

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Отделение школы (НОЦ) Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
ОПТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА КТМ

УДК 621.039.66:621.039.62

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ81	Жунисбек Сагынгали Андасбекулы		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Начальник отдела термоядерных исследований	Чектыбаев Б.Ж.	PhD		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кашук И.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ООТД	Сечин А.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой - руководитель образовательного центра на правах кафедры, НОЦ Б.П. Вейнберга	Кривобоков В.П.	д.ф.-м.н., профессор		

Томск – 2020 г.

**Результаты обучения магистров
направления 16.04.01 «Техническая физика»
(профиль «Пучковые и плазменные технологии»)**

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
P1	Демонстрировать и использовать теоретические и практические знания фундаментальных и прикладных наук, составляющих основу современной технической физики, вскрывать физическую сущность проблем, возникающих при проектировании и реализации радиационных и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОПК-2, ОПК-4). СУОС ТПУ (УК 1). <i>CDIO Syllabus</i> (4.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1., 1.2, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P2	Профессионально эксплуатировать современное научное и технологическое оборудование и приборы в процессе создания и реализации радиационных и плазменных технологий.	Требования ФГОС (ОПК-1). СУОС ТПУ (УК 2, УК 3). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P3	Заниматься научно-исследовательской деятельностью в различных отраслях технической физики, связанных с современными радиационными и пучково-плазменными технологиями, критически анализировать современные проблемы, ставить задачи и разрабатывать программу исследований, выбирать адекватные методы решения задач, интерпретировать, представлять и применять полученные результаты.	Требования ФГОС (ОПК-5, ОПК-7, ПК-5, ПК- 8). СУОС ТПУ (УК 1). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P4	Самостоятельно выполнять физико-технические научные исследования для прогнозирования результатов воздействия различных радиационных и плазменных потоков на вещество, а также оптимизации параметров радиационных и пучково-плазменных технологий, с использованием современных физико-математических методов, стандартных и специально разработанных инструментальных и программных средств.	Требования ФГОС (ОПК-6, ПК-6, 7). СУОС ТПУ (УК 6). <i>CDIO Syllabus</i> (2.1, 2.2, 2.3, 2.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P5	Разрабатывать и оптимизировать современные пучковые и плазменные технологии с учётом экономических и экологических требований, проводить наладку и испытания технологических установок и аналитического оборудования, решать прикладные инженерно-технические и технико-экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ.	Требования ФГОС (ПК-12,13,14). СУОС ТПУ (УК 6). <i>CDIO Syllabus</i> (4.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1., 1.2, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI
P6	Участвовать в проектно-конструкторской деятельности, формулировать технические задания, составлять техническую документацию, разрабатывать и использовать средства автоматизации, анализировать варианты проектных, конструкторских и технологических решений, разрабатывать проекты и проектную документацию для создания оборудования, реализующего пучковые и	Требования ФГОС (ПК-15, 16). СУОС ТПУ (УК 2, УК3). Критерий 5 АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P7	Заниматься научно-педагогической деятельностью в области технической физики, участвовать в разработке программ учебных дисциплин, проводить учебные занятия, обеспечивать практическую и научно-исследовательскую работу обучающихся, применять и разрабатывать новые образовательные технологии.	Требования ФГОС (ПК-9, 10, 11). СУОС ТПУ (УК 1, УК3, УК5). <i>CDIO Syllabus</i> (4.7). Критерий 5 АИОР (п. 2.4), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

P8	Владеть приёмами и методами работы с персоналом, находить оптимальные решения при реализации технологий и создании продукции, управлять программами освоения новой продукции и технологий.	Требования ФГОС (ОПК-3). СУОС ТПУ (УК 1, УК3). <i>CDIO Syllabus</i> (4.7). Критерий 5 (п. 2.4) АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P9	Анализировать и систематизировать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области радиационных и пучково-плазменных технологий, внедрять новые наукоёмкие технологии, готовить документы по защите интеллектуальной собственности, разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов.	Требования ФГОС (ПК-5). СУОС ТПУ (УК 1, УК2). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P10	Развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, в течение всей жизни самостоятельно обучаться новым методам исследований, пополнять свои знания в области современной технической физики и смежных наук, расширять и углублять своё научное мировоззрение.	СУОС ТПУ (УК 6). Критерий 5 (п. 2.6) АИОР, согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P11	Активно общаться в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности, свободно и грамотно пользоваться русским и иностранными языками как средством делового общения.	Требования ФГОС (ОПК - 7). СУОС ТПУ (УК4, УК5). <i>CDIO Syllabus</i> (2.4, 3.3). Критерий 5 АИОР (п. 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.
P12	Участвовать в организации научно-исследовательских и научно-производственных работ, проявлять инициативу, брать на себя всю полноту ответственности, уметь находить творческие, нестандартные решения профессиональных и социальных задач.	Требования ФГОС (ОПК,3 ОПК-4). СУОС ТПУ (УК 3). <i>CDIO Syllabus</i> (2.1, 2.2, 2.3, 2.4). Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2, 1.3, 1.5, 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI.

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

Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки – 16.04.01 Техническая физика
 Научно-образовательный центр Б.П. Вейнберга

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 Кривобоков В.П.

(Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ81	Жунисбек С.А.

Тема работы:

Оптическая диагностика плазмы токамака КТМ

Утверждена приказом директора (дата, номер)

52-46/с от 21.02.2020 г

Срок сдачи студентом выполненной работы:

18.10.2020 г.

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(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.).</i></p>	<p>Объектом исследования является высокотемпературная плазма, предметом исследования служит излучения плазмы в видимом диапазоне спектра</p>
<p>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</i></p>	<p>Анализ литературных источников по диагностике плазмы, подготовка оптических диагностик к измерениям; проведение измерений параметров плазмы токамака КТМ во время экспериментальных пусков; раздел «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»; раздел «Социальная ответственность».</p>

<i>дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Титульный лист. 2. Abstract. 3. Токамак КТМ 4. Оптическая диагностика токамака КТМ. 5. Обзорный спектральный прибор. 6. Монитор излучения линий водорода. 7. Эндоскопическая система визуализации токамака КТМ. 8. Подготовка приборов к экспериментальным пускам токамака КТМ. 9. Результаты измерений. 10. Заключение.

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Кащук Ирина Вадимовна
Социальная ответственность	Сечин Андрей Александрович
Раздел на иностранном языке	Утягина Янина Викторовна

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Глава 1.2 Комплекс оптических диагностик токамака КТМ
Глава 1.2.1 Обзорный спектральный прибор
Глава 1.2.2 Монитор излучения линий изотопов водорода
Глава 1.2.3 Спектрометр USB2000+
Глава 1.2.4 Эндоскопическая система визуализации токамака КТМ

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы	21.02.2020 г
--	--------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д. В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ81	Жунибек С.А.		

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

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ81	Жунисбек Сагынгали Андасбекулы

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

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

<i>– Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК</i>
<i>– Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
<i>– Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 20 %</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>– Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
<i>– Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Структура работ. Определение трудоемкости. Разработка графика проведения исследования.</i>
<i>– Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ по разработке стенда</i>
<i>– Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности (НИ).</i>	<i>Интегральный финансовый показатель. Интегральный показатель ресурсоэффективности. Интегральный показатель эффективности.</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- Оценка конкурентоспособности НИ*
- Матрица SWOT*
- Диаграмма Ганта*
- Бюджет НИ*
- Основные показатели эффективности НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

21.02.2020 г.

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Кащук Ирина Вадимовна	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ81	Жунисбек Сагынгали Андасбекулы		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
ОДМ81	Жунисбек Сагынгали Андасбекулы

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	Б.П. Вейнберга
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	16.04.01 Техническая физика

Тема ВКР:

Оптическая диагностика плазмы токамака КТМ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<i>Высокотемпературная водородная плазма токамака КТМ.</i>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – <i>электробезопасность - ГОСТ. 12.1.038-82;</i> – <i>пожарная безопасность - ГОСТ 12.1.004-91.</i>
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> – <i>воздействие электрического тока;</i> – <i>воздействие сильного магнитного поля.</i>
3. Экологическая безопасность:	– <i>Зажигание плазмы в термоядерных реакторах считается одним из наиболее безопасных способов, т.к. при проведении реакции синтеза вероятность аварий минимальна, отсутствуют долгоживущие радиоактивные отходы и отсутствует влияние на климат (не выделяется углекислый газ).</i>
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<ul style="list-style-type: none"> – <i>электробезопасность;</i> – <i>пожарная и взрывная безопасность.</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	21.02.2020 г.
--	---------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Сечин Андрей Александрович	К.Т.Н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ81	Жунисбек Сагынгали Андасбекулы		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 102 с., 38 рис., 20 табл., 23 источников, 1 приложение на английском языке.

Ключевые слова: токамака КТМ, высокотемпературная плазма, оптическая диагностика.

Объектом исследования является высокотемпературная плазма токамака КТМ.

Цель работы – адаптация методики оптической диагностики плазмы для токамака КТМ.

В процессе выполнения данной работы были произведены настройка, калибровка и установка оптических диагностик на вакуумной камере токамака. Также, с их использованием были проведены измерения параметров водородной плазмы токамака КТМ. Выполнен анализ полученных экспериментальных данных.

В результате данной работы был определен примесный состав плазмы токамака КТМ, определены стадия пробоя и окончания разряда, также определены форма и положение плазменного шнура в динамике.

Область применения: для контроля и диагностики плазмы токамака.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	12
1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, СРЕДСТВА ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ.....	15
1.1 КАЗАХСТАНСКИЙ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ТОКАМАК – КТМ ...	15
1.2 КОМПЛЕКС ОПТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК ТОКАМАКА КТМ.....	17
1.2.1 ОБЗОРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПРИБОР	18
1.2.2 МОНИТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНИЙ ВОДОРОДА.....	21
1.2.3 СПЕКТРОМЕТР USB2000+.....	25
1.2.4 ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ 28	
1.3 ПОЯС РОГОВСКОГО	30
2 ПОДГОТОВКА ОПТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУСКАМ ТОКАМАКА КТМ.....	32
2.1 КАЛИБРОВКА ОБЗОРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ПРИБОРА.....	32
2.2 КАЛИБРОВКА МОНИТОРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНИЙ ВОДОРОДА.....	36
2.3 НАСТРОЙКА И УСТАНОВКА СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ	40
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЛАЗМЫ ТОКАМАКА КТМ ОПТИЧЕСКИМИ ДИАГНОСТИКАМИ	42
3.1 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ОПТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК ТОКАМАКА КТМ.....	52
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТЬ.....	53
4.1 ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСООЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ	53
4.1.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	53
4.1.2 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ	54
4.2 SWOT – АНАЛИЗ	55
4.3 ПЛАНИРОВАНИЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ	57
4.3.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ	57
4.3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ И РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ	58
4.4 БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (НТИ)	62

4.4.1 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НТИ	62
4.4.2 СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ РАБОТ.....	63
4.4.3 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА.....	64
4.4.4 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА.....	66
4.4.5 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ	67
4.4.6 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ	67
4.4.7 ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ЗАТРАТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА	68
4.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	68
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСΟΣБЕРЕЖЕНИЕ»	70
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	72
ВВЕДЕНИЕ.....	72
5.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.....	73
5.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ (ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ) ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА	73
5.1.2 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ	74
5.2 ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	76
5.2.1 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ	76
5.2.2 ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ.....	77
5.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	77
5.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ	77
5.4.1 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ	78
5.4.2 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ	81
ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	84
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	85

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	87
Приложение А.....	88

ВВЕДЕНИЕ

Установки типа Токамак являются одними из самых сложных электрофизических установок в мире и предназначаются для исследований в области управляемого термоядерного синтеза. На сегодняшний день установки типа токамак признаны наиболее перспективным прототипом будущего термоядерного реактора, именно на их основе строится международный экспериментальный термоядерный реактор (ITER) [1].

На пути создания первого термоядерного реактора мировое научное сообщество столкнулось с рядом существенных задач и проблем, как научного, так и технического плана. Одной из которых, является диагностика высокотемпературной плазмы.

Развитие методов диагностики высокотемпературной плазмы началось в середине прошлого века. К настоящему времени диагностика горячей плазмы превратилась в самостоятельный раздел науки, использующий знания и методы различных областей [2-5]. Измерять параметры плазмы можно контактными (активными) и бесконтактными (пассивными) методами. Контактные методы предполагают получение информации зондами или с помощью лазерного излучения. В основе бесконтактного метода диагностики лежит регистрация различных видов электромагнитных излучений и потоков частиц. Каждый метод обладает рядом преимуществ и недостатков. Главным недостатком контактных методов является влияния датчика или зондирующего пучка на параметры плазмы. Также стоит отметить негативное воздействие плазмы на датчики, после чего можно наблюдать их разрушение или снижение их параметров (напр., чувствительности, разрешающей способности). Главные преимущества бесконтактных методов диагностики плазмы – дистанционность и отсутствие какого-либо влияния на исследуемую плазму.

Среди бесконтактных методов диагностики высокотемпературной плазмы наиболее информативными и широко распространенными являются спектроскопические методы диагностики в видимом и рентгеновском

диапазоне спектра. Данные методы основаны на анализе интенсивности и формы спектральных линий атомов, ионов и молекул, присутствующих в плазме. Исходя из полученных экспериментальных данных при диагностике спектров излучения, можно определять состав плазмы, а по абсолютной и относительной интенсивности излучения - температуру и плотность электронов. Вышеописанный метод может быть применён и уже используется для диагностики плазмы токамаков.

Настоящая работа посвящена исследованию параметров плазмы Казахстанского материаловедческого токамака (токамак КТМ), связанных с оптической диагностикой.

Целью данной работы является адаптация методики оптической диагностики плазмы для токамака КТМ.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи**:

- настройка, калибровка оборудования оптических диагностик токамака КТМ;
- проведение измерений параметров плазмы токамака КТМ оптическими диагностиками во время экспериментальных пусков;
- обработка, интерпретация и анализ полученных экспериментальных данных.

Объект исследования – методы оптической диагностики плазмы токамаков, **предмет исследования** – методика оптической диагностики плазмы токамака КТМ.

Научная новизна работы состоит в получении экспериментальных данных плазменного разряда на токамаке КТМ.

Практическая значимость работы. Полученные результаты при оптической диагностике плазмы могут быть использованы для повышения рабочих параметров токамака КТМ и достижения его проектных параметров.

Научное положение, выносимое на защиту.

Комплекс оптической диагностики плазмы позволяет эффективно определять стадии пробоя и окончания разряда на токамаке КТМ, форму и положение плазменного шнура, элементный состав плазмы.

1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА, СРЕДСТВА ОПТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

1.1 КАЗАХСТАНСКИЙ МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЙ ТОКАМАК – КТМ

Казахстанский материаловедческий токамак – КТМ (рис.1) создается на базе национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) совместно с Российской Федерацией в городе Курчатов, ВКО.

Токамак КТМ – это экспериментальная термоядерная установка для исследований и испытаний материалов. Конструктивно КТМ представляет собой сферический токамак, в котором удачно сочетаются достоинства классических и сферических токамаков.

