

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

---

Институт Неразрушающего Контроля  
Направление подготовки 12.03.01 «Приборостроение»  
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

| Тема работы                                                                            |  |
|----------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <b>Разработка автоматизированного дефектоскопа для контроля цилиндрических изделий</b> |  |
| УДК: 620.179.152:62-434.1                                                              |  |

Студент

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 1БЗБ   | Машанов Алексей Павлович |         |      |

Руководитель

| Должность                                                                        | ФИО                        | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ведущий эксперт<br>кафедры физических<br>методов и приборов<br>контроля качества | Капранов Борис<br>Иванович | Д.т.н.                    |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность                        | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|----------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры<br>менеджмента | Грахова Елена<br>Александровна |                           |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность | ФИО                            | Ученая степень,<br>звание       | Подпись | Дата |
|-----------|--------------------------------|---------------------------------|---------|------|
| Инженер   | Маланова Наталья<br>Викторовна | Кандидат<br>технических<br>наук |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой | ФИО                           | Ученая степень,<br>звание                | Подпись | Дата |
|---------------|-------------------------------|------------------------------------------|---------|------|
| ФМПК ИНК ТПУ  | Суржиков Анатолий<br>Петрович | Доктор физ. –<br>мат. наук.<br>профессор |         |      |

## Запланированные результаты обучения

| Код результата | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| P1             | <b>Способность</b> совершенствовать и повышать свой интеллектуальный и общекультурный уровень и специальные знания в области математических, естественных, гуманитарных и экономических наук в комплексной инженерной деятельности на основе целостной системы научных знаний об окружающем мире;                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| P2             | <b>Способность</b> адаптироваться к новым ситуациям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности в понимании сущности и значения информации в развитии современного общества, владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации; использование для решения коммуникативных задач современных технических средств и информационных технологий <b>в профессиональной области.</b>                                                                                                                          |
| P3             | <b>Способность</b> использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских и проектных работ, в управлении коллективом; эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, демонстрируя навыки руководства отдельными группами исполнителей; в том числе над междисциплинарными проектами, уметь проявлять личную ответственность, приверженность профессиональной этике и нормам ведения профессиональной деятельности.                                                                                                                      |
| P4             | <b>Способность</b> к самостоятельному обучению новым методам исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля своей профессиональной деятельности; разрабатывать самостоятельно техническую документацию; четко излагать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности <b>в областях контроля качества продукции предприятий измерительной техники и точного приборостроения;</b> приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности умения непосредственно не связанных со сферой деятельности. |
| P5             | <b>Умение</b> использовать основные законы естественнонаучных дисциплин, методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности при разработке средств измерения и контроля, используя стандартные пакеты и средства автоматизированного проектирования в приборостроении.                                                                                                                                                                                                         |
| P6             | <b>Умение</b> профессионально эксплуатировать современное оборудование и приборы в соответствии с целями магистерской программы, организовывать технологическую подготовку производства приборных систем различного назначения и принципа действия, разрабатывать и внедрять новые технологические процессы с использованием гибких САПР и оценивать их экономическую эффективность и инновационные риски при их внедрении.                                                                                                                                               |
| P7             | <b>Способность</b> проектировать приборные системы и технологические процессы с использованием средств САПР и опыта разработки конкурентоспособных изделий; осуществлять проектную деятельность в профессиональной сфере на основе системного подхода.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| P8             | <b>Умение</b> разрабатывать методики проведения теоретических и экспериментальных исследований по анализу, синтезу и оптимизации методов измерения контроля и диагностики, используемых в приборостроении; способность разработать и проводить оптимизацию натурных экспериментальных исследований приборных систем с учётом критериев надёжности; использовать результаты научно-исследовательской деятельности и пользоваться правами на объекты интеллектуальной собственности.                                                                                        |
| P9             | <b>Умение</b> организовывать современное метрологическое обеспечение технологических процессов производства приборных систем и разрабатывать новые методы контроля качества выпускаемой продукции и технологических процессов; решать экономические и организационные задачи технологической подготовки приборных систем и выбирать системы обеспечения экологической безопасности в производстве и при технологическом контроле.                                                                                                                                         |
| P10            | <b>Способность</b> проектировать математические модели анализа и оптимизации объектов исследования, выбирать численные методы их моделирования или разработать новый алгоритм решения задачи; выбирать оптимальные методы и программы экспериментальных исследований и испытаний, проводить измерения с выбором современных технических средств и обработкой результатов измерений.                                                                                                                                                                                       |
| P11            | <b>Способность</b> формулировать цели, определять задачи, выбирать методы исследования в области приборостроения на основе подбора и изучения литературных и патентных и других источников; разрабатывать методические и нормативные документы, техническую документацию на объекты приборостроения, а также осуществлять системные мероприятия по реализации разработанных проектов и программ; составлять научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам исследовательской деятельности                                                                   |

Институт неразрушающего контроля  
Направление подготовки (специальность) – Приборостроение  
Кафедра Физических методов и приборов контроля качества

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)

\_\_\_\_\_  
(Дата)

\_\_\_\_\_  
(Ф.И.О.)

Суржигов А.П.

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

|                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| бакалаврской работы<br>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| Группа | ФИО                        |
| 1Б3Б   | Машанову Алексею Павловичу |

|                                                                                    |  |
|------------------------------------------------------------------------------------|--|
| РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕФЕКТОСКОПА ДЛЯ КОНТРОЛЯ<br>ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ |  |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)                                        |  |

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

|                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>Исходные данные к работе</b></p>                                               | <p>Объектом исследования разработка автоматизированного дефектоскопа для контроля цилиндрических изделий.</p> <p>-Источник ионизирующего излучения <math>^{60}\text{Co}</math>.</p> <p>-Сцинтиллятор <math>\text{NaI(Tl)}</math></p> <p>-Метод измерения среднетоковый.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> | <p>Цель работы: разработать автоматизированный дефектоскоп для контроля цилиндрических изделий</p> <p>Анализ литературы и нормативно-технической документации, затрагивающей вопросы радиометрического контроля.</p> <p>Для источников <math>^{60}\text{Co}</math>, <math>^{137}\text{Cs}</math>, <math>^{57}\text{Co}</math>, <math>^{241}\text{Am}</math> рассчитать оптимальные размеры кристалла <math>\text{NaI(Tl)}</math> для 90% регистрации потока квантов. Для источника применяемого в дефектоскопе РД-30РМ <math>^{60}\text{Co}</math> обосновать оптимальный размер кристалла. Выбрать схему включения ФЭУ для реализации среднетокового метода измерения. Описать структурная схема и работу дефектоскопа РД-30РМ.</p> |

|                                        |                                                |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Перечень графического материала</b> | Презентация в Microsoft Office PowerPoint 2010 |
|----------------------------------------|------------------------------------------------|

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

| Раздел                                                                 | Консультант                 |
|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Основная часть ВКР</b>                                              | Капранов Борис Иванович     |
| <b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> | Грахова Елена Александровна |
| <b>Социальная ответственность</b>                                      | Маланова Наталья Викторовна |

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

**Задание выдал руководитель:**

| Должность                                                               | ФИО                     | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------|---------|------|
| Ведущий эксперт кафедры физических методов и приборов контроля качества | Капранов Борис Иванович | Д.Т.Н.                 |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 1БЗБ   | Машанов Алексей Павлович |         |      |

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

Студенту:

| Группа | ФИО                        |
|--------|----------------------------|
| 1БЗБ   | Машанову Алексею Павловичу |

| Институт            | ИНК      | Кафедра                   | ФМПК            |
|---------------------|----------|---------------------------|-----------------|
| Уровень образования | бакалавр | Направление/специальность | Приборостроение |

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

|                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | - Исследование проводится для АО «Чебоксарское производственное объединение имени В.И. Чапаева»<br>- При проведении исследования используется база лабораторий НИ ТПУ кафедры ФМПК;<br>в исследовании задействованы 2 человека: студент-исполнитель и научный руководитель. |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов                                                                                           | - НИР выполняется в соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»                                                                                                                      |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  | - Отчисления по страховым взносам – 27,1% от ФОТ                                                                                                                                                                                                                            |

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

|                                                                                                                             |                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ                                                                     | - Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование,<br>- Потенциальные потребители результатов НТИ,<br>- Swot-анализ НТИ. |
| 2. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок                 | - Планирование комплекса работ по проведению НТИ;<br>- Расчет бюджета затрат на НТИ.                                                        |
| 3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования | - Оценка эффективности НТИ;<br>- Определение научно-технического уровня проекта.                                                            |
| 4. Перечень графического материала                                                                                          | 1. Матрица SWOT<br>2. График проведения работ и бюджет НИР                                                                                  |

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

| Должность                     | ФИО                         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------|------|
| Ассистент кафедры менеджмента | Грахова Елена Александровна |                        |         |      |

Задание принял к исполнению студент:

| Группа | ФИО                      | Подпись | Дата |
|--------|--------------------------|---------|------|
| 1БЗБ   | Машанов Алексей Павлович |         |      |

## Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 67с., 19 рис., 24 таблицы, 16 источников.

Ключевые слова: радиометрия, сцинтилляторы, сцинтилляционные детекторы, ФЭУ, источники  $\gamma$ -квантов, радиометрический дефектоскоп.

Объектом исследования является автоматизированный радиометрический дефектоскоп применяющийся для контроля цилиндрических изделий.

Цель работы – разработка блока детектирования радиометрического дефектоскопа.

