

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

Инженерная школа новых производственных технологий
 Направление подготовки 12.04.02 Оптика
 Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Спектральные характеристики люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната, активированного церием.

УДК 628.978.3:535.37-047.37

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Джаныбеков Чингис Ерболович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Степанов С.А.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Жаворонок А.В			

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Полисадова Е.Ф.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2019 г.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результ ата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
Р1	Способность формулировать цели, задачи научного исследования или разработки в области светотехники и фотонных технологий и материалов, способность выделять и обосновывать критерии, на основании которых формируются модели принятия решений, составлять план работ, способность строить физические и математические модели объектов исследования и выбирать алгоритм решения задачи
Р2	Способность разрабатывать программы экспериментальных исследований, применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы, защищать приоритет и новизну полученных результатов исследований в области обработки, изучения и анализа фотонных материалов, корпускулярно-фотонных технологий, оптоволоконной техники и технологии, в области оптических и световых измерений, люминесцентной и абсорбционной спектроскопии, лазерной техники, лазерных технологий и оборудования, взаимодействия излучения с веществом, производства и применения светодиодов
Р3	Способность к профессиональной оценке проблем проектирования в области светотехники, оплотехники, фотонных технологий и материалов на основе подбора и изучения литературных и патентных источников. Способностью к разработке структурных и функциональных схем оптических, оптико-электронных, светотехнических приборов, лазерных систем и комплексов с определением их физических принципов работы, структуры и технических требований на отдельные блоки и элементы
Р4	Способность к конструированию и проектированию отдельных узлов и блоков для осветительной, облучательной, оптико-электронной, лазерных техники, оптоволоконных, оптических, оптико-электронных, лазерных систем и комплексов различного назначения, осветительных и облучательных установок для жилых помещений, сельского хозяйства, промышленности
Р5	Способность к разработке и внедрению технологических процессов и режимов сборки оптических и светотехнических изделий, к разработке методов контроля

	качества изготовления деталей и узлов, составлению программ испытаний современных светотехнических и оптических приборов и устройств, фотонных материалов.
P6	Способность эксплуатировать и обслуживать современные светотехнические и оптические приборы и устройства, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
Универсальные компетенции	
P7	Способность проявлять творческий, нестандартный подход, требующий абстрактного мышления, при решении конкретных научных, технологических и проектно-конструкторских задач в области фотонных технологий и материалов и светотехники, нести ответственность за принятые решения
P8	Способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
P9	Способность к инновационной инженерной деятельности, менеджменту в области организации освоения новых видов перспективной и конкурентоспособной оптической, оптико-электронной и световой, лазерной техники с учетом социально-экономических последствий технических решений
P10	Способностью к координации и организации работы научно- производственного коллектива, принятию исполнительских решений для комплексного решения исследовательских, проектных, производственно-технологических, инновационных задач в области светотехники и фотонных технологий и материалов
P11	Способность к оценке современного состояния развития науки и техники, владение иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде с пониманием культурных, языковых и социально – экономических различий, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности
P12	Способность к сбору сведений, анализу и систематизации знаний об исследуемом объекте

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

Школа ИШНПТ

Направление подготовки (специальность) 12.04.12 «Оптотехника»

Отделение школы

(НОЦ) Материаловедения

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

Е.Ф. Полисадова
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
4BM72	Джаныбекову Чингису Ерболовичу

Тема работы:

**Спектральные характеристики люминофоров на основе гадолиний-иттрий
алюминиевого граната активированного церием.**

Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

13 Июня 2019 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Литература по теме ВКР. Объект исследования – полидисперсные гранатовые люминофоры активированные церием с высокой концентрацией исходной дефектности и керамики на их основе.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Обзор литературы: люминофоры на основе алюмоиттриевого граната, светодиодные источники света с преобразованием излучения на основе люминофоров, светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором, механизмы переноса энергии возбуждения нано - микроразмерным частицам люминофора; 2. Спектрально-кинетические характеристики YAG: Се люминофоров с различным содержанием активаторов при импульсном фотовозбуждении; 3. Спектрально-кинетические характеристики керамических образцов синтезированных на основе YAG: Се люминофоров с различным содержанием активаторов при импульсном фотовозбуждении; 4. Анализ полученных результатов.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	1. Спектрально-кинетические характеристики импульсной фотолюминесценции YAG: Се люминофоров с различным содержанием активаторов; 2. Спектрально-кинетические характеристики импульсной фотолюминесценции YAG: Се керамик с различным содержанием активаторов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Жаворонок А.В., ассистент ОСГН
Социальная ответственность	Романова С.В., старший преподаватель ООД
Названия разделов, которые должны быть написаны иностранном языке:	
Характеристики люминофора на основе иттрий-алюминиевого граната	

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОМ	Степанов С.А.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Джаныбеков Чингис Ерболович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕДИНЕНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4BM72	Джаныбеков Чингис Ерболович

ИШНПТ	Отделение	материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление
		Оптотехника

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Расчет материальных затрат НИ, стоимости специального оборудования, расчет заработной платы руководителя и инженера
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ конкурентных технических решений, определение альтернатив методов исследования на данном этапе разработки
2. Планирование процесса управления НИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИ
3. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	Расчет заработных плат, всех видов отчислений, расчет бюджета НИ с учетом всех факторов и необходимых затрат

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ассистент.	Жаворонок А.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Джаныбеков Чингис Ерболович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4BM72	Джаныбеков Чингис Ерболович

Школа	ИШНПТ	Кафедра	ЛиСТ
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	12.04.12 «Оптотехника»

Тема ВКР

Спектральные характеристики люминофоров на основе гадолиний-иттрий алюминиевого граната активированного церием.	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: Спектральные характеристики люминофора. Рабочее место: Лаборатория физэлектроники быстропротекающих процессов НИ ТПУ. Область применения: Дизайн, светодиоды, наружная реклама и полиграфия.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке очей зоны.	"Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 "Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы" (с изменениями на 21 июня 2016 года) ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	– Отклонение показателей микроклимата; – Превышение уровня шума – Повышенный уровень электромагнитных излучений – Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека; – Психофизиологические вредные и

	опасные факторы; – Недостаточная освещенность рабочей зоны
3. Экологическая безопасность:	В процессе выполнения работы могут возникать отходы люминофора, которые могут вызвать загрязнение почвы и воды. Полученные отходы не загрязняют атмосферу.
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: – пожары, – взрывы – диверсии – природные катаклизмы Наиболее вероятным ЧС является наступление сильных морозов, пожары.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Романова С.В.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4BM72	Джаныбеков Ч.Е		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 115 с., 34 рис., 30 табл., 65 источника.

Ключевые слова: фотолюминесценция, спектрально-кинетические характеристики, люминофор, гадолиний-иттрий алюминиевый гранат.

Объектом исследования являются полидисперсные гранатовые люминофоры активированные церием и керамики на их основе.

Цель работы – исследовать оптические, спектрально-кинетические характеристики и эффективность синтезированных гранатовых люминофоров и керамики полученной на основе синтезированных люминофоров.

В процессе исследования проводились сбор, обработка и систематизация литературных данных о преобразовании оптического излучения люминофорами на основе алюмоиттриевого граната, освоена методика измерения спектрально-кинетических характеристик люминофоров, проведен экономический анализ работ, определены мероприятия по технике безопасности.

В результате исследования получены спектрально-кинетические характеристики исследуемых люминофоров, сделаны выводы о предполагаемых излучающих центрах, проведен сравнительный анализ характеристик люминофоров и керамик на их основе.

Степень внедрения: результаты работы внедрены в лаборатории физэлектроники быстропротекающих процессов отделения материаловедения.

Область применения: светодиодные источники белого света

Экономическая значимость работы обусловлена улучшением качества люминофоров, используемых в качестве преобразователей излучения в светодиодных источниках белого света, что относится к стратегическому направлению развития экономики РФ в области энергоэффективности.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

СИД – полупроводниковый прибор с электронно-дырочным переходом, создающий оптическое излучение при пропускании через него электрического тока в прямом направлении.

YAG – оптический материал пригодный для использования в УФ и ИК оптике.

CRI – количественная мера способности источника света верно отображать цвета освещаемых объектов в сравнении с идеальным или естественным источником света.

УФ – электромагнитное излучение, занимающее спектральный диапазон между видимым и рентгеновским излучениями.

FWHM– полная ширина, рассчитанная как разница между максимальным и минимальным значениями аргумента функции, взятыми на уровне равном половине её максимального значения.

РЗЭ – редкоземельные элементы, группа из 17 элементов, включающая скандий, иттрий, лантан и лантаноиды (церий, празеодим, неодим, прометий, самарий, европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций).

RGB(red, green, blue) – цветовая модель, как правило, описывающая способ кодирования цвета для цветовоспроизведения с помощью трёх цветов, которые принято называть основными.

РФА– один из современных спектроскопических методов исследования вещества с целью получения его элементного состава, то есть его элементного анализа.

Оглавление

Введение	12
1 Обзор литературы	14
1.1 Эффективность материалов, используемых для преобразования длин волн	15
1.2 Материалы для преобразователей длины волны	17
1.3 Люминофоры	19
1.4 Светодиоды белого свечения на основе люминофоров	21
1.5 Пространственное расположение люминофора	25
1.6 Светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором	26
1.7 Система $Y_3Al_5O_{12}:Ce - Gd_3Al_5O_{12}:Ce$	27
1.8 Передача энергии между ионами РЗЭ	30
2. Объекты и методы исследования	32
2.1 Методы экспериментального исследования	32
2.2 Объекты исследования	34
3 Результаты проведенного исследования	35
3.1 Спектральные характеристики $YAG:0.06Ce$ люминофора с переменным содержанием Tb_4O_7	35
3.2 Кинетические характеристики затухания люминесценции $YAG:0.06Ce$ люминофор с переменным содержанием Tb_4O_7	37
3.3 Спектральные характеристики $YAG:0.06Ce$ керамики с переменным содержанием Tb_4O_7	39
3.4 Кинетические характеристики затухания люминесценции $YAG:0.06Ce$ керамики с переменным содержанием Tb_4O_7	41
3.5 Оптические и спектрально кинетические характеристики $YAG:Ce$ керамики изготовленной методом спарк-плазменного спекания	42
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	45
5 Социальная ответственность	72
Заключение	85
Список публикаций	86
Список используемых источников	87

Введение

Основой для построения изделий светотехники нового поколения является полупроводниковый источник белого света, также он используется в качестве основного элемента твердотельных световых модулей и светотехнических приборов. Есть предположения, что применение белых светодиодов значительно позволяет сэкономить электроэнергию, которую можно оценить миллиардами долларов, также предполагается, что в течение ближайшего года мировой оборот светотехнической промышленности, основанной на производстве и реализации твердотельных источниках света, превысит 40 млрд. долларов в год. Помимо экономии электроэнергии, белые светоизлучающие диоды (СИД) обладают такими преимуществами высокая надежность, прямой направленностью излучения, как длительный срок службы (больше 50000 часов), механической прочностью, малым тепловыделением, отсутствием ультрафиолетового вредного для здоровья излучения и опасных веществ, малыми размерами.