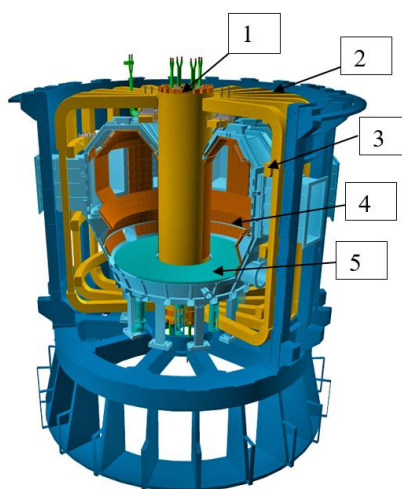


Рисунок 1 – Общий вид токамак КТМ

1-Центральный соленоид (CS), 2-Торойдальные катушки (TF), 3-Полойдальные катушки (PF), 4-Вакуумная камера, 5-Диверторный стол

Основной целью создания токамака КТМ является проведение экспериментальных исследований по испытанию материалов и конструкционных решений защиты первой стенки, приемных диверторных

пластин и узлов дивертора. Отработка методов снижения нагрузки на приемные пластины, различных способов тепло – и энергоотвода, способов быстрой откачки диверторного объема и разработка методов предотвращения вне регламентного выхода внутрикамерных элементов из строя. Токамак КТМ будет служить центром стендовой базы, на которой создаются условия для проведения комплексных системных исследований материалов защиты первой стенки и приемных пластин дивертора в процессе работы токамака и эффектов воздействия потоков энергии от $0,1 \text{ МВт/м}^2$ до 20 МВт/м^2 в широком диапазоне экспозиций. При этом предусматривается возможность оперативного доступа в вакуумную камеру и замены диверторных пластин без нарушения высокого вакуума [6].

Токамак КТМ занимает особое место в международных программах работ по развитию термоядерной энергетики. Прежде всего, токамак КТМ отличается четко сформулированной целью – комплексные исследования и испытания материалов защиты первой стенки, приемных пластин дивертора, диафрагм, лимитера и других внутрикамерных элементов в широком диапазоне интенсивности и флюенса тепловых и плазменных потоков, свойств композиционных материалов, физических и технических решений, условий проведения испытаний [7].

Вместе с тем, токамак КТМ единственная мегаамперная установка в мире с аспектным отношением $A=2$, которая по существу может наполнить базу данных по физике процессов удержания плазмы в пограничной области между сферическими и классическими токамаками. Основные параметры токамака КТМ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры токамака КТМ

Параметр	Значение
Большой радиус плазмы, R (см)	90
Малый радиус плазмы, a (см)	45
Аспектное отношение, A	2
Вытянутость сечения плазмы, K	1,7
Тороидальное магнитное поле на оси B_{to} (Тл)	1
Ток плазмы, I_p (кА)	750
Длительность плато тока, $\Delta t_{пл}$ (с)	2-4
Эффективная мощность дополнительного ВЧ-нагрева плазмы, P_{AUX} (МВт)	5
Вытянутость камеры	2,9
Тепловой поток на приемные диверторные пластины (МВт/м ²)	2-20

1.2 КОМПЛЕКС ОПТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК ТОКАМАКА КТМ

К числу базовых параметров, требующих детального и надёжного измерения в условиях современных токамаков и будущего термоядерного реактора, относятся такие параметры, как примесный состав плазмы, а также наблюдение за интенсивностью излучения линий изотопов водорода, которые характеризуют поведение плазменного шнура. На токамаке КТМ для измерения данных параметров задействован набор оптических диагностик: обзорный спектральный прибор, монитор излучения линий водорода $H\alpha$ - $D\alpha$ и спектрометр (USB 2000+), а также система визуализации [8] плазмы. Данные диагностики позволяют измерить излучения плазмы в различные моменты времени и в разных областях объема плазменного шнура.

1.2.1 ОБЗОРНЫЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ ПРИБОР

Обзорный спектральный прибор (ОСП) позволяет проводить регистрацию спектра излучения плазмы в видимом и ближнем ИК диапазонах, который в свою очередь, необходим для исследования примесного состава плазмы, определения источников и механизмов поступления примесей, а также для исследования процессов переноса в плазме.

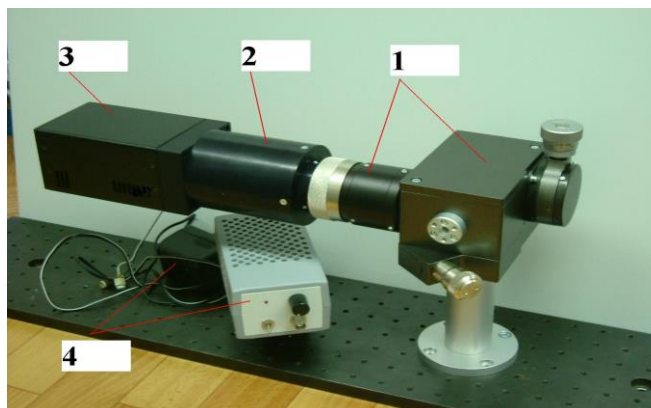


Рисунок 2 – Обзорный спектральный прибор

1 – обзорный спектральный прибор; 2 – электронно-оптический преобразователь (ЭОП); 3 – телевизионная камера; 4 – блок питания ЭОП.

Система регистрации обзорного прибора состоит из усилителя яркости изображения на основе ЭОП, имеющего функцию затвора, двумерной телевизионной камеры на основе ПЗС матрицы и персонального компьютера для управления системой регистрации и сбора данных. Технические характеристики обзорного спектрального прибора приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические характеристики ОСП

Рабочий спектральный диапазон	360 – 1000 нм
Фокусное расстояние	100 мм
Плоское поле изображения	20x8 мм
Средняя линейная дисперсия	17,5 нм/мм
Спектральное разрешение	1-2 нм

Обзорный спектральный прибор построен по горизонтальной схеме с использованием двух многокомпонентных ахроматических объективов. Для данной оптической схемы отсутствует стигматическая aberrация. Другие основные aberrации компенсируются за счет подбора объективов. Оптическая схема спектрального прибора показана на рисунке 3.

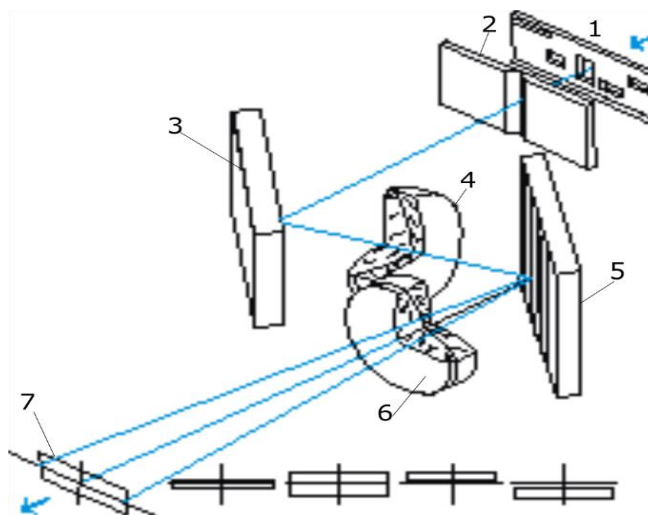


Рисунок 3 – Оптическая схема обзорного спектрометра.

На рисунке 3 по ходу луча показаны: диафрагма Гартмана – 1, входная щель – 2, поворотное зеркало – 3, коллиматорный объектив – 4, дифракционная решетка – 5, камерный объектив – 6, плоскость изображения – 7.

Чертеж конструкции спектрального прибора показан на рисунке 4. Также на рисунке 4 показан адаптер, служащий для подсоединения усилителя яркости изображения к обзорному спектральному прибору.

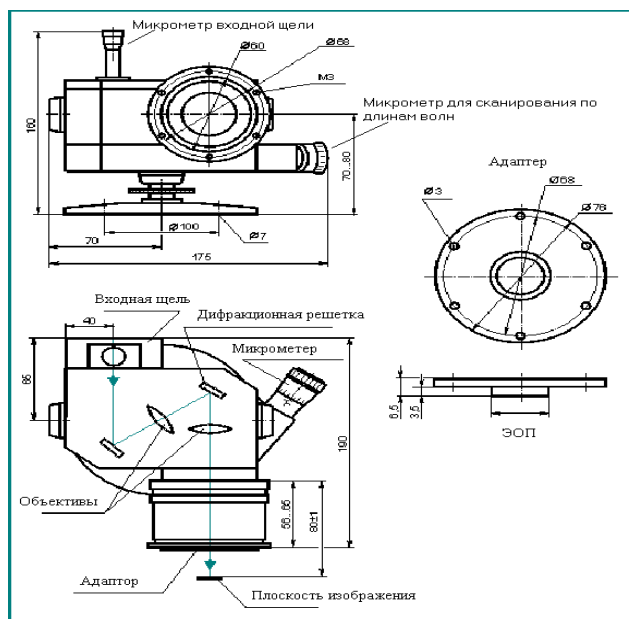


Рисунок 4 – Чертеж конструкции спектрального прибора

Установка необходимой величины входной щели обзорного спектрального прибора, а также сканирование регистрируемого диапазона длин волн, осуществляется с помощью микрометрических винтов.

Усилитель яркости изображения на основе ЭОП, имеет функцию затвора. Запирание ЭОП по свету осуществляется путем подачи импульса ТТЛ уровня на запирающий электрод ЭОП. Время открытия/закрытия затвора по свету 10^{-7} с.

На рисунке 5 показан эскиз расположения ОСП на вакуумной камере (ВК) КТМ, а также хорды наблюдения.

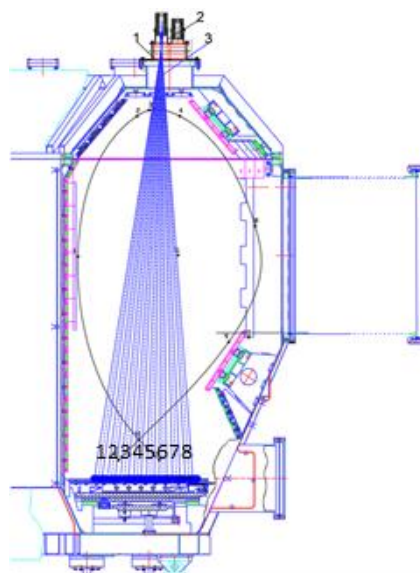


Рисунок 5 – Эскиз размещения ОСП на ВК токамака КТМ

1 – кварцевые окна, 2 – объектив, 3 – хорды наблюдения.

В лабораторных условиях были определены хорды наблюдения ОСП. 8-ми канальный коллектор световодов пристыковали к объективу, по чертежам определили расстояние от кварцевого окна до дивертора, на оптический стол установили объектив, далее на таком же расстоянии установили плоскость. На каждый канал светили лазером, далее отмечали световые пучки лазера на плоскости, таким образом, выяснили положения хорд наблюдения ОСП.

1.2.2 МОНИТОР ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНИЙ ВОДОРОДА

Монитор интенсивности линий $H\alpha$ - $D\alpha$ служит для выделения из спектра излучения плазмы линий изотопов водорода $H\alpha$ и регистрации интенсивности их излучения во времени и по пространству плазменного шнура. На установках типа токамак монитор интенсивности линий $H\alpha$ - $D\alpha$ предназначен в основном для контроля рециклинга рабочего газа на периферии плазменного шнура. Принципиальная схема монитора приведена на рисунке 6.

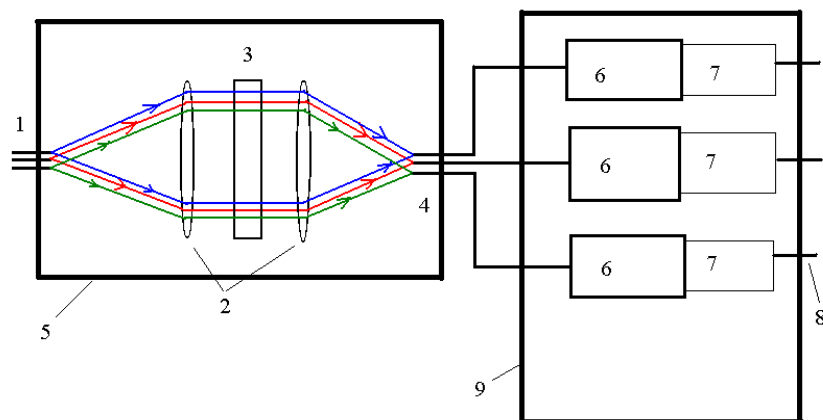


Рисунок 6 – Оптическая схема и блок-схема монитора На-Да

1-входной 10-ти канальный коллектор световодов, 2-объективы, 3-интерференционный светофильтр, 4-выходной 10-ти канальный коллектор световодов, 5-корпус оптического блока, 6-детекторы излучения, 7-блок делителя и предусилителя сигнала, 8-кабели для вывода сигналов и подачи высоковольтного напряжения, 9-корпус блока детекторов излучения.

На рисунке 6 показано, что монитор состоит из трех основных частей: входной и выходной 10-ти канальный коллектор (поз. 1 и 4), оптический блок (поз. 5), блок детекторов излучения (поз. 9).

Десяти канальные световодные коллекторы собраны из десяти световодов с кварцевой жилой диаметром 0,8 мм и полимерной отражающей оболочкой с двойным пластиковым защитным жакетом. Такой световод обладает высоким светопропусканием, хорошей механической прочностью и защищенностью, что важно для использования на большой установке. Один конец светового коллектора с собирающим объективом будет установлен на смотровом окне. Второй конец светового коллектора с коллимирующим объективом будет размещаться на оптическом блоке.

Длина входного световодного коллектора составляет 5-10 метров, что позволяет отдалить монитор с системой регистрации от установки для получения высокой помехозащищенности от электромагнитных наводок и ионизирующего излучения.

Выходной коллектор световодов позволяет в каждом пространственном канале доставить свет на отдельный приемник излучения.

Оптический блок монитора состоит из интерференционного фильтра и двух объективов. Первый объектив создает систему параллельных пучков света для каждого из десяти пространственных каналов. Создание параллельных пучков света необходимо, так как интерференционный фильтр выделяет заданный спектральный интервал длин волн из общего потока излучения только для параллельных пучков света.

Второй объектив строит изображение торца входного коллектора на идентичном торце выходного коллектора. Таким образом, излучение для каждого пространственного канала независимо проходит через всю оптическую систему и попадает на индивидуальный детектор излучения.

Блок детекторов излучения включает в себя два типа приемников излучения: фотодиодный приемник излучения и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ).

Из названных выше приемников излучения наивысшей чувствительностью обладает ФЭУ. Некоторые типы ФЭУ, работая в режиме счета фотонов, позволяют измерять падающие на них слабые потоки излучения на уровне счета до нескольких фотонов в секунду, что соответствует потоку непосредственно из плазмы. ФЭУ преобразует все падающие излучения в единый сигнал в виде напряжения (В).

Для двух каналов регистрации монитора, имеющих временное разрешение ~ 2 -3 мксек, используются ФЭУ типа Н10722 производитель фирма «НАМАМАТСУ», которые имеют следующие технические характеристики:

Рабочий спектральный диапазон: 230 – 870 нм.

Длины волн, соответствующие максимальной чувствительности: 400 нм.

Материал фотокатода: GaAs.

Диаметр фотокатода: 8 мм.

Напряжение питания: от ± 4 до ± 5 В.

Типичное значение анодной чувствительности: 250 А/лм.

На рисунке 7 показан эскиз расположения монитора излучения линий водорода $H\alpha$ - $D\alpha$ на вакуумной камере КТМ, а также хорды наблюдения.

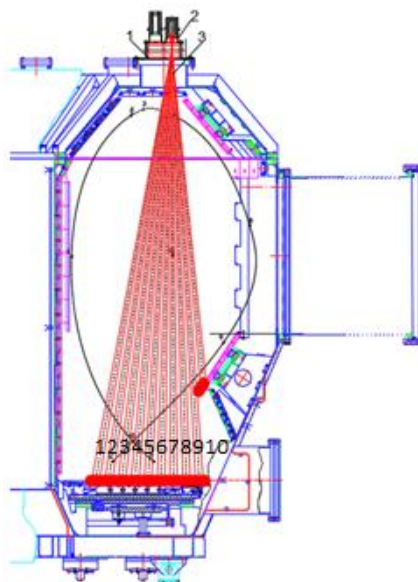


Рисунок 7 – Расположение диагностики монитора излучения линии водорода $H\alpha$ - $D\alpha$ на токамаке КТМ

1– кварцевые окна, 2 – объектив, 3 – хорды наблюдения.