В процессе исследования были и произведён обзор методов радиометрического контроля. Изучен принцип и особенности работы фотоэлектронных умножителей. Рассмотрены использующиеся и перспективные типы сцинтилляционных кристаллов, основные типы изотопных источников применяемых в радиометрических дефектоскопах. Для источников  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$  рассчитаны оптимальные размеры кристалла при 90% регистрации потока квантов. Для источника применяемого в дефектоскопе РД-30РМ  $^{60}\text{Co}$  обоснован оптимальный размер кристалла. Выбрана схема включения ФЭУ для реализации среднетокowego метода измерения. Описана структурная схема и работа дефектоскопа РД-30РМ.

## Определения

В данной работе применены следующие термины с соответствующими определениями:

**Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)** — электровакуумный прибор, в котором поток электронов, излучаемый фотокатодом под действием оптического излучения (фототок), усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии;

**Радиометрия** — совокупность методов измерений активности источников ионизирующего излучения. Базируется на различных физических эффектах, возникающих при воздействии излучения на вещество — люминесценция, ионизация, образование видимых следов;

**Сцинтилляторы** — вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения;

**Дефектоско́п** — устройство для обнаружения дефектов в изделиях из различных металлических и неметаллических материалов методами неразрушающего контроля.

## Оглавление

|                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| Введение.....                                                         | 10 |
| 1 Радиометрия.....                                                    | 11 |
| 2 Источники $\gamma$ -квантов.....                                    | 11 |
| 3 Взаимодействие гамма-квантов с веществом.....                       | 13 |
| 3.1 Фотоэффект.....                                                   | 14 |
| 3.2 Комптон-эффект.....                                               | 14 |
| 3.3 Образование пары электрон–позитрон.....                           | 15 |
| 4 Сцинтилляционные детекторы.....                                     | 15 |
| 5 Сцинтилляторы.....                                                  | 17 |
| 5.1 Неорганические сцинтилляторы.....                                 | 17 |
| 5.2 Органические сцинтилляторы.....                                   | 19 |
| 5.3 Перспективные сцинтилкристаллы.....                               | 20 |
| 7 Принцип и особенности работы фотоэлектронных умножителей.....       | 24 |
| 8.Расчёт необходимых габаритов кристалла сцинтиллятора.....           | 26 |
| 8.1 Расчёт для источника $^{60}\text{Co}$ .....                       | 27 |
| 8.2 Расчёт для источника $^{137}\text{Cs}$ .....                      | 28 |
| 8.3 Расчёт для источника $^{57}\text{Co}$ .....                       | 30 |
| 8.4 Расчёт для источника $^{241}\text{Am}$ .....                      | 31 |
| 9 Радиометрический дефектоскоп РД – 30РМ.....                         | 33 |
| 9.1 Устройство и работа прибора.....                                  | 33 |
| 9.2 Технические данные.....                                           | 37 |
| 10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.. | 39 |
| 11. Социальная ответственность.....                                   | 54 |
| Заключение.....                                                       | 65 |
| Список использованных источников.....                                 | 66 |



## Введение

Одним из методов неразрушающего контроля является радиометрический контроль. Радиометрический контроль позволяет бесконтактно проверить объект контроля на наличие дефектов.

Радиометрический метод контроля основан на преобразовании излучения прошедшего через объект контроля, в электрический сигнал и измерении параметров этого сигнала. Детекторами излучения в радиометрическом методе контроля являются сцинтилляционные кристаллы с ФЭУ, а также полупроводниковые детекторы.

Сцинтиллятор - это материал обладающий способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения.

В радиометрических дефектоскопах в качестве радиоактивных источников гамма-квантов используются бета-активные изотопы: такие как  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$ .

Одним из основных параметром сцинтилляционного детектора является отношение  $\gamma$ -квантов, поглощенных кристаллом сцинтиллятора от их первоначального количества, зависящее от размеров кристалла сцинтиллятора.

Размеры кристалла сцинтиллятора рассчитываются из соображений, что чем больше размеры сцинтиллятора, тем больше количество поглощенных квантов, но на практике достичь 100% поглощения невозможно. В данной работе расчет ведется для 90% поглощения, так как в радиометрии 90% поглощение принято считать высоким показателем.

В данной работе, выбрана схема включения ФЭУ для реализации среднетокowego метода измерения. Для источников  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{241}\text{Am}$  рассчитаны оптимальные размеры кристалла NaI(Tl) для 90% регистрации потока квантов. Описана структурная схема и работа дефектоскопа РД-30РМ. Для источника применяемого в дефектоскопе РД-30РМ  $^{60}\text{Co}$  обоснован оптимальный размер кристалла.

## 1 Радиометрия

Радиометрический метод контроля основан на преобразовании излучения прошедшего через объект контроля, в электрический сигнал и измерении параметров этого сигнала.

Методы радиометрической дефектоскопии разделяют на импульсный и среднеточковый. При импульсном методе радиометрии выходной сигнал формируется в виде потока импульсов, частота следования которых зависит от интенсивности потока квантов попадающих в кристалл и от спектра излучения, прошедшего через объект контроля. При среднеточковом методе радиометрии выходной электрический сигнал формируется в виде постоянного тока, среднее значение которого зависит от интенсивности потока квантов поглощенных в кристалле. К преимуществам радиометрического контроля можно отнести большую производительность и высокую чувствительность, а также простоту автоматизации контроля. К одним из главных недостатков относится интегрирующее свойство, которое не позволяет отличать сигналы от дефектов расположенных на близких расстояниях. Детекторами излучения в радиометрическом методе контроля являются сцинтилляционные кристаллы с ФЭУ, а также полупроводниковые детекторы.

## 2 Источники $\gamma$ -квантов

Обычно в качестве радиоактивных источников гамма-квантов используются бета-активные изотопы. На рис. 1 в качестве примера показаны схемы распада  $^{60}\text{Co}$  и  $^{22}\text{Na}$ . Ядро  $^{60}\text{Co}$  в основном распадается на возбужденное состояние  $4^+$  дочернего ядра  $^{60}\text{Ni}$  посредством разрешенного гамов-теллеровского перехода. Это возбужденное состояние переходит в основное посредством каскада E2-переходов с энергиями гамма-квантов 1173 и 1333 кэВ. Ядро  $^{22}\text{Na}$  испытывает  $\beta^+$ -распад. Также, как и в случае  $^{60}\text{Co}$ , распад происходит в основном на возбужденное состояние дочернего ядра.  $^{22}\text{Na}$  является источником  $\gamma$ -квантов с энергией 1275 и 511 кэВ. Последние образуются в результате аннигиляции позитронов.

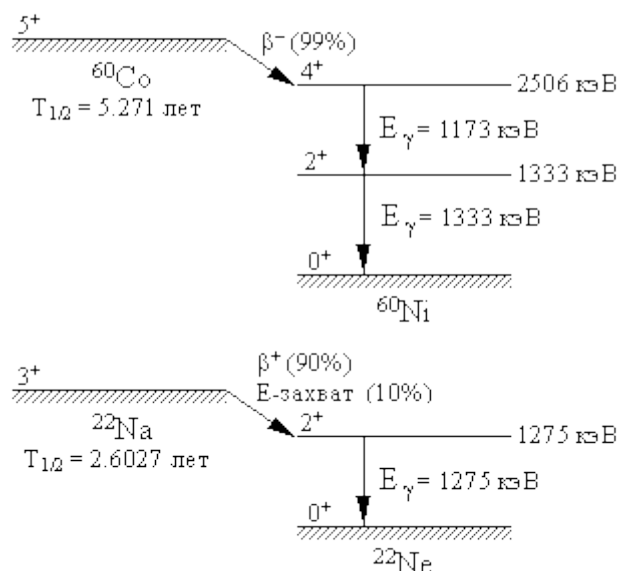


Рисунок 1 – Схемы распада  $^{60}\text{Co}$  и  $^{22}\text{Na}$

Кроме бета-активных изотопов в качестве источников гамма-квантов используются также изомеры, например  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ . Период полураспада измерного состояния  $^{119\text{m}}\text{Sn}$   $T_{1/2} = 293.1$  дня, энергия 23.9 кэВ. Кроме гамма-линии от распада изомерного состояния  $^{119\text{m}}\text{Sn}$  является источником рентгеновских квантов с энергиями 25.2 и 28.6 кэВ, которые сопровождают процесс внутренней конверсии, конкурирующим с гамма-переходом. Собственные ширины  $\gamma$ -линий на много порядков меньше энергий  $\gamma$ -квантов, поэтому радиоактивные источники можно считать монохроматическими. Интенсивность радиоактивных источников может быть доведена до  $10^{14}$  фотонов в секунду. В табл. 1 приведены бета-активные изотопы, которые используются в радиометрических дефектоскопах.