Дальнейшее развитие светотехники невозможно без разработки оптических материалов нового поколения. Поэтому создание новых оптических материалов является важной, актуальной и стратегической задачей в оптическом приборостроении и оптическом материаловедении. Большой интерес для современной элементной базы фотоники, представляют керамические материалы. Занимая промежуточное положение между кристаллическими материалами и стеклами, они объединяют в себе лучшие свойства кристаллов (высокая механическая и термическая прочность) и стекол (возможность прессования и формования, возможность формирования элементов различной геометрии). По спектрально-люминесцентным характеристикам керамики могут быть близки, а в некоторых случаях и превосходить характеристики лазерных, сцинтилляционных кристаллов-аналогов.

В настоящей работе приведены результаты исследования синтеза и комплексного спектроскопического исследования характеристик люминесцентной керамики, на основе предварительно синтезированных

гранатовых люминофоров, активированных редкоземельными элементами (РЗЭ).

Целями работы являются:

- Исследовать спектрально-кинетические характеристики синтезированных гранатовых люминофоров.
- Исследовать спектрально-кинетические характеристики керамики полученной на основе синтезированных люминофоров.
- Исследовать энергетическую эффективность люминесценции для синтезированных серий образцов.
- Провести сравнительный анализ полученных результатов исследований.

1 Обзор литературы

Более известные промышленные белые СИД формируются на базе полупроводниковых светодиодов синего или же ультрафиолетового диапазонов длин волн, излучение которых всецело или же частично используется для оптического возбуждения длин волн. Люминофоры и красители являются подлинным примером для рассмотрения преобразования длин волн.

Ведущее место в использовании в качестве преобразователей длин волны занимают люминофоры. Люминофоры выделяются высочайшей устойчивостью, их квантовый выход нередко близок к 100%. Распространенными почвами люминофоров считаются гранаты, в частности, алюмоиттриевый гранат $Y_3Al_5O_{12}$ (YAG). [1]

Оптически активными добавками выступают сами редкоземельные элементы, а также их оксиды и другие соединения. Недостатком YAG люминофоров может служить низкий индекс цветопередачи (CRI). Нынешние белые СИД, изготовлены с помощью синего СИД и желтого люминофора и характеризуются величиной индекса цветопередачи CRI 70-80. Это является недостаточной величиной для жилых помещений, где индекс цветопередачи должен быть 80-90, но достаточной для использования в системах наружного освещения. Для того, чтобы получить теплый белый цвет применяются люминофоры с широкополосным спектром излучения, смесь красного и желтого люминофоров. Стоит заметить, что использование смеси люминофоров, а также второстепенное введение менее по эффективности, нежели YAG, красного люминофора приведет к потере результативности белого СИД. При преобразовании ультрафиолетового излучения в белый свет у белых СИД с ультрафиолетовым возбуждением наблюдаются высокие энергетические потери (сдвиг Стокса) что является одним из недостатков, поскольку приводит к малой световой отдаче СИД такого типа. Получить качественный белый цвет позволяют белые светодиоды с люминофорами, что является еще и значительно дешевле, чем RGB светодиоды (в расчете на единицу светового потока). Трудность равномерного нанесения люминофора в

производственном процессе, низкую по сравнению с RGB-светодиодами светоотдачу из-за преобразования света в слое люминофора, а также сложность в контроле цветовой температуры – недостатки белых светоизлучающих диодов данного типа. Также как и в случае с RGB-светодиодами необходимо решать проблему улучшения теплоотвода.

В течение последних замеров отмечается важный прогресс в применении нанотехнологий для сотворения высокоэффективных белых светоизлучающих диодов. Повышенный квантовый выход, монохроматичность излучения, а еще вероятность варьирования длины волны люминесценции путём конфигурации объема микрочастиц обуславливают внимание к полупроводниковым нанокристаллам как материалам для белых светодиодов. Коллоидные квантовые точки CdSe - ZnSe, применяемые в качестве нанолюминофора, дают возможность получить белый свет с координатами (0.33, 0.33) и CRI > 90 [1].

1.1 Эффективность материалов, используемых для преобразования длин волн

Результативность переустройства ориентируется 2-мя ведущими причинами: потерями энергии и квантовым выходом λ -преобразователя в результате преобразования длин волн.

Квантовый внешний выход будет считаться как произведение квантового внутреннего выхода на коэффициент вывода материала λ -преобразователя оптического излучения, т. е. $\eta_{\text{ext}} = \eta_{\text{internal}} \cdot \eta_{\text{extraction}}$. Можно отметить, что внутренний квантовый выход будет являться характеристикой данного материала, так как оптический коэффициент вывода выявляется формой слоев λ -преобразователя. Высокие коэффициенты вывода излучения характеризуются тонкими слоями, а материалы с разнообразными скоплениями частиц имеют низкие коэффициенты $\eta_{\text{extraction}}$, что выявляет перепоглощение излучения, которое происходит внутри материалов. При компоновании λ -преобразователей стоит применять тонкие слои [7].

На преобразованную длину волны, потери при взаимосвязи фотона с длиной волны λ_1 в фотон с длиной волны λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) характеризуется выражением

$$\Delta E = h\nu_1 - h\nu_2 = \frac{hc}{\lambda_1} - \frac{hc}{\lambda_2} \quad (1.1)$$

Неминуемые потери энергии на переустройство длины волны считаются предпосылкой такого, собственно что излучатели белого света на базе λ -преобразователей длины волны – такие как белого свечения с люминофором светодиоды по собственной природе владеют невысокой максимальной эффективностью, чем источники белого света на базе светодиодов различного цвета свечения.

Основная масса источников белого света формируется на базе светодиодов, работающих на кратких длинах волн, к примеру на преобразователях длин волн и синего свечения. Все количество света, излучаемое светодиодом, или же лишь только его доля поглощается материалом преобразователя и вслед за тем возобновил излучение, но уже с большей длиной волны. В итоге осветительный прибор источает свет, по последней мере, двух различных длин волн.

При применении светодиодов в мониторах и всевозможных табло ведущей чертой считается световая эффективность. Для светодиодов, используемых в качестве осветительных устройств, актуальны оба параметра (световая эффективность и индекс цветопередачи). Источники белого света, построенные на принципе смешения излучения двух монохроматических комплементарных цветов, владеют большей световой эффективностью. Впрочем их индексы цветопередачи ниже, чем у широкополосных источников.

В работе [11] рассчитана максимальная световая эффективность двухцветных источников белого света и указано, что она способна достичь 400 лм/Вт. О высокой световой эффективности двухцветных источников белого света также отмечено в работах [12, 13], при этом стоит учесть фактор наличия низкой цветопередачи данных устройств, что дает возможность применять их в

различных дисплеях и отрицает факт пригодности их для систем освещения. Также благодаря [13] можно сказать о пригодности трехцветного источника белого цвета благодаря повышенному индексу цветопередачи, что говорит о возможности применения для любых целей. Показаны данные исследования, количество участников которого составило шестьдесят, и производивших оценку передачу цвета овощей, мяса, цветов, освещаемых трехцветным источником с максимумами на длинах волн 450 нм, 540 нм и 610 нм. Наблюдатели единодушно признали отличную цветопередачу данных источников, что говорит об их видимой пригодности для применения в системах освещения.

Известно, что источники белого света, спектр которых аппроксимативен спектру Солнца, обладают лучшей цветопередачей. Однако световая производительность таких источников будет меньше, чем излучателей с иными спектральными распределениями, к примеру, двухцветных и трехцветных светодиодов белого свечения. Около границ видимого диапазона (390 нм и 720 нм) солнечный спектр имеет большую интенсивность излучения, где чувствительность человеческого глазного рецептора очень мала. Именно по этой причине воспроизведение спектра Солнца является довольно-таки не самым пригодным планом решением при создании высокопроизводительных белых источников.

1.2 Материалы для преобразователей длины волны

Как ранее отмечалось: люминофоры, полупроводники и красители являются основой производства преобразователей длины волны, в силу наличия необходимых параметров длины поглощаемой волны, длины излучаемой волны и квантового выхода, значение которого для хороших преобразователей приближен к 100 %. Полный коэффициент полезного действия преобразователя длины волны определяется выражением

$$\eta = \eta_{\text{ext}} \cdot (\lambda_1 / \lambda_2), \quad (1.2)$$

где η_{ext} – внешний квантовый выход преобразователя, λ_1 – длина волны

фотонов, поглощенных люминофором, λ_2 – длина волны фотонов, излучаемых люминофором. Даже при $\eta_{\text{ext}} = 1$, в процессе преобразования длины волны неминуемы потери энергии, поэтому к. п. д. преобразователя η всегда меньше единицы.

Широкое применение в качестве сырья, применяемого в преобразователях длины волны, получили люминофоры. На рисунке 1.1 представлены спектры поглощения и излучения производственно выпускаемых люминофоров. Наглядно, что у люминофоров максимумы поглощения и излучения разделены по длинам волн. В силу широкого спектра излучения материала, люминофоры являются пригодными для применения в источниках белого света. В светодиодах белого свечения чаще всего используется люминофор на основе алюмоиттриевого граната, легированного церием [14]. В источнике упоминалось [15], о наличии легированных церием люминофоров, квантовый выход которых равен 75 %.