1.2.3 СПЕКТРОМЕТР USB2000+

Спектрометр USB2000+ производства компании «Oceaninsight» относится к спектральным приборам компактного типа, не имеющие движущихся частей. Данный прибор предназначен для контроля химических и быстропротекающих процессов в плазме. В качестве приемников излучения в спектрометре используются ПЗС-линейки. Основные технические характеристики спектрометра приведены в таблице №3.

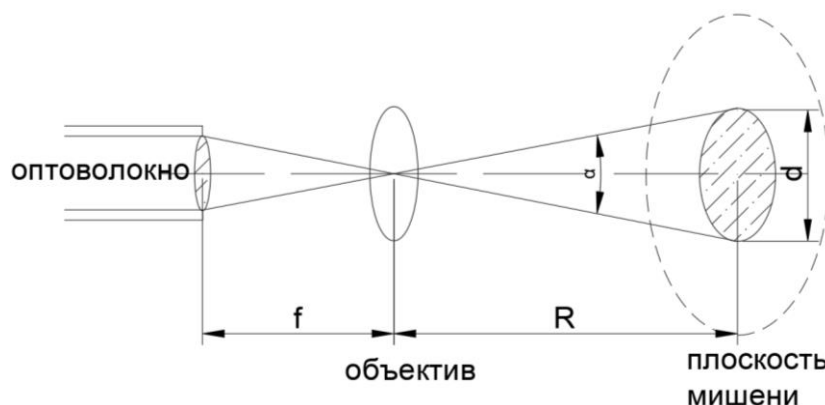
Таблица №3 – Основные технические характеристики спектрометра USB2000+

Оптическая схема	$f/4$, симметричная скрещенная Черни-Тернера
Спектральный диапазон	340-1020 нм
Количество пикселей	2048
Размер пикселей	14x200
Время интегрирования (экспозиция)	1мс-65с
Входная щель	SMA 905 для одножильного волоконно-оптического кабеля с числовой апертурой 0.22

Перед установкой спектрометра USB2000+ на ВК токамака КТМ были проведены лабораторные работы по определению поле зрения объектива. Поле зрения (FOV) объектива в техническом паспорте указано $\sim 25^{\circ}$, но лабораторные тесты показали около $\sim 14^{\circ}$. Тесты проводили следующим образом: на оптический стол установили объектив, далее на расстоянии 20 см установили плоскость мишени. Свет подводился на объектив с источника излучения CAL 2000 [9], для определения зависимости размера светового пучка от расстояния до мишени. Поле зрения объектива определили по следующей формуле:

$$\alpha = 2 \arctg \frac{d}{R} \quad (1)$$

На рисунке 8 показано построение изображения на торце оптоволоконного кабеля, получаемого с помощью коллимирующего объектива 74-UV.



f – фокусное расстояние объектива, R – расстояние от объектива до мишени, d – диаметр светового пучка

Рисунок 8 – Схема определения поле зрения объектива

После определения поля зрения объектива, установили спектрометр USB2000+ в вертикальном трековом патрубке токамака КТМ. Данное размещение является наиболее оптимальным, т.к. позволяет наблюдать за поверхностью исследуемых материалов, размещаемых на диверторном столе токамака КТМ. Вакуумная развязка обеспечивается использованием вакуумных окон. На рисунках 9,10 показаны эскиз расположения спектрометра и конструкция трекового патрубка, предназначенная для ИК [10] и оптических диагностик.

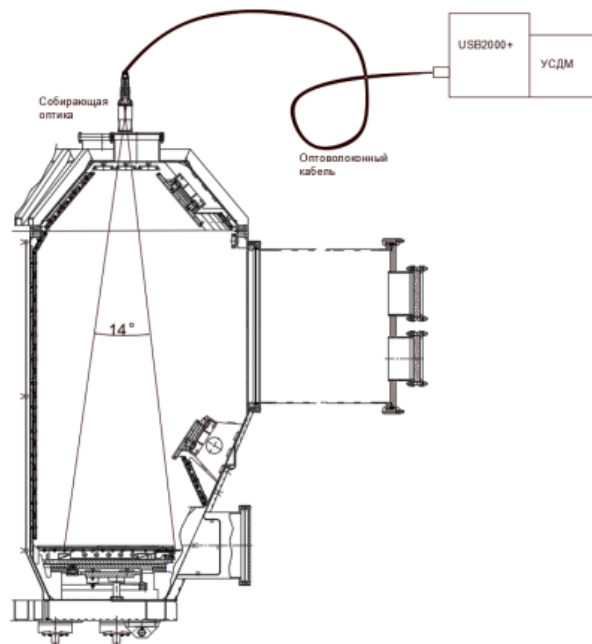


Рисунок 9 – Геометрия наблюдения и расположение спектрометра USB2000+

Трековые патрубки расположены над дивертором, на котором будут размещаться исследуемые материалы. В конструкции смотрового патрубка предусмотрены три смотровых окна с диаметром на просвет 50 мм. Окна изготовлены из оптически прозрачного материала для инфракрасного диапазона длин волн – фтористого бария (BaF_2). Рабочий диапазон фторида бария от 265 нм до 10 мкм.



Рисунок 10 – Конструкция трекового патрубка токамака КТМ

Излучение из плазмы собирается с помощью коллимирующего объектива 74 – UV с фокусным расстоянием 10 мм. Расстояние от объектива до границы плазмы составляет 27 см, которое не срезает поле зрения объектива. Излучение передается на спектрометр через оптоволоконный кабель с диаметром 600 мкм. Все основные компоненты (объектив, оптоволоконный кабель и спектрометр) соединяются между собой разъемами SMA 905.

Спектральное разрешение спектрометра USB2000+ с открытой на 25 мкм входной щелью составляет ~1.4 нм.

1.2.4 ЭНДОСКОПИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ ТОКАМАКА КТМ

Система предназначена для наблюдения за процессами, происходящими в плазме, вместе с тем система позволяет проводить:

- исследовать стадии развития плазменного шнура, пробой, рост тока плазмы;
- наблюдения и изучения образования и миграции пыли в плазме;
- контроль положения плазменного шнура.

Система представляет собой эндоскоп на основе системы линз для передачи изображения от входной собирающей группы линз в видеокамеру. В системе реализована возможность двухканальной регистрации изображения, т.е. используется оптический разветвитель. На выходе прямого тракта располагается ЭОП, на выходе которого предусмотрен выходной фокусирующий объектив для передачи изображения на видеокамеру. Система видеонаблюдения имеет в своем составе двух видеокамер, одна из которых является высокоскоростной (Fastec inline), а другая медленной (JAI CM-140 GE), но высокого разрешения (1380x1040). Первая позволяет проводить исследования быстропротекающих процессов, а вторая имеет четкое цветное

изображение плазмы и первой стенки, проводить сравнительный анализ с быстрой камерой и другими диагностиками, а также вести наблюдения за плазмой в реальном масштабе времени. На рисунке 11 показана принципиальная оптическая схема системы визуализации плазменного шнура.

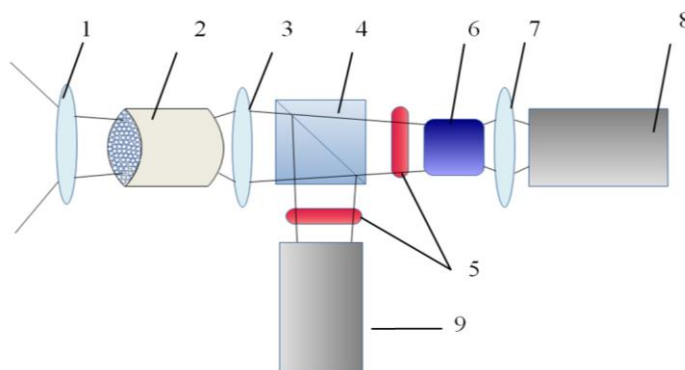


Рисунок 11 – Оптическая схема системы визуализации плазменного шнура

1 – входной объектив; 2 – оптоволоконный световод; 3 – проецирующий объектив; 4 – оптический разветвитель; 5 – фильтры; 6 – ЭОП; 7 – оборачивающий объектив; 8 – быстрая видеокамера; 9 – медленная видеокамера

Основные оптические компоненты системы:

- Входной объектив «рыбий глаз» Fujinon FE185C086HA-1 с углами обзора (Г×В) 136°×102°;
- оптоволоконный световод IG-567-48 производства SCHOTT с размером рабочей области 5×6,7 мм и длиной 1200 мм [11];
- проецирующий телевизионный объектив Infinistix компании Edmund optics для передачи изображения с выхода оптоволоконного световода на медленную камеру и экран ЭОП [12];
- ЭОП поколения 2+ с мультищелочным катодом S-25, микроканальной пластиной, люминофором типа P-43 и стеклянным входом/выходом. Разрешение ЭОП 50-60 пар штр/мм [13];
- оптический разветвитель с половинным отражением падающего света на 90° и прямым пропуском второй части светового потока.

Компоненты оптической схемы подобраны таким образом, чтобы обеспечить максимальную гибкость системы. В оптическом тракте возможно использование сменных оптических фильтров, для чего в схеме предусмотрена возможность установки специального держателя фильтров. Эскиз размещения системы визуализации на ВК токамака КТМ со смотровым окном и установленным объективом с оптоволоконным световодом показан на рисунке 12.

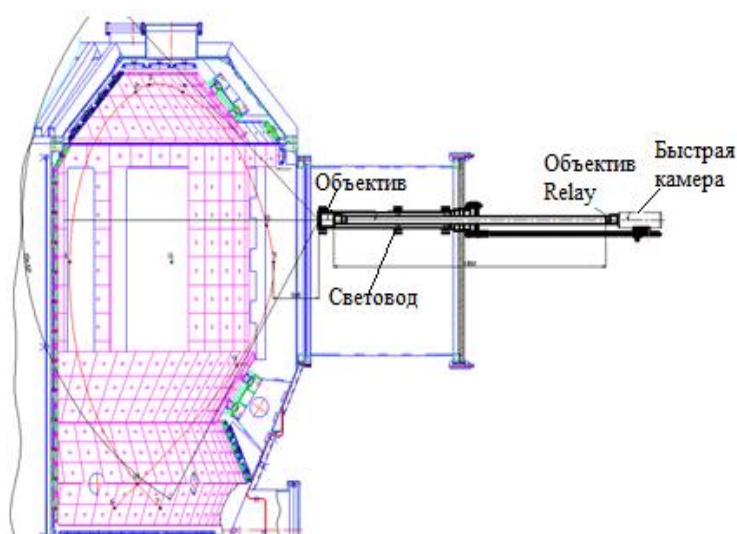
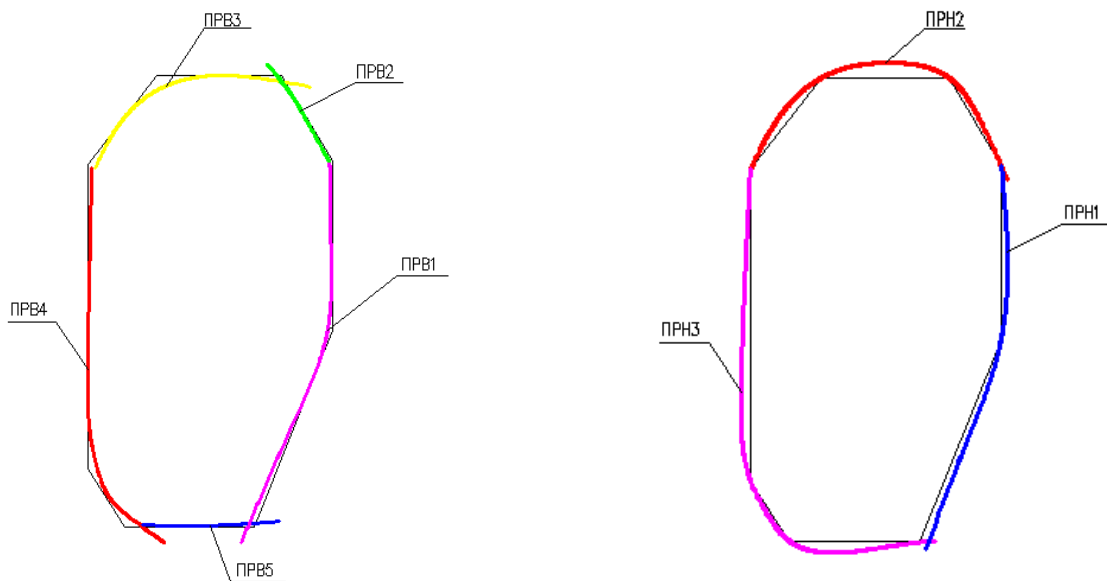


Рисунок 12 – Эскиз размещения системы визуализации плазменного шнура в ВК КТМ

1.3 ПОЯС РОГОВСКОГО

Для измерения тока плазмы на токамаке КТМ установлено 2 пояса Роговского с равномерной намоткой. Сигнал снимаемый с каждого пояса, пропорционален производной тока плазмы. Сигнал с поясов характеризуется большим динамическим диапазоном, поскольку скорость изменения тока на этапе роста и плато сильно различается. С помощью двух поясов Роговского, один из которых устанавливается внутри вакуумной камеры (ПРВ), а другой – снаружи (ПРН), измеряется ток, протекающий по элементам конструкции вакуумной камеры. Учет данного тока при расчете положения и формы плазмы

позволит увеличить точность определения этих параметров. На рисунке 13 показано размещение и соединение поясов Роговского на ВК токамака КТМ.



а) Схема расположения поясов Роговского внутри вакуумной камеры

б) Схема расположения поясов Роговского снаружи вакуумной камеры

Рисунок 13 – Схема расположения поясов Роговского на ВК токамака

2 ПОДГОТОВКА ОПТИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИК К ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ПУСКАМ ТОКАМАКА КТМ

2.1 КАЛИБРОВКА ОБЗОРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ПРИБОРА

Очень важным этапом для измерений излучения плазмы является калибровка спектральных приборов. Выходной сигнал детектора излучения представляет собой определенный ток или напряжение. Эти величины при работе с излучениями не очень значимы. Из измерений можно получить гораздо больше информации, когда можно преобразовывать ток или напряжение в одну из этих величин: плотность излучения в $[\frac{W}{m^2}]$, интенсивность излучения в $[\frac{W}{sr}]$. Это называется калибровкой интенсивности. Для измерений со спектральным прибором также необходимо откалибровать длину волны.

Калибровка обзорного спектрометра с системой регистрации, состоящего из усилителя яркости изображения и двумерной телевизионной камеры на основе ПЗС матрицы, проводилась на лабораторном стенде токамака КТМ. Свет от спектроскопических ламп CAL-2000 подводился на входную щель обзорного прибора с помощью восьмиканального коллектора световодов, предназначенного для использования на установке КТМ. Управление регистрацией и запись данных осуществлялась с помощью IBM PC компьютера.

Калибровка обзорного спектрального прибора проводилась в двумерном режиме регистрации. Голубыми линиями на рисунке 14, показано разбиение ПЗС матрицы на восемь строк для регистрации в линейном режиме. В данном линейном режиме, матрица работает аналогично восьми линейным ПЗС датчикам.