Таблица 1 – Изотопы источников гамма-квантов

|                  | $E_{\gamma}$ , кэВ     | $T_{1/2}$ ,   |                   | $E_{\gamma}$ , кэВ | $T_{1/2}$     |                   | $E_{\gamma}$ , кэВ | $T_{1/2}$     |
|------------------|------------------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------|-------------------|--------------------|---------------|
| $^{22}\text{Na}$ | 1274,54                | 2,6027<br>лет | $^{88}\text{Y}$   | 898,0<br>1836,1    | 106,6<br>дней | $^{152}\text{Eu}$ | 121,78-<br>1408,0  | 13,51<br>лет  |
| $^{44}\text{Ti}$ | 68,9<br>78,3<br>1157,0 | 60,0<br>лет   | $^{109}\text{Cd}$ | 88,0               | 461,4<br>дней | $^{153}\text{Gd}$ | 97,4<br>130,2      | 240,4<br>дней |
| $^{54}\text{Mn}$ | 834,8                  | 312,2         | $^{113}\text{Sn}$ | 255,1              | 115,1         | $^{207}\text{Bi}$ | 569,7              | 32,9          |

|                  |                        |                |                   |                                          |                |                                |                 |              |
|------------------|------------------------|----------------|-------------------|------------------------------------------|----------------|--------------------------------|-----------------|--------------|
|                  |                        | дней           |                   | 391,7                                    | дней           |                                | 1063,6          | лет          |
| <sup>55</sup> Fe | 5,9<br>6,5             | 2,741<br>лет   | <sup>134</sup> Cs | 563,2<br>569,3<br>604,7<br>795,8         | 2,065<br>лет   | <sup>228</sup> Th+<br>дочерние | 84,4-<br>2614,5 | 1,911<br>лет |
| <sup>57</sup> Co | 14,4<br>122,1<br>136,5 | 271,8<br>дней  | <sup>133</sup> Ba | 81,0<br>276,4<br>302,9<br>356,0<br>383,8 | 10,54<br>лет   | <sup>241</sup> Am              | 26,3<br>56,5    | 432,6<br>лет |
| <sup>60</sup> Co | 1173,2<br>1332,5       | 5,271<br>лет   | <sup>137</sup> Cs | 661,7                                    | 30,018<br>лет  | <sup>243</sup> Am              | 43,5<br>74,7    | 7370<br>лет  |
| <sup>65</sup> Zn | 1115,54                | 244,06<br>дней | <sup>139</sup> Ce | 165,9                                    | 137,64<br>дней |                                |                 |              |

### 3 Взаимодействие гамма-квантов с веществом

При прохождении гамма-излучения через объект происходит ослабление интенсивности пучка  $\gamma$ -квантов, что является результатом их взаимодействия с атомами вещества.

В области энергий гамма-квантов, наиболее существенны три процесса взаимодействия фотонов с веществом: фотоэффект, комптоновское рассеяние и образование пар электрон-позитрон. Суммарное эффективное сечение в этой области энергий является суммой эффективных сечений отдельных процессов, участвующих в ослаблении первичного потока:

$$\sigma_{tot} = \sigma_{ph} + \sigma_c + \sigma_p \quad (1)$$

Уменьшение интенсивности  $n(x)$  моноэнергетического коллимированного пучка гамма-квантов не слишком толстым слоем  $x$  однородного вещества происходит экспоненциально:

$$n(x) = n_0 * e^{-\mu_{\rho} * \rho * x} \quad (2)$$

где  $n(x)$ - количество квантов прошедших через слой  $x$

$n_0$ -начальное количество квантов;

$\mu_\rho$ -массовый коэффициент ослабления;

$\rho$ -плотность;

Геометрия прохождения и рассеяния квантов в кристалле представлена на Рис. 2

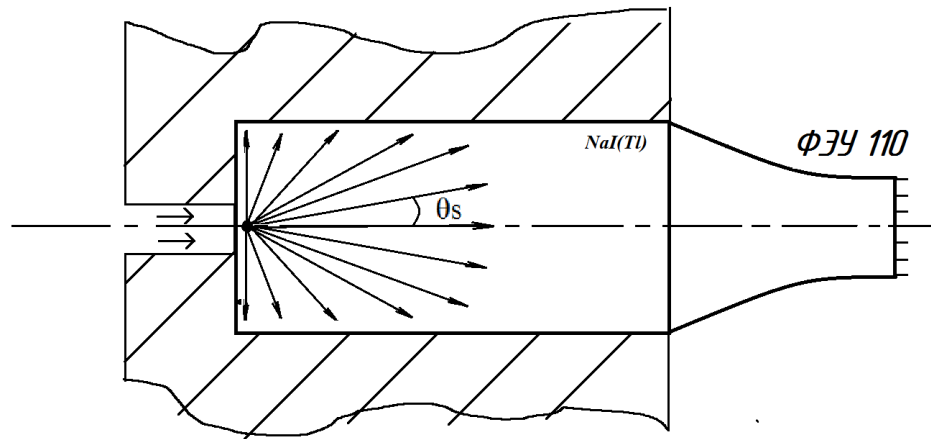


Рисунок 2 – Геометрия прохождения и рассеяния квантов

### 3.1 Фотозэффект

Если энергия  $\gamma$ -кванта больше энергии связи электрона оболочки атома, происходит фотозэффект. Это явление состоит в том, что фотон целиком поглощается атомом, а один из электронов атомной оболочки выбрасывается за пределы атома. Используя закон сохранения энергии, можно определить кинетическую энергию фотоэлектрона  $E_e$ :

$$E_e = E_\gamma - I_i - E_n \quad (3)$$

где  $I_i$  – ионизационный потенциал оболочки атома, из которой выбивается электрон;  $E_n$  – энергия отдачи ядра,  $E_\gamma$  – энергия гамма-кванта.

### 3.2 Комптон-эффект

Комптон-эффект это рассеяние гамма-квантов на свободных электронах. Электрон можно считать свободным, если энергия гамма-квантов во много раз превышает энергию связи электрона. В результате комптон-эффекта вместо первичного фотона с энергией  $E_\gamma$  появляется рассеянный фотон с энергией  $E'_\gamma < E_\gamma$ , а электрон, на котором произошло рассеяние, приобретает кинетическую

энергию  $E_e = E_\gamma - E'_\gamma$ . Пользуясь законами сохранения импульса и энергии можно записать

$$\vec{P}_\gamma = \vec{P}'_\gamma + \vec{P}_e \quad (4)$$

$$m_e c^2 + E_\gamma = E'_\gamma + E_e \quad (5)$$

где  $m_e c^2 = 0.511$  МэВ – энергия покоя электрона,  $E_e$  – полная энергия электрона,  $E_\gamma$  и  $E'_\gamma$  – энергии падающего и рассеянного гамма-квантов.

Изменение энергии рассеянного кванта при комптоновском рассеянии не зависит от  $\lambda$  и определяется лишь углом  $\theta$  рассеяния  $\gamma$ -кванта.

$$E_s = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_0 c^2} (1 - \cos(\theta))} \quad (6)$$

### 3.3 Образование пары электрон–позитрон

Процесс образования пар происходит лишь в кулоновском поле частицы, получающей часть энергии и импульса.

Образование пар в поле ядра может иметь место, если энергия кванта удовлетворяет соотношению

$$E_\gamma > 2m_e c^2 + E_{\text{я}} \quad (7)$$

где первый член справа соответствует энергии покоя пары электрон-позитрон, а второй – энергия отдачи ядра. Так как энергия отдачи ядра сравнительно мала, то энергия, определяемая первым членом, является порогом рождения пар ( $2m_e c^2 \approx 1.022$  МэВ). В основном образование  $e^+e^-$ -пар происходит в кулоновском поле ядер атомов и эффективное сечение этого процесса пропорционально квадрату заряда ядра  $Z^2$ , т.е.  $\sigma_{np} \sim Z^2$ .

## 4 Сцинтилляционные детекторы

Сцинтилляционный детектор – детектор частиц, принцип работы которого основан на регистрации световых вспышек в видимой или УФ области спектра, возникающих при прохождении заряженных частиц через сцинтиллятор. Отношение энергии, конвертированной в световую вспышку  $E_\phi$  от полной энергии ( $E_n$ ), потерянной частицей в сцинтилляторе,

называется конверсионной эффективностью. Она является основным параметром сцинтилляционного детектора. Иногда вместо конверсионной эффективности используют удельный световой выход (световыход) - число образованных частиц фотонов на единицу потерянной энергии  $C_k/h\nu$ , или среднюю энергию, расходуемую на образование одного фотона,  $W_f = h\nu / C_k$ .

Для наиболее эффективных сцинтилляторов значение  $C_k$  достигает 0,1-0,3. Конверсионная эффективность зависит от типа регистрируемой частицы и от её удельных потерь энергии. Для сцинтиллятора  $C_k$  может зависеть от температуры  $T$ , наличия примесей и соотношения различных компонентов в сцинтилляторе.

Сцинтиллятор обладает спектрометрическими свойствами, т. е. интенсивность световой вспышки пропорциональна энергии, потерянной частицей в широкой области энергии. Только в области малых энергий, где резко возрастает удельная потеря энергии, световыход падает и пропорциональность нарушается.

Механизмы преобразования энергии частицы в световую вспышку различны для разных сцинтилляторов. В большинстве случаев они могут быть представлены в виде общей схемы: 1) ионизация и возбуждение атомов и молекул, образование радикалов; 2) перенос энергии возбуждения к центрам свечения; 3) возбуждение и высвечивание центров свечения. Нейтральные частицы регистрируются благодаря передаче энергии заряженным частицам: кванты по электронам и позитронам, нейтроны - по протонам отдачи или по заряженным частицам, возникающим в ядерных реакциях нейтронов с веществом сцинтиллятора.