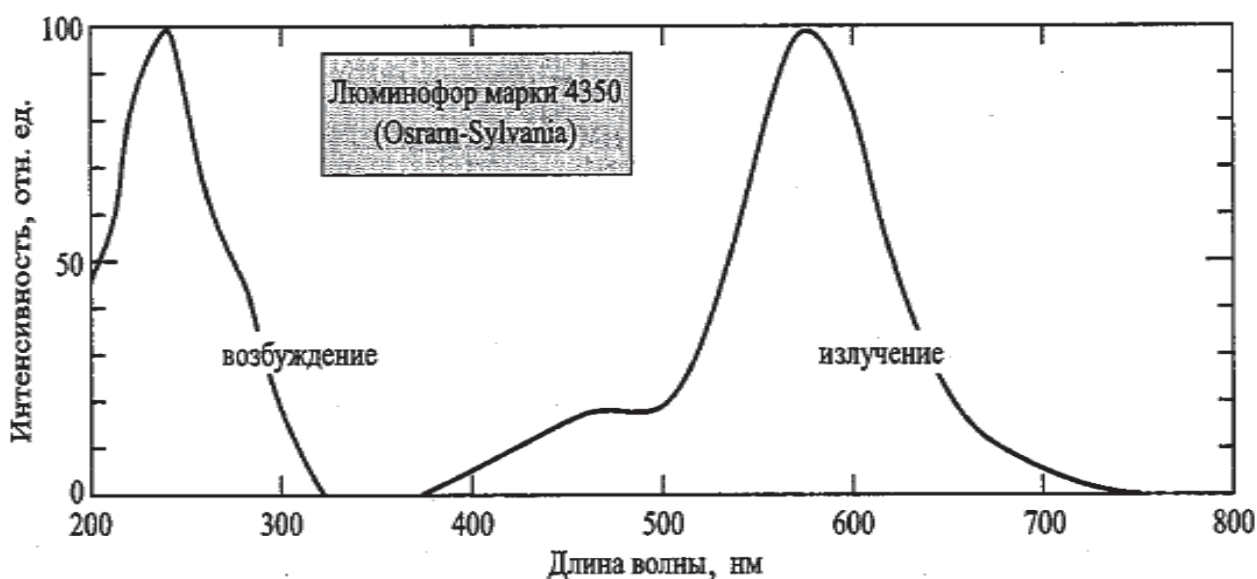


Рисунок 1.1 – Спектры поглощения и излучения промышленно выпускаемого люминофора, возбуждаемого ртутной лампой с длиной волны излучения 254 нм [16]

Квантовый выход полупроводников, также как и у люминофоров и красителей, имеет возможность быть близким к 100 %. Неувязка выхода света в

полупроводниковых преобразователях длины волны является наименее острым вопросом, нежели в светодиодах, поскольку связано с отсутствием в них соединений, задерживающих излучение.

1.3 Люминофоры

Люминофором называют порошок с дисперсными частицами размерами 5 – 15 мкм. В их состав входят неорганические материалы, примесные оптически активными элементами. В качестве наиболее используемой основы применяются гранаты с химической формулой : $A_3B_5O_{12}$, где А и В – химические элементы, О – кислород. Среди крупной группы гранатов отмечается алюмоиттриевый гранат (АИГ – YAG) химическая формула которого $Y_3Al_5O_{12}$. Соответственно, люминофоры в основе которых алюмоиттриевый гранат называются YAG-люминофорами. В данном случае оптически активными добавками выступают редкоземельные элементы (РЗЭ) в силу своего свойства оптической активности, а также их оксиды и другие смеси.

В качестве примесной составной части YAG-люминофоров, используемых в источниках белого света в основном используется церий. Также стоит сказать о месте применения неодима, эрбия и оксида тория в YAG-лазерах, в оптических усилителях и газовых лампах, соответственно.

Смена оптических характеристик YAG-люминофоров наблюдается при частичном замещении атомов иттрия атомами гадолиния , и атомов алюминия атомами галлия. В данном случае конечный химический состав люминофора описывается формулой $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$. На рисунке 1.2 представлены с различными значениями x и y спектры излучения люминофоров $(Y_{1-x}Gd_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$, примесных церием [4]. Наглядно, что при добавлении гадолиния наблюдается сдвиг спектра излучения в длинноволновую сторону, а при добавлении галлия наблюдается сдвиг в противоположном ему направлении – в коротковолновую сторону.

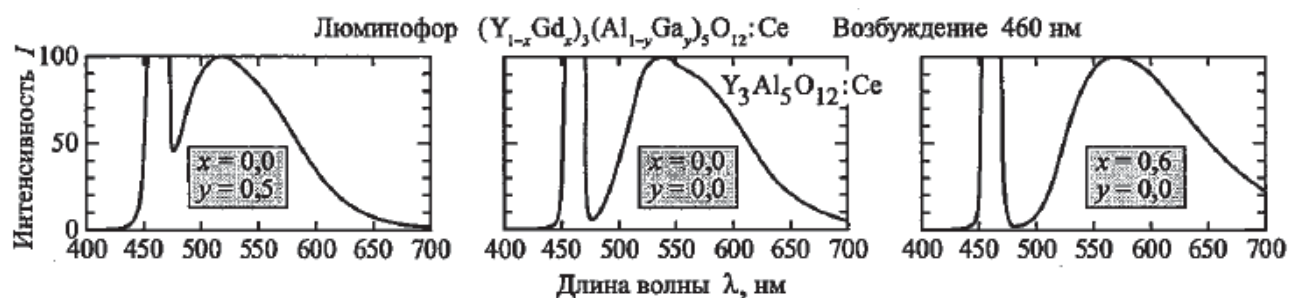


Рисунок 1.2 – Спектры излучения алюмоиттриевого граната, легированного церием в различных концентрациях (YAG:Ce) [14]

На рисунке 1.3 представлено положение люминофоров на базе алюмо-иттриевого граната примесного церием на двумерном цветовом графике МКО. Затемненная область отвечает источникам света базируемых на светодиодах синего свечения и люминофорах алюмо-иттриевого граната примесного церием. Надлежаще, что эти показатели могут обладать высочайшей цветовой температурой.

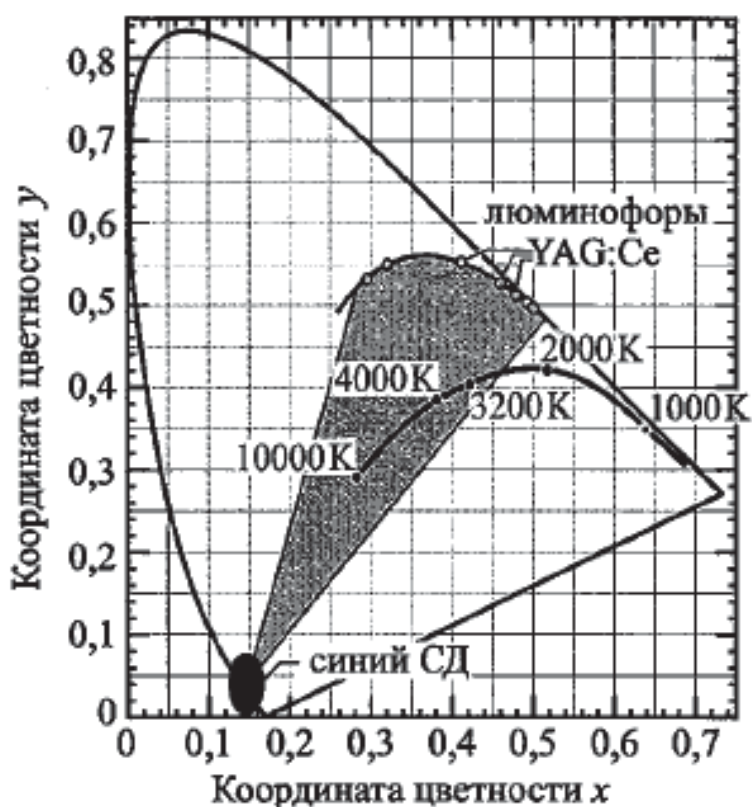


Рисунок 1.3 – Положение люминофоров на основе алюмо-иттриевого граната примесного церием на цветовом графике МКО [4]

Одним из подходящих вариантов замены люминофоров на основе аллюмо-иттриевого граната могут быть люминофоры на основе алюмотербиевых гранатов (TAG), имеющего химическую формулу $\text{Tb}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. Люминофоры на основе алюмотербиевого граната и основе аллюмо-иттриевого граната имеют кристаллическую структуру граната, к тому же радиусы главных ионов Y^{3+} и Tb^{3+} очень близки ($r_{\text{Y}^{3+}} = 1,02 \text{ \AA}$, $r_{\text{Tb}^{3+}} = 1,04 \text{ \AA}$). Поэтому, при замещении атомов иттрия атомами тербия существенных изменений в кристаллической решетке YAG-люминофора не произойдет. Это применимо даже в случае, когда молярная доля тербия равна 30 % [5]. Алюмотербиевые люминофоры все же являются серьезными конкурентами аллюмо-иттриевым даже несмотря на меньшую эффективность излучения.

Для создания теплых белых светодиодов применимы дополнительные активированные люминофоры, к примеру люминофор $(\text{Y}_{0.75}\text{Gd}_{0.22}\text{Ce}_{0.03})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ активируют ионом Pr^{+3} , излучение которого при длине волны 610 нм составляет до 10% его эффективности. Подобными методами практиковались на начальном этапе создания белых светодиодов [6], но они имели недостаточную световую результативность. Повышение доли оранжевого свечения в Ce^{3+} -гранате добавлением в основу ионов Sm^{3+} , Eu^{3+} , Er^{3+} приводило к значительному понижению общей результативности светодиода. Принять за второй механизм длинноволнового сдвига излучения Ce^{3+} в гранатах можно изоморфную замену значительной доли иона Y^{3+} в катионной подрешетке на ион Gd^{3+} . Также и третий механизм длинноволнового сдвига излучения Ce^{3+} связан с изоморфной заменой Y^{3+} в гранатных матрицах на ион Tb^{3+} и образованием тербиевого граната $(\text{Tb}_{0.96}\text{Ce}_{0.04})_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$. [18].

1.4 Светодиоды белого свечения на основе люминофоров

В работах [4, 7, 8] представлены первые разработки светодиодов белого свечения, разработанных на базе светодиодов синего свечения индия-галлия нитрида (InGaN) / галлия(III) нитрида (GaN) и люминофоров [9]. В этих устройствах приравнивались светодиоды синего свечения на базе

InGaN/GaN, рассмотренные в работе [8] в качестве люминофора применялся легированный церием люминофор АИГ(YAG) с химической формулой $(Y_{1-a}Gd_a)_3(Al_{1-b}Ga_b)_5O_{12}:Ce$ с целью оптического возбуждения. Компании – производители люминофоров как правило не разглашают истинный химический состав собственных материалов [10-12].