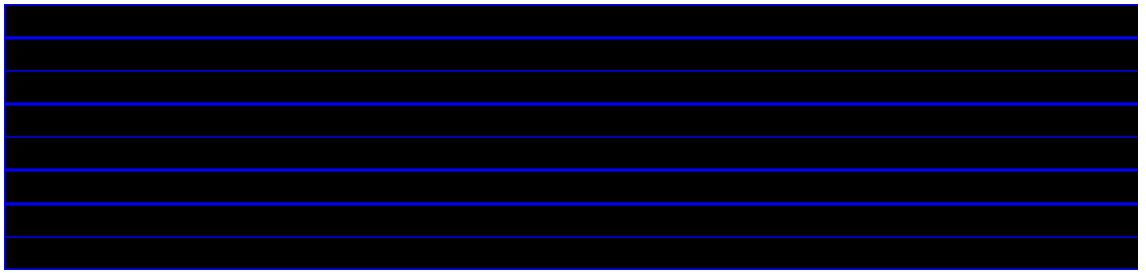


Рисунок 14 – Разбиение ПЗС матрицы на восемь пространственных каналов

Одновременно при этом возрастает скорость считывания ПЗС матрицы и соответственно повышается временное разрешение камеры.

Двумерное изображение спектра ртутной лампы в диапазоне длин волн 370 – 700 нм, зарегистрированное с помощью ПЗС камеры показано на рисунке 15. В двумерном режиме осуществляется регистрация каждого пиксела.

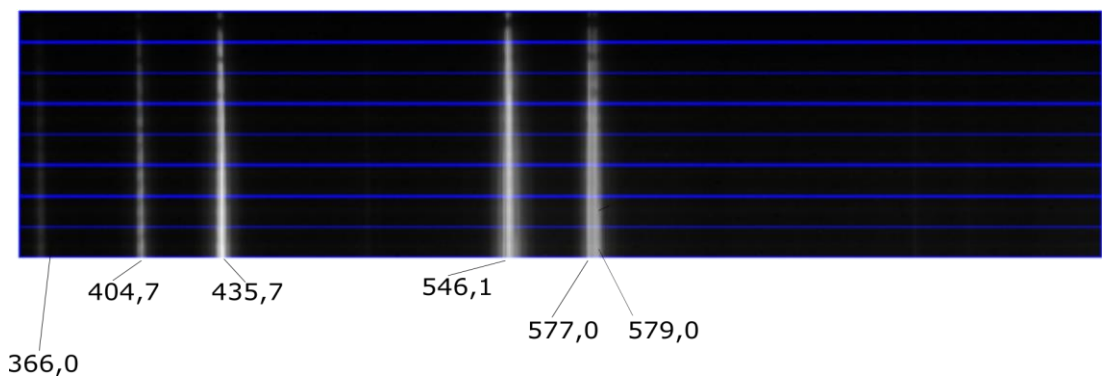


Рисунок 15 – Спектр ртутно-аргоновой лампы. Цифрами обозначена длина волны в нм.

На каждую строку матрицы подается свет из отдельного световода и таким образом осуществляется регистрация спектра излучения плазмы по 8 пространственным хордам измерения одновременно.

На рисунке 16 приведен спектр калибровочной лампы CAL-2000. Ртутно-аргоновый источник излучения CAL-2000 воспроизводит атомные эмиссионные линии ртути и аргона в диапазоне 253-1700 нм для калибровки спектрометров.

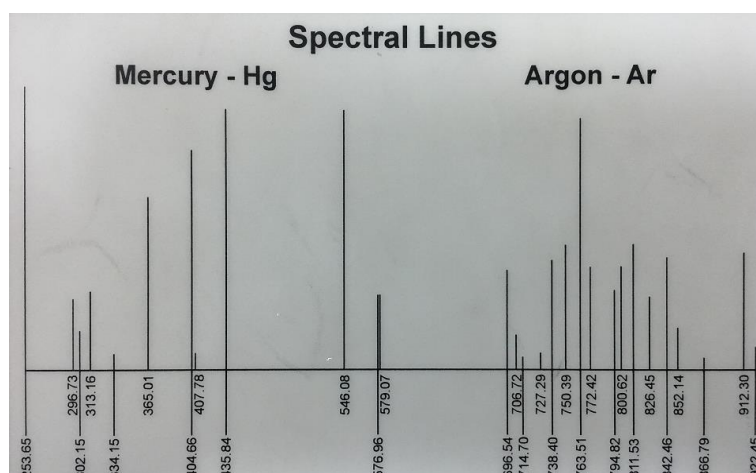


Рисунок 16 – Спектр ртутно-аргоновой лампы CAL-2000. Цифрами обозначена длина волн в нм.

Для получения максимально большого разрешения, ширина входной щели должна быть максимально узкой. Регулировочный винт передвигается с шагом 50 нм, для каждого положения регулировочного винта будут использованы свои начальные точки отсчета и коэффициент для определения длины волны (в нм) из номера пикселя. Примерная ширина передвигаемого окна обзора 400 нм.

Для проведения калибровки спектрометра необходимо просчитать начальную точку и коэффициент умножения. Начальная точка и коэффициент умножения определяется по формуле №2.

$$(N \cdot k) + n_0 = \lambda \quad (2)$$

Где N – номер пикселя;

k – коэффициент умножения;

n_0 – начальная точка отсчета;

λ – длина волны.

Количество активных пикселей ПЗС камеры 1024x252. К каждому пикселу соответствует определенная длина волны. Из рисунка 15 длина волны 546,1 нм соответствует значению пикселя 440, а длина волны 577,0 нм – 520

пикселу. Для определения начальной точки отсчета и коэффициента умножения необходимо решить систему уравнения.

$$\begin{cases} (440 \cdot k) + n_{0\ 1} = 546,1 \\ (520 \cdot k) + n_{0\ 2} = 577,0 \end{cases} \quad (3)$$

Решив системы уравнения, получен коэффициент и начальная точка отсчета.

Таблица № 4 - Коэффициенты калибровки ОСП

Положение регулирующего винта, нм	Начальная точка отсчета, нм	Коэффициент умножения
600	369.4703	0,4023
650	412,21714	0,41443609

В программе Charter [14] рассчитаны пиксели в нанометрах. Обработанные данные и полученные результаты соответствуют данным, которые приведены на рисунке № 16. На рисунке 17 показан одномерный профиль спектра ртутной лампы, образующийся при считывании вдоль одной строки камеры в диапазоне длин волн 370 – 780 нм.

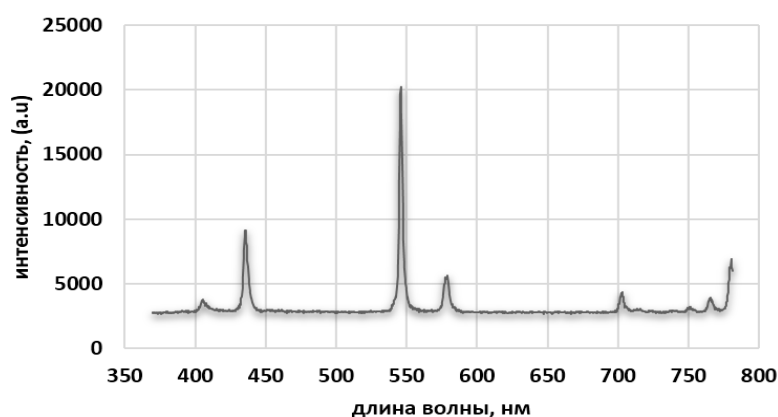


Рисунок 17 – Обработанные данные в программе Charter

Спектр плазмы токамаков схож со спектром ртутной лампы, то есть в видимом диапазоне излучения, в спектре плазмы токамаков доминируют

отдельные спектральные линии атомов и ионов на фоне слабого тормозного континуума.

Проведены работы по проверке длительности работы ПЗС матрицы и ЭОП в рамках одного кадра ОСП. На рисунке 18 приведены результаты проведенного тестирования.

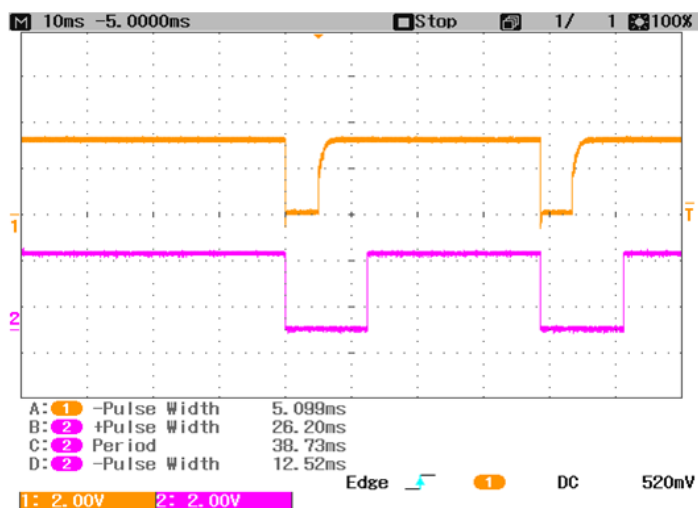


Рисунок 18 – Тестирование длительности работы ПЗС матрицы и ЭОП. Кривая фиолетового цвета – сигнал управления с ПЗС камеры; кривая желтого цвета – сигнал с платы ЭОП

По зарегистрированным данным видно, что время открытия затвора ЭОП составляет 5,099 мс, время накопления зарядов в ПЗС матрице – 12,52 мс, с учетом обработки данных длительность одного кадра составляла 38,73 мс. Каждые 38,73 мс мы получаем новый кадр

2.2 КАЛИБРОВКА МОНИТОРА ИЗЛУЧЕНИЯ ЛИНИЙ ВОДОРОДА

Для реализации измерений излучения спектральных линий изотопов водорода $H\alpha$ - $D\alpha$ с высоким временным разрешением, необходимо использовать узкополосный интерференционный фильтр в комбинации с ФЭУ.

Для выделения линий излучения изотопов водорода из общего излучения плазмы, спектральная ширина полосы пропускания интерференционного фильтра должна быть не больше 2,5 - 3 нм с центром полосы пропускания на длине волны 656,1 нм.

Интерференционные фильтры представляют собой множество тонких слоев, состоящих из диэлектрических и металлических материалов, имеющих различные показатели преломления. На границах раздела между двумя последовательными слоями свет частично отражается. В конечном итоге это приводит к множеству световых пучков, которые прошли разные длины пути. Интерференционные эффекты, возникающие при наложении этих световых пучков, зависят от толщины и показателей преломления слоев.

Для измерения ширины полосы пропускания интерференционного фильтра, установленного в оптическом блоке, в лабораторных условиях использовалась схема, показанная на рисунке 19.

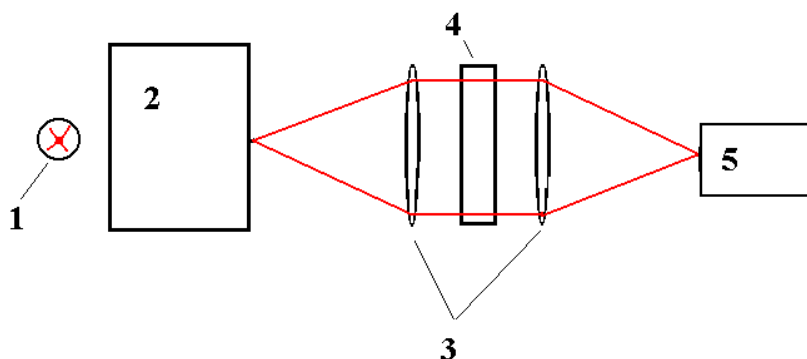


Рисунок 19 – Схема измерения полосы пропускания интерференционного светофильтра.

1-Источник излучения, 2-Сканирующий монохроматор МДР-23, 3-Линзы, 4-Интерференционный светофильтр, 5-ФЭУ.

В качестве источника излучения (1) использовалась вольфрамовая лампа накаливания, которая дает непрерывный спектр излучения в широком диапазоне длин волн. Сканирующий монохроматор (2) использовался для выделения узкого диапазона длин волн и сканирования излучения по длине

волны в диапазоне от 360 до 850 нм. На выходе монохроматора из прошедшего излучения формируется параллельный пучок, который проходит через интерференционный светофильтр. Интенсивность прошедшего через светофильтр излучения регистрировалась с помощью ФЭУ (5).

С помощью этой методики измеряется как ширина полосы пропускания интерференционного светофильтра, так и коэффициент пропускания светофильтра внутри этой полосы. На рисунке 20 показано общий вид и спектральная характеристика интерференционного фильтра.

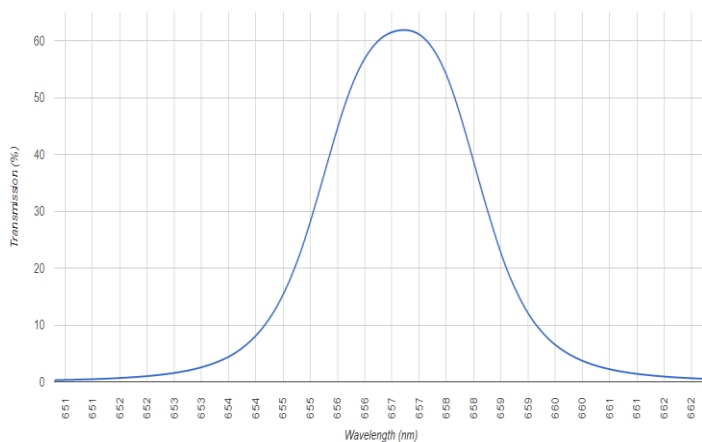


Рисунок 20 – Общий вид и спектральная характеристика интерференционного фильтра

Лабораторные испытания показали, что интерференционный светофильтр имеет технические характеристики:

1. максимум полосы пропускания находится на длине волны 656,3 нм;
2. полуширина полосы пропускания – 3,05 нм;
3. коэффициент пропускания в максимуме – более 60 %.

Для проведения юстировки монитора излучения линий водорода вся система была собрана в целом, в соответствии со схемой, представленной на рисунке 6.

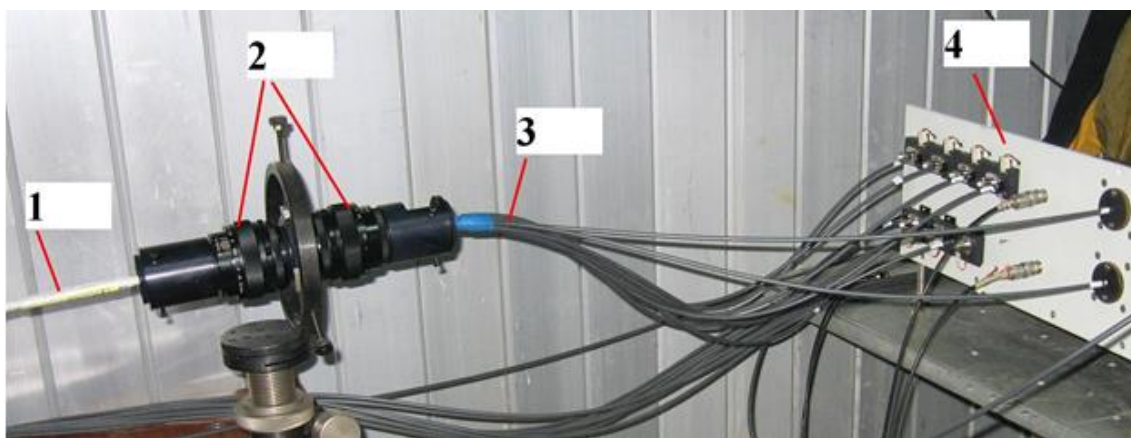


Рисунок 21 – Общий вид монитора излучения линий водорода
1 – входной коллектор световодов, 2 – объективы, 3 – выходной коллектор световодов, 4 – корпус блока детекторов излучения.

Юстировка многохордовой оптической системы сбора света на установке КТМ осуществлялась в обе стороны, следующим образом:

Сначала свет заводился в транспортные световоды со стороны диагностической комнаты и световое излучение в виде набора хорд направлялось через оптическое окно внутрь установки. При этом определялось точное положение хорд и их распределение по радиусу.

