

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education
**«NATIONAL RESEARCH
TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY»**

School of Nuclear Science & Engineering
Field of training (specialty): 14.03.02 Nuclear Science and Technology
Nuclear Fuel Cycle Division

BACHELOR THESIS

Topic of research of work
Investigation of plasmachemical synthesis of fuel oxide compounds for high-temperature gas cooled reactors producing hydrogen

UDC 621.039.52.034.3:661.961

Student

Group	Full name	Signature	Date
0A92	Kuznetsova Anastasia Andreevna		

Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Karengin A.G.	PhD		

ADVISERS:

Section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor of DSHS	Gasanov M.A.	PhD		

Section «Social Responsibility»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Perederin Y.V.	PhD		

ADMITTED TO DEFENSE:

Programme Director	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Senior lecturer	Selivanikova O.V.	-		

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки – 14.03.02 Ядерные физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода

УДК 621.039.52.034.3:661.961

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A92	Кузнецова Анастасия Андреевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	М.А. Гасанов	д.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02. Ядерные физика и технологии	О.В. Селиванникова	-		

MAIN CURRICULUM LEARNING OUTCOMES

Competency code	Learning outcomes (competencies)
Transferrable competencies	
TC(U)-1	Able to search, critically analyze and synthesize information, apply a systematic approach to solve tasks
TC(U)-2	Able to determine the range of tasks within the goal and choose the best ways to solve them, based on current legal regulations, available resources and restrictions
TC(U)-3	Able to carry out social interaction and realize any role in the team
TC(U)-4	Able to carry out business communication in oral and written forms in the state language of the Russian Federation and foreign language(s)
TC(U)-5	Able to perceive the intercultural diversity of society in the socio-historical, ethical and philosophical contexts
TC(U)-6	Able to manage the time, build and implement the trajectory of self-development based on the principles of education throughout life
TC(U)-7	Able to maintain the proper level of physical fitness to ensure social and professional activities
TC(U)-8	Able to create and maintain safe living conditions, including in case of emergencies
TC(U)-9	Able to show entrepreneurship in professional activities, including as part of the development of a commercially promising product based on a scientific and technical idea
General professional competencies	
GPC(U)-1	Able to use basic knowledge of natural sciences in professional activities, apply methods of mathematical analysis and modeling, theoretical and experimental research
GPC (U)-2	Able to search, store, process and analyze information from various sources and databases, provide it in the required format using information, computer and network technologies
GPC (U)-3	Able to use modern information systems in professional activities, analyze the dangers and threats arising from this, comply with the basic requirements of information security, including the protection of state secrets
Professional competencies	
PC(U)-1	Able to use scientific and technical information, domestic and foreign experience on research topics, modern computer technologies and information resources
PC(U)-2	Able to carry out mathematical modeling of processes and objects of the nuclear industry using standard methods and computer codes for design and analysis
PC(U)-3	Ready for conducting physical experiments according to a given methodology, making a description of ongoing research and analyzing the obtained experimental data
PC(U)-4	Able to use technical means to measure the main parameters of research objects
PC(U)-5	Ready to draw up a report on the completed task, to participate in the implementation of research and development results
PC(U)-6	Able to use information technology in the development of new installations, materials and devices, to collect and analyze initial data for the design of nuclear industry facilities

PC(U)-7	Able to calculate and design parts and assemblies of devices and installations in accordance with the terms of reference
PC(U)-8	Ready for the development of design and working technical documentation, registration of completed design work
PC(U)-9	Capable of monitoring the compliance of developed projects and technical documentation with standards, specifications, safety requirements and other regulatory documents
PC(U)-10	Ready to conduct a preliminary feasibility study of design solutions for the development of installations and devices
PC(U)-11	Capable of monitoring compliance with technological discipline and maintenance of technological equipment
PC(U)-12	Ready for operation of modern physical equipment, instruments and technologies
PC(U)-13	Able to assess nuclear and radiation safety, to assess the impact on the environment, to monitor compliance with environmental safety, safety regulations, norms and rules of industrial sanitation, fire, radiation and nuclear safety, labor protection standards
PC(U)-14	Ready to develop ways to use nuclear power, plasma, laser, microwave and high-power pulse installations, electron, neutron and proton beams, methods of experimental physics in solving technical, technological and medical problems
PC(U)-15	Able to draw up technical documentation (work schedules, instructions, plans, estimates, applications for materials, equipment), as well as established reporting in approved forms

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

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

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

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
 Federal State Autonomous Educational Institution for Higher Education
**«NATIONAL RESEARCH
 TOMSK POLYTECHNIC UNIVERSITY»**

School of Nuclear Science & Engineering
 Field of training (specialty): 14.03.02 Nuclear Science and Technology
 Nuclear Fuel Cycle Division

APPROVED BY:
 Program Director
 _____ Selivanikova O.V.
 « ____ » _____ 2023

**ASSIGNMENT
 for the Graduation Thesis completion**

In the form:

Bachelor Thesis

For a student:

Group	Full name
0A92	Kuznetsova Anastasia Andreevna

Topic of research of work:

Investigation of plasmachemical synthesis of fuel oxide compounds for high-temperature gas cooled reactors producing hydrogen

Approved by the order of the Director of School of Nuclear Science & Engineering (date, number):	01.02.2022 г., № 32-52/c
--------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Deadline for completion of Bachelor Thesis:	
---------------------------------------------	--

TERMS OF REFERENCE:

Initial data	Investigate and optimize the plasmachemical synthesis of fuel oxide compounds «UO ₂ -ThO ₂ -MgO» и «UO ₂ -ThO ₂ -Al ₂ O ₃ » from water-organic nitrate solutions.
List of the issues to be investigated, designed and developed	<ol style="list-style-type: none"> 1. Review and comparative analysis of literature on separate and joint production of fuel oxide compounds. 2. Calculation of burning rates of WONS included water nitrate solutions of fissile metals (uranium, thorium), matrix metal (magnesium, aluminum), and organic component (acetone). Establishment of influence patterns of the organic component content on their net calorific value. Determination of the optimal composition of WONS that ensure their energy-efficient plasma treatment.

	<p>3. Thermodynamic calculation of plasmachemical synthesis of fuel oxide compounds from WONS. Establishment of influence patterns of the plasma coolant mass fraction on the composition of the resulting products in the gas and condensed phases. Estimation of specific energy consumption for the process. Carry out the comparative analysis and determination of modes providing the plasmachemical synthesis of the required fuel oxide compounds in air plasma.</p> <p>4. Experimental confirmation of the research results.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Advisors to the sections of the Bachelor Thesis

Section	Advisor
Calculating section	Associate Professor of DNFC A.G. Karengin
Experimental section	Associate Professor of DNFC A.G. Karengin
Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving	Professor of DSHS M.A. Gasanov
Social Responsibility	Associate Professor of DNFC Y.V. Perederin

Date of issuance of the assignment for Bachelor Thesis completion according to the schedule	01.02.2023
----------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Assignment issued by a scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Karengin A.G.	PhD		01.02.2023

Assignment accepted by a student

Group	Full name	Signature	Date
0A92	Kuznetsova Anastasia Andreevna		01.02.2023

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

Школа – Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки (специальность) – 14.03.02 Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

(Подпись) _____ (Дата) Селиванникова О.В.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0А92	Кузнецовой Анастасии Андреевны

Тема работы:

Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№32-52/с от 01.02.2023

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследовать и оптимизировать процесс плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций «UO ₂ -ThO ₂ -MgO» и «UO ₂ -ThO ₂ -Al ₂ O ₃ » из водно-органических нитратных растворов.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Обзор и сравнительный анализ литературных источников по методам отдельного и совместного получения топливных оксидных композиций. 2. Расчет показателей горючести водно-органических нитратных растворов, включающих водные нитратные растворы делящихся металлов (уран, торий), металл матрицы (магний и алюминий) и органический компонент (ацетон). Установление закономерностей влияния содержания органического компонента на их низшую теплотворную способность. Определение оптимальных по составу растворов ВОНР,

	<p>обеспечивающих их энергоэффективную плазменную переработку.</p> <p>3. Термодинамический расчет процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций из растворов ВОНР. Установление закономерностей влияния массовой доли плазменного теплоносителя (воздуха) на состав образующихся продуктов в газовой и конденсированных фазах. Оценка удельных энергозатрат на процесс. Сравнительный анализ и определение режимов, обеспечивающих в воздушной плазме плазмохимический синтез требуемых топливных оксидных композиций.</p> <p>4. Экспериментальное подтверждение результатов исследования.</p>
--	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
Расчетная часть	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ А.Г. Каренгин
Экспериментальная часть	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ А.Г. Каренгин
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение	Профессор ОСГН М.А. Гасанов
Социальная ответственность	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ Ю.В. Передерин

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.02.2023
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Каренгин Александр Григорьевич	к.ф.-м.н.		01.02.2023

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A92	Кузнецова Анастасия Андреевна		01.02.2023

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

Студенту:

Группа	ФИО
0A92	Кузнецовой Анастасии Андреевне

Школа	ИЯТШ	Отделение	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика кинетических явлений

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклад руководителя – 38050руб. Оклад инженера – 14874,45 руб.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премимальный коэффициент руководителя 30%; Премимальный коэффициент инженера 30%; Дополнительной заработной платы 12%; Накладные расходы 16%; Районный коэффициент 1,3%.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 30,2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Определение потенциального потребителя результатов исследования, SWOT-анализ разработанной стратегии
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Определение структуры работы. Расчет трудоемкости выполнения работ. Подсчет бюджета исследования
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	Рассчитать показатель ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. <i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
2. <i>Матрица SWOT</i>
3. <i>Альтернативы проведения НИ</i>
4. <i>График проведения и бюджет НИ</i>
5. <i>Оценка ресурсной эффективности НИ</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
-------------------------------------------------------------	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН	Гасанов Магеррам Али оглы	д.э.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A92	Кузнецова Анастасия Андреевна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа 0A92	ФИО Кузнецовой Анастасии Андреевны
-----------------------	----------------------------------------------

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	14.03.02 Ядерные физика и технологии/ Физика кинетических явлений

Тема ВКР:

Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций для высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов для получения водорода

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: наноструктурные оксидные композиции. Область применения: атомная промышленность.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	– Правовые нормы трудового законодательства; – Требования к организации и оборудованию рабочих мест с ПЭВМ: – ГОСТ 22269-76. Система «человек-машина». Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: – отклонение показателей микроклимата; – повышенный уровень шума; – повышенный уровень электромагнитных излучений; – недостаточная освещенность; – электробезопасность; – психофизиологические факторы; – пожарная и взрывная безопасность
3. Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях:	– выбор и описание типичной АС и ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению АС и ЧС; – порядок действий при возникновении АС и ЧС.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
------------------------------------------------------	--

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A92	Кузнецова Анастасия Андреевна		

ABSTRACT

The final qualifying work contains 95 pages, 22 figures, 29 tables, 28 sources, 47 formulas and an appendix.

Keywords: plasma, high-frequency torch discharge, VHF plasma torch, water-organic nitrate solution, oxide composition, matrix.

The object of research is the process of plasma-chemical synthesis of oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» from water-organic nitrate solutions.

The purpose of the work is to study and optimize the process of plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» from water-organic nitrate solutions.

The paper presents the calculation of the flammability indicators of water-organic nitrate solutions of metals based on acetone; the thermodynamic analysis of the plasma-chemical synthesis of the oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» from these solutions in air plasma; and the calculation of the gas-dynamic and thermophysical characteristics of the air-plasma flow when a plasma stand based on an HF plasma torch is used.

The compositions of water-organic nitrate solutions and the methods of processing them that allow for the direct synthesis of the nanosized oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» in air plasma are determined in this work.

The outcomes can be utilised to produce fuel oxide compositions for uranium-thorium DNF for high-temperature gas-cooled reactors for the production of hydrogen using a plasma-chemical synthesis method which requires a lesser amount of energy.

Definitions

Plasma – is a partially or fully ionized gas formed from neutral atoms (or molecules) and charged particles (ions and electrons).

HF-plasmatron – a device for generating air-plasma flows.

Plasma-chemical synthesis – is a chemical method for obtaining highly dispersed powders of nitrides, carbides, borides and oxides, which consists in the reaction in a low-temperature plasma far from equilibrium at a high formation rate.

Nanodispersed powder – powder, the particle size of which is less than 100 nm.

Scanning electron microscopy – is a method of obtaining an image with a high spatial resolution based on the principle of the interaction of an electron beam with the object under study.

Transmission electron microscopy – is a method of obtaining an image of an ultrathin sample by passing an electron beam through it.

X-ray phase analysis – is a method for studying the structural characteristics of a material using X-ray diffraction.

BET analysis – is a method of mathematical description of physical adsorption based on the theory of polymolecular (multilayer) adsorption.

Designations and abbreviations

BET analysis – is a method proposed by Brunauer, Emmet and Teller.

HF-discharge – high-frequency torch discharge.

HF-plasma torch – high-frequency torch plasma torch.

HFG – high-frequency generator.

WNS – water nitrate solution.

WONS – water-organic nitrate solution.

OC – oxide composition.

RPW – recycled process water.

SEM – scanning electron microscopy

TEM – transmission electron microscopy.

XRF – X-ray phase analysis.

Contents

Introduction	19
1 Literature review	21
1.1 Matrix materials for uranium-thorium DNF	21
1.2 Methods for obtaining oxide compositions.....	22
1.2.1 Sol-gel process	22
1.2.2 Plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions.....	23
2 Calculated part.....	26
2.1 Calculating flammability and composition indicators for WONS.....	26
2.2 Calculation of the process's thermodynamics during the plasma-chemical synthesis of FOC from WONS	29
3 Experimental part	39
3.1 Description of the experimental setup	39
3.2 Calculating the gas flow rate through the HF-plasma torch to create plasma	40
3.3 Calculation of gas flow through the reactor.....	42
3.4 Calculation of the main technological parameters of the installation.....	43
3.5 Preparation and plasma processing of WONS solutions	45
3.6 Studying the physicochemical characteristics of oxide compositions.....	45
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение...	50
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	51
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	52

4.2 SWOT-анализ.....	53
4.3 Планирование научно-исследовательских работ.....	56
4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования	56
4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ	56
4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования	58
4.4 Бюджет научно-технического исследования	60
4.4.1 Расчет материальных затрат НТИ	60
4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ ...	62
4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	63
4.4.4 Дополнительная заработная плата	65
4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды	66
4.4.6 Накладные расходы	66
4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	67
4.5 Определение ресурсной эффективности проекта.....	68
5 Социальная ответственность	71
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	71
5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	71
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования.....	73
5.2 Производственная безопасность.....	74
5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов.....	74
5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов.....	76

5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата.....	76
5.2.2.2 Превышение уровня шума	77
5.2.2.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения.....	78
5.2.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	79
5.2.2.5 Электробезопасность.....	82
5.2.2.6 Психофизические факторы	85
5.2.2.7 Химическая безопасность	86
5.2.2.8 Пожарная и взрывная безопасность.....	87
5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	89
Conclusions	91
List of sources used	93
Appendix A	96
Appendix B.....	109
Appendix C.....	115
Appendix D	116
Appendix E.....	118

Introduction

The utilisation of high-temperature gas-cooled reactors for hydrogen production in the process of methane steam reforming is one of the top priorities for the development of nuclear power in Russia. However, the nuclear fuel (NF) made from uranium dioxide that has been enhanced to contain the isotope U^{235} has a number of drawbacks, including brittleness, a propensity to crack, a short lifespan (3-5 years), low thermal conductivity, which reduces the specific power of the reactor, a finite supply of the isotope U^{235} , and high disposal costs for spent fuel. [1].