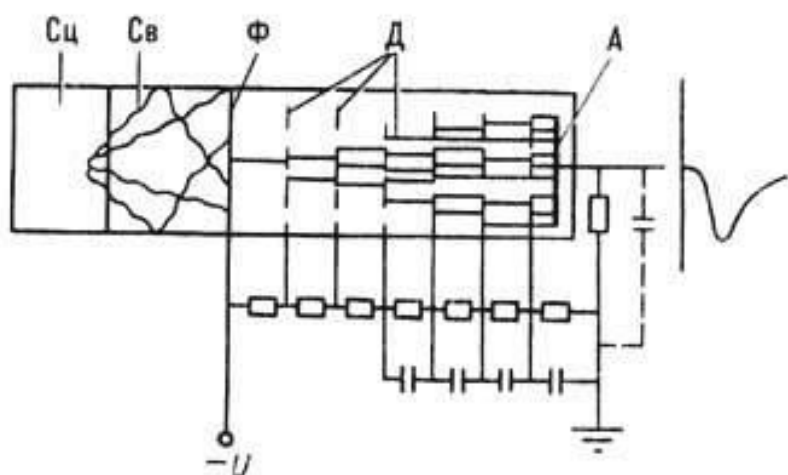


Рисунок 3 – Схема сцинтилляционного детектора: Сц- сцинтиллятор, Св- светопровод, Ф - фотокатод, Д - диноды, А - анод

Основные элементы сцинтилляционного детектора (рис. 3) - сцинтиллятор и соединённый с ним оптически фоторегистратор, преобразующий энергию световой вспышки в электрический импульс. В качестве фоторегистратора обычно используют фотоэлектронный умножитель (ФЭУ). Световые фотоны, попадая на фотокатод ФЭУ, выбивают из него электроны, которые фокусируются на 1-й динод, размножаются динодной системой в результате процесса вторичной электронной эмиссии и окончательно собираются на аноде ФЭУ, создавая в его цепи электрический импульс.

## 5 Сцинтилляторы

### 5.1 Неорганические сцинтилляторы

Неорганические сцинтилляторы - монокристаллы с добавкой активатора. Они обладают большим атомным номером  $Z$ , плотностью  $\rho$  и достаточно большой длительностью высвечивания  $t$  (табл. 2).

Таблица 2 – Характеристики неорганических сцинтилляторов

| Кристалл | $\rho$ , г/см <sup>3</sup> | Максимум в спектре люминисценции, нм | $\tau$ , нс | Ск   |
|----------|----------------------------|--------------------------------------|-------------|------|
| NaI (Tl) | 3,67                       | 410                                  | 250         | 0,06 |



|                  |      |     |                 |          |
|------------------|------|-----|-----------------|----------|
| CsI (Tl)         | 4,51 | 560 | 700             | 0,02     |
| KI (Tl)          | 3,13 | 410 | 1000            | 0,012    |
| LiI (Eu)         | 4,06 | 440 | 1200            | 0,04     |
| CaF <sub>2</sub> | 3,18 | 250 | 200             | 0,009    |
| ZnS (Ag)         | 4,09 | 450 | 10 <sup>4</sup> | 0,1-0,02 |

Одними из лучших неорганических сцинтилляторов является NaI(Tl) и CsI(Tl). К плюсам NaI(Tl) можно отнести большое значение световыхода, кристалл прозрачен для собственного излучения, так же монокристаллы NaI(Tl) могут быть выращены до 500мм. Главным недостатком NaI(Tl) является его гигроскопичность. Сцинтиллятор CsI(Tl) имеет значение световыхода ниже, но он не гигроскопичен, не требует герметизации.

Сравнение эффективности работы кристаллов NaI(Tl) и CsI(Tl) в спектрометрическом режиме приведено на рис.4. Видно что гамма спектры изотопа <sup>137</sup>Cs, полученные обоими кристаллами отличаться мало. Основное отличие кристалла CsI(Tl) от NaI(Tl) состоит в негигроскопичности. Это упрощает работу с ним.

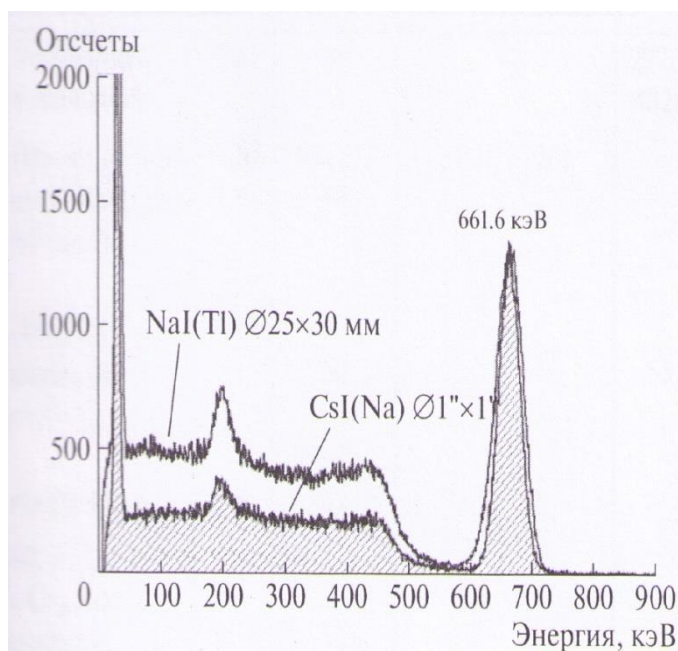


Рисунок 4 – Гамма-спектры <sup>137</sup>Cs, измеренные с применением двух сцинтилляторов сопоставимых размеров

## 5.2 Органические сцинтилляторы

К органическим сцинтилляторам относятся органические кристаллы, жидкие и твёрдые растворы сцинтиллирующих веществ в органических растворителях и полимерах, а также органические газы.

Таблица 3 – Характеристика органических сцинтилляторов

| Сцинтилляторы                                                        | $\rho$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | Максимум в<br>спектре<br>люминисценции,<br>нм | $\tau$ , нс | Ск    |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------|-------------|-------|
| Кристаллические:                                                     |                               |                                               |             |       |
| Антрацен                                                             | 1,25                          | 445                                           | 30          | 1(4%) |
| Стильбен                                                             | 1,16                          | 410                                           | 6           | 0,7   |
| Нафталин                                                             | 1,15                          | 345                                           | 70          | 0,2   |
| Жидкие:                                                              |                               |                                               |             |       |
| Ксилол с добавкой р-терфенила (5 г/л) и РОРОР (0,1 г/л)              | 0,86                          | 350                                           | 2           | 0,5   |
| Толуол с добавкой р-терфенила (4 г/л) и РОРОР (0,1 г/л)              | 0,86                          | 430                                           | 2,7         | 0,6   |
| Уайт-спирит с добавкой РРО (2 г/л) и РОРОР (0,03 г/л) с продувкой АГ | 0,78                          | 425                                           | 5           | 0,6   |
| Пластические:                                                        |                               |                                               |             |       |
| Полистирол с добавкой р-терфенила (0,9%) и $\alpha$ -NPO (0,05%)     | 1,06                          | 400                                           | 2,2         | 0,4   |
| Поливинилтолуол с добавкой р-терфенила (3,4%) и РОРОР (0,1%)         | 1,1                           | 430                                           | 3           | 0,5   |

В органических сцинтилляторах высвечивание фотонов связано с электронными переходами возбуждённых молекул. Органические сцинтилляторы характеризуются малым атомным номером  $Z \sim 6$ , сравнительно

небольшой плотностью  $\rho$  и малой длительностью высвечивания  $\tau$  (табл. 3). Последнее делает их удобными для временных измерений.

Высокая прозрачность жидких сцинтилляторов позволяет создавать на их основе сцинтилляционные детекторы с размерами в несколько метров и массой вплоть до нескольких сотен тонн.

Газовые сцинтилляторы - инертные газы и их смеси в газообразном, жидком и твёрдом состояниях. Центрами свечения являются возбуждённые молекулы. Инертные газы характеризуются короткими временами высвечивания ( $\sim 10^{-8}$ - $10^{-9}$ с) и высоким световыходом. Так световыход Хе того же порядка, что и у NaI(Tl). Основное применение газовых сцинтилляционных детекторов - регистрация  $\alpha$ -частиц и осколков деления.

### 5.3 Перспективные сцинтилляционные кристаллы

Недостатки “классических” сцинтилляторов подталкивают к применению в спектрометрах более современных и более совершенных кристаллов. Анализ данных работы показывает, что по формальным признакам (значения  $L_\gamma > 20$  фотонов/кэВ,  $\eta_{662} \leq 5\%$ ,  $\tau_d \leq 0.5$  мкс) для промышленного применения из 300 сцинтилляторов могут быть потенциально пригодны лишь 15 кристаллов, а если объединить те из них, которые отличаются лишь концентрацией допирующих элементов, то их останется 10: BaBr:Eu, CeBr<sub>3</sub>, Cs<sub>2</sub>LiLaBr<sub>6</sub>:Ce, LaBr<sub>3</sub>:Ce, LaCl<sub>3</sub>:Ce, Lu<sub>2.25</sub>Y<sub>0.75</sub> 75Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Pr, Lu<sub>3</sub> Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Pr, RbGd<sub>2</sub>Br<sub>7</sub>:Ce, Srl<sub>2</sub>:Eu, YA1O<sub>3</sub>:Ce (см. табл. 4).