Юстировка оптического блока монитора излучения линий $H\alpha$ - $D\alpha$ заключалась в том, чтобы совместить изображение торца коллектора световодов, приходящих с установки с идентичным торцом коллектора световодов, идущих к детекторам излучения. При этом обязательным условием является то, что пучки света, идущие от отдельных световодов и проходящие через интерференционный светофильтр должны быть хорошо коллимированными.

2.3 НАСТРОЙКА И УСТАНОВКА СИСТЕМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Система передачи изображения от входного объектива построена на основе специального оптоволоконного световода для передачи изображения, которая позволяет приблизить входной объектив к плазменному шнуру и увеличить обзор внутри вакуумной камеры, позволяя наблюдать оба полусечения вакуумной камеры и дивертор.

Ранее плазменные разряды [15] были короткими, использование ЭОП было необходимым условием для получения качественного изображения при больших скоростях съемки. В связи с увеличением параметров плазменного разряда, использовать электронно-оптические преобразователи стало не актуальным. Поэтому было принято решение исключить ЭОП из оптического тракта системы визуализации. На рисунке 22 показана система в сборе.

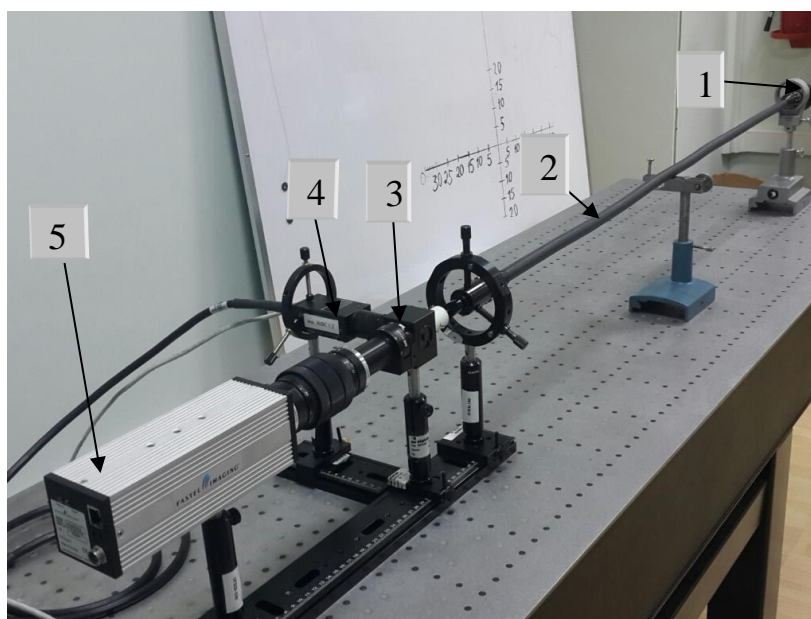
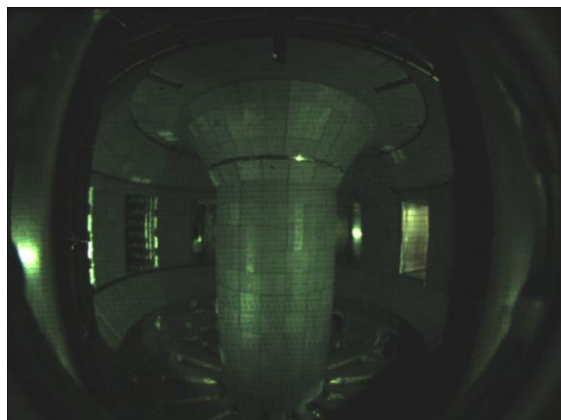


Рисунок 22 – Общий вид систем видеонаблюдения за плазмой
1-входной объектив (рыбий глаз); 2-оптоволоконный световод; 3-оптический разветвитель; 4-медленная камера (высокого разрешения); 5-быстрая камера (до 1000 к/с).

В лабораторных условиях была проведена сборка, настройка, тестирование системы визуализации и проверка рабочих характеристик видеокамер. После завершения тестирования, система была установлена в

смотровом патрубке токамака, где была еще раз произведена юстировка и настройка системы. В процессе настройки была проверена работа системы и качество получаемого изображения. На рисунке 23 (а,б) показаны видеок cadры изображений, полученных во время проведения настройки с быстрой и медленной камер.



а) быстрая камера – 250 к/с

б) медленная камера – 30 к/с

Рисунок 23 – Изображение с системы визуализации плазменного шнура

Во время тестирования быстрая камера работала с частотой 250 к/с и экспозицией 4 мс, а медленная камера с частотой 30 к/с. Поскольку частота регистрации быстрой камеры намного выше медленной, т.е. на каждый кадр медленной камеры приходится около 7 кадров быстрой, поэтому разница по яркости изображений сильно отличаются. Для наглядности на рисунке 23(а) приведено наиболее яркое изображение с быстрой камеры, на котором можно заметить центральный соленоид (CS) и патрубок 14 сектора.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ И РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Выполнение раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» несет в себе цель выполнить комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов проекта. Необходимо оценить полные денежные затраты на проект, а также дать хотя бы приближенную экономическую оценку результатов его внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет стоимости научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

4.1 ОЦЕНКА КОММЕРЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ

4.1.1 ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОТРЕБИТЕЛИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа посвящена измерению параметров плазменного разряда токамака КТМ оптическими диагностиками при использовании рабочей среды – водород. Использование комплекса оптических диагностик: обзорных спектрометров – 2 шт., монитора излучения линий изотопов водорода, эндоскопической системы

визуализации токамака КТМ, обусловлена необходимостью проведения комплексных исследований плазменного разряда на основе наблюдений за излучением плазмы в видимом диапазоне спектра.

Полученные экспериментальные данные позволяют провести всесторонний анализ происходящих процессов в плазме, будут способствовать достижению необходимых параметров плазменного разряда и проведению материаловедческих исследований на токамаке КТМ.

К особенностям данной работы можно отнести комплексный подход, включающий в себя как калибровку и настройку набора оптических диагностик, так и проведение с их использованием измерений параметров плазмы в экспериментах на токамаке КТМ.

Научно-технической базой для проведения измерений стала лаборатория экспериментальной физики токамаков филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК (Институт атомной энергии республиканского государственного предприятия Национальный ядерный центр Республики Казахстан), специализирующаяся на научном сопровождении получения плазменного разряда на токамаке КТМ.

Поскольку токамак КТМ является уникальной установкой, с аспектным отношением равным 2, то полученные экспериментальные данные позволят заполнить пробел в данных между классическими ($A \geq 3$) и сферическими ($A \leq 1,5$) токамаками.

4.1.2 АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Анализ конкурентных решений целесообразно проводить при помощи оценочной карты, для этого были определены 2 аналога: диагностика SXR (B_1) и активная спектроскопия CXRS (B_2).

Расчет показателя конкурентоспособности производился по следующей формуле:

$$K = \sum_i B_i \cdot V_i$$

где B_i – бал i -го показателя, V_i – вес показателя (в долях единицы).

Таблица №5 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия (V_i)	Баллы			Конкурентоспособность		
		B_ϕ	B_{K1}	B_{K2}	K_ϕ	K_{K1}	K_{K2}
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Упрощенная методика измерения	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Актуальность исследования	0,1	5	3	4	0,5	0,3	0,4
Возможность автоматизации	0,1	5	5	5	0,5	0,5	0,5
Простота настройки, калибровки спектральных приборов	0,25	5	3	3	1,25	0,75	0,75
Диапазон измерений	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
Эффективность работы	0,05	5	5	5	0,25	0,25	0,25
Экономические критерии оценки ресурсоэффективности							
– Стоимость спецоборудования	0,05	5	3	3	0,25	0,15	0,15
– Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	5	4	5	0,25	0,2	0,25
– Обслуживание	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
– Возможность использования для других целей	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
Итого		8	36	9	4,8	3,45	3,7

Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что данный проект имеет более высокий показатель конкурентоспособности (4,8). Это обусловлено рядом факторов: использованная оптическая диагностика компактна и безопасна, проста в эксплуатации и надежна, а также обеспечивает высокую точность измерений.

4.2 SWOT – АНАЛИЗ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. Результаты исследования приведены в SWOT-анализ (табл. 6).

Таблица № 6 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простая методика измерений;</p> <p>С2. Определение элементного состава плазмы токамака КТМ;</p> <p>С3. Определение формы и положения плазменного шнура.</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Недостаточная инструментальная база для проведения измерений;</p> <p>Сл2. Использование устаревшего оборудования для измерений.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Дополнение научно-технической базы токамака КТМ для достижения проектных параметров;</p> <p>В2. Повышение качеств плазменных разрядов.</p>	<p>Создание благоприятных условий для повышения параметров плазменного разряда</p>	<p>Усовершенствование диагностики монитора излучения линий водорода для более точного контроля поведения краевой плазмы.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Напыление смотровых окон во время технологических режимов чистки ВК.</p> <p>У2. Заклинивание вакуумной шторки во время экспериментов.</p>	<p>Полученные данные будут использоваться при конструктивных изменениях в ВК токамака КТМ и при изменениях условий откачки.</p>	<p>1. Модернизация оптических диагностик, в частности спектрометров и систем визуализации.</p> <p>2. Сотрудничество с лабораториями, оснащенными необходимым оборудованием.</p>

4.3 ПЛАНИРОВАНИЕ РАБОТ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

4.3.1 СТРУКТУРА РАБОТ В РАМКАХ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ, приведен в таблице №7.

Таблица №7 – План проекта с этапами работ и распределением исполнителей по их видам

Основные этапы	Номер Работы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, Инженер
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Инженер
	3	Подбор и изучение материалов по теме исследования	Руководитель, Инженер
Подготовка установки к работе	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Руководитель, Инженер
	5	Подготовка оптических диагностик к работе (калибровка, юстировка, настройка)	Инженер
Проведение экспериментов	6	Проведение измерений параметров плазмы оптическими диагностиками во время экспериментов по получению плазменного разряда	Руководитель, Инженер
	7	Обработка и анализ полученных данных. Подведение итогов работы	Инженер
Оформление пояснительной записки.	8	Подготовка основной части диссертации. Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки, составление презентации и подготовка к защите	Руководитель, Инженер

4.3.2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЕМКОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ И РАЗРАБОТКА ГРАФИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

При проведении научных исследований основную часть стоимости разработки составляют трудовые затраты, поэтому определение трудоемкости проводимых работ является важным этапом составления бюджета.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости использована следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{минi} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (4)$$

где $t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, человеко-дни;

$t_{минi}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни;

$t_{маxi}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы, человеко-дни.

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

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5)$$

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

$t_{ожi}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

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

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой (3):

$$T_{ki.инж} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (6)$$

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

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

$k_{кал}$ – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:

$$k_{кал.инж} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 104 - 18} = 1,50 \quad (7)$$

где $T_{кал}$ – общее количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – общее количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – общее количество праздничных дней в году. Расчеты временных показателей проведения научного исследования обобщены в таблице № 8.

Таблица №8 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ож}$, чел-дни					
	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер	Руководитель	Инженер
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
– Утверждение плана	1	-	3	-	1,8	-	1,8	-	1,8	-
– Календарное планирование выполнения ВКР	2	3	4	4	2,8	3,4	1,4	1,7	2,2	2,55
– Обзор научной литературы	-	14	-	20	-	16,4	-	16,4	-	24,6
– Планирование эксперимента	14	14	20	20	16,4	16,4	8,2	8,2	12,3	12,3
– Подготовка оптических диагностик к экспериментальным пускам	-	15	-	30	-	16,4	-	21	-	31,5
– Проведение эксперимента	14	14	14	14	14	14	7	7	9,22	9,22
– Обработка и анализ полученных данных	-	14	-	20	-	16,4	-	16,4	-	24,6
– Оценка правильности полученных результатов	2	7	4	10	2,8	8,2	1,4	4,1	2,1	6,15
– Составление пояснительной записки	-	10	-	14	-	11,6	-	11,6	-	17,4
– Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки, составление презентации и подготовка к защите	-	9	-	9	-	9	-	9	-	13,5
Итого:	17	67	27	88	21	75,4	20	95	28	142

На основе таблицы №8 составлен календарный план-график выполнения проекта с использованием диаграммы Ганта (таблица №9).

Таблица №9 – Календарный план

№	Вид работ	T_{ki} кал.дн		Продолжительность работ																			
				фев		март			апр		май		июнь		июль		август		сент		окт		
		Исп 1.	Исп2.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
1	Утверждение плана	1,8	-	2	3																		
2	Календарное планирование выполнения ВКР	2,2	2,55	2	3																		
3	Обзор научной литературы	-	24,6	3	4	5																	
4	Планирование эксперимента	12,3	12,3	4	5	6																	
5	Подготовка оптических диагностик к экспериментальным пускам	-	31,5	6	7	8	9	10															
6	Проведение эксперимента	9,22	9,22	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20								
7	Обработка и анализ полученных данных	-	24,6	15	16	17	18	19	20														
8	Оценка правильности полученных результатов	2,1	6,15	18	19	20																	
9	Составление пояснительной записки	-	17,4	18	19	20																	
10	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки, составление презентации и подготовка к защите	-	13,5	19	20																		

■ - инженер; ▨ - руководитель; ■ - карантин

4.4 БЮДЖЕТ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ (НТИ)

При планировании бюджета научного исследования учитывается полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

1. материальные затраты НТИ;
2. затраты на специальное оборудование для научных работ;
3. основная и дополнительная заработная плата исполнителей темы;
4. отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
5. накладные расходы.

4.4.1 РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ЗАТРАТ НТИ

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам.

Расчет стоимости материальных затрат на материалы представлен в таблице 6. Также в стоимость материальных затрат включены транспортно-заготовительные расходы (3 – 5 % от цены).

Таблица № 10 – Сырье, материалы и комплектующие изделия

Наименование	Марка, размер	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Водород (баллон)	H ₂ , 99,999%	1	22 600	22 600
Аргон (баллон)	Ar, 99,9998%	1	34 000	34 000
Всего за материалы				56 600
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				2700
Итого по статье				59 300

Таблица № 11 – Статья на все материальные затраты

Наименование	Сумма, руб.
Затраты на сырье, материалы и комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты	59 300
Итого	59 300

4.4.2 СПЕЦИАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАУЧНЫХ РАБОТ

В ходе выполнения НТИ было приобретено дополнительное оборудование для проведения исследований. Общая сумма составила 75.2 тыс.руб. Все остальное использованное оборудование являлось собственностью Института атомной энергии.

При приобретении спецоборудования учтены затраты по его доставке и монтажу в размере 15% от его цены. Все расчеты по приобретению спецоборудования для исполнения конкретной темы, приведены в таблице №8.

Таблица №12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Коллимирующая линза (74-UV)	2	22 900	45 800
2	Оптоволоконный кабель (PQ600-025-UV)	2	14 700	29 400
Итого:				75 200

4.4.3 ОСНОВНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА ИСПОЛНИТЕЛЕЙ ПРОЕКТА

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме и дополнительная заработная плата научно-производственного персонала. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (8)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата, $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата (10% от $Z_{осн}$).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p \quad (9)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника, T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн., $Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (10)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 9).

Таблица № 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	18	18
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}), \quad (11)$$

где $Z_{\text{тс}}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.; $k_{\text{пр}}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{\text{тс}}$); $k_{\text{д}}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице №10.