На рисунке 1.4 показан поперечный разрез состава светодиодной лампы. Представлены кристалл светодиода и люминофор, находящийся вокруг данного кристалла. Процесс изготовления начинается с момента наносится капли люминофора, заполняющую все углубление, в котором он находится, на кристалл светодиода. В эпоксидной смоле люминофор иттрий-алюминиевого граната представляет собой взвесь порошка. Люминофором поглощается доля излучения кристалла светодиода, что в дальнейшем приводит к излучению света больших длин волн (рисунок 1.4, б).

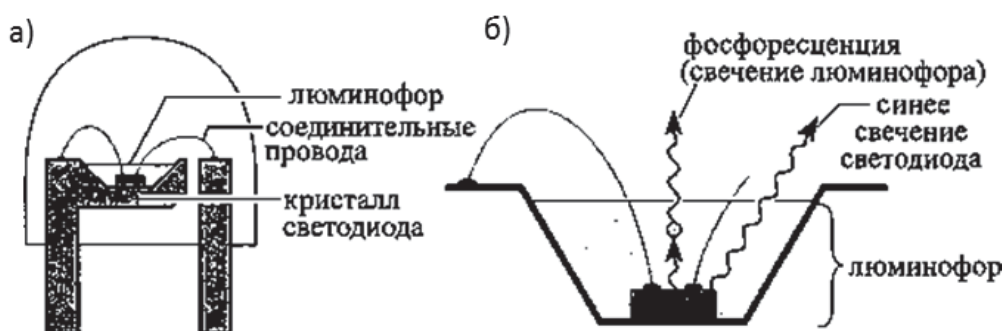


Рисунок 1.4 – Структура светодиода белого свечения, состоящего из кристалла светодиода синего свечения на основе индия-галлия нитрида [14]

а) люминофор и корпус светодиода;

б) люминофор и синее свечение кристалла.

Данные свойства светодиода белого света, как световая эффективность и индекс цветопередачи возможно улучшить путем определения соответствия интенсивностей двух типов излучения, что напрямую зависит от толщины слоя люминофора и его концентрации в эпоксидной смоле. Месторасположение спектра рассматриваемой лампы белого света первого поколения можно наблюдать на цветовой диаграмме на рисунке 1.6 , исходя из которого

замечается, что излучение имеет белый цвет с голубым оттенком, что находит подтверждение при взгляде на нее.

Повысив процентное содержание в них люминофора, получилось улучшить их цветопередачу. У следующего поколения источников максимум излучения люминофора уже располагается на длине волны 655 нм при возбуждении синим светом с длиной волны 460 нм, а абсолютная ширина спектральной части на половине интенсивности излучения составляет 110 нм [13]. В итоге получается повышение излучения в красном спектре диапазона. Более того, использование оптимизированного состава люминофора разрешило заметно уменьшить провал в спектре излучения. Это же поколение светодиодных источников белого света обладает наилучшей по сопоставлению с первой цветопередачей в красной области спектра и значениями цветовой температуры, зависящих от состава люминофора и варьирующихся в пределах от 2800 К до 4700 К.

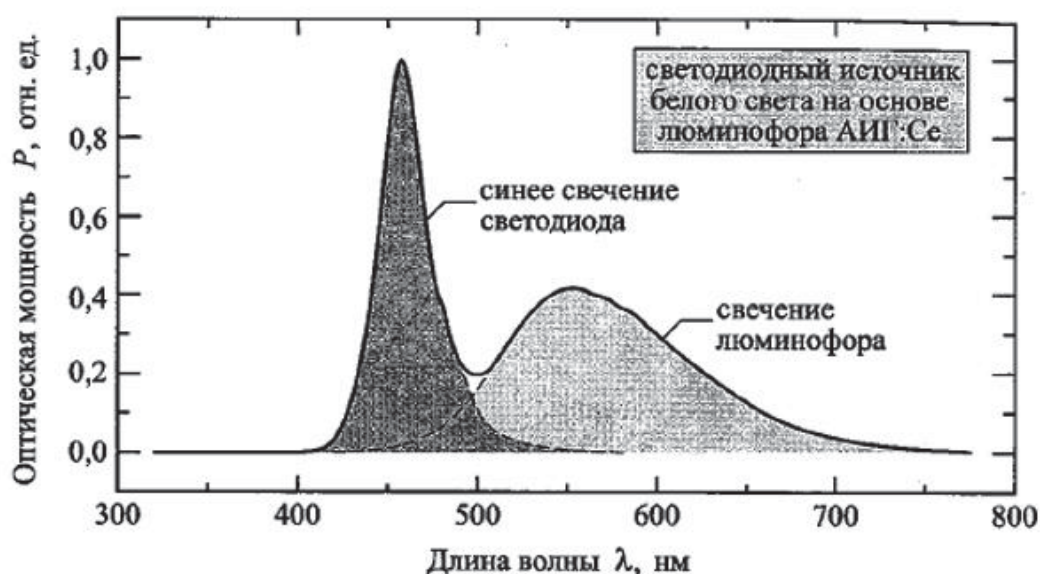


Рисунок 1.5—График спектра излучения светодиодной лампы на основе люминофора [13]

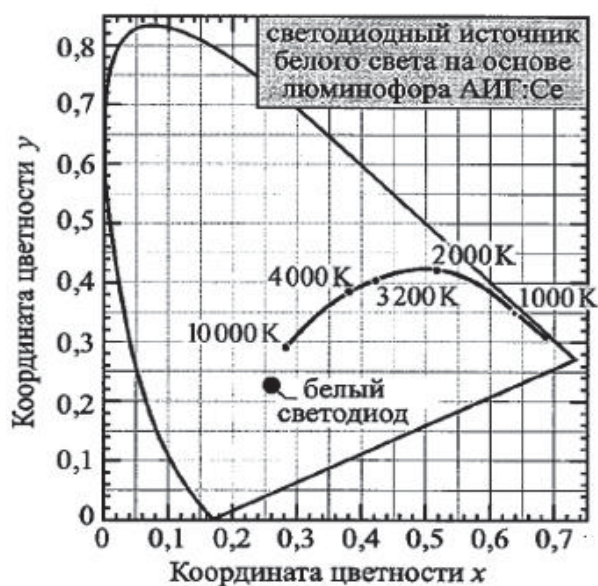


Рисунок 1.6 – Система координат цветности светодиода с люминофором [13]

Добавление люминофора красного цвета ведет к понижению световой производительности в силу того, что высокий уровень сдвига Стокса красных люминофоров понижает результативность (при длине волны возбуждения 460 нм и длине волны максимума излучения 655 нм). Отдельно от всего, отлично известен факт неэффективности возбужденных излучением красных люминофоров, с длиной волны 460 нм.

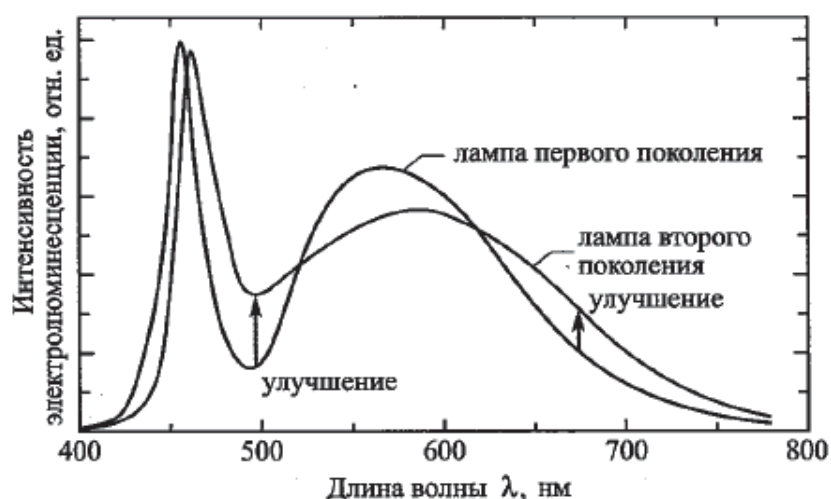


Рисунок 1.7 – График электролюминесценции светодиодных ламп белого света первого и второго поколений.

К повышению индекса цветопередачи и снижению провала на спектральной характеристике ведет уширение спектра излучения источников второго поколения [13].

1.5 Пространственное расположение люминофора

Цвет и эффективность источников белого света находится в сильной зависимости от расположения люминофора в пространстве. Существуют два варианта месторасположения люминофора внутри источника: ближнее и удаленное [19]. В конкретной близости от полупроводникового кристалла люминофор располагается в ближнем месторасположении. (рисунок 1.8, а и б). Люминофор при удаленном месторасположении разделен в пространстве от кристалла полупроводника (рисунок 1.8, в). На рисунке 1.8, б) показан ещё раз вариант близкого месторасположения – конформное месторасположение люминофора. Расположение люминофора позволяет значительно понизить затраты на изготовку источников белого света, потому что в процессе формирования полупроводниковой структуры наносится слой люминофора, а не во время сборки лампы. Люминофор с конформным месторасположением источника света характеризуются высочайшей яркостью и маленьким участком излучения, собственно что говорит о готовности применять их в оптических системах, примером служит воспроизведение изображений. В таких устройствах, как фронтальные фары автомашины. Именно источники с маленькой площадью излучения подходят для данных применений.

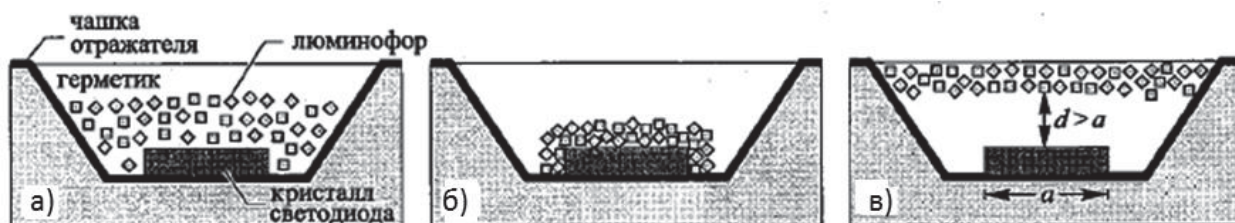


Рисунок 1.8 — Расположение люминофора [19]: а) расположение люминофора в близи; б) конформное ближнее; в) отдаленный, люминофор и кристалл находятся на расстоянии, превышающие как минимум поперечные размеры кристалла

Направленное в сторону полупроводникового кристалла излучение со стороны люминофора, если он близко расположен, в частных случаях, когда он покрыт металлическими контактами без отображающего свойства, может быть поглощенным.