Таблица 4 – Основные свойства перспективных сцинтилляторов

| Сцинтиллятор                                                                | $\rho$ ,<br>г/см <sup>3</sup> | $L_\gamma$ , фото-<br>нов/кэВ | $\delta L_\gamma / \Delta \theta$<br>%/°C | $\tau_d$ , нс        | $\lambda_{max}$ ,<br>нм | $\eta_{662}$ ,<br>% | Примечание                                                                              |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| BaBr:Eu ( лабора-<br>торные образцы)                                        | 5,20                          | 81                            | -                                         | 297(23%)<br>482(77%) | 413                     | 4,8                 | $\eta_{662}$ не соответствует<br>$L_\gamma$ - велик вклад $\eta_{int}$                  |
| CeBr <sub>3</sub> (пр-во Hellma<br>materials GmbH; Sci-<br>onix Holland BV) | 5,20<br>5,10                  | 68<br>60                      | $\leq 0,075$                              | 17                   | 371                     | 3,8                 | Отсутствует заметный<br>собственный фон;<br>оптимальное сочета-<br>ние основных свойств |
| Cs <sub>2</sub> LiLaBr <sub>6</sub> : Ce<br>(лабораторные)                  | 4,20<br>-                     | 60<br>50                      | -<br>-                                    | -<br>55;270          | 410<br>390              | 3,0<br>2,9          | Сложный состав, ком-<br>мерческие кристаллы                                             |

|                                                                                                  |              |           |            |                     |            |            |                                                                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|------------|---------------------|------------|------------|-------------------------------------------------------------------------|
| образцы)                                                                                         |              |           |            |                     | ;42<br>0   |            | маловероятны;<br>в.ф.э.у., $\tau_{sh} = 2$ мкс;                         |
| LaBr <sub>3</sub> :Ce(BrilLan-Ce™380;пр-во S.-Globain Crystals; лабораторные образцы в РФ)       | 5,08         | 63        | +0,01      | 16                  | 380        | 2,9        | Высокий уровень собственного фона                                       |
| LaCl <sub>3</sub> :Ce(BrilLan-Ce™350;пр-во S.-Globain Crystals)                                  | 3,85         | 49        | 0,04       | 25(80%)<br>600(20%) | 350        | 3,5        | В.ф.э.у., $\tau_{sh} = 2$ мкс; высокий уровень собственного фона        |
| Lu <sub>2,25</sub> Y <sub>0,75</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> : Pr (лабораторные образцы) | 6,2          | 33        | $\geq 2,6$ | -                   | -          | 4,4        | Сложный состав, коммерческие кристаллы мало вероятны                    |
| Lu <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub> : Pr (лабораторные образцы)                      | 6,7          | 19        | 0,6        | 20                  | 310        | 4,6        | Увеличение толщины кристалла с 1 до 16 мм увеличивает $\eta$ до 12,8%   |
| RdGd <sub>2</sub> Br <sub>7</sub> : Ce(лабораторные образцы; Radiation Monitoring Devices, Inc.) | 4,75<br>-    | -<br>55,5 | -<br>-     | 43<br>60            | 410<br>420 | 4,1<br>3,8 | 9,8% Ce<br>5% Ce                                                        |
| SrI <sub>2</sub> : Eu(Hellma Materials GmbH)                                                     | 4,59<br>4,55 | 120<br>-  | -0,29<br>- | 1200<br>-           | 435<br>-   | 3,0<br>2,8 | $\eta_{662}$ не соответствует величине $L_y$ - велик вклад $\eta_{int}$ |
| YAlO <sub>3</sub> : Ce(пр-во Crytur; возможно пр-во в РФ)                                        | 5,37<br>-    | -<br>25   | -<br>+0,05 | -<br>25             | -<br>370   | 4,4        | 3х3х20мм;<br>в.ф.э.у.                                                   |

Данные табл. 4 позволяют сделать несколько выводов:

1. Из 10-ти относительно новых кристаллов, вошедших в эту таблицу, с точки зрения разработчиков представляют собой практический интерес лишь те из них, которые либо коммерчески доступны, либо близки к этому статусу. Это кристаллы CeBr<sub>3</sub>, LaBr<sub>3</sub>:Ce, LaCl<sub>3</sub>:Ce, SrI<sub>2</sub>:Eu, YAlO<sub>3</sub>:Ce.

2. Сцинтилляторы LaBr<sub>3</sub>:Ce и LaCl<sub>3</sub>:Ce выращиваются по одной и той же технологии, серийно производятся компанией Saint-Gobain (практически мировая монополия). При сопоставимых (и монопольно высоких) ценах на два эти продукта LaBr<sub>3</sub>:Ce оказывается более привлекательным, поскольку у него вчетверо меньшая температурная зависимость световыхода и отсутствует медленная компонента высвечивания.

3. Из списка кандидатов на применение в ближайшее время также следует исключить SrI<sub>2</sub>:Eu. Его температурный коэффициент световыхода на том же уровне, что у “классических” сцинтилляторов, постоянная времени высвечивания относительно велика, а вдвое больший световыход по сравнению

с  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  не приводит к превосходству в разрешающей способности - слишком велик вклад собственного разрешения.

Таким образом, можно полагать, что в ближайшие годы в сцинтилляционных детекторах могут применяться кристаллы  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ ,  $\text{CeBr}_3$  и  $\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ .

Как можно видеть, эти сцинтилляторы имеют много общего: они весьма быстрые ( $\tau_d = 16\text{-}25$  нс), а параметры световых вспышек очень слабо зависят от температуры; максимум спектра высвечивания лежит в одной и той же области ( $\lambda_{\text{max}} = 370\text{-}380$  нм); обладают приблизительно одинаковой плотностью.

Существующие между ними различия приводят к тому, что каждый из них имеет свою преимущественную область применения. Так  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$ , обладающий наилучшим энергетическим разрешением, не годится для проведения низкофоновых измерений (контроль сбросных и грунтовых вод прилегающей к а.э.с. территории) из-за наличия в его составе радионуклида  $^{138}\text{La}$ . Радиоактивный фон составляет  $\approx 0.35$  Бк/см<sup>3</sup>.

Стоимость в России упакованного в герметичный корпус кристалла BriLanCe™380 размером Ø 38 x 38 мм составляет около \$10 000 (\$230/см<sup>3</sup>). С увеличением объема растет удельная цена, и применение  $\text{LaBr}_3:\text{Ce}$  в таких задачах становится экономически неоправданным.

$\text{YAlO}_3:\text{Ce}$ , иначе называемый YAP, имеет относительно низкий световыход ( $L_\gamma = 20\text{-}25$  фотонов/кэВ), но благодаря некоторым своим уникальным свойствам занимает свое особое место. Хорошо известно, что в области энергий вторичных электронов  $E_e \leq 450$  кэВ, образуемых в веществе сцинтиллятора, практически все они обладают нелинейной зависимостью световыхода от энергии электронов. Это одна из причин возникновения собственной составляющей энергетического разрешения  $\eta_{\text{int}}$  и нелинейности начальной части шкалы сцинтилляционных спектрометров.

Данные работы позволяют сравнить этот сцинтиллятор с некоторыми другими (рис. 5). YAP:Ce - единственный из сцинтилляторов, у которого при

энергиях выше как минимум 15 кэВ отсутствует зависимость световыхода от энергии вторичных электронов. В силу этого  $\text{YAlO}_3\text{:Ce}$  оказывается предпочтительным в мягкой (рентгеновской) области энергий  $\gamma$ -излучения. Этому способствует и то, что физико-механические свойства материала позволяют изготавливать диски с толщиной в десятые доли миллиметра и при этом не требуется капсулирование. Верхний предел измеряемых энергий  $\gamma$ -излучения ограничивается недостаточной прозрачностью к собственному свету. При облучении кристалла коллимированным пучком  $\gamma$ -квантов наблюдается ярко выраженная позиционная чувствительность.

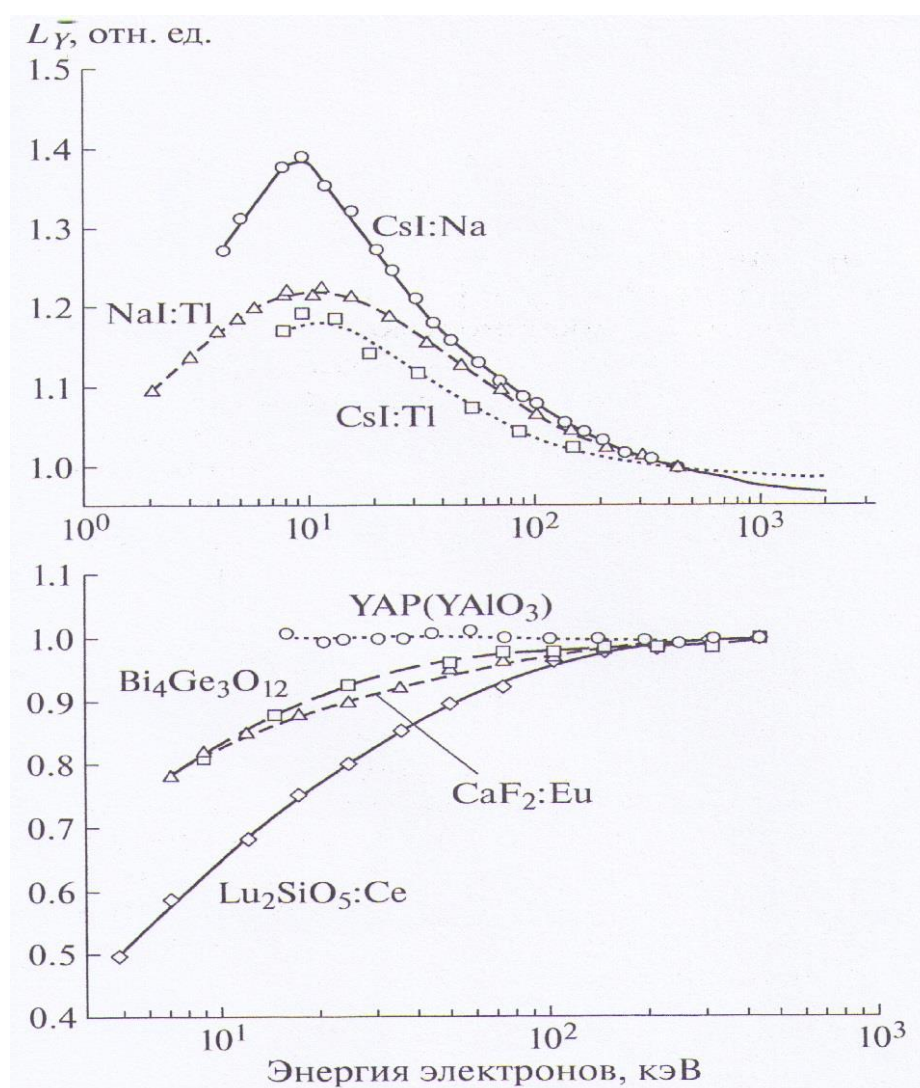


Рисунок 5 – Зависимости световыхода некоторых сцинтилляторов от энергии электронов