Hydrogen is considered as a promising energy carrier for the development of a low-carbon and carbon-free economy, which reduces the anthropogenic impact on the climate to a minimum. The high-temperature gas-cooled reactor is capable of generating heat at temperatures up to 1000°C with a possible increase in steam temperature up to 1100°C . In such a reactor, methane conversion will not require burning methane to increase the temperature, which will reduce the carbon footprint [1].

The potential for dispersive uranium-thorium nuclear fuel based on Th^{232} and U^{235} isotopes, with inclusions from fissile materials (uranium dioxide, thorium dioxide), is high due to its high thermal conductivity and low due to its low neutron absorption cross section. [1].

Th^{232} isotope use does not need costly isotope enrichment. In addition, thorium is predicted to have three times the amount of reserves in the earth's crust as uranium, making it possible to build ultra-small (up to 10 MW) and small (up to 100 MW) nuclear power plants for hydrogen production in far-flung and difficult-to-reach areas. By using uranium-thorium DNF, weapons-grade plutonium won't be created, and the fuel usage cycle will be prolonged by 75 % [2].

The following drawbacks are associated with the methods used to produce fuel oxide compositions for DNF (separate production, mechanical mixing, sol-gel, etc.): high energy and labour expenses, several stages, usage of extra chemical reagents, uneven distribution of phases [3, 4].

The use of plasma for the plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions from dispersed water-organic nitrate solutions of metals, including an organic component (alcohols, ketones, etc.), has several unquestionable advantages, including: single-stage; high speed; homogeneous phase distribution; high thermal conductivity; and the capacity to achieve the required phase composition without further hydrogen reduction. low cost of energy and labour [1].

The purpose of the work is to study and optimize the process of plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» from water-organic nitrate solutions.

1. Review and evaluation of the literature pertaining to the plasma-chemical technique for creating fuel oxide compositions for uranium dispersion fuel;

2. Calculation of the water-organic nitrate solutions' (WONS') combustibility indices, which include acetone as an organic component and water nitrate solutions for fissile metals like uranium and thorium as well as matrix metals like magnesium and aluminium. WONS solutions' ideal composition must be determined to assure their energy-efficient plasma processing;

3. Thermodynamic calculation of the plasma-chemical processing of WONS and identification of patterns relating the composition of the produced products to the mass fraction of the air plasma coolant. Comparative investigation and identification of processes for the energy-efficient production of the fuel oxide compositions «UO₂–ThO₂–MgO» and «UO₂–ThO₂–Al₂O₃» in air plasma for the dispersion of different types of nuclear fuel;

4. Determination of the operating modes of the plasma stand based on the HF plasmatorch;

5. Obtaining oxide composition prototypes and researching their characteristics.

1 Literature review

1.1 Matrix materials for uranium-thorium DNF

High radiation resistance is ensured by the non-fissile material (matrix), a component of uranium-thorium DNF [1]. DNF is utilised in reactors with various operating circumstances (research, energy, and nuclear power plants), and specific needs are taken into consideration while determining the matrix's composition [4, 6-8].

First, the matrix material must satisfy the following requirements and have the lowest cross section for thermal neutron resonant absorption [6-8]:

- to restrict the pressure of gaseous fission products escaping from nuclear fuel, materials must have considerable mechanical properties (strength, elasticity, hardness, etc.) [2];
- the melting temperature must be greater than the fuel core of the TVEL's working temperature;
- the passage of thermal energy from the nuclear fuel particle via the shell to the coolant must be ensured by the presence of thermophysical qualities (thermal conductivity, thermal expansion coefficient, etc.) [6];

The matrix material must not experience phase transitions and must be stable when exposed to radiation [6]. It must also be compatible with the DNF fuel mix, the cladding material, and the coolant [6].

Most often, the most studied oxide systems are used for DNF matrix material [4]. Among the oxide matrix materials, MgO, Al₂O₃, Y₂O₃ and complex oxides: ZrSiO₄, MgAl₂O₄ [4] are considered.

Table 1.1 presents the physical and mechanical properties of oxide matrix materials [9].

Table 1.1 – Physical and mechanical properties of oxide materials

Properties	Combination of oxides				
	Al ₂ O ₃	MgO	Y ₂ O ₃	MgAl ₂ O	ZrSiO ₄
Melting temperature, °C	2054	2827	2430	2105	1676, eutectic formation
Vapor pressure, mm Hg	~10 ⁻⁹ (1950 °C)	~10 ⁻⁴ (1727°C)	2·10 ⁻⁷ (2000°C)	–	–
Thermal conductivity, W/(m·K)	13.3 (500 °C) 8.2 (1000°C) 5.8 (1500°C)	20.0 (500°C) 13.0 (1000°C) 6.0 (1500°C)	4.1 (500 °C) 2.5 (1000 °C) 2.9 (1500 °C)	9.0 (500°C) 7.7 (1100 °C) 8.0 (1500 °C)	5.4 (500 °C) 4.5 (1000 °C) 4.2 (1500 °C)
Modulus of normal elasticity E, GPa	374.63–147.10 (293–1773 K)	295.20-219.68 (298–1573 K)	180.10 (293 K)	274.00 (293 K)	154.00 (293 K)
Shear modulus G, Gpa	124.55–105.92 (298–1323 K)	113.76–35.31 (573–1673 K)	–	–	64.40
Poisson's ratio	0.26–0.45 (298–1473 K)	0.36–0.47 (298–1373K)	–	–	0.19
σ, barn	0.241	0.059	1.380	–	–

Data analysis (Table 1.1) shows that Al₂O₃, MgO, MgAl₂O₄ and Y₂O₃ oxides can be used as inert matrix materials for DNF [8]. The use of Al₂O₃ or MgO matrices is expedient because of their high thermal conductivity, high melting point, and small neutron absorption cross sections. [9].

1.2 Methods for obtaining oxide compositions

1.2.1 Sol-gel process

The sol-gel process is the stage in which particles get dispersed with a change in the colloidal system (Figure 1.1) [4]. A «gel» is a porous, three-dimensional, continuous solid network that typically results from covalent connections between sol particles and surrounds and sustains a continuous liquid phase.

The monomer undergoes a transformation into a colloidal solution, often known as a «sol» (a stable suspension of colloidal particles in a liquid) during the process [4].