Направленное в сторону полупроводникового кристалла излучение со стороны люминофора в частных случаях, когда он покрыт металлическими контактами без отображающего свойства, может быть поглощенным[19].

1.6 Светодиоды белого свечения на основе УФ кристаллов с люминофором

Светодиоды часто используются как источник белого света, которые работают в ближней УФ (320 – 390 нм) и спектрах длин волн фиолетовой области, которые близко расположены к спектру видимой области (390 – 410 нм). [14]

Работающих в дальнем УФ-диапазоне 200-320 нм полупроводниковые источники света, можно использовать обычные люминофоры для преобразования длины волны, которые используются в флуоресцентных лампах. Стоксов сдвиг является недостатком, свойственный источникам дальней УФ-области. На основе AlGaN при разработке светодиодов дальнего УФ-диапазона столкнулись с проблемами, вызванными высоким содержанием алюминия, которые приводят к снижению легирования *p*- и *n*-типа. [15]

УФ-возбуждение видимое излучение в светодиодах белого свечения создается именно в люминофоре. Используемый в таких светодиодах люминофор схож с люминофором в флуоресцентных лампах, разработанных в 1950-х гг. С 1980-х гг. в компактных флуоресцентных лампах применяли такие же люминофоры. В ртутных лампах низкого давления, люминофор возбуждается газовым разрядом УФ-излучения. На длину волны 254 нм приходится излучение ртутных ламп. В этом диапазоне длин волн, люминофоры которые обладают поглощающей способностью уже выпускаются серийно, и их параметры цветопередачи применимы для многих направлений.

Возбуждение УФ-светодиода AlInGaN и смесь трех люминофоров светодиодом описаны в работе [16]. УФ-светодиод излучает на длинах волн 380-400 нм границ УФ-областей и видимой спектра. У таких светодиодов индекс цветопередачи равен приблизительно равен 78. Высокий индекс цветопередачи (60 – 100) люминофоров является достоинством светодиодов белого свечения с УФ-накачкой созданных на их основе. Хорошей воспроизводимостью отличаются светодиоды белого свечения с УФ-возбуждением оптических спектров, что доказывает хорошо отработанную технологию. Основным недостатком светодиодов белого свечения с УФ-накачкой при преобразовании УФ-излучения в белый свет являются энергетические потери (сдвиг Стокса) .

1.7 Система $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce} - \text{Gd}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}$

Одной из актуальных проблем современной оптоэлектроники и химии оптических материалов является поиск новых материалов с выдающимися физико-химическими свойствами. [20] Иттрий-алюминиевый гранат (YAG) считается наиболее изученным соединением из класса гранатов. При разработке и применении светодиодов «белого света» нанопорошки активированные церием иттрий-алюминиевого граната (YAG: Ce) относятся к числу наиболее важных люминофоров, поскольку нанопорошки $\text{YAG}:\text{Ce}^{3+}$ подходят для преобразования излучения синего светодиода. в широкополосное желтое излучение. Качество YAG:Ce люминофоров, таких как чистота и размер частиц, влияет на яркость и эффективность белых светодиодов. Важен синтез высококачественных YAG:Ce люминофоров. Различные смеси белого цвета являются основой для изготовления люминофоров для светодиодов.

Методология получения граната путем осаждения смешанных гидроксидов заключается в капельном добавлении аммиака в состав раствора нитрата гадолиния, церия и иттрия, притом непрерывно смешивая. В рамках 8-9 выдерживали показатели pH раствора, т.к. гидроксиды иттрия, гадолиния и церия при разных pH осаждаются(5.5-6 для гидроксида иттрия, 6.5-7 для

гидроксида гадолиния, 7.1-7.4 для гидроксида церия). Результаты образцов имели состав $Y_{3-x}Gd_xAl_5O_{12}:Ce$, где $x=0; 0,6; 1,2; 1,8; 3$. Концентрация церия составила 1,4 ат.%. Содержание алюминия 1,05 по отношению к иттрию (гадолинию). Время полного осаждения – сутки, после чего проверяли на полноту осаждения, фильтрование проводилось через воронку Бюхнера[21].

Реакция оксидов и алюминия происходит в два этапа. Образование тонких (0.1 мкм) квазиаморфных слоёв происходит на первом этапе, которое возможно при температуре начала взаимодействия оксидов [21]

В данном случае ($t_{пл.}(Y_2O_3)=2410^{\circ}C$; $t_{пл.}(Al_2O_3)=2040^{\circ}C$; $p^{1400^{\circ}C}(Al_2O_3) \approx 10^{-9}$ атм $\gg p(Y_2O_3)$) - оксид алюминия выступает в качестве покрывающего реагента и оксид РЗЭ выступает покрываемым.

Во всех рассмотренных образцах моноклинная фаза соответствует фазе граната, о чем свидетельствуют данные рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) (табл. 1.1). Твёрдый раствор алюмо-иттриевого граната, легированного иттербием – алюмо-гадолиниевого граната на рентгенограммах регистрируется при содержании гадолиния~50% [21].

Таблица 1.1 - Результаты РФА и максимумы полос излучения люминофоров $(Y_{1-x}Gd_x)_3Al_5O_{12}:Ce$

Формула граната	$\lambda_{\text{макс}}$ полосы излучения	$\lambda_{\text{макс}}$ полосы возбуждения		Данные РФА
		$\lambda_{\text{макс}}$ (1)	$\lambda_{\text{макс}}$ (2)	
$Y_3Al_5O_{12}:Ce$	540	347	460	$Y_3Al_5O_{12}$ (85%), $Y_4Al_2O_9$ (15%)
$Y_{2,4}Gd_{0,6}Al_5O_{12}:Ce$	565	345	460	$Y_3Al_5O_{12}$ (85 %), $Y_4Al_2O_9$ - $Gd_4Al_2O_9$ (15 %)
$Y_{1,8}Gd_{1,2}Al_5O_{12}:Ce$	570	340	465	Твёрдый раствор $Y_3Al_5O_{12}$ - $Gd_3Al_5O_{12}$

$Y_{1,2}Gd_{1,8}Al_5O_{12}:Ce$	575	335	465	Твёрдый раствор $Y_3Al_5O_{12}-Gd_3Al_5O_{12}$
$Gd_3Al_5O_{12}:Ce$	580	330	470	$Gd_3Al_5O_{12}$ (80%) $Gd_4Al_2O_9$ (20%)

Напряжённость кристаллической решётки, вызванная большим радиусом гадолиния при его внедрении обуславливает увеличение параметра решётки, что видно из таблицы 1.2. Наблюдается увеличение объема ячейки в пределах от 1733,8 Å для $Y_3Al_5O_{12}$ до 1778,4 Å для $Gd_3Al_5O_{12}$. Теоретически рассчитанные значения a оказались превышены согласно конечным данным прецизионного замера характеристик решётки (камера Гинье-де-Вольфа). На основании вышеизложенного, совершенно закономерно предположение об отличии состава гранатов от стехиометрического состава. [22]

Таблица 1.2- Значения $a_{\text{теор}}$ и $a_{\text{практ}}$

Формула	Теорет. рассчит. значение параметра решётки a , Å	Экспер. получен. значение параметра решетки a , Å
$Y_3Al_5O_{12}$	12,00	12,013
$Y_{2,4}Gd_{0,6}Al_5O_{12}$	12,016	12, 028
$Y_{1,8}Gd_{1,2}Al_5O_{12}$	12,037	12,099
$Y_{1,2}Gd_{1,8}Al_5O_{12}$	12,058	12,102
$Y_{0,6}Gd_{2,4}Al_5O_{12}$	12,085	12, 105
$Gd_3Al_5O_{12}$	12,099	12,113

Концентрация $[R^{3+}_{Al}]$ в алюмогранатах составляет 0,08 на одну формульную единицу (λ), его концентрация выше в иттриевых гранатах, чем в гадолиниевых в силу уменьшения ионного радиуса по причине роста

концентрации антиструктурных дефектов λ . Пиками для АИГ будут T_m 140 К, 170 К, 213 К, 350 К, 390 К, а для ГАГ T_m равны 123 К, 223 К, 260 К, 373 К[22].

Одинаковые концентрации активатора в обоих случаях дают возможность предположить о наличии ловушек, связанных с собственными дефектами в виде антиструктурных дефектов $Y^{3+}_{\text{окта}}$ и $Gd^{3+}_{\text{окта}}$, с разной энергией (как показано выше из-за различной концентрации дефектов типа $[R^{3+}_{Al}]$).

Согласно наблюдаемым изменениям: увеличению влияния кристаллического поля способствует увеличение содержания гадолиния в алюмо-иттриевом гранате. Увеличение расщепления 5d- состояний иона Ce^{3+} обусловлено увеличением силы кристаллического поля. Переходу электронов из состояния 5d на два уровня 4f соответствует увеличение ширины полос. В запрещённой зоне граната Ce^{3+} наблюдается изменение расположения 5d- состояний ионов по причине вхождения ионов гадолиния. Согласно наблюдениям за характеристиками спектров YAG и GAG, уровни возбужденного состояния ионов церия во втором гранате располагаются на более близком, по сравнению с первым, расстоянии ко дну зоны проводимости.

В дальнейшем это является основой для уменьшения зазора 4f- и 5d – состояний иона церия. Подтверждением чему является увеличенное расстояние между максимумами основных полос возбуждения[22].

1.8 Передача энергии между ионами РЗЭ

Способы передачи энергии между ионами РЗЭ в кристаллофосфорах рассмотрены в обзорах [28,29]. Следует отметить, что из двух механизмов передачи (излучательного и безизлучательного) в кристаллофосфорах преобладает последний. При этом энергия передаётся от ион-донора без излучения фотона иону-акцептора. Выбор механизма передачи энергии зависит от многих факторов: вида и концентрации ионов РЗЭ, структуры кристаллической решётки, температуры и др. В различных кристаллических решётках лантаноиды могут выступать как в качестве доноров, так и качестве

акцепторов энергии. Сведения об ионах лантаноидов, между которыми наблюдается передача энергии, приведены в таблице 1.3.

Как видно из таблицы, ион Ce^{3+} может быть донором энергии для ионов Sm^{3+} , Tb^{3+} , Yb^{3+} , а ему могут передавать энергию ионы Eu^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+} .

Наличие примеси этих элементов в основе люминофора, например в $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$, может существенно изменять оптические характеристики люминесцентных составов.