Считается, что лучшие в мире кристаллы YAP производятся компанией Crytur (Чехия). Стоимость цилиндрического сцинтиллятора размерами Ø 38 x 38 мм составляет около \$5500 (\$125/см<sup>3</sup>).

Сцинтиллятор  $CeBr_3$  практически по всем характеристикам располагается между  $LaBr_3:Ce$  и  $YAlO_3:Ce$  (в том числе и по цене). Очень важное преимущество этого кристалла в том, что у него крайне низкий уровень собственного радиоактивного фона. Вкупе с высокой разрешающей способностью, высокой эффективностью регистрации  $\gamma$ -квантов, малым временем высвечивания, слабой зависимостью световыхода от температуры и более низкой ценой по сравнению с  $LaBr_3:Ce$  это делает его первым кандидатом на роль универсального сцинтиллятора, пригодного и для измерения характеристик мощных  $\gamma$ -полей, и для проведения низкофоновых исследований.

Стоимость в России упакованного кристалла  $CeBr_3$  Ø 38 x 38 мм около \$7500 (\$175/см<sup>3</sup>).

## **7 Принцип и особенности работы фотоэлектронных умножителей**

Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) представляет собой, электровакуумный прибор, в котором поток электронов, эмитируемый фотокатодом под действием оптического излучения, усиливается в умножительной системе в результате вторичной электронной эмиссии.

Фотоэлектронный умножитель получает свет через стеклянное или кварцевое окно, покрытое фоточувствительной поверхностью – фотокатодом, который испускает электроны, а они в свою очередь умножаются в специальных электродах, называемых диноды. Обычно количество динодов ФЭУ бывает от 9 до 13. Работа динода основана на эффекте вторичной электронной эмиссии — явления, когда первичный электрон, попадая на динод, выбивает несколько вторичных электронов. Сколько в среднем появляется вторичных электронов, зависит от коэффициента вторичной эмиссии  $\delta$  и обычно для современных ФЭУ лежит в пределах от 3 до 10. Чтобы вылетевший

из фотокатода фотоэлектрон пришел на 1-ый динод, имея достаточную энергию, потенциал динода должен быть на несколько десятков или сотен вольт более положительным. Аналогично, чтобы появившиеся с 1-ого динода примерно  $\delta$  вторичных электронов достигли следующего 2-ого динода, обладая достаточной энергией, потенциал 2-ого динода также должен превышать потенциал 1-ого на 100–200 В. Очень важно при этом, чтобы все вторичные электроны попали именно на динод, а не на стойки электродов и стекло колбы.

Для обеспечения оптимальной работы прибора на все электроды необходимо подать соответствующий потенциал, обеспечивающий оптимальную работу прибора, используется делитель напряжения. Самый простой вариант которого состоит из нескольких одинаковых последовательно соединенных. Полное сопротивление делителя в пределах 4 – 10 МОм. На конец делителя, соединенный с фотокатодом, подается питающее напряжение  $U \sim 1000$  В, а другой конец заземляют. В делителе где количество динодов 13 междинодное напряжение вычисляется как  $U/13$ , т.е. приблизительно 75 В. К точкам соединения резисторов последовательно подключаются диноды. Анод соединяется с землей через сопротивление нагрузки  $R_n$ . Важным является то, что параллельно с сопротивлением нагрузки обязательно включена емкость  $C$  — это либо реальный конденсатор, либо просто паразитная емкость, образованная элементами реальной конструкции и входной емкостью дальнейшей электронной схемы. Эти три элемента образуют выходную (анодную) цепь ФЭУ, сигнал с которой и подается на вход электронной схемы (усилителя) для дальнейшего усиления и регистрации.

К основным параметрами ФЭУ являются световая анодная чувствительность, спектральная чувствительность, темновой ток, эти характеристики зависят от структуры фотокатода.

На практике схема включения ФЭУ представлена на рис.6. Сигнал с ФЭУ поступает на предусилитель на основе операционного усилителя.



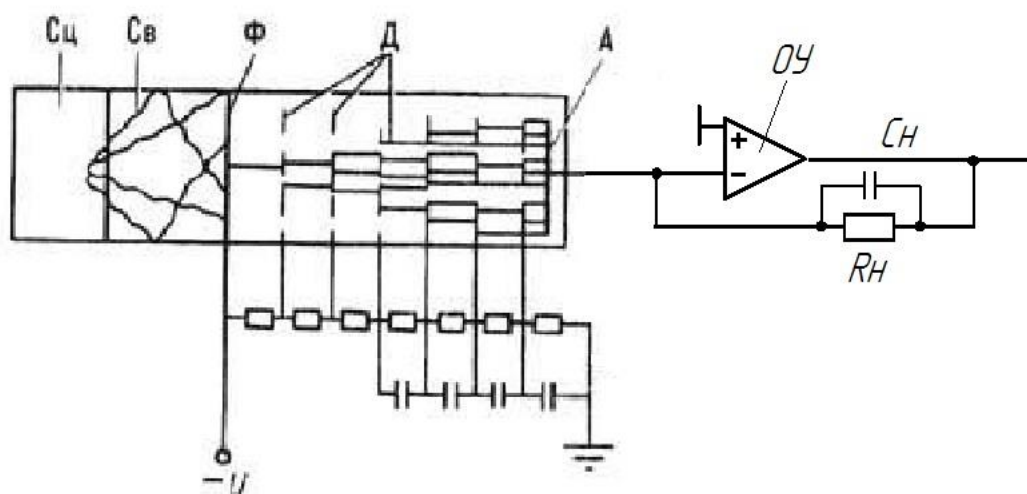


Рисунок 6 – Схема сцинтилляционного детектора: Сц- сцинтиллятор, Св- светопровод, Ф - фотокатод, Д - диноды, А – анод, ОУ- операционный усилитель.

$$C_H=0,02\text{мкф}; R_H=5,1\text{Мом}$$

$$\tau= C_H* R_H=0,1\text{с}$$

## 10. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- оценить коммерческий потенциал и перспективность разработки проекта;
- осуществить планирование этапов выполнения исследования;
- рассчитать бюджет НТИ;
- произвести оценку ресурсной и экономической эффективности исследования.

## **10.1 Инициализация исследования и его технико-экономическое обоснование**

Темой дипломной работы является “Разработка автоматизированного дефектоскопа для контроля цилиндрических изделий”. Контроль качества крупногабаритных изделий радиометрическим методом требует разработки блока детектирования, структурной и принципиальной схемы, метода спиральной развертки. Цель работы создание радиометрического дефектоскопа на основе изотопного источника  $Co^{60}$ .

Разработка НИР производится группой квалифицированных работников, состоящей из двух человек – руководителя и студента.

### **10.1.1 Потенциальные потребители результатов НТИ**

Потенциальными потребителями данного научно технического исследования, являются промышленные машиностроительные заводы, которые выпускают различные типы деталей для промышленной отрасли, военной и авиастроения. Данное научно техническое исследование было выполнено для АО “ Чебоксарское производственное объединение имени В.И. Чапаева ” город Чебоксары.

В связи с бурным развитием машиностроительной отрасли, конкуренция возрастает и качество продукции играет важную роль. В некоторых случаях можно приобрести продукт низкого качества. Что в последствие может сказаться пагубно на ответственных деталях, так же есть возможность выйти из строя, не испытав свой срок эксплуатации. Финансовая экономичность играет большую роль в закупке продукта. Покупка низкого качества продукта в большом размере по стоимости как за качественный продукт не удовлетворяет потребителей. Наша разработка направлена на улучшение качества продукта путем нахождения брака на этапе производства.

Ограничение в сроках выполнения исследования существует, машиностроительная промышленность каждый день ставит перед собой цели, выпустить быстро качественную продукцию из поставленного полуфабриката.

### 10.1.2 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.

SWOT – анализ проекта позволяет оценить факторы и явления способствующие или препятствующие продвижению проекта на рынок. Для анализа проекта составлена таблица 9.

