. Учебный курс. Статья 2: Типы данных, Структуры. [Электронный ресурс] URL: <http://we.easyelectronics.ru/LabViewManual/labview-uchebnyy-kurs-statya-2-tipy-dannyh-struktury.html>
22. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов по безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
23. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)

24. ГОСТ 12.2.032-78. Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.
25. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
26. ГОСТ 31961-2012. Вентиляторы промышленные. Показатели энергоэффективности.
27. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и 101 общественных зданий. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901859404> (дата обращения: 19.03.21)
28. ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 15.02.21).
29. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
30. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты 102
31. СП 12.13130.2009. Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
32. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
33. ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.
34. 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».

35. Приказ Минэнерго России от 20 декабря 2012 года № 1120 " Об утверждении стандарта скорой медицинской помощи при поражении электрическим током" [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902392032> (дата обращения: 11.05.2021).

## Приложение А

### Код для микроконтроллера Arduino

```
#include <MsTimer2.h>
//#include <TimerOne.h>

int i=0,ii=0,a1=0,pere=0,per=0,kof=0;
int sensorVal,x=0,tt=0,ttt=0,cd=0,otk=0;
int sensorValue=0,mig=0,op=0;
int sek=15, minu=60,hasi=24,den=31,mes=12,sekk=0,s=0,sut=0;
unsigned int fr_count=0,tim=0;
//unsigned
long int fr_counter=0; //Счетчик тактов
unsigned char vup=0;
unsigned char lv=0; //Предыдущее значение ADC
int led = 13;
int relay=6, timer=10;
char inByte='0';
void flash_led() //обработчик прерывания
{ //noInterrupts();
  detachInterrupt(0);
  Serial.println(fr_counter);
  //delay(1);
  //tim=0;
  //Serial.println(tim);
  fr_counter=0;

  delay(1);
  attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
}
//////////
/*void callback()
{
```

```

Serial.println(fr_counter);
//delay(1);
fr_counter=0;
delay(10);
}
*//////////
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  //attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);//включение прерывания по спаду импульса
  //digitalWrite(6, HIGH);
  //pinMode(9, OUTPUT); //вывод 9 на выход
  MsTimer2::set(1000, flash_led); // 1000ms период
  MsTimer2::start(); //включить таймер
  // Timer1.initialize(1);
  //Timer1.attachInterrupt(callback);
  //delay(10);
  attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);//включение прерывания по спаду импульса

  pinMode(relay, OUTPUT);
  digitalWrite(relay, HIGH);
}

void loop()
{
  digitalWrite(led, HIGH); // turn the LED on (HIGH is the voltage level)
  delayMicroseconds(tim); // wait for a second
  digitalWrite(led, LOW); // turn the LED off by making the voltage LOW
  delayMicroseconds(tim);
  //attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);

  if (Serial.available() > 0) {
    // read the incoming byte:
    //incomingByte = Serial.read();

```

```
inByte = Serial.read();
}

if(inByte=='0') {detachInterrupt(0);
digitalWrite(relay, LOW);
delayMicroseconds(timer);
attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
}

if(inByte=='1') {
digitalWrite(relay, HIGH);
}

}

void fan_interrupt()//прерывание для подсчета
{fr_counter++;//счет импульсов
//detachInterrupt(0);
//attachInterrupt(0, fan_interrupt, RISING);
//delayMicroseconds(10);
}
```

## Приложение Б

### Блок-схема для микроконтроллера