Таблица 1.3 – Передача энергии между ионами РЗЭ [28]

Ион - акцептор энергии	Ион-донор энергии
Ce^{3+}	Eu^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Tb^{3+}
Pr^{3+}	Nd^{3+} , Eu^{3+} , Yb^{3+} , Gd^{3+}
Nd^{3+}	Er^{3+} , Dy^{3+} , Sm^{3+} , Pr^{3+} , Eu^{3+} , Yb^{3+} , Tm^{3+} , Tb^{3+}
Sm^{3+}	D^{3+} , Nd^{3+} , Ce^{3+} , Tb^{3+}
Eu^{3+}	Tm^{3+} , Dy^{3+} , Sm^{3+} , Nd^{3+} , Pr^{3+} , Yb^{3+} , Gd^{3+} , Tb^{3+}
Tb^{3+}	Ce^{3+} , Sm^{3+} , Gd^{3+} , Nd^{3+} , Eu^{3+} , Yb^{3+}
Tm^{3+}	Nd^{3+} , Yb^{3+} , Er^{3+} , Yb^{3+} , Tb^{3+}
Yb^{3+}	Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} , Sm^{3+} , Dy^{3+}

2. Объекты и методы исследования

2.1 Методы экспериментального исследования

Для исследований люминесценции с временным разрешением были использованы светодиоды, работающие в импульсном режиме питания (длительность импульса от 15 нс), и азотный лазер *SRSNL100* (длительность импульса на полувысоте ~ 7 нс, энергия в импульсе 170 мкДж). Кинетика затухания свечения регистрировались посредством приемного устройства *HamamatsuH10720-20* и цифрового осциллографа *Tektronix DPO3034* (300 МГц) с использованием монохроматора *MDR-204*. Регистрация интегральных спектров свечения фотолюминесценции осуществлялась оптоволоконным спектрометром *AvaSpec-3648* (200 – 1100 нм, обратная линейная дисперсия 1,2 нм/мм). Спектр оптического поглощения для керамики был измерен при комнатной температуре на спектрофотометре *Lomo-Photonics SF-256 UVI* в спектральном диапазоне 200 - 800 нм.



Рисунок 2.1 - Спектрофлуориметр для исследования фотолюминесценции: излучатели (ОЛКс-150, ДДС-30, КГМ-20, азотный лазер, импульсные светодиоды (278нм, 305 нм, 362 нм, 447нм; 452 нм - длительность импульса от 15нс)); МДР-204 – монохроматор (спектральный диапазон 200 - 1200 нм, обратная линейная дисперсия: 2.6 нм/мм); турель светофильтров (фильтрация паразитного излучения); приемник излучения ФЭУ (*HamamatsuR928*, *H10720-20*).

Излучение образца измерялось обычно под углом 45° к направлению возбуждающего потока. Все измерения выполнялись с учетом спектральной чувствительности оптического тракта.

Интегральную спектральную эффективность измеряли с использованием интегрирующей сферы и калиброванного спектрофотометра AvaSpec-ULS3648. Источником возбуждения служило излучение чипа с $\lambda_{\text{возб}} = 447$ нм.



Рисунок 2.2 - Общий вид стенда для измерения интегральной спектральной эффективности излучения.

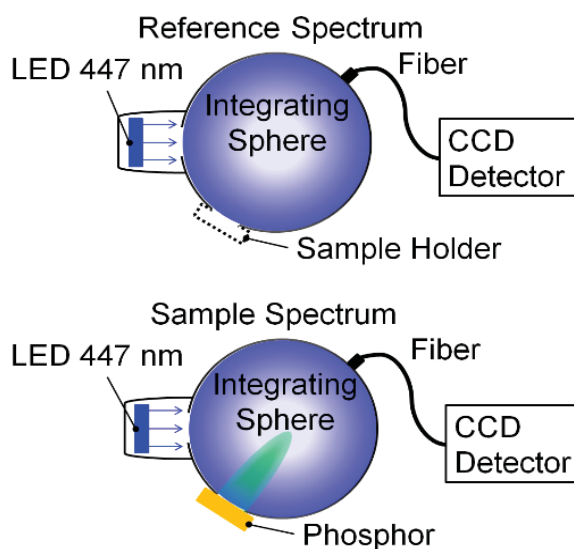


Рисунок 2.3 - Методика измерения энергетической эффективности.

2.2 Объекты исследования

В работе были исследованы оптические и спектрально кинетические характеристики люминофоров и керамик на их основе.

Люминофор был синтезирован методом высокотемпературного твердофазного синтеза в восстановительной атмосфере. Данный метод требует повторных циклов нагревания при высокой температуре до 1600 °С для усиления взаимной диффузии и достижения однородного однофазного сплава. Все реагенты были химически чистыми Al_2O_3 (99,99%), Y_2O_3 (99,99%), CeO_2 (99,99%). Более подробно процедура, используемая для синтеза описана в [30]. Для изготовления образцов светопропускающей керамики был использован синтезированный люминофор. Формование порошка осуществляли методом холодного статического одноосного прессования в стальных пресс-формах на автоматическом прессе ИП-500 АВТО (ЗИПО, Россия). В результате были получены керамические образцы цилиндрической формы, высотой 1,1 мм, диаметром 9 мм, пропускающие свет (рис. 2.4). Механическая обработка поверхности образцов проводилась при помощи шлифовально-полировальной системы EcoMet 300 Pro (Buehler, Германия) с применением алмазных суспензий MetaDi (Buehler, Германия).

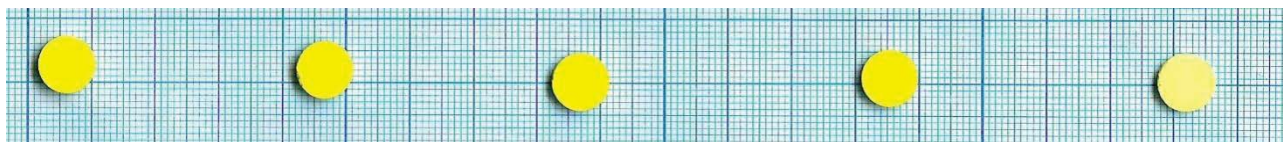


Рисунок 2.4 – Примеры образцов полученной керамики.

Также была изготовлена люминесцентная керамика из аналогичного сырья методом спарк-плазменного спекания на установке SPS-515S (Syntex Inc., Япония). В качестве допанта был использован фторид лития (2 вес.%). В результате спекания были получены керамические образцы цилиндрической формы, высотой 1 мм, диаметром 8 мм.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Предпроектный анализ

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В этой исследовательской работе мы использовали спектральный анализ для люминофора, с различными примесями. Целью данного раздела «Финансовый менеджмент, эффективность использования ресурсов и защита ресурсов» является определение перспектив и целесообразности проведения научных исследований с точки зрения эффективности затрат.

Результаты нашего исследования YAG: Се люминофоров и керамик показывают, что при дополнительном допировании оксидом тербия, изменений в спектрах фотолюминесценции не наблюдается. Вместе с тем, показано влияние оксида тербия на интенсивность свечения. Сравнительный анализ люминофоров и керамик на их основе показал ухудшение энергетической эффективности керамик по сравнению с люминофорами.

Эти результаты важны для сообщества, работающего над YAG керамикой, позволяющими проводить проводящие и структурные исследования микроустройств на основе восстановленного YAG люминофора с высоким пространственным коэффициентом.

4.1.2 Анализ конкурентных решений

В современной науке и технике, для того чтобы определить химический состав веществ, используют множество различных методов. Минералы, найденные геологами, и новые вещества, полученные химиками, характеризуются, прежде всего, по составу. Для правильного ведения технологических процессов в разных отраслях необходимо точное знание химического состава данного сырья. Химические методы анализа не всегда соответствуют требованиям техники и науки. В связи с этим на практику внедряются физико-химические и физические методы исследования, которые являются более точными. Среди этих методов одно из значимых мест занимает спектральный анализ, имеющий множество ценностей и преимуществ. Данный

анализ был открыт Бунзеном и Кирхгофом. Открытие произвело огромное впечатление на современников и имело большое значение для развития знаний об окружающем мире. С первых дней своего существования спектральный анализ помог сделать ряд важнейших открытий. По сравнению с химическими методами, стоимость спектрального анализа значительно ниже.

Таблица 4.1 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы				Конкурентоспособность			
			Б ф	Бк 1	Бк 2	Бк 3	Кф	К1	К2	К3
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Технические критерии оценки ресурсоэффективности										
1	Повышение эффективности труда пользователя	0,3	4	1	3	2	1	0,4	0,6	0,4
2	Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,14	4	2	1	2	0,75	0,45	0,3	0,45
3	Помехоустойчивость	0,2	3	3	3	4	0,4	0,4	0,4	0,5
4	Энергоэкономичность	0,15	4	2	2	1	0,75	0,45	0,45	0,3
5	Надежность	0,05	2	4	3	4	0,1	0,25	0,2	0,25
6	Простота эксплуатации	0,15	4	2	2	3	0,75	0,3	0,3	0,45
Экономические критерии оценки эффективности										
1	Конкурентоспособность продукта	0,08	4	5	4	4	0,4	0,4	0,4	0,4
2	Цена	0,02	5	2	2	2	0,08	0,04	0,04	0,04
3	Финансирование научной разработки	0,06	5	3	2	2	0,3	0,18	0,12	0,18

4	Срок выхода на рынок	0,04	3	4	4	4	0,16	0,2	0,2	0,2
	Итого	1,19	38	26	26	28	4,69	3,07	3,01	3,27

Исходя из проведенного анализа можно сделать вывод, что уязвимость конкурентных технологических решений обусловлена, прежде всего, недостаточной эффективностью, то есть другие методы занимают больше времени для анализа YAG люминофоров. Использование других методов очень схоже, все они имеют большое ограничение для образцов. Помимо этого, наши методы оцениваются выше, чем другие методы.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны проекта, возможности и угрозы для разработки.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1- широкие диапазоны варьирования параметров среды; С2 - использование экспериментальных данных как исходных для прогнозирования; С3 – актуальность проекта; С4 – продолжительный срок службы; С5 - не требует высокой	Слабые стороны проекта: Сл1 - необходимы дозиметрические измерения образца; Сл2 – обработка образца методом спарк-плазменного спекания; Сл3 – вероятность появления новых методик;
--	--	--