Сперва описываются сильные и слабые стороны проекта, для выявления возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Таблица 9 – SWOT анализ проекта

| Сильные стороны                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Возможности во внешней среде                                                                                                                                                               |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| С1. Методика исследования материалов в данной работе является эффективной;<br>С2. Методика, описанная в работе, несет в себе экономичность и ресурсоэффективность;<br>С3. Возможность применения данной методики, для деформируемых и литейных металлов;<br>С4. Актуальность разработки;<br>С5. Наличие опытного руководителя. | В1.Простая адаптация научного исследования под иностранные языки;<br>В2.Большой потенциал применения методики в России;<br>В3.Наиболее качественный метод нахождения дефектов в материале. |
| Слабые стороны                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Угрозы внешней среды                                                                                                                                                                       |
| Сл1. Завышенные требования к оборудованию т.к. для проведения эксперимента требуются сложные испытательные установки<br>Сл2. Возможность появления новых методов<br>Сл3. Отсутствие у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой                                                      | У1.Возможность создание более доступного в цене дефектоскопа ;<br>У2.Отсутствие спроса на новую методику;<br>У3.Закрытие машиностроительных предприятий на территории РФ.                  |

Следующий этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

Таблица 10 – сильные стороны проекта

| Возможности<br>проекта |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|------------------------|----|----|----|----|----|----|
|                        | B1 | +  | 0  | +  | +  | +  |
|                        | B2 | +  | +  | +  | -  | 0  |
|                        |    | +  | +  | +  | +  | +  |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1C3C4C5, B2C1C2C3.

Таблица 11 – слабые стороны проекта

| Возможности<br>проекта |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
|                        | B1 | 0   | 0   | +   | 0   |
|                        | B2 | 0   | +   | -   | +   |
|                        | +  | +   | +   | +   | +   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл3, B2Сл2Сл4.

Таблица 12 – сильные стороны проекта

| Угрозы |    | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 |
|--------|----|----|----|----|----|----|
|        | У1 | +  | +  | 0  | -  | 0  |
|        | У2 | +  | 0  | 0  | +  | 0  |
|        | У3 | -  | -  | -  | -  | 0  |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильных сторон и угроз: У1С1С2, У2С1С4.

Таблица 13 – слабые стороны проекта

| Возможности<br>проекта |    | Сл1 | Сл2 | Сл3 | Сл4 |
|------------------------|----|-----|-----|-----|-----|
|                        | У1 | -   | +   | -   | -   |
|                        | У2 | 0   | -   | +   | +   |
|                        | У3 | 0   | -   | 0   | 0   |

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабые стороны и угрозы: У1Сл4.

Проведен комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Самой большой угрозой для проекта является возможность создания более дешёвого блока детектирования. Также среди угроз можно отметить низкий темп роста (иногда спад), ведущих отраслей машиностроения, что в свою очередь может привести к закрытию некоторых машиностроительных предприятий. Данная проблема является актуальной для России, выходом здесь может послужить – поиск перспективных действующих предприятий на территории РФ, а также налаживание партнерских отношений с производственными предприятиями стран СНГ и «Ближнего зарубежья».

Что касается слабых сторон, то экспериментальное исследование продукции на наличие брака, подразумевает использование –дорогостоящих испытательных машин с опасным радиоактивным излучением. Поэтому для работы с данными машинами требуется привлечение опытных кадров.

Проблема об отсутствии у потенциальных потребителей квалифицированных кадров по работе с научной разработкой, так как для ее применения требуются знания в области дефектоскопии, для решений данной проблемы необходимо обучение персонала.

## **10.2 Планирование комплекса работ на научно-техническое исследование**

Комплекс работ по созданию научно технического исследование включает в себя 2 этапа:

- расчет структурных элементов блока детектирования;
- практическое исследование эталонного образца на наличие дефектов.

Расчет структурных элементов блока детектирования будут разрабатывать 2 человека: руководитель проекта и студент-дипломник.

Исследование образцов на наличие дефектов 2 человека: руководитель проекта и студент-дипломник.

### 10.2.1 Составление перечня работ

Трудоемкость выполнения НИР оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Разделим выполнение дипломной работы на этапы, представленные в таблице 14:

Таблица 14 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

| Основные этапы                                 | № работы | Содержание работы                                                          | Должность исполнителя                                              |
|------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Разработка задания на НИР                      | 1        | Составление и утверждение задания ВКР                                      | Капранов Б.И. – руководитель;<br>Машанов А.П. – студент-дипломник. |
| <b>Проведение НИР</b>                          |          |                                                                            |                                                                    |
| Выбор направления исследования                 | 2        | Изучение строения радиометрических дефектоскопов, поиск материалов по теме | Машанов А.П.                                                       |
|                                                | 3        | Выбор материала для кристалла сцинтиллятора                                | Машанов А.П.                                                       |
|                                                | 4        | Календарное планирование работ                                             | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П.                                     |
| Теоретические и экспериментальные исследования | 5        | Расчет необходимых параметров блока детектирования                         | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П.                                     |
|                                                | 6        | Выбор необходимого источника излучения.                                    | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П.                                     |
|                                                | 7        | Расчет габаритных параметров сцинтиллятора.                                | Машанов А.П.                                                       |
| Обобщение и оценка результатов                 | 8        | Анализ полученных результатов,                                             | Машанов А.П.                                                       |
|                                                | 9        | Оценка эффективности блока детектирования                                  | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П.                                     |
| Оформление отчета НИР                          | 10       | Составление пояснительной записки                                          | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П.                                     |

### 10.2.2 Определение трудоемкости работ

Расчет трудоемкости осуществляется опытно-статистическим методом, основанным на определении ожидаемого времени выполнения работ в человеко-днях по формуле

$$t_{ожи} = \frac{3 \cdot t_{мин i} + 2 \cdot t_{макс i}}{5}, \quad (8)$$

где  $t_{ожи i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, чел.-дн.;

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

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

Рассчитаем значение ожидаемой трудоёмкости работы:

Для установления продолжительности работы в рабочих днях используем формулу:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи i}}{Ч_i}, \quad (9)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

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

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k, \quad (10)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения одной работы, календ. дн.;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

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

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}}, \quad (11)$$

где  $T_{кг}$  – количество календарных дней в году;

$T_{вд}$  – количество выходных дней в году;

$T_{пд}$  – количество праздничных дней в году.

Определим длительность этапов в рабочих днях и коэффициент календарности:

$$k = \frac{T_{кг}}{T_{кг} - T_{вд} - T_{пд}} = \frac{365}{365 - 104 - 10} = 1,45,$$

тогда длительность этапов в рабочих днях, следует учесть, что расчетную величину продолжительности работ  $T_k$  нужно округлить до целых чисел. Результаты расчетов приведены в таблице 15.

Для начала следует определить удельное значение каждой работы в общей продолжительности работ:

$$Y_i = \frac{T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (12)$$

где  $Y_i$  – удельное значение каждой работы в %;

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб.дн.;



$T_p$  – суммарная продолжительность темы, раб.дн.

Тогда техническую готовность темы  $\Gamma_i$ , можно рассчитать по формуле:

$$\Gamma_i = \frac{\sum_{i=1} T_{pi}}{T_p} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где  $\sum T_{pi}$  – нарастающая продолжительность на момент выполнения  $i$ -той работы. Результаты расчетов приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Временные показатели проведения НИР

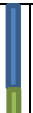
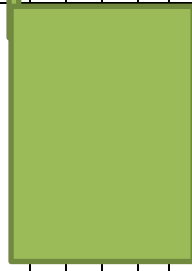
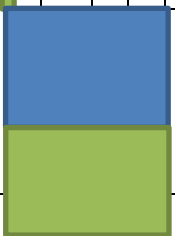
| № раб. | Исполнители                    | Продолжительность работ |                      |                           |                 |                 |           |                |
|--------|--------------------------------|-------------------------|----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|-----------|----------------|
|        |                                | $t_{\min}$<br>чел-дн.   | $t_{\max}$<br>чел-дн | $t_{\text{ож}}$<br>чел-дн | $T_p$<br>раб.дн | $T_k$<br>кал.дн | $Y_i, \%$ | $\Gamma_i, \%$ |
| 1      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 1                       | 3                    | 2                         | 1,2             | 3               | 1,72      | 1,05           |
| 2      | Машанов А.П.                   | 19                      | 34                   | 20                        | 25              | 20              | 30,01     | 37,61          |
| 3      | Машанов А.П.                   | 4                       | 10                   | 8                         | 1,5             | 3               | 5,50      | 40,11          |
| 4      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 4                       | 12                   | 8                         | 2,8             | 2               | 4,65      | 47,60          |
| 5      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 12                      | 24                   | 18                        | 18              | 20              | 22,32     | 70,6           |
| 6      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 4                       | 18                   | 8                         | 4               | 6               | 3,92      | 81,26          |
| 7      | Машанов А.П.                   | 5                       | 12                   | 8                         | 4,7             | 14              | 7,04      | 14,21          |
| 8      | Машанов А.П.                   | 1                       | 9                    | 4                         | 0,87            | 3               | 6,30      | 88,91          |
| 9      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 2                       | 12                   | 6                         | 3,4             | 5               | 7,09      | 93,11          |
| 10     | Машанов А.П.                   | 2                       | 9                    | 5                         | 4               | 9               | 5,99      | 100            |
| ИТОГО  |                                |                         |                      |                           |                 | 85              |           |                |