Таблица №14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р}$, раб.дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	60 344	-	-	60 344	2500	20	50 000
Инженер	22 578	-	-	22 578	935	95	88 825
Итого $Z_{осн}$							138 825

4.4.4 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЗАРАБОТНАЯ ПЛАТА НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЕРСОНАЛА

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время и рассчитывается исходя из 10% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} = 13\,882 \text{ руб.} \quad (12)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп} = 0,1$); $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В таблице № 11 приведен расчет основной и дополнительной заработной платы.

Таблица № 15 – Заработная плата исполнителей проекта

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная заработная плата	50 000	88 825
Дополнительная зарплата	5 000	8 882
Зарплата исполнителя	55 000	97 707
Итого по статье $C_{зп}$, руб.	152 707	

4.4.5 ОТЧИСЛЕНИЯ ВО ВНЕБЮДЖЕТНЫЕ ФОНДЫ

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленному законодательством Республики Казахстан, пенсионного фонда (ПФ) и индивидуального подоходного налога (ИПН) на оплату труда работников. Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (13)$$

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

Общая ставка взносов составляет в 2020 году – 20% (ст. 1, 166 НК РК):

- 10 % – пенсионное страхование;
- 10 % – индивидуальный подоходный налог;

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в таблице № 16.

Таблица № 16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата + дополнительная, руб.	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	Сумма отчислений, руб.	Итого
Руководитель	55 000	0,2	11 000	30 541 руб.
Инженер	97 707	0.2	19 541	

4.4.6 НАКЛАДНЫЕ РАСХОДЫ

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники

и хозинвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Накладные расходы составляют 30% от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Накладные расходы составят:

$$C_{\text{накл}} = 0,2 \cdot (30\,541 + 152\,707 + 138\,825 + 59\,300 + 75\,200) = 91\,314 \text{ руб.}$$

4.4.7 ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ЗАТРАТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЕКТА

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице № 17

Таблица № 17 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НИИ	59 300
Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	138 825
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	13 882
Отчисления во внебюджетные фонды	30 541
Накладные расходы	91 314
Затраты на спец. оборудование	75 200
Бюджет затрат на НИИ	409062

4.5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСНОЙ (РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ), ФИНАНСОВОЙ, БЮДЖЕТНОЙ, СОЦИАЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ 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:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (14)$$

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).

Таблица №18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов НИР

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Исп.2.	Исп.3.
Безопасность при использовании установки	0,2	4	4	4
Стабильность работы	0,2	5	3	3
Технические характеристики	0,2	5	4	5
Методика измерений	0,4	5	3	3
ИТОГО	1	3.8	3.4	3.6

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p1} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 + 0.2 \cdot 5 + 0.4 \cdot 5 = 3.8$$

$$I_{p2} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 3 + 0.2 \cdot 4 + 0.4 \cdot 3 = 3.4$$

$$I_{p3} = 0.2 \cdot 4 + 0.2 \cdot 3 + 0.2 \cdot 5 + 0.4 \cdot 3 = 3.6$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{3,8}{0,9} = 4,22, \quad I_{\text{исп.2}} = \frac{3,4}{0,91} = 3,73, \quad I_{\text{исп.3}} = \frac{3,6}{0,91} = 3,95$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица №19).

Таблица №19 – Сравнительная эффективность работы

№ п/п	Показатели	Текущий проект	Исп.2	Исп.3
1	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,8	3,4	3,6
2	Интегральный показатель эффективности	4,22	3,73	3,95
3	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	0,81	0,78

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов, позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является вариант 1 (текущий проект). Наш проект является более эффективным по сравнению с конкурентами.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

В результате проведенного анализа конкурентных технических решений был выбран предпочтительный вариант исследования высокотемпературной плазмы токамака КТМ (исследования плазмы токамака КТМ оптическими диагностиками):

- В ходе планирования для руководителя и инженера был разработан график реализации этапа работ, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей.
- составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют **409062** рублей;
- по факту оценки эффективности, можно сделать вывод, что значение интегрального финансового показателя научного исследования составляет

4,22, что является показателем того, что является финансово выгодной, по сравнению с аналогами.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях одним из основных направлений коренного улучшения всей профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда, то есть объединение разрозненных мероприятий в единую систему целенаправленных действий на всех уровнях и стадиях производственного процесса. В основе законодательства Республики Казахстан об охране труда лежит Конституция и Трудовой кодекс Республики Казахстан. Обязанности по обеспечению безопасных условий и охраны труда в организации возлагаются на работодателя. Согласно закону от 28 февраля 2004 года №528-ІІ «О безопасности и охране труда».

Настоящая магистерская диссертация посвящена исследованию параметров плазмы токамака КТМ оптическими диагностиками. Объектом исследования является высокотемпературная плазма, предметом исследования служит излучения плазмы в видимом диапазоне спектра. Проект предполагает работу с напряжениями до 1000 В и высокими магнитными полями.

Научно-технической базой для проведения исследований стала лаборатория экспериментальной физики токамаков филиала ИАЭ РГП НЯЦ РК (Институт атомной энергии республиканского государственного предприятия Национальный ядерный центр Республики Казахстан), специализирующаяся на научном сопровождении получения плазменного разряда на токамаке КТМ.

5.1 ПРАВОВЫЕ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

5.1.1 СПЕЦИАЛЬНЫЕ (ХАРАКТЕРНЫЕ ДЛЯ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ) ПРАВОВЫЕ НОРМЫ ТРУДОВОГО ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВА

Весь персонал токамака КТМ обязан знать и строго соблюдать правила техники безопасности. Обучение персонала техники безопасности и производственной санитарии состоит из вводного инструктажа (РГП НЯЦ РК), и инструктажа на рабочем месте (лаборатория экспериментальной физики токамаков) ответственным лицом.

Проверка знаний правил техники безопасности проводится квалификационной комиссией после обучения на рабочем месте. Проверяемому, присваивается соответствующая его знаниям и опыту работы квалификационная группа по технике безопасности и выдается специальное удостоверение.

К работе на электроустановке допускаются лица не моложе 18 лет, не имеющие медицинских противопоказаний, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж по безопасности труда на рабочем месте. К самостоятельной работе допускаются работники после специального обучения и проверки знаний правил электробезопасности, приобретенных навыков и безопасных способов выполнения работы, имеющие не менее II группы по электробезопасности.

Повторная проверка знаний норм и правил электробезопасности с работниками проводится не реже 1 раза в 12 месяцев, повторный инструктаж на рабочем месте – не реже 1 раза в 3 месяца.

Проведение всех видов инструктажа должно оформляться в Журнале регистрации инструктажа установленного образца, с обязательными подписями получившего и проводившего инструктаж, с указанием даты проведения

инструктажа, наименования и номеров инструкции на виды работ, по которым проводится инструктаж.

При введении в эксплуатацию нового оборудования сотрудники, которые будут работать на нем, должны пройти внеплановый инструктаж по правилам эксплуатации и безопасной работе на данном оборудовании (Правила работы с персоналом в энергетических организациях РК статья 5 закона от 9 июля 2004 года «Об электроэнергетике». Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты).

5.1.2 ОРГАНИЗАЦИОННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПРИ КОМПОНОВКЕ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 38.

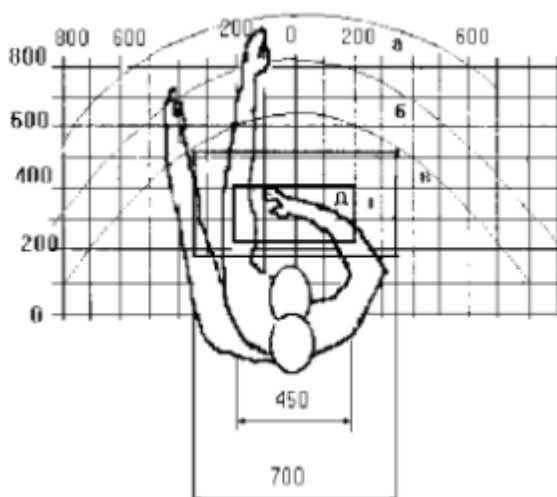


Рисунок 38 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной

работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне а (в центре); клавиатура – в зоне г/д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация – в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

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

Рабочее кресло должно быть подъёмно–поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420-550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с заглублённым передним краем. Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500-600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45 градусов к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30 градусов. Кроме того, должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране.

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

- по высоте +3 см;
- по наклону от 10 до 20 градусов относительно вертикали;
- в левом и правом направлениях.

5.2 ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ СОЦИАЛЬНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

5.2.1 АНАЛИЗ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ

Производственные условия на рабочем месте характеризуются наличием опасных и вредных факторов, которые классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические, психофизиологические.

Таблица №20 – Возможные опасные и вредные факторы

Факторы	Этапы работ		Нормативные документы
	Подготовка к экспериментам	Исследование	
1. Электрический ток	+	+	ГОСТ 12.1.013-78 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Строительство. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [22].
2. Пожароопасность	+	+	Инструкция о мерах пожарной безопасности. Действия работников при пожаре [23].

5.2.2 ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ УРОВНЕЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОПАСНЫХ И ВРЕДНЫХ ФАКТОРОВ НА ИССЛЕДОВАТЕЛЯ

В данном подразделе разрабатываются решения, обеспечивающие снижение влияния выявленных опасных и вредных факторов на работников. Также предлагаются мероприятия, обеспечивающие безопасность технологического процесса и эксплуатации оборудования. Возможные опасные и вредные факторы указаны в таблице №20:

1. Поражение электрическим током

Мероприятия, обеспечивающие электробезопасность, описаны в разделе 5.4.1.

2. Возникновение пожара во время экспериментов

Действия работников при пожаре, описаны в разделе 5.4.2.

5.3 ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Зажигание плазмы в термоядерных реакторах считается одним из наиболее безопасных способов, т.к. при проведении реакции синтеза минимальная вероятность возникновения аварийных ситуации, отсутствуют долгоживущие радиоактивные отходы и влияние на климат (не выделяется углекислый газ).

5.4 БЕЗОПАСНОСТЬ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Перед работой на установке необходимо проверить отсутствие внешних повреждений электрооборудования, наличие и исправность контрольных, измерительных и сигнальных приборов. Проверить наличие предупреждающих

плакатов на панелях, щитах, шкафах, ограждениях, исправность инструмента, первичных средств пожаротушения. Проверить работу звуковой сигнализации, предупреждающей о предстоящей подаче напряжения на обмотки электромагнитной системы токамака КТМ. В случае обнаружения неисправности оборудования, сообщить об этом начальнику смены и до его указания к работе не приступать. Так же допуск в приямок токамака, эстакаду вокруг установки производится только с разрешения начальника смены. Из-за возникновения короткоживущих рентгеновских излучений, во время пусков весь персонал токамака КТМ выводится из реакторного зала.

По окончании работы выключить электрооборудования, согласно инструкции по эксплуатации (разъединить штепсельное соединение, привести оборудование в безопасное состояние), убедиться, что закрыты все вентили и затворы вакуумных датчиков.

5.4.1 ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТЬ

Электробезопасность – это система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества. Безопасной для человека является величина переменного тока – 10 мА, постоянного – 50 мА, безопасное напряжение – 12 В.

В зависимости от условий в помещении, опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с персональной электронно-вычислительной машиной (ПЭВМ) или другими электрическими приборами и установками в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединению с

землём металлическими элементами и металлическим корпусом электрооборудования.

Характер и последствия поражения зависят от величины, частоты и пути прохождения тока, также продолжительности воздействия. При работе на ПЭВМ существует опасность электропоражения в следующих случаях:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта электрических приборов;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании.

Источником поражения электрическим током могут быть незащищенные и неизолированные электропровода, поврежденные электродвигатели, открытые коммутаторы, незаземленное оборудование и др. Проходя через живые ткани, электрический ток оказывает термическое, электролитическое и биологическое воздействия. Это приводит к различным нарушениям в организме, вызывая как местное поражение тканей и органов, так и общее поражение организма. Самый опасный – переменный ток частотой 50-60 Гц.

Электрозщитные средства – это переносимые и перевозимые изделия, служащие для защиты людей, работающих с электроустановками от поражения электрическим током, от воздействия электрической дуги. Эти средства должны обеспечивать высокую степень защиты и удобство при эксплуатации. Их выбирают с учетом требований безопасности для данного вида работ. В первую очередь безопасность обеспечивается применением средств коллективной защиты, а затем, если она не может быть обеспечена, применяют средства индивидуальной защиты. К средствам индивидуальной защиты от поражения электрическим током относятся:

- оградительные устройства, которые могут быть стационарными и переносимыми. Ограждения могут быть заблокированы с устройствами, отключающими рабочее напряжение при снятии;
- изолирующие устройства и покрытия;
- устройства защитного заземления, зануления и защитного отключения;
- устройства дистанционного управления;
- предохранительные устройства и др.

Для обеспечения электробезопасности обслуживающего персонала необходимо предусмотреть:

- защитное заземление всех металлических нетоковедущих частей электрооборудования $R_3 \leq 4 \text{ Ом}$;
- раздельное размещение аппаратуры с напряжением до 1000 В и свыше 1000 В;
- ограждение электронного источника, исключающее возможность прикосновения к токоведущим частям;
- полное ограждение от прикосновения к аппаратуре с напряжением выше 1000 В;
- отключение всех источников питания установки общим рубильником.

При поражении работника электрическим током необходимо:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока и оценить состояние пострадавшего;
2. Вызвать скорую медицинскую помощь или врача, либо принять меры для транспортировки пострадавшего в ближайшее лечебное учреждение;
3. Если пострадавший находится в сознании, но до этого был в состоянии обморока или продолжительное время находился под действием

тока, ему до прибытия врача необходимо обеспечить полный покой и в дальнейшем медицинское наблюдение в течение 2-3 часов;

4. Если пострадавший находится в бессознательном состоянии, но с сохранившимся дыханием, его следует ровно и удобно положить, расстегнуть одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой, дать понюхать нашатырный спирт. Если пострадавший плохо дышит, необходимо сделать искусственное дыхание и непрямой массаж сердца;

5. При отсутствии признаков жизни (отсутствие дыхания, пульса, реакции зрачка на свет) нельзя считать пострадавшего мертвым. Ему должна быть оказана первая медицинская помощь в виде искусственного дыхания и непрямой массаж сердца. Искусственное дыхание и непрямой массаж сердца следует делать непрерывно до прибытия врача;

6. Переносить пострадавшего в другое место следует только в тех случаях, когда ему или лицу, оказывающему помощь, продолжает угрожать опасность или когда оказание помощи на месте невозможно.

5.4.2 ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д, а здания – на категории А, Б, В, Г и Д. Категории помещений и зданий определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик, проводимых в них технологических процессов. Помещение, в котором выполняется данная работа, по степени пожаровзрывоопасности относится к категории Г (умеренная пожароопасность), т.е. включает в себя негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества,

которые сжигаются или утилизируются в качестве топлива. Возможные причины загорания:

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

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации. К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования. К режимным мероприятиям относятся: установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара от коротких замыканий, перегрузок и т. д. необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов;
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);

- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара немедленно:

- оповестить о пожаре окриком работников, находящихся в соседних помещениях;
- позвонить противопожарную службу по номеру 112. При этом: четко назвать место пожара, что горит, свою фамилию и номер телефона;
- сообщить о случившемся начальнику подразделения;
- организовать встречу пожарного подразделения противопожарной службы;
- при необходимости отключить питание электроприборов или сообщить о необходимости их отключения соответствующим электро-энергетическим службам (БЭУ токамак КТМ -9-44-61, 9-43-80);
- до прибытия пожарного подразделения приступить к ликвидации пожара имеющимися в наличии первичными средствами пожаротушения (пожарный кран, огнетушитель порошковый);
- в случае угроза жизни покинуть место пожара.

ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Данное исследование предполагает работу с напряжениями до 1000 В и высокими магнитными полями. Полученные результаты раздела «Социальная ответственность», содержат в себе основные рекомендации и указания, которые следует выполнять при исследовании параметров плазменного разряда. Данные указания в дальнейшем можно использовать при диагностике высокотемпературной плазмы на токамаке КТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках выполнения дипломной работы были проведены настройка, установка и калибровка оптических диагностик, после чего – отработана методика измерения параметров водородной плазмы токамака КТМ оптическими диагностиками.

В ходе экспериментальной кампании 2020 года по получению плазменного разряда на токамаке КТМ были проведены измерения спектров излучения плазмы в видимой области (380-700 нм) с помощью спектрометра USB2000+, которые показали, что в плазме токамака КТМ кроме наличия линий рабочего газа ($H\alpha$ 656,3 нм, $H\beta$ 486,1 нм, $H\gamma$ 434,1 нм), также присутствовали линии легких примесей (C, O, N) в разных ионизационных состояниях. Такой состав плазмы следует связать со следующими процессами:

1. Относительно яркие линии углерода при создании и поддержании разряда обусловлены распылением графитовых тайлов внутренней стенки вакуумной камеры токамака КТМ (около 80% от всей её площади).

2. Наличие азота и кислорода в плазменном разряде, говорит о недостаточном предварительном разряде и очистке вакуумной камеры токамака КТМ, возможно наличие небольших натеканий в рабочую камеру. Присутствие данных элементов в плазме, вероятно, значительно повлияло на параметры полученного разряда.

По данным с монитора излучения линий водорода хорошо определяются стадии пробоя и окончания разряда, зарегистрированное время которых хорошо коррелируется с данными с других диагностик. По измерениям с системы видеонаблюдения определена форма и положение плазменного шнура в динамике.

В результате отработки методики оптических диагностик плазмы токамака КТМ был выявлен ряд технических недостатков, таких как: низкое

спектральное разрешение (около 5 нм) и большое временное разрешение (35 мс), которые недостаточны для более точного измерения параметров плазмы. В соответствии с этим были подготовлены технические предложения по модернизации оптических диагностик.

Данная работа выполнена в рамках тем «Исследование процесса формирования плазменного шнура токамака КТМ в режиме омического нагрева», «Определение параметров плазмы с использованием физических диагностик и расчетных методов» мероприятия «Научно-техническое обеспечение экспериментальных исследований на казахстанском материаловедческом токамаке КТМ».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. P.H. Rebut, the ITER Joint Central Team and Home Teams. ITER: the first experimental fusion reactor. Fusion Engineering and Design. - Volume 27, 1 March 1995, Pages 3-16
2. Лукьянов С.Ю. Горячая плазма и управляемый ядерный синтез. / Ковальский Н.Г. // М.: МИФИ, 1997.
3. М.И. Пергамент. Диагностика плазмы: Сборник // Т.1 - 7. М.: Атомиздат, 1981.
4. С. Ю. Лукьянова. Диагностика термоядерной плазмы: Сборник / М.: Энергоатомиздат, 1985.
5. В.И. Давыденко. Экспериментальные методы диагностики плазмы. / А.А. Иванов, Г. Вайсен. // Новосибирск, 1999
6. В.А. Азизов. Управление потоками плазмы в диверторную область и флуктуация температуры приемных пластин токамака КТМ. / А.Д. Баркалов, Г.Г. Гладуш. // М.: ГЦН РФ ТРИНИТИ; Троицк: Минатом РФ, 2003
7. Казахстанский материаловедческий токамак КТМ: эскизный проект: книга 1. – Москва; Санкт-Петербург, 2000.
8. Visible wide angle view imaging system of KTM tokamak based on multielement image fiber bundle / B. Chektybayev, G. Shapovalov, A. Kolodeshnikov // Review of Scientific Instruments.– May 2015.– Vol. 86, Issue 5.– doi: 10.1063/1.4921475.
9. Источник излучения CAL 2000 // руководство по эксплуатации. <https://oceanoptics.com/wpcontent/uploads/cal2000.pdf>
10. Б.Ж. Чектыбаев, Э.Г. Батырбеков, М.К. Скаков. Способ термографических измерений кандидатных материалов первой стенки термоядерных реакторов на токамаке КТМ // Сборник тезисов докладов 46-й Международной Звенигородской конференции по физике плазмы и управляемому термоядерному синтезу, 18-22 марта 2019 г., г. Звенигород, РФ.–С.308 (320)
11. Интернет сайт компании SCHOTT Inc.: www.schott.com/lightingimaging/english/defenseproducts/imaging/wound.html.
12. Интернет сайт компании Edmund optics: www.edmundoptics.com.

13. Интернет сайт компании ОАО «Катод»: www.katodnv.com/ru/catalog.
14. Шумайлова О.Н., Колокольцов М.В., Кретинин А.А., Макаров Д.А., Садыков А.Д., Шипилов Д.В., Программное обеспечение обработки данных физических диагностик установки КТМ. – Вестник НЯЦ РК, №2, 2011, с. 98-102
15. Чектыбаев Б.Ж., Садыков А.Д., Батырбеков Э.Г., Скаков М.К., Кашикбаев Е.А., Жаксыбаева А.А. Результаты экспериментов по получению плазменного разряда на токамаке КТМ // Вестник НЯЦ РК.– 2019.– Выпуск 1 (77).– С. 60-65
16. Экспериментальные результаты измерения электронной плотности плазмы на токамаке КТМ / Е.А. Кашикбаев, Б.Ж. Чектыбаев, А.Д. Садыков, С.А. Жүнісбек // Вестник НЯЦ РК.– 2019.– Вып. 3 (79).– С. 40-45.
17. An efficient technique for magnetic analysis of noncircular, high-beta tokamak equilibria / D.W. Swain, G.H. Neilson // Nuclear Fusion.– 1982.– Vol. 22, No. 8.– Pp. 1015-1030
18. А.В. Горбунов, Л.А. Ключников, К.В. Коробов «Спектр излучения плазмы токамака Т-10 в видимом диапазоне». ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2015, т.38, вып.2
19. The Spectroscopic Systems for the Study of Light Impurity Particle Transport in the HT-7 Tokamak
20. А.Н. Зейдель, В.К. Прокофьев, С.М. Райский, В.А. Славный, Е.Я. Шрейдер «Таблица спектральных линий». – Москва, 1977 г.
21. А.Р. Стриганов, Н.С. Свинтицкий «Таблицы спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов». – Москва, 1966.
22. ГОСТ 12.1.013-78 Система стандартов безопасности труда. Строительство. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (Ст РК 12.1.013-2002; СНиП 12-03-99).
23. Закон РК «О пожарной безопасности» от 22 ноября 1996 года № 48-1.

Приложение А

(обязательное)

Description of Experimental Equipment

Student:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОДМ81	Жунисбек С.А.		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент НОЦ Б.П. Вейнберга	Сиделёв Д.В.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Утягина Янина Викторовна			

1. COMPLEX OF OPTICAL DIAGNOSTICS OF THE KTM TOKAMAK

The basic parameters that require detailed and reliable measurements under the conditions of modern tokamaks and future tokamak-reactors include such parameters as the impurity composition of the plasma and the emission of lines of hydrogen isotopes. At the KTM tokamak, a set of optical diagnostics is used to measure these parameters: a survey spectral device (SSD), a H α -D α hydrogen line emission monitor and a spectrometer (USB 2000+), as well as a plasma visualization system [1]. Diagnostic data make it possible to measure plasma radiation at different times and in different regions of the plasma cord volume.

1.1. SPECTRAL SURVEY DEVICE

A spectral survey device allows the registration of plasma radiation in the visible and near infrared ranges, which, in turn, is necessary for studying the plasma impurity composition, determining the sources and mechanisms of impurity intake, also for studying plasma transport processes.

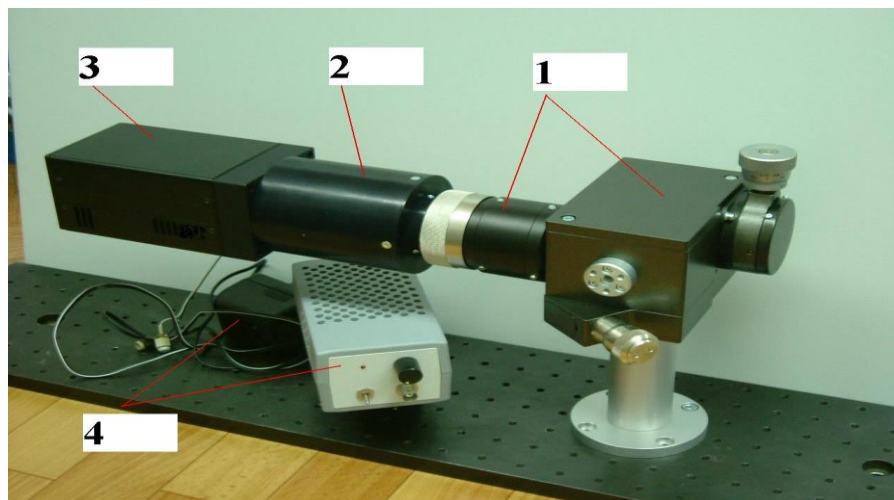


Figure 1 – Spectral survey device

- 1 – spectral survey device, 2 – electron optical converter (EOC), 3 – charge coupled device, 4 – power supply for electron-optical converter (EOC)

The registration system of the survey device consists of an image intensifier based on an image intensifier with a shutter function, a two-dimensional television camera based on a CCD matrix, and a personal computer to control the data acquisition and registration system. The technical characteristics of the SSD are shown in Table 1.

Table 1 - Main technical characteristics of SSD

Working spectral range	360 – 1000 nm
Focal length	100 mm
Flat image field	20x8 mm
Average linear variance	17,5 nm/mm
Spectral resolution	1-2 nm

The SSD built according to the horizontal scheme using two multicomponent achromatic lenses. There is no stigmatic aberration for this optical design. Other major aberrations are compensated by lens selection. The optical scheme of the spectral survey device is shown in Figure 2.

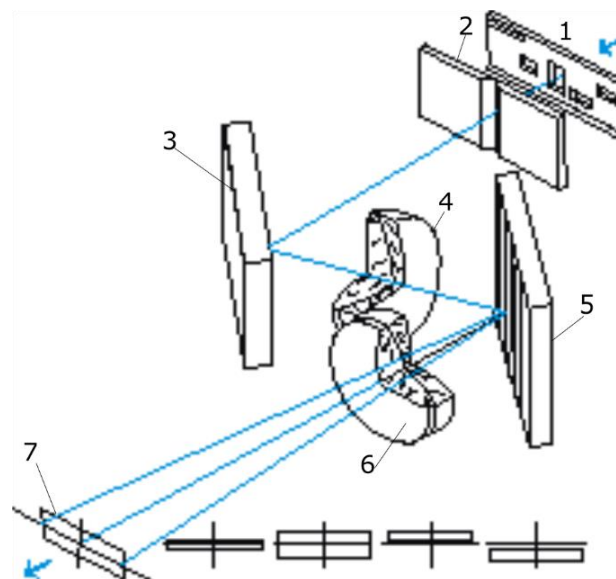


Figure 2 – Optical design of spectral survey device

- 1 – Hartmann aperture, 2 – entrance slit, 3 – rotary mirror, 4 – collimator lens, 5 – diffraction grating, 6 – camera lens, 7 – image plan

A design drawing of the SSD is shown in Figure 3. Also in Figure 3, an adapter is shown which is used to connect an image brightness amplifier to a spectral survey device.

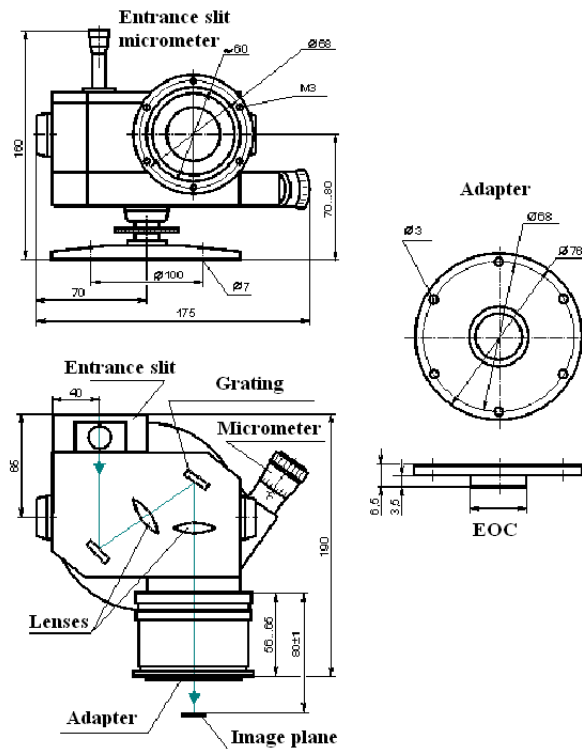


Figure 3 – spectral survey device design drawing

Setting the required value of the entrance slit of the SSD, as well as scanning the recorded wavelength range, is carried out using micrometric screws.

Electron-optical converter is based on image intensifier and has a shutter function. Locking the image intensifier by light is carried out by applying a TTL level pulse to the locking electrode of the image intensifier. Opening and closing time of the shutter by light 10^{-7} s.

Figure 4 shows a sketch of the location of the SSD on the vacuum chamber of the KTM, as well as the observation chord.

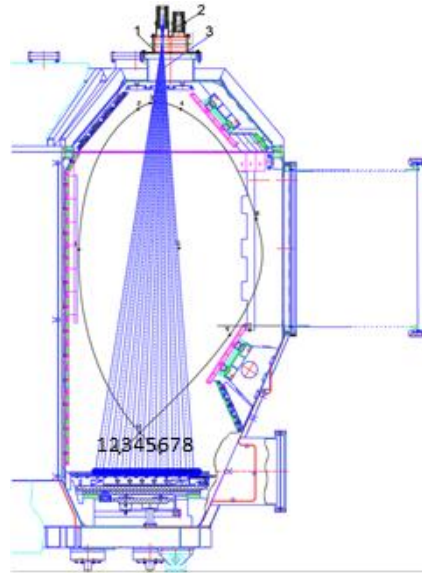


Figure 4 - Sketch of SSD placement on the VC of the KTM tokamak

The observation chords of the SSD were determined in the laboratory. An 8-channel fiber optic collector was attached to the lens, the distance from the quartz window to the divertor was determined from the drawings, the lens was mounted on the optical table, and then the plane was set at the same distance. A laser was shone into each channel, then the laser light beams were marked on the plane, thus, the positions of the observation chords of the SSD were determined.

1.2. MONITOR OF EMISSION OF HYDROGEN LINES

The $H\alpha$ - $D\alpha$ line intensity monitor serves to highlight the $H\alpha$ - $D\alpha$ hydrogen isotope lines from plasma radiation spectrum the tokamak and record the intensity of their radiation in time and in the space of the plasma column. On installations of the tokamak type the $H\alpha$ - $D\alpha$ line intensity monitor is intended mainly for monitoring the recycling of the working gas at the periphery of the plasma column. The schematic diagram of the monitor is shown in Figure 5.