	квалификации персонала;	
Возможности: В1 - появление новых методик модификации материалов электронным пучком; В2 - развитие в стране производства светодиодной продукции; В3 - государственное финансирование разработок.	Перспективы использования анализируемого объекта для прогнозирования свойств материалов, безусловно есть. А так же анализируемый объект позволяет проводить анализ материалов для бурно развивающейся отрасли светодиодной продукции. Получение гос. финансирования дало бы дополнительные конкурентные преимущества.	Отсутствие обработки численных значений расчета и визуализация результатов при возможности массового применения программного продукта окажут негативное воздействие на его внедрение.
Угрозы: У1 - отсутствие спроса на исследуемые образцы; У2 - появление конкурентов;	Возможность ограничений на экспорт технологии при наличие преимуществ перед возможными зарубежными аналогами делает продукт конкурентно не способным.	Актуальность темы может привести к появлению новых методик исследования и к усовершенствованию старых

Второй этап включает в себя выявление соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Это соответствие или несоответствие должны помочь выявить степень необходимости проведения стратегических изменений. Соотношения параметров представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта

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

Возможности проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3
	B1	-	-	-
	B2	-	-	-
	B3	-	-	-

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

Угрозы проекта		СЛ1	СЛ2	СЛ3
	У1	+	-	+
	У2	-	-	-

4.2 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

4.2.1 Цели и результаты проекта

Перед определением целей необходимо перечислить заинтересованные стороны проекта. Заинтересованные стороны проекта представлены в таблице 4.4:

Таблица 4.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидание заинтересованных сторон
Степанов С.Ак.ф – м.н ИШНПТ,	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
Джаныбеков Ч.Е, магистр ИШНПТ	Выполнение экспериментальной части

Цели и результат проекта представлены в таблице 4.5:

Таблица 4.5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработать альтернативный способ анализа YAG люминофоров, возбужденного азотным лазером и светодиодным источниками света. Это позволяет соотнести спектральные характеристики рассеяния со степенью поглощения.
Ожидаемые результаты проекта:	Изучение спектрального анализа для оценки степени эффективности люминофора.
Критерии приемки результата проекта:	Используя простое измерение спектрального анализа, мы можем оценить спектр поглощения, а так же энергоэффективность люминофора
Требования к результату проекта:	Требование: - Этот метод успешно выполнил требования анализа YAG люминофора - Этот метод быстрее, удобнее и дешевле в материальных затратах.

4.2.2 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Эту информацию представить в табличной форме (табл. 4.6).

Таблица 4.6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения
1.2.3.1 Бюджет проекта	80 000 рублей
1.2.3.1.1 Источник финансирования	НИТПУ
1.2.3.2 Сроки проекта	01.01.2018 – 31.10.2018
1.2.3.2.2 Плановая дата завершения проекта	31.05.2018

4.3 Планирование управления научно-техническим проектом

4.3.1 План проекта

Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде табл. 4.7. с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 4.7. – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код рабо ты (из ИСР)	Вид работ	Исполни тели	Т _к , дн.	Продолжительность выполнения работ																		
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			И юн ь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Выбор темы исследования	Р, С	1																			
2	Обсуждение содержания исследования	Р, С	2																			
3	Изучение литературы	С	4																			
4	Теоретические и экспериментальные исследования	С	3																			
5	Обработка и анализ данных	С	7																			
6	Обобщение и оценка результатов	Р,С	5																			
7	Написание научной статьи	Р,С	5																			
8	Публикация научной статьи	Р,С	2																			



– Руководитель(Р)



– Студент (С)

4.3.2 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования

бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице (4.8).

Таблица 4.8– Материальные затраты НТИ

Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Синий светодиод	1	500	500
YAG люминофор	7	740	5180
Крепления для люминофра	100	2	200
Этиловый спирт	100	0.4	40
Всего заматериалы			5920
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)			195
Итого по статье C_m			6115

Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме. Определение стоимости спецоборудования производится по действующим прейскурантам, а в ряде случаев по договорной цене.

Для разработки нынешней системы требуется обычное оборудование в виде персонального компьютера. Среда и средство разработки, программный софт и другие комплектующие, нужные для разработки, распространяются бесплатно и не требуют дополнительных затрат.

Таблица 4.9 – Расчет затрат по статье «Спецоборудование для научных работ»

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс.руб.	Общая стоимость оборудования, тыс.руб.
1.	Персональный компьютеры	1	50,000	50,000
2.	Монохроматор МДР-23*	1	180,000	180,000
3.	Осциллограф Tektronix DPO 3034	1	100,000	100,000
4	Ускоритель электронов	1	150,000	150,000
5	Азотный лазер	1	400,000	400,000

*** Данное оборудованием имеется у ТПУ**

Основная заработная плата

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда). Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.11.

Таблица 4.10 – Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапов	Исполнители по категориям	Трудоемкость, чел.-дн.	Заработная плата, приходящаяся на один чел.- дн.,руб	Всего заработная плата по тарифу (окладам), руб.
1	Выбор темы исследования	Руководитель Магистр	1	2000	2000
2	Обсуждение содержания исследования	Руководитель Магистр	2	2000	4000
3	Изучение литературы	Магистр	3	1500	4500
4	Теоретические и эксперимента- льные исследования	Магистр	4	2000	8000
5	Обработка и анализ данных	Магистр	6	2500	15000
6	Обобщение и оценка результатов	Руководитель Магистр	5	3000	15,000
7	Написание научной статьи	Руководитель Магистр	6	3000	18,000
8	Публикация научной статьи	Руководитель Магистр	2	3000	6000
Итого:				72,500	

$$C_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.1)$$

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

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

Основная заработная плата $Z_{\text{осн}}$ руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (4.2)$$

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

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

Значит, для руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 33664 * 1,3 = 43763 \text{ рублей}$$

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} * M) / F_{\text{д}} \quad (4.3)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб (в качестве месячного оклада магистра выступает стипендия, которая составляет 2650 руб);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 45 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6 - дневная неделя;

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{43763 * 10,4}{254} = 1791,0 \text{ рублей}$$

Для дипломника:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{2650 * 10,4}{217} = 127 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	82
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	45	52
- невыходы по болезни	—	—
Действительный годовой фонд рабочего времени	254	217

Таблица 4.12 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	З _б , руб.	k _р	З _м , руб	З _{дн} , руб.	T _р , раб. дн.	З _{осн} , руб.
Руководитель	33664	1.3	43763	1791,0	48	43763
Магистр	2650		2650	127	76	2650
Итого по статье З _{осн} :						46413

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

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

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} * З_{\text{осн}} \quad (4.4)$$

где З_{доп} – дополнительная заработная плата, руб.;

k_{доп} – коэффициент дополнительной зарплаты (k_{доп} = 0,1);

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

Для руководителя:

$$Z_{\text{доп}} = 43763 * 0,1 = 4376 \text{ рублей}$$

В таблице 4.13 приведен расчёт основной и дополнительной заработной платы.

Таблица 4.13 – Заработная плата исполнителей ВКР, руб

Заработная плата	Руководитель	Магистр
Основная зарплата	43763	2650
Дополнительная зарплата	4376	–
Зарплата исполнителя	48139	2650
Итого	50789	

Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (43763 + 4376) = 14441 \text{ руб.} \quad (4.5)$$

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

Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. В расчетах эти расходы принимаются в размере 70 - 90 % от суммы основной заработной платы научно-производственного персонала данной научно-технической организации.

Накладные расходы составляют 80-100 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} * (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}) \quad (4.6)$$

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

$$C_{\text{накл}} = 0,3 * (43763 + 4376) = 14441 \text{ руб.}$$

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 4.14 – Бюджет затрат НТИ

№	Затраты по статьям						
	Сырье, материалы (за вычетом возвратных отходов), покупные изделия и полуфабрикаты	Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Накладные расходы	Отчисления на социальные нужды	Итого плановая себестоимость
1	6115	880,000	46413	50789	14441	14441	997,758
2	8190	1,280,000	68163	72539	21741	21741	1,472,374

В результате было получено, что бюджет затрат НТИ составит **997,758** руб. При этом затраты у конкурентов составляют **1,472,374** рублей, из чего можно сделать вывод что полученный продукт будет экономичней, чем у конкурентов.

4.3.3. Организационная структура проекта

В практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная.

Для выбора наиболее подходящей организационной структуры можно использовать табл. 4.15.

Таблица 4.15 – Выбор организационной структуры научного проекта

Критерии выбора	Функциональная	Матричная	Проектная
Степень неопределенности условий реализации проекта	Высокая	Низкая	Высокая
Технология проекта	Сложная	Стандартная	Новая
Сложность проекта	Высокая	Высокая	Высокая
Взаимозависимость между отдельными частями проекта	Низкая	Средняя	Высокая
Критичность фактора времени (обязательства по срокам завершения работ)	Высокая	Средняя	Средняя
Взаимосвязь и взаимозависимость проекта от организаций более высокого уровня	Высокая	Средняя	Низкая

В данном случае выбор лежит к проектной структуре проекта из-за особенностей разработки. Основной причиной выбора проектной структуры является то, что технология проекта является новой, и имеются ограниченные сроки реализации.

4.3.4. План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта. Пример плана управления коммуникациями приведен в табл. 4.16.

Таблица 4.16 – Пример плана управления коммуникациями

№ п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1.	Статус проекта	Руководитель проекта	Представителю заказчика	Ежеквартально (первая декада квартала)
2.	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (пятница)
3.	Документы и информация по проекту	Ответственное лицо по направлению	Руководителю проекта	Не позже сроков графиков и к. точек
4.	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Не позже дня контрольного события по плану управления

4.3.5. Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты. Информацию по данному разделу указаны в таблице (табл. 4.17).

Таблица 3.17– Реестр рисков

№	Риск	Вероятн ость наступле ния (1-5)	Влияни е риска (1-5)	Уровень риска*	Способы смягчения риска
1	Потеря актуаль ности	3	5	средний	Измерения различных свойств
2	Неточно сть ПО	2	5	высокий	Многократные измерения и расчет среднего

3	оборудование может модифицироваться образцы	3	4	высокий	перед измерениями, точно регулируя параметры оборудования
4	обработка данных должна быть очень точной	2	3	средний	проверить обработку несколько раз

4.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

4.4.1. Оценка абсолютной эффективности исследования

Динамические методы оценки инвестиций базируются на применении показателей:

- чистая текущая стоимость (**NPV**);
- срок окупаемости (**DP**);
- внутренняя ставка доходности (**IRR**);
- индекс доходности (**PI**).