Наиболее удобным и наглядным видом календарного плана работ является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграмм Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в рамках таблицы 8 с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования. При этом работы на графике выделяются различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 16 – Календарный график проведения ВКР

| Этапы | Вид работы                                                                 | Исполнители                    | Т <sub>к</sub> | Февраль                                                                            | Март                                                                                  | Апрель                                                                                | Май                                                                                   | Июнь |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 1     | Составление и утверждение задания НИР                                      | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 3              |   |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 2     | Изучение строения радиометрических дефектоскопов, поиск материалов по теме | Машанов А.П.                   | 20             |  |                                                                                       |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 3     | Выбор материала для кристалла сцинтиллятора                                | Машанов А.П.                   | 3              |                                                                                    |   |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 4     | Календарное планирование работ                                             | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 2              |                                                                                    |  |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 5     | Расчет необходимых параметров блока детектирования                         | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 20             |                                                                                    |  |                                                                                       |                                                                                       |      |
| 6     | Выбор необходимого источника излучения.                                    | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 6              |                                                                                    |                                                                                       |  |                                                                                       |      |
| 7     | Расчет габаритных параметров сцинтиллятора.                                | Машанов А.П.                   | 14             |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |  |      |
| 8     | Анализ полученных результатов, исследования                                | Машанов А.П.                   | 3              |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |  |      |
| 9     | Оценка эффективности блока детектирования                                  | Капранов Б.И.,<br>Машанов А.П. | 5              |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |  |      |
| 10    | Составление                                                                | Машанов А.П.                   | 9              |                                                                                    |                                                                                       |                                                                                       |  |      |



Рассчитываем материальные затраты используется один компьютер стоимостью 60000 рублей

Амортизация основных фондов – сумма амортизационных отчислений на полное восстановление основных производственных фондов, вычисленная исходя из их балансовой стоимости и утвержденных норм амортизации. Корректно при расчете затрат учитывать в году приобретения и в последующие годы только ту часть затрат, которая происходит от старения основных фондов в каждом году.

Рассчитаем амортизацию оборудования техники  $I_{\text{ам.обор}}$ , по следующей формуле

$$I_{\text{ам.обор}} = \left( \frac{T_{\text{исп.обор}}}{365} \right) \times K_{\text{обор}} \times H_a, \quad (15)$$

где  $T_{\text{исп.обор}}$  – время использования оборудование;

365 дней – количество дней в году;

$K_{\text{обор}}$  – стоимость оборудования;

$H_a$  – норма амортизации.

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{с.с.обор}}}, \quad (16)$$

где  $T_{\text{с.с.обор}}$  – срок службы оборудования

$$I_{\text{ам.комп}} = \left( \frac{T_{\text{исп.комп}}}{365} \right) \cdot K_{\text{комп}} \cdot H_a = \left( \frac{70}{365} \right) \cdot 60000 \cdot \frac{1}{15} = 768 \quad (17)$$

Так как для исследования нужен только компьютер, то  $I_{\text{ам.комп}} = I_{\text{ам.обор}}$

Расчет заработной платы – заработная плата рассчитывается в соответствии с занятостью исполнителей, с учетом районного и тарифного коэффициентов исполнителей.

В состав затрат на оплату труда включаются:

- выплаты заработной платы за фактически выполненную работу;
- выплаты стимулирующего характера по системным положениям;
- выплаты по районным коэффициентам;
- компенсации за неиспользованный отпуск;

– другие виды выплат.

Примем, что полный фонд заработной платы ( $\Phi_{зп}$ ):

$$\Phi_{зп} = 28000 \text{руб.}$$

Отчисления на социальные нужды выражаются в виде единого социального налога, который включает в себя: обязательные отчисления по установленным законодательством нормам органам государственного социального страхования, пенсионного фонда, государственного фонда занятости и медицинского страхования.

Единый социальный налог – 30%.

Рассчитываем отчисления на социальные нужды ( $I_{\text{соц.отч.}}$ ):

$$I_{\text{соц.отч.}} = ЕСН = 0,3 \cdot \Phi_{зп} = 0,3 \cdot 28000 = 8400$$

Накладные расходы используют на следующее:

- 1) затраты на текущий ремонт;
- 2) амортизацию основных производственных фондов;
- 3) затраты на охрану труда и пожарную безопасность.

Для проектных отделов накладные затраты составляют 200% от полного фонда заработной платы Тогда:  $I_{\text{накл.расх.}} = 2 \cdot \Phi_{зп} = 2 \cdot 28000 = 56000 \text{руб.}$

Рассчитываем себестоимость проекта ( $K_{\text{проекта}}$ ).

$$K_{\text{проекта}} = I_{\text{ам.обор}} + \Phi_{зп} + I_{\text{накл.расх.}} + I_{\text{соц.отч.}} = 768 + 28000 + 56000 + 8400 = 93168$$

Рассчитываем плановые накопления (ПР). Стоимость проекта включает в себя 30% прибыли, таким образом:

$$ПР = 0,3 \cdot K_{\text{проекта}} = 0,3 \cdot 93168 = 27950,4$$

Рассчитываем стоимость проекта ( $\Pi$ ).

$$\Pi = K_{\text{проекта}} + ПР = K_{\text{проекта}} + ПР = 93168 + 27950,4 = 121118,4$$

Таблица 17 - Смета затрат на научно-исследовательскую работу

| Виды затрат              | Обозначение          | Сумма затрат, руб. |
|--------------------------|----------------------|--------------------|
| Амортизация оборудования | $I_{\text{ам,обор}}$ | 768                |
| Затраты на оплату труда  | ЗП                   | 28000              |

|                                |                        |          |
|--------------------------------|------------------------|----------|
| Отчисления на социальные нужды | $I_{\text{соц.отч}}$   | 8400     |
| Накладные расходы              | $I_{\text{накл.расх}}$ | 56000    |
| Себестоимость проекта          | $K_{\text{проекта}}$   | 93168    |
| Плановые накопления (прибыль)  | ПР                     | 27950,4  |
| Стоимость проекта (цена)       | Ц                      | 121118,4 |

Исходя из расчетов и полученных результатов приведенных в таблице 9, можно сделать вывод, что стоимость данной научно исследовательской работы равная 121118,4 рублей.

### 10.3 Определение эффективности НТИ

#### 10.3.1 Оценка ресурсоэффективности

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

Данная научно-исследовательская работа финансируется за счет предприятия АО «Чебоксарское производственное объединение имени В.И. Чапаева » .

#### 10.3.2 Определение научно-технического уровня исследования

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности исследования необходимо: рассчитать коэффициент научно-технического уровня. Коэффициент НТУ рассчитывается при помощи метода балльных оценок, в котором каждому из признаков НТУ присваивается определенное число баллов по принятой шкале. Общую оценку приводят по сумме баллов по всем показателям с учетом весовых характеристик. Общая оценка рассчитывается по формуле:

$$НТУ = \sum_{i=1}^n k_i \cdot \Pi_i \quad (18)$$

где  $k_i$  – весовой коэффициент  $i$  – го признака;

$\Pi_i$  – количественная оценка  $i$  – го признака.

Таблица 18 – Весовые коэффициенты НТУ

| Признаки НТУ           | Весовой коэффициент |
|------------------------|---------------------|
| Уровень новизны        | 0.6                 |
| Теоретический уровены  | 0.4                 |
| Возможность реализации | 0.2                 |

Таблица 19 – Шкала оценки новизны

| Баллы | Уровень                  |
|-------|--------------------------|
| 1-4   | Низкий НТУ               |
| 5-7   | Средний НТУ              |
| 8-10  | Сравнительно высокий НТУ |
| 11-14 | Высокий НТУ              |

Таблица 20 – Значимость теоретических уровней

| Характеристика значимости теоретических уровней                                                             | Баллы |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Установка законов, разработка новой теории                                                                  | 10    |
| Глубокая разработка проблем, многосторонний анализ, взаимозависимость между факторами                       | 8     |
| Разработка способа (алгоритм, устройство, программы)                                                        | 6     |
| Элементарный анализ связей между факторами (наличие гипотезы, объяснение версий, практические рекомендации) | 2     |
| Описание отдельных факторов (вещества, свойств, опыта, результатов)                                         | 0.5   |

Таблица 21 – Возможность реализации по времени и масштабам

|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| <u>Время реализации</u>        | Баллы |
| В течение первых лет           | 10    |
| От 5 до 10 лет                 | 4     |
| Свыше 10 лет                   | 2     |
| <u>Масштабы реализации</u>     | Баллы |
| Одно или несколько предприятий | 2     |
| Отрасль                        | 4     |
| Народное хозяйство             | 10    |

Расчет НТУ:

$$\text{НТУ} = \sum_{i=1}^n k_i * \Pi_i$$

где  $k_1 = 0,8$ ;  $k_2 = 0,7$ ;  $k_3 = 0,8$ ;

$\Pi_1 = 9$ ;  $\Pi_2 = 6$ ;  $\Pi_3 = 4$ ;

$$\text{НТУ} = 0,8*9+0,7*6+0,8*4 = 14,6.$$

По полученным результатам расчета коэффициента научно-технического уровня можно сделать вывод, что данный проект имеет хорошие показатели новизны, значимость теоретического уровня, и при этом используется в широком спектре отраслей.

В экономическом разделе выпускной квалификационной работе подробно приведен «портрет» потребителя. Было проведено планирование и составлены графики научно технического исследования. Всего требуется 85 рабочих дней на реализацию научно технического исследования. Составлена смета затрат на научно техническое исследование. Проведен расчет



амортизационных вложений, расчет заработной платы, эксплуатационные и накладные расходы. Величина затрат на реализацию НТИ составила 121118,4 рублей.