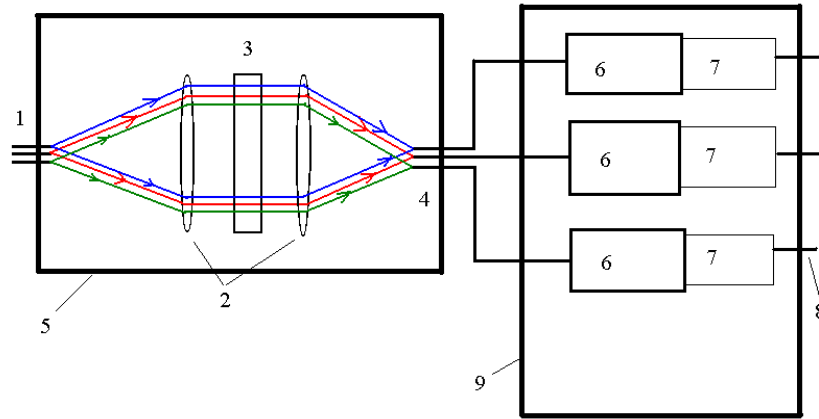


Figure 5 - Optical and block diagram of the monitor H α -D α

1. Input 10-channel fiber optic collector.
2. Lenses.
3. Interference light filter.
4. Output 10-channel fiber optic collector.
5. Optical block case.
6. Radiation detectors.
7. Block divider and signal preamplifier.
8. Cables for signal output and high voltage supply.
9. The body of the radiation detector unit.

Figure 5 shows, that the monitor consists of three main parts: an input and output 10-channel collector (pos. 1 and 4), an optical unit (pos. 5), a radiation detector unit (pos. 9).

Ten-channel fiber-optic collectors are assembled from ten fibers with a quartz core 0.8 mm in diameter and a reflective polymer sheath with a double plastic protective jacket. This fiber has high light transmission, good mechanical strength and protection, which is important for use in a large installation. One end of the light collector with the collecting lens will be mounted on the viewing window. The other end of the collimating objective light collector will be placed on the optical unit.

The length of the input light-guide collector is 5-10 meters, which allows the monitor with the registration system to be removed from the installation to obtain high noise immunity from electromagnetic interference and ionizing radiation.

The optical fiber output collector allows light to be delivered to a separate radiation detector in each spatial channel.

The optical block of the monitor consists of an interference filter and two lenses. The first lens creates a system of parallel light beams for each of the ten spatial channels. The creation of parallel light beams is necessary, since the interference filter separates a given spectral interval of wavelengths from the total radiation flux only for parallel light beams.

The second lens builds an image of the end of the inlet manifold on the identical end of the outlet manifold. Thus, radiation for each spatial channel independently passes through the entire optical system and enters an individual radiation detector.

The block of radiation detectors includes two types of radiation detectors: a photodiode detector and a photomultiplier tube (PMT).

Of the above-mentioned radiation detectors, the PMT has the highest sensitivity. Some types of photomultipliers, operating in the photon counting mode, make it possible to measure weak radiation fluxes incident on them at the counting level of up to several photons per second, which corresponds to the flux directly from the plasma. The PMT converts all incident radiation into a single signal in the form of voltage (V).

For two channels of registration of the monitor, with a temporal resolution of $\sim 2-3 \mu\text{s}$, PMTs of the H10722 type are used, manufactured by HAMAMATSU, which have the following technical characteristics:

Working spectral range: 230 - 870 nm.

Wavelengths corresponding to maximum sensitivity: 400 nm.

Photocathode material: GaAs.

Photocathode diameter: 8 mm.

Supply voltage: ± 4 to ± 5 V.

Typical anode sensitivity: 250 A / lm.

Figure 6 shows a sketch of the location of the hydrogen line emission monitor $H\alpha$ - $D\alpha$ on the VC KTM, as well as the observation chords.

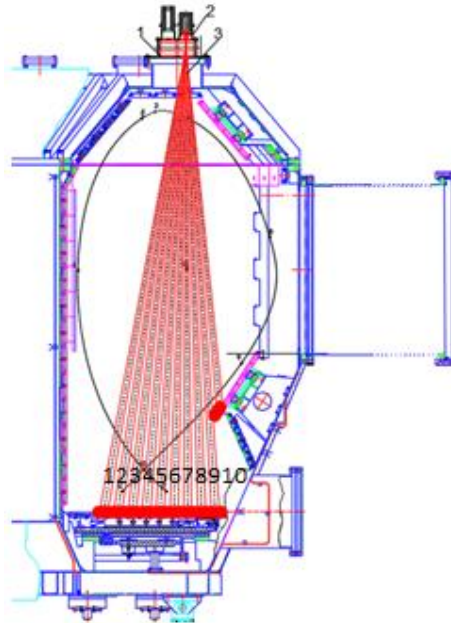


Figure 6 - Location of diagnostics of the $H\alpha$ - $D\alpha$ hydrogen line radiation monitor on the KTM tokamak

The observation chords were determined in the same way as for the SSD.

1.3. SPECTROMETER USB2000 +

The spectrometer USB2000 + is a modular spectrometer based on a 2048-element CCD. This spectrometer is designed to control chemical and fast processes. The main technical characteristics of the spectrometer are shown in Table 2.

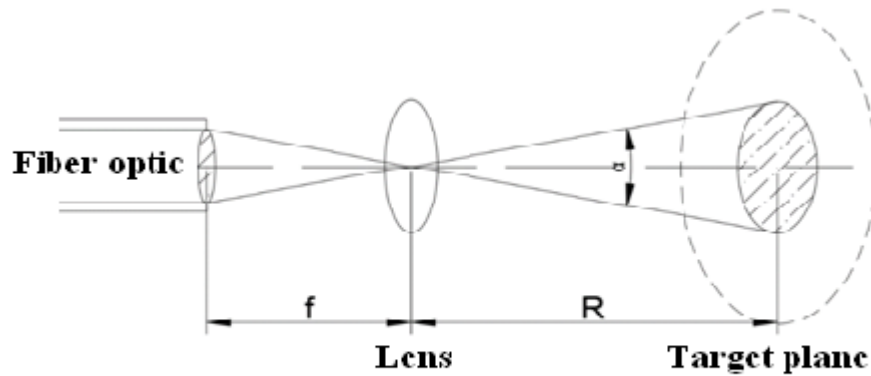
Table 2 - Main technical characteristics of the USB2000+ spectrometer

Optical design	$f/4$, symmetrical crossed Czerny-Turner
Spectral range	340-1020 nm
Quantity of pixels	2048
Pixel size	14x200
Integration time (exposure)	1ms-65s
Entrance slit	SMA 905 for NA=0.22 Single conductor fiber optic cable

Before installing the spectrometer USB2000+ on the VC of the KTM tokamak, test checks of the objective field of view were carried out. The field of view (FOV) of the lens in the datasheet $\sim 25^\circ$, but laboratory tests showed about $\sim 14^\circ$. The tests were carried out as follows: the objective was placed on the optical table, then the target plane was set at a distance of 20 cm. Light was supplied to the objective from a CAL 2000 radiation source [2] to determine the dependence of the size of the light beam on the distance to the target.

To be able to assess the field of view of a lens, it was necessary to consider geometric optics. If we imagine the lens in the form of a single lens of radius r_0 with a focal length f , then in accordance with the laws of geometric optics, each emitting point in the plane of the object under study, located at a distance R from the lens, creates an illuminated circle r_c in the focal plane of the lens, where the end of the fiber optic cable lies.

Figure 7 shows the end-face imaging of a fiber optic cable using a 74-UV collimating lens.



f – lens focal length, R – distance from lens to target

Figure 7 - Scheme for determining the field of view of the objective

If the end of the fiber is located in the focal plane of the lens, and the center of the fiber lies on the axis of the lens, then the lens will collect radiation from the area of a circle on the plane of the object under study of radius $r_T = r_0 + \alpha R$ [3]. This means that the field of view of the objective is a circle on the target plane.

After determining the field of view of the objective, the USB2000 + spectrometer was installed in the vertical track branch pipe of the KTM tokamak. This placement is the most optimal, because allows you to observe the surface of the materials under study placed on the divertor table of the KTM tokamak. Vacuum decoupling is provided by using vacuum windows. Figure 8 and 9 shows a sketch of the spectrometer location and the design of the track nozzle intended for IR and optical diagnostics.

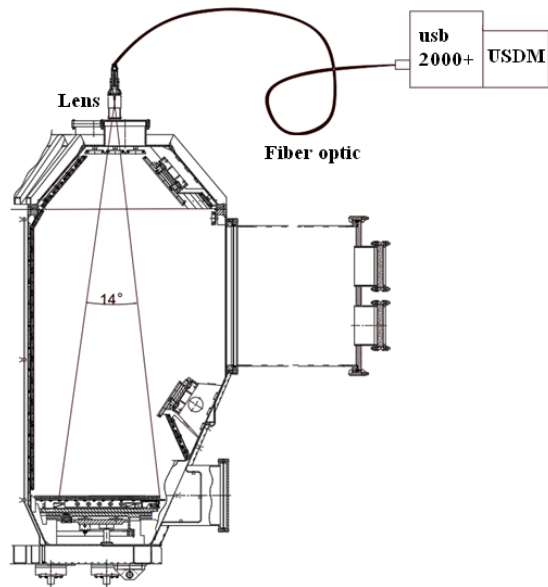
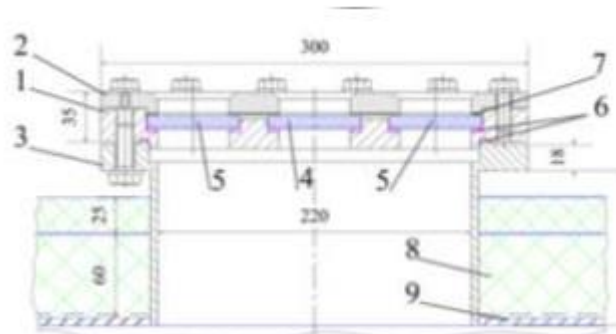


Figure 8 - Observation geometry and location of the spectrometer USB2000 +

The track pipes are located above the divertor where the materials investigation will be placed. The design of the viewing nozzle includes three viewing windows with a diameter of 50 mm to the clearance. The windows are made of optically transparent material for the infrared wavelength range - barium fluoride (BaF₂). The operating range of barium fluoride is from 265 nm to 10 μm.



- 1-flange; 2-lid; 3-nozzle;**
- 4,5-observation window(ZnSe, BaF₂);**
- 6-sealing; 7-paronite gasket;**
- 8-thermal insulation; 9-vacuum chamber wall**

Figure 9 - Design of the track branch pipe of the KTM tokamak

Plasma radiation is collected using a 74 - UV collimating objective with a focal length of 10 mm. The distance from the lens to the edge of the plasma is 27 cm,

which does not cut off the lens's field of view. The radiation is transmitted to the spectrometer through a 600 μm fiber optic cable.

The spectral resolution of the USB2000 + spectrometer with an entrance slit open at 25 μm is ~ 1.4 nm. This resolution is not suitable for many measurements, but the data obtained showed that lower resolution spectrometers have their application. The tradeoff with higher resolution spectrometers is usually a smaller measurable spectral window.

1.4. ENDOSCOPIC IMAGING SYSTEM OF THE TOKAMAK KTM

The system is designed to monitor the processes occurring in the plasma, as well as during the plasma-wall interaction.

The imaging system is built on the basis of a special optical fiber for image transmission and an input wide-angle lens, which allow observing both half-sections of the vacuum chamber and the divertor through a long equatorial tube.

Video surveillance systems are usually composed of at least two video cameras, one of which is high-speed, and the other is slow, but high-resolution. The first allows to study fast processes, and the second to have a clear color image of the plasma and the first wall, to carry out a comparative analysis with a fast camera and other diagnostics, and also to observe the plasma in real time.

The main optical components of the system:

- Input fisheye lens Fujinon FE185C086HA-1 with viewing angles (H \times V) $136^\circ \times 102^\circ$;
- Edmund optics Infinistix projection television lens for image transmission from the optical fiber output to the slow camera and image intensifier tube;

- generation 2+ image intensifier tube with S-25 multialkaline cathode, microchannel plate, P-43 phosphor and glass inlet / outlet. Image intensifier resolution 50-60 pairs lines / mm;
- optical splitter with half reflection of incident light at 90° and direct transmission of the second part of the light flux.

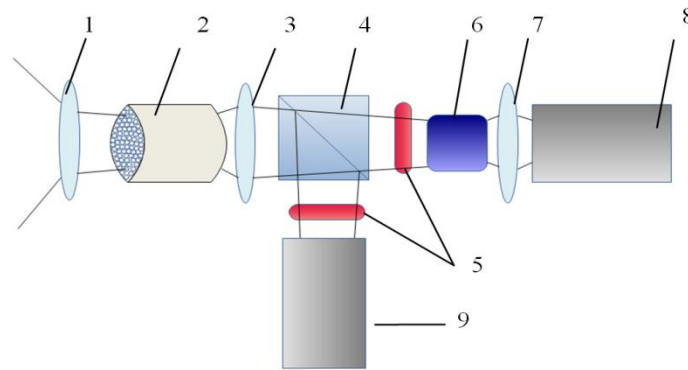


Figure 10 - Optical diagram of the plasma cord visualization system

- 1 - entrance lens; 2 - fiber optic light guide; 3 - projection lens; 4 - optical splitter;
 5 - filters; 6 - image intensifier; 7 - wrapping lens; 8 - fast video camera; 9 - slow camera

Optical components are selected to provide maximum system flexibility. In the optical path, it is possible to use replaceable optical filters, for which the scheme provides for the possibility of installing a special filter holder.

A sketch of the placement of the visualization system on the VC of the KTM tokamak with an observation window and an installed lens with a fiber optic light guide is shown in Figure 11.

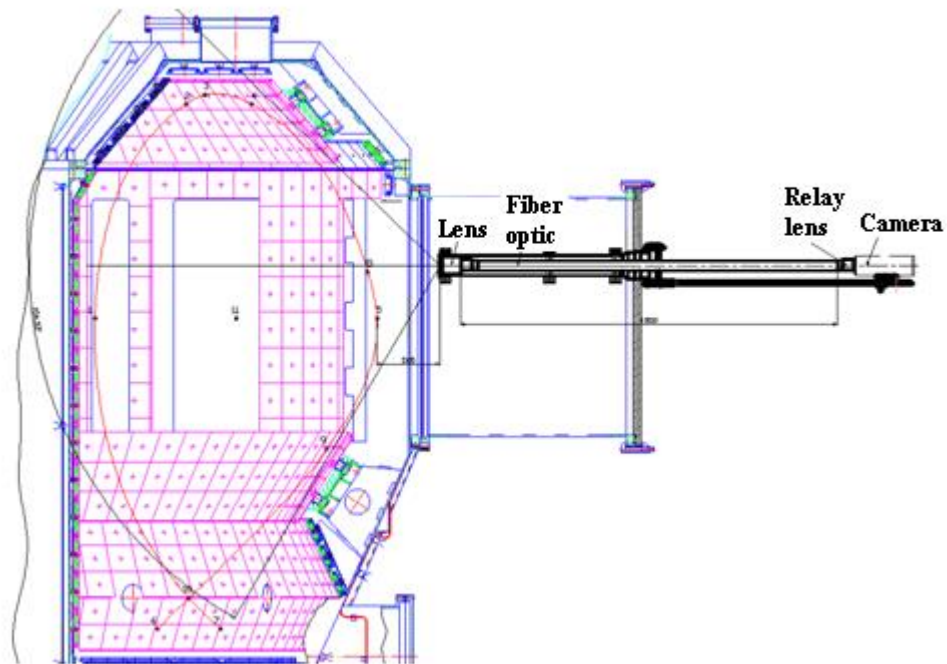


Figure 11 - Sketch of the placement of the plasma cord visualization system in the VC KTM

REFERENCES

1. B. Chektybayev, G. Shapovalov, A. Kolodeshnikov. Visible wide angle view imaging system of KTM tokamak based on multielement image fiber bundle. Review of Scientific Instruments.– May 2015.– Volume 86, Issue 5. <https://doi.org/10.1063/1.4921475>
2. Radiation source CAL 2000 // operation manual. <https://oceanoptics.com/wp-content/uploads/cal2000.pdf>
3. Laser Remote Sensing / Raymond Measures. – New York. – 305 p