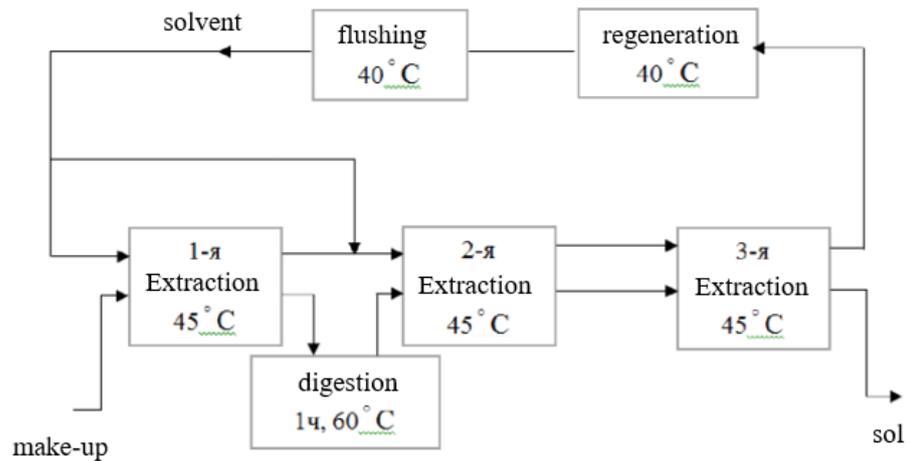


Figure 1.1 – Scheme of the solvent extraction process to produce a «sol» from UO_2

The «sol» (colloidal solution) progressively transforms into a two-phase system that resembles gel and is composed of a liquid and solid phase.

The remaining of the liquid phase must be removed by drying, which frequently results in the particles contracting and shrinking. How rapidly the solvent is eliminated depends on the porosity of the gel [10]. Thermal processing speeds up polycondensation and improves the structural and mechanical properties of materials. Following that, the completed constructs are sintered and crushed [4].

However, there are drawbacks to this technique for producing microspheres from WNS, including the necessity for a second hydrogen reduction step, high cost, a lot of process stages, high time costs, and low productivity [11, 12]. It should be highlighted that a uniform distribution of phases in DNF is not provided by the different preparation and mechanical mixing procedures used to combine the fuel oxide composition and matrix [4].

1.2.2 Plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions

The plasma-chemical synthesis of FOC from dispersed solutions of WNS metals has the following benefits over the "sol-gel" method, separate production methods, and subsequent mechanical mixing: the process is completed in one step; there is a high reaction rate; the ability to alter particle size and morphology; and the

technical apparatus is small [13]. The plasma processing scheme for WNS dispersed solutions is shown in Figure 1.2 [14].

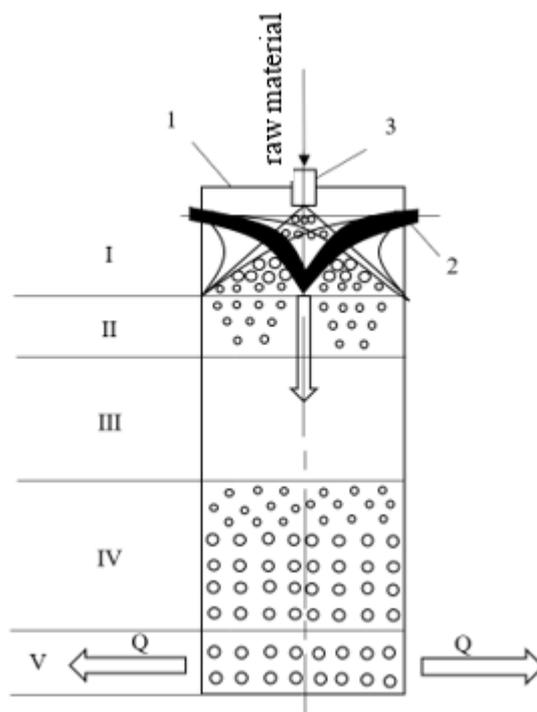


Figure 1.2 – Scheme of plasma processing of dispersed solutions of WNS:

I - mixing zone; II - droplet evaporation zone; III - chemical reaction zone;
IV – zone of formation of powder particles; V - cooling zone; 1 – plasma torch;
2 - reactor; 3 - nozzle

Plasma thermolysis of water solutions of salts and suspensions is a flexible and comprehensive method for creating nanostructured particles of simple and complex metal oxides [13]. The benefits include the potential to modify the physicochemical characteristics of the compounds produced, the ability to synthesise complicated oxide compounds, and the target product's high chemical activity [13].

Metal nitrates, sulphates, acetates, carbonates, and hydroxides are used as foundation chemicals to make water solutions and suspensions. [13].

However, the required stoichiometric composition must be obtained by plasma treating aqueous solutions and suspensions, which has a high energy cost (up to 4 MW h/t) and necessitates further hydrogen reduction [13].

Making complex oxide compositions from dispersed water-organic nitrate solutions (WONS), which contain an organic component (alcohols, ketones, etc.), and a matrix of refractory metal oxides with a high thermal conductivity and low resonant absorption of neutrons, in order to make solutions more flammable [13].

The direct synthesis of complex OCs with nanoscale dimensions in air plasma that have the necessary stoichiometric composition and homogeneous phase distribution is made possible by plasma processing of such WONS solutions, which lowers the specific processing energy needed (up to 0.1 MWh/t) and increases plant productivity.

2 Calculated part

2.1 Calculating flammability and composition indicators for WONS

The net calorific value for WONS solutions was determined by formula (2.1) [14]:

$$Q_n^c = \frac{(100 - W - A) \cdot Q_n^s}{100} - \frac{2,5 \cdot W}{100} \quad (2.1)$$

where Q_n^c – is the combustible organic component's net calorific value, MJ/kg; W – is the amount of water, %; A - the quantity of non-combustible materials are present in the solution, %; The latent heat of evaporation of water at 0 °C is taken into consideration by the coefficient 2.5, MJ/kg [14].

Table 2.1 lists several organic compounds' flash and autoignition temperatures as well as their net calorific value values [14].

Table 2.1 – Indicators of combustibility of organic substances

Parameter	Substance				
	Methanol	Ethanol	Propanol	Butanol	Acetone
Q_n^s , MJ/kg	19.95	26.80	31.38	33.47	31.54
$T_{\text{outbreaks}}$, K	284.00	285.00	285.00	302.00	254.00
$T_{\text{self-ignition}}$, K	658.00	619.00	673.00	618.00	738.00

Acetone (C_3H_6O) has been used as a combustible component due to its high calorific value, high mutual solubility with aqueous solutions, and easy availability [14].

The adiabatic combustion temperature, which was calculated using formula (2.2), is a more precise measure of the combustibility of a water-organic nitrate solution [14]:

$$T_{ad} = \frac{(100 - v_{oc}) Q_n^c + v_{oc} \cdot C_{oc} \cdot t_{oc}}{100v}, \quad (2.2)$$

where v_{oc} – is the oxidising agent's bulk percentage (air), %; C_{oc} – is the oxidizer's heat capacity, kJ/(kg·K); t_{oc} – is the oxidizer's temperature, K; v – is the unique equilibrium heat capacity of the WONS products produced during plasma processing, kJ/(kg·K) [14].

Water-organic nitrate solutions, $c T_{ad} \approx 1500$ K, make it possible to carry out energy-efficient plasma processing in air plasma flows and obtain oxide compositions with high physicochemical properties [14].

The results of calculations of the compositions of WONS based on acetone, the lower calorific value, and the adiabatic combustion temperature are shown in tables 2.2 and 2.3, respectively, for the plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions for uranium-thorium DNF based on magnesium oxide and aluminium oxide matrices.

Table 2.2 – Composition of acetone-based WONS solutions for plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions based on the MgO matrix for uranium-thorium DNF

№	Composition WONS, %					Composition FOC, %			Q_{HP} , MJ/kg	T_{ad} , K
	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	$Th(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$	H_2O	C_3H_6O	UO_2	ThO_2	MgO		
$\alpha = UO_2/(UO_2 + ThO_2) = 0.5$										
1	17.70	21.20	6.41	34.70	20	47.5	47.5	5	5.44	1602
2	14.62	17.51	11.18	16.69	20	45.0	45.0	10	5.39	1560
3	10.34	12.39	17.80	39.46	20	40.0	40.0	20	5.32	1504
4	3.960	4.75	27.27	43.02	21	25.0	25.0	50	5.55	1500
$\alpha = UO_2/(UO_2 + ThO_2) = 0.6$										
5	21.22	16.95	6.04	35.42	20	57.0	38.0	5	5.42	1591
6	17.53	14.00	11.18	37.29	20	54.0	36.0	10	5.38	1551
7	12.25	9.79	17.58	39.38	21	48.0	32.0	20	5.64	1574
8	4.69	3.75	26.93	42.63	22	30.0	20.0	50	5.87	1553
$\alpha = UO_2/(UO_2 + ThO_2) = 0.7$										
9	24.75	12.71	6.40	36.14	20	66.5	28.5	5	5.40	1580
10	20.45	10.50	11.17	37.88	20	63.0	27.0	10	5.36	1542
11	14.29	7.34	17.57	39.80	21	56.0	24.0	20	5.63	1568
12	5.47	2.81	26.92	42.79	22	35.0	15.0	50	5.87	1570
$\alpha = UO_2/(UO_2 + ThO_2) = 0.8$										
13	28.27	8.47	6.40	36.87	20	76.0	19.0	5	5.39	1569
14	23.36	7.00	11.17	38.48	20	72.0	18.0	10	5.35	1534

15	16.33	4.89	17.57	40.22	21	64.0	16.0	20	5.62	1552
16	6.26	1.87	26.92	42.95	22	40.0	10.0	50	5.87	1568

Table 2.3 – Composition of acetone-based WONS solutions for plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions based on the Al₂O₃ matrix for uranium-thorium DNF

№	Composition WONS, %					Composition FOC, %			Q _{HP} , MJ/kg	T _{ad} , K
	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Th(NO ₃) ₄ ·6H ₂ O	Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	H ₂ O	C ₃ H ₆ O	UO ₂	ThO ₂	Al ₂ O ₃		
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.5$										
17	19.50	23.36	4.06	34.08	19	47.5	47.5	5	5.14	1584
18	17.24	20.65	7.58	35.53	19	45.0	45.0	10	5.10	1552
19	13.52	16.20	13.37	37.92	19	40.0	40.0	20	5.04	1500
20	6.09	7.30	24.09	41.53	21	25.0	25.0	50	5.59	1560
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.6$										
21	23.38	18.68	4.06	34.88	19	57.0	38.0	5	5.12	1553
22	20.68	16.51	7.57	36.24	19	54.0	36.0	10	5.09	1542
23	16.02	12.79	13.20	37.99	20	48.0	32.0	20	5.36	1572
24	7.31	5.84	24.08	41.77	21	30.0	20.0	50	5.58	1557
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.7$										
25	27.27	14.00	4.05	35.68	19	66.5	28.5	5	5.10	1559
26	24.11	12.39	7.57	36.94	19	63.0	27.0	10	5.07	1531
27	18.68	9.59	13.19	38.54	20	56.0	24.0	20	5.34	1563
28	8.52	4.38	24.08	42.02	21	35.0	15.0	50	5.57	1554
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.8$										
29	31.14	9.33	4.05	36.48	19	76.0	19.0	5	5.08	1548
30	27.54	8.25	7.56	37.65	19	72.0	18.0	10	5.05	1520
31	21.34	6.39	13.19	39.08	20	64.0	16.0	20	5.33	1555
32	9.74	2.92	24.07	42.27	21	40.0	10.0	50	5.57	1550

2.2 Calculation of the process's thermodynamics during the plasma-chemical synthesis of FOC from WONS

The thermodynamics of the plasma-chemical synthesis of complex oxide compositions in air plasma from WONS were calculated using the licenced thermodynamic software «TERRA» for calculating the composition of phases of arbitrary heterogeneous systems. The calculations were performed at atmospheric pressure (0.1 MPa), at a wide range of temperatures (300-4000 K), and with a range of starting air mass fraction values (10-90%).

The total amount of energy required for the plasma processing of WONS solutions was calculated using formula (2.3) [15]:

$$E_{\text{total}} = I_T - I_{300}, \quad (2.3)$$

where I_T – is the enthalpy of the end products after processing 1 kg of WONS in air-plasma at temperature T, MJ/kg; I_{300} – is the enthalpy of the WONS plasma-processed products at 300 K in temperature, MJ/kg.

The formula (2.4) was used to calculate and evaluate the specific energy required to produce 1 kg of fuel oxide composition [15]:

$$E_{\text{sp}} = \mathcal{E}_{\text{total}}/Z_{\text{FOC}}, \quad (2.4)$$

where Z_{FOC} – the plasma-processed WONS solution's composition of the products' mass percentage of the fuel oxide component.

Appendix A displays the usual equilibrium compositions of the acetone-based plasma-processed solutions of WONS-1 through WONS-32.

Figures 2.1 to 2.8 present the findings of an estimation of the specific energy required for the plasma-chemical synthesis of FOC – 1 ÷ 32 from solutions of WONS – 1 ÷ 32 based on acetone.

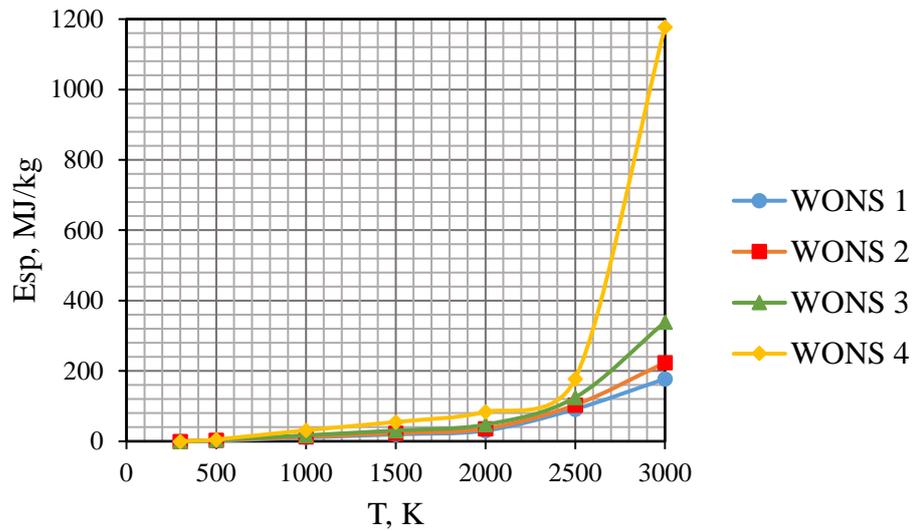


Figure 2.1 – Specific energy requirements for the plasma-chemical synthesis of FOC – 1÷4 from WONS – 1÷4 from solutions based on acetone ($\alpha = 0.5$) with a MgO matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 1÷4 based on acetone (Figure A1), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 57% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{MgO}(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ » of a specified composition FOC – 1÷4.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 19.83 MJ/kg to 54.97 MJ/kg at 1500 K when the amount of magnesium oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 57% to 59%.

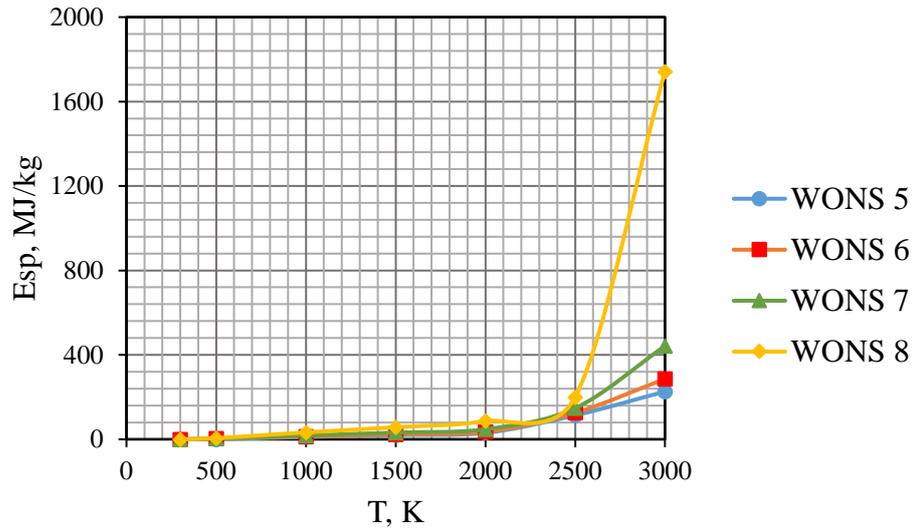


Figure 2.2 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 5 ÷ 8 from WONS – 5 ÷ 8 solutions based on acetone ($\alpha = 0.6$) with an MgO matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 5÷8 based on acetone (Figure A2), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 57% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{MgO}(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{-ThO}_2\text{-MgO}$ » of a specified composition FOC – 5÷8.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 19.98 MJ/kg to 57.26 MJ/kg at 1500 K when the amount of magnesium oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{-ThO}_2\text{-MgO}$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 57% to 59%.

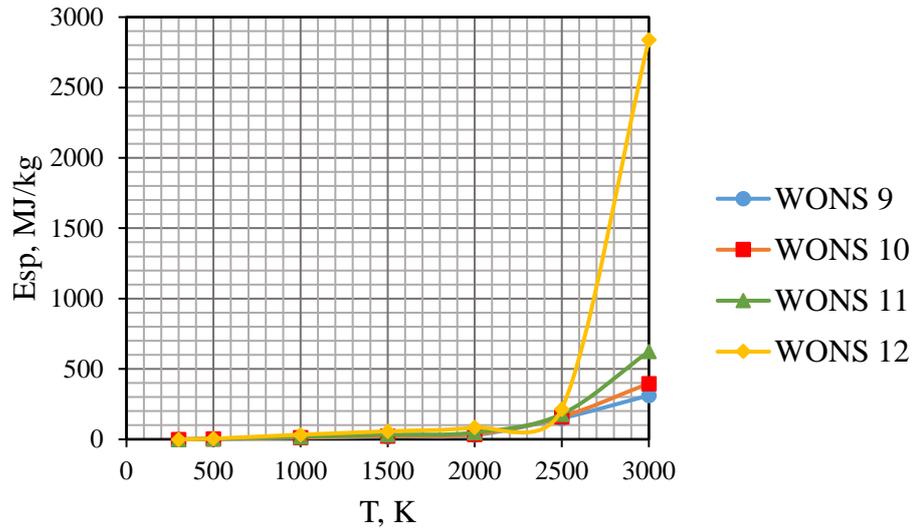


Figure 2.3 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 9 ÷ 12 from WONS – 9 ÷ 12 solutions based on acetone ($\alpha = 0.7$) with an MgO matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 9 ÷ 12 based on acetone (Figure A3), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 57% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{MgO}(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ » of a specified composition FOC – 9 ÷ 12.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 20.14 MJ/kg to 57.02 MJ/kg at 1500 K when the amount of magnesium oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 57% to 59%.

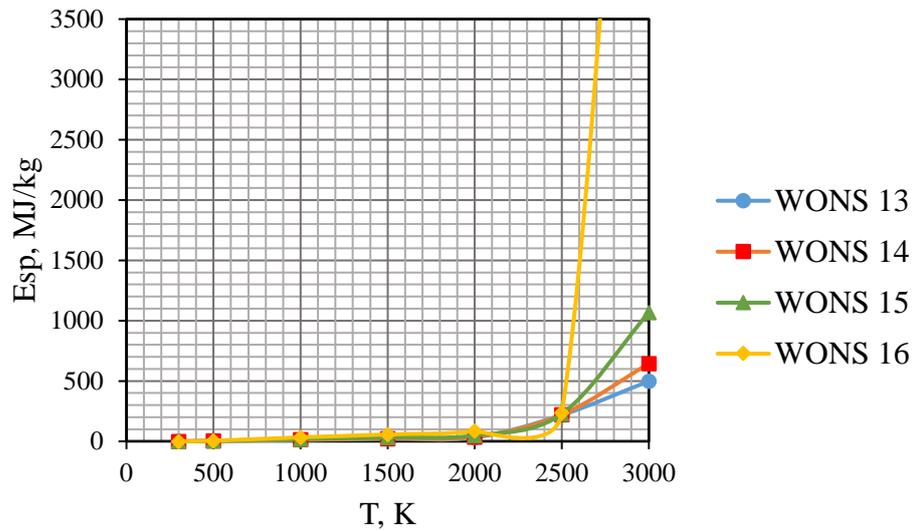


Figure 2.4 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 13 ÷ 16 from WONS – 13 ÷ 16 solutions based on acetone ($\alpha = 0.8$) with an MgO matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 13 ÷ 16 based on acetone (Figure A4), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 57% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{MgO}(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ » of a specified composition FOC – 13 ÷ 16.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 20.30 MJ/kg to 57.05 MJ/kg at 1500 K when the amount of magnesium oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO}_2\text{–MgO}$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 57% to 59%.

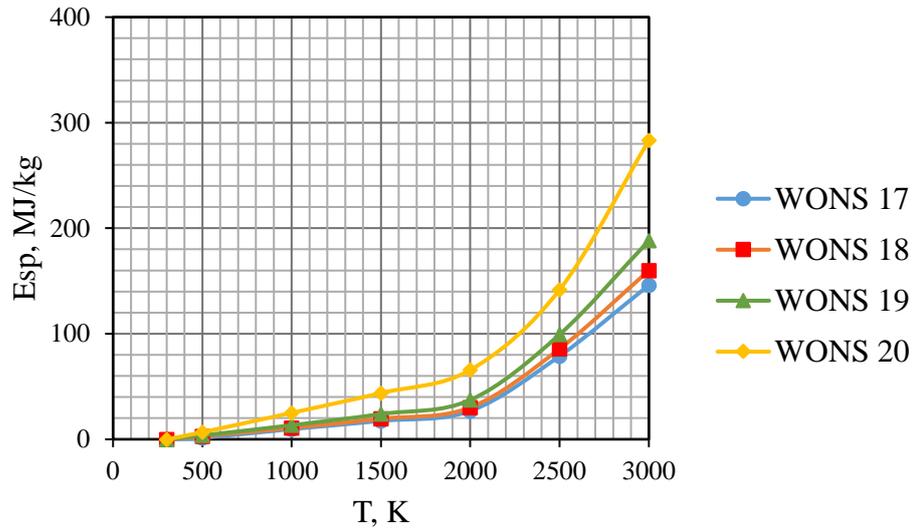


Figure 2.5 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 17 ÷ 20 from WONS – 17 ÷ 20 solutions based on acetone ($\alpha = 0.5$) with an Al_2O_3 matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 17 ÷ 20 based on acetone (Figure A5), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 55% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{– Al}_2\text{O}_3$ » of a specified composition FOC – 17 ÷ 20.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 17.43 MJ/kg to 43.82 MJ/kg at 1500 K when the amount of aluminum oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 55% to 57%.

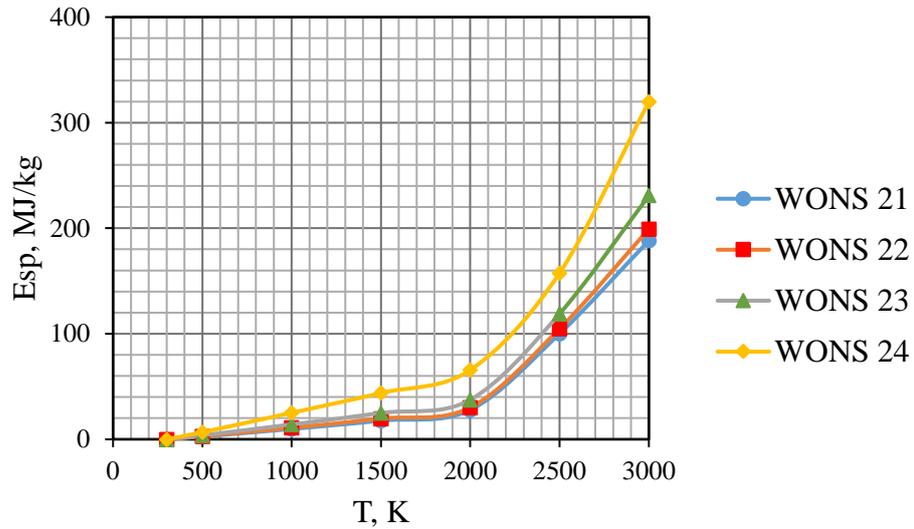


Figure 2.6 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 21 ÷ 24 from WONS – 21 ÷ 24 solutions based on acetone ($\alpha = 0.6$) with an Al_2O_3 matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 21 ÷ 24 based on acetone (Figure A6), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 55% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{–Al}_2\text{O}_3$ » of a specified composition FOC – 21 ÷ 24.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 17.69 MJ/kg to 43.88 MJ/kg at 1500 K when the amount of aluminum oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 55% to 57%.

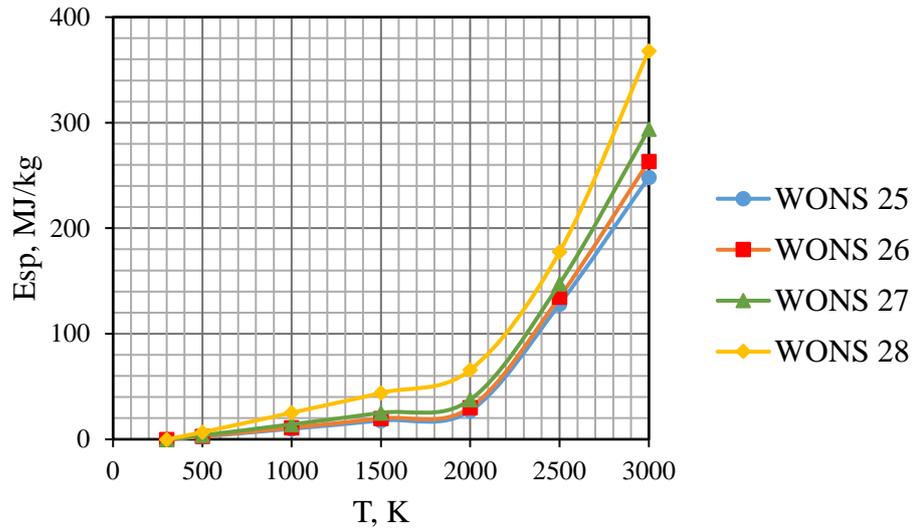


Figure 2.7 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 25 ÷ 28 from WONS – 25 ÷ 28 solutions based on acetone ($\alpha = 0.7$) with an Al_2O_3 matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 25 ÷ 28 based on acetone (Figure A7), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 55% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{–ThO}_2\text{– Al}_2\text{O}_3$ » of a specified composition FOC – 25 ÷ 28.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 17.84 MJ/kg to 43.98 MJ/kg at 1500 K when the amount of aluminum oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{–ThO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 55% to 57%.

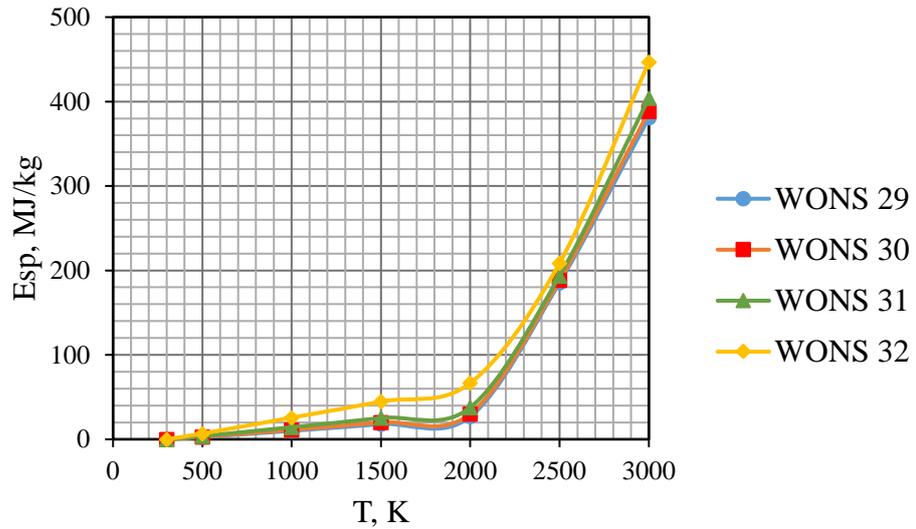


Figure 2.8 – Specific energy requirements for the process of plasma-chemical synthesis of FOC – 29 ÷ 32 from WONS – 29 ÷ 32 solutions based on acetone ($\alpha = 0.8$) with an Al_2O_3 matrix

According to an analysis of the equilibrium compositions of the plasma-processed solutions of WONS – 29 ÷ 32 based on acetone (Figure A8), the main products in the condensed phases with a mass fraction of air of 55% are oxides $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{ThO}_2(\text{c})$ and $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{c})$, which form fuel oxide compositions « $\text{UO}_2\text{-ThO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ » of a specified composition FOC – 29 ÷ 32.

In this instance, a negligible quantity of carbon (c) is created at 300 K, and its concentration rises dramatically until the mass fraction of air falls below 57%. Esp increases from 17.90 MJ/kg to 44.69 MJ/kg at 1500 K when the amount of aluminum oxide in the TOC is increased from 5% to 50%. Instead of $\text{UO}_2(\text{c})$, $\text{U}_3\text{O}_8(\text{c})$ forms at 1600 K, resulting in the compositions « $\text{U}_3\text{O}_8\text{-ThO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ ». This occurs when the mass fraction of air is increased from 55% to 57%.

Comparative tables of the obtained fuel oxide compositions are given in Appendix A.

Based on the calculations, the following best circumstances for the plasma-chemical synthesis of oxide compositions of FOC of the required composition from WONS solutions were established, which guarantee the plasma-chemical synthesis

of oxide compositions of the required composition «UO₂-ThO₂-MgO» and «UO₂-ThO₂-Al₂O₃» in air plasma:

- composition WONS – 2, 6, 10, 14;
- minimum mass percentage of air plasma coolant: 57%;
- process temperature: 1500±200 K;
- specific energy consumption for obtaining 1 kg FOC «UO₂-ThO₂-MgO»: 23,38 – 23,83 MJ/kg.

3 Experimental part

3.1 Description of the experimental setup

Experimental studies were carried out on a laboratory plasma stand (Figure 3.1) based on a high-frequency generator HFG8-60/13-01 on model WONSs, including an organic component (acetone), as well as solutions of WNSs of the matrix metal (magnesium, aluminum), neodymium and cerium instead of fissile metals (uranium and thorium) [16].

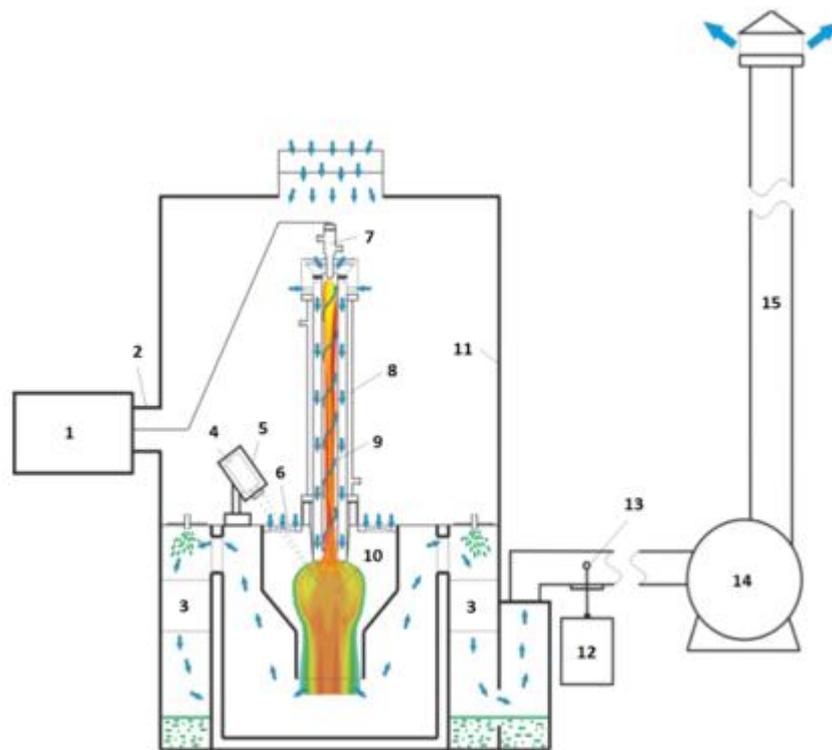


Figure 3.1 – Scheme of a laboratory plasma stand based on a high-frequency generator HFG8-60 / 13-01:

- 1 – high-frequency generator; 2 – coaxial output; 3 – node "wet" purification of exhaust gases; 4 – pyrometer IPE 140/45; 5 – protective casing of the pyrometer; 6 – plasma-chemical reactor with an impeller; 7 – copper electrode;
- 8 – HF-plasmatron; 9 – HF-discharge; 10 – dispersant; 11 – housing;
- 12 – gas analyzer; 13 – sampler; 14 – exhaust fan; 15 – air duct

A high-pressure exhaust fan 14 pumps air through the HF plasma torch 8 and the reactor of the plasma stand [16].

An impeller with a constant input area $S_{pg}=25 \text{ cm}^2$ is installed at the entrance to the HF-plasmatron, which spins the incoming plasma gas into the discharge chamber. Pyrometer 4 is installed in the plasma jet reactor to measure the operating temperature.

After the reactor, a gas analyzer 12 with a sampler 13 is installed, which determines the content of pollutants (CO, NO, NO₂) in the exhaust gases after the reactor.

Assembly drawing of the electrode is presented in Appendix B.

3.2 Calculating the gas flow rate through the HF-plasma torch to create plasma

The air flow through the duct is determined using the Pito tube (Figure 3.2).

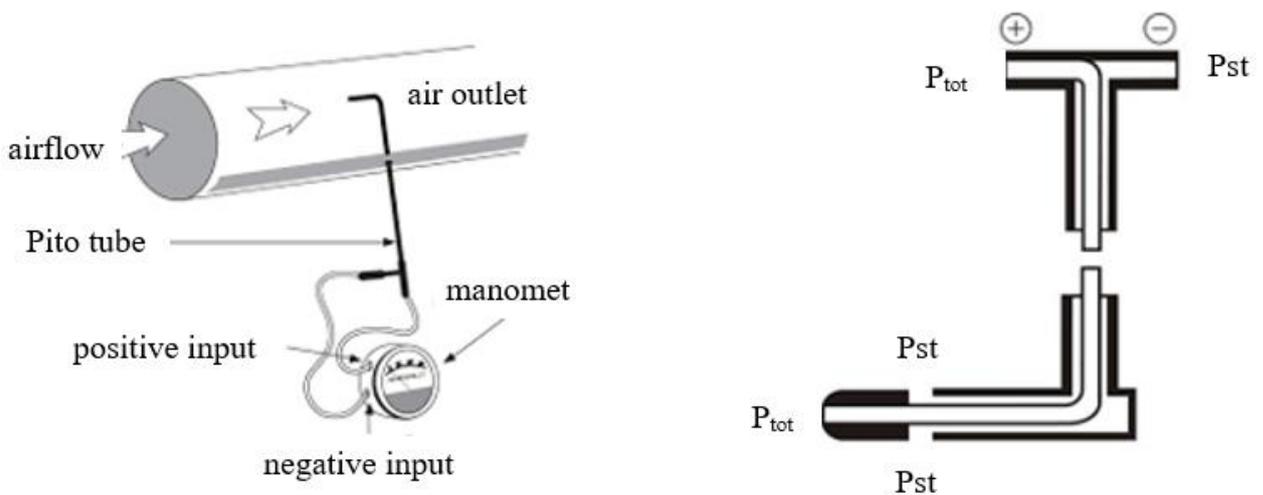


Figure 3.2 – Scheme for determining the air flow in the duct using the Pito tube

The pitot tube measures the head generated by the ram air according to the following formula:

$$f = \frac{\rho V^2}{2} = P_{tot} - P_{st}, \quad (3.1)$$

where P_{tot} – total pressure, Pa;

P_{cm} – static pressure, Pa;

ρ – air density at temperature T, kg/m³;

$\frac{\rho V^2}{2}$ – the pressure created by the oncoming air flow.

Free flow velocity from formula 3.1:

$$V = \left[\frac{2(P_{tot} - P_{st})}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3.2)$$

Volumetric (mass) air flow through the duct:

$$Q = S \cdot V, \quad (3.3)$$

where S – duct cross-sectional area.

The flow rate of the plasma-forming gas (air) through the HF plasma torch (Q_p) and the air coolant through the gas duct (Q_g), which rely on the size of the input area of the reactor impeller, were both graphed based on the findings of the data acquired.

Figures 3.3 and 3.4 illustrate how the reactor impeller's input area affects the mass air flow via the HF plasmatorch and the gas duct.