Все перечисленные показатели основываются на сопоставлении чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности, и их приведении к определенному моменту времени. Теоретически чистые денежные поступления можно приводить к любому моменту времени (к будущему либо текущему периоду). Но для практических целей оценку инвестиции удобнее осуществлять на момент принятия решений об инвестировании средств.

Чистая текущая стоимость (NPV)

Данный метод основан на сопоставлении дисконтированных чистых денежных поступлений от операционной и инвестиционной деятельности.

Если инвестиции носят разовый характер, то **NPV** определяется по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{ЧДП_{опt}}{(1+i)^t} - I_0,$$

где $ЧДП_{опt}$ – чистые денежные поступления от операционной деятельности;

I_0 – разовые инвестиции, осуществляемые в нулевом году;

t – номер шага расчета ($t=0, 1, 2 \dots n$);

n – горизонт расчета;

i – ставка дисконтирования (желаемый уровень доходности инвестируемых средств).

Чистая текущая стоимость является абсолютным показателем. Условием экономичности инвестиционного проекта по данному показателю является выполнение следующего неравенства: **NPV** > 0.

Чем больше **NPV**, тем больше влияние инвестиционного проекта на экономический потенциал предприятия, реализующего данный проект, и на экономическую ценность этого предприятия.

Таким образом, инвестиционный проект считается выгодным, если **NPV** является положительной.

Таблица 4.18 - Расчет чистой текущей стоимости по проекту в целом

№	Наименование показателей	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Выручка от реализации, тыс.руб.	0	79,284	79,284	79,284	79,284
2.	Итого приток, тыс.руб.	0	79,284	79,284	79,284	79,284
3.	Инвестиционные издержки, тыс.руб.	-56,396	0	0	0	0
4.	Операционные затраты, тыс. руб. С+ФОТ	0	23,427	23,427	23,427	23,427
5.	Налогооблагаемая прибыль		55,857	55,857	55,857	55,857
6.	Налоги, тыс. руб Выр-опер=донал.приб*20%	0	11,171	11,171	11,171	11,171
7.	Итого отток, тыс.руб. Опер.затр.+налоги	-56,396	34,598	34,598	34,598	34,598
8.	Чистый денежный поток, тыс. руб. ЧДП=Пчист+Ам Пчист=Пдонал.-налог	-56,396	44,686	44,686	44,686	44,686
9.	Коэффициент дисконтирования (приведения при $i=20\%$)	1,0	0,833	0,494	0,378	0,299
10.	Дисконтированный чистый денежный поток, тыс.руб. (с8*с9)	-56,396	37,223	22,074	16,891	13,361
11.	То же нарастающим итогом, тыс.руб. (NPV=33,151 тыс.руб.)	-56,396	-19,173	2,90	19,79	33,151

Таким образом, чистая текущая стоимость по проекту в целом составляет 33,151 тыс. рублей, что позволяет его эффективности.

Дисконтированный срок окупаемости

Как отмечалось ранее, одним из недостатков показателя простого срока окупаемости является игнорирование в процессе его расчета разной ценности денег во времени.

Этот недостаток устраняется путем определения дисконтированного срока окупаемости.

Рассчитывается данный показатель примерно по той же методике, что и простой срок окупаемости, с той лишь разницей, что последний не учитывает фактор времени.

Наиболее приемлемым методом установления дисконтированного срока окупаемости является расчет кумулятивного (нарастающим итогом) денежного потока (см. табл. 4.19).

Таблица 4.19 – Дисконтированный срок окупаемости

№	Наименование показателя	Шаг расчета				
		0	1	2	3	4
1.	Дисконтированный чистый денежный поток ($i=0,20$)	-56,396	37,223	22,074	16,891	13,361
2.	То же нарастающим итогом	-56,396	-19,173	2,90	19,79	33,151
3.	Дисконтированный срок окупаемости	$PP_{диск} = 1 + 19,173/22,074 = 0,91$ года				

Внутренняя ставка доходности (IRR)

Для установления показателя чистой текущей стоимости (NPV) необходимо располагать информацией о ставке дисконтирования, определение которой является проблемой, поскольку зависит от оценки экспертов. Поэтому, чтобы уменьшить субъективизм в оценке эффективности инвестиций на практике широкое распространение получил метод, основанный на расчете внутренней ставки доходности (IRR). Между чистой текущей стоимостью (NPV) и ставкой дисконтирования (i) существует обратная зависимость. Эта зависимость следует из таблицы 4.19 и графика.

Таблица 4.19 - Зависимость NPV от ставки дисконтирования

No	Наименование показателя	0	1	2	3	4	
1	Чистые денежные потоки	-56,396	79,284	79,284	79,284	79,284	
2	коэффициент дисконтирования						
	i=0,1	1	0,909	0,826	0,751	0,683	
	i=0,2	1	0,833	0,694	0,578	0,482	
	i=0,3	1	0,769	0,592	0,455	0,35	
	i=0,4	1	0,714	0,51	0,364	0,26	
	i=0,5	1	0,667	0,444	0,295	0,198	
	i=0,6	1	0,625	0,39	0,244	0,095	
	i=0,7	1	0,588	0,335	0,203	0,07	
	i=0,8	1	0,556	0,309	0,171	0,095	
	i=0,9	1	0,526	0,277	0,146	0,077	
	i=1	1	0,5	0,25	3:00	0,006	

3	Дисконтированный денежный поток, тыс. руб						
	i=0,1	-53,396	52,887	50,232	51,218	53,214	167,807
	i=0,2	-53,396	50,793	45,648	44,346	38,649	121,14
	i=0,3	-53,396	47,661	43,469	36,484	28,064	97,382
	i=0,4	-53,396	44,251	36,894	29,187	20,848	71,884
	i=0,5	-53,396	40,483	32,602	23,654	15,876	52,319
	i=0,6	-53,396	37,115	27,272	19,565	7,617	32,273
	i=0,7	-53,396	35,148	24,862	16,277	5,613	19,604
	i=0,8	-53,396	33,582	22,777	13,711	7,617	14,391
	i=0,9	-53,396	28,177	20,211	11,707	6,174	5,973
	i=1	-53,396	25,092	15,046	10,023	0,481	-5,323

Из таблицы следует, что по мере роста ставки дисконтирования чистая текущая стоимость уменьшается, становясь отрицательной. Значение ставки, при которой **NPV** обращается в нуль, носит название «внутренней ставки доходности» или «внутренней нормы прибыли».

Индекс доходности (рентабельности) инвестиций (PI)

Индекс доходности показывает, сколько приходится дисконтированных денежных поступлений на рубль инвестиций.

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

Расчет этого показателя осуществляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n \frac{ЧПД_t}{(1+i)^t} / I_0,$$

где I_0 – первоначальные инвестиции.

$$PI = \frac{37,223 + 22,074 + 16,891 + 13,361}{80,253} = 1,11$$

$PI=1,11>1$, следовательно, проект эффективен при $i=0,2$;

Социальная эффективность научного проекта учитывает социально-экономические последствия осуществления научного проекта для общества в целом или отдельных категорий населения или групп лиц, в том числе как непосредственные результаты проекта, так и «внешние» результаты в смежных секторах экономики: социальные, экологические и иные внеэкономические эффекты.

Таблица 4.20 – Критерии социальной эффективности

ДО	ПОСЛЕ
Другие методы дороги	Дешевле и удобнее
Другие методы требуют времени	Быстро и легко работать. нет ограничений для образцов.
Пространственное разрешение других методов ниже	Высокое пространственное разрешение, около 3 мкм

4.4.2. Оценка сравнительной эффективности исследования

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.7)$$

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

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.8)$$

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы (табл. 4.21).

Таблица 4.21 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

ПО Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,2	5	3	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,3	4	3	3
3. Помехоустойчивость	0,10	3	4	3
4. Энергосбережение	0,20	4	3	4
5. Надежность	0,10	4	4	4

6. Точность анализа	0,10	4	4	4
ИТОГО	1	24	21	22

$$I_{\phi}^p = \frac{\phi_i^p}{\phi_{\max}} = \frac{5}{24} = 0,20$$

$$I_{\phi}^a = \frac{\phi_i^a}{\phi_{\max}} = \frac{4}{21} = 0,19$$

$$I_T^p = 5 * 0,2 + 4 * 0,3 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 + 4 * 0,1 + 4 * 0,1 = 6,8$$

$$I_{T_1}^p = 3 * 0,2 + 3 * 0,3 + 4 * 0,1 + 3 * 0,2 + 4 * 0,1 + 4 * 0,1 = 3,3$$

$$I_{T_2}^p = 4 * 0,2 + 3 * 0,3 + 3 * 0,1 + 4 * 0,2 + 4 * 0,1 + 4 * 0,1 = 3,6$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_T^p}{I_{\phi}^p} = \frac{6,8}{0,20} = 34$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_T^a}{I_{\phi}^a} = \frac{3,3}{0,19} = 17,4$$

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{\phi}^a}{I_{\phi}^p} = \frac{17,4}{34} = 0,51$$

Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0.19	0.20
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3.3	6,8
3	Интегральный показатель эффективности	17,4	34
4	Сравнительная эффективность вариантов	0.51	1,10

	исполнения		
--	------------	--	--

Выводы

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет судить о приемлемости существующего варианта решения поставленной в магистерской диссертации технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

В ходе проведения анализа показателей эффективности инвестиций была получена чистая текущая стоимость (NPV) – 33,151тыс. руб. Таким образом, данный инвестиционный проект можно считать выгодным, NPV является положительной величиной. Дисконтированный срок окупаемости проекта ($PP_{дск}$) составляет 0.91 года. Внутренняя ставка доходности (IRR) – 0,90, что позволяет признать инвестиционный проект экономически оправданным, так как выполняется условие неравенства $IRR > i$. Индекс доходности (PI) – 1,11, и основываясь на том, что данная величина превышает единицу, можно утверждать, что данная инвестиция приемлема.

Сравнение значений интегральных показателей эффективности показало, что более эффективным вариантом решения поставленной в магистерской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности является допустимым.

Список публикаций

Джаныбеков Ч. Е. YAG:СЕкерамика изготовленная методом спарк-плазменного спекания: фотолюминесценция [Электронный ресурс] / науч. рук. С. А. Степанов // Перспективы развития фундаментальных наук (ПРФН-2019) : сборник научных трудов XVI Международной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 23–26апреля 2019 г.— принято к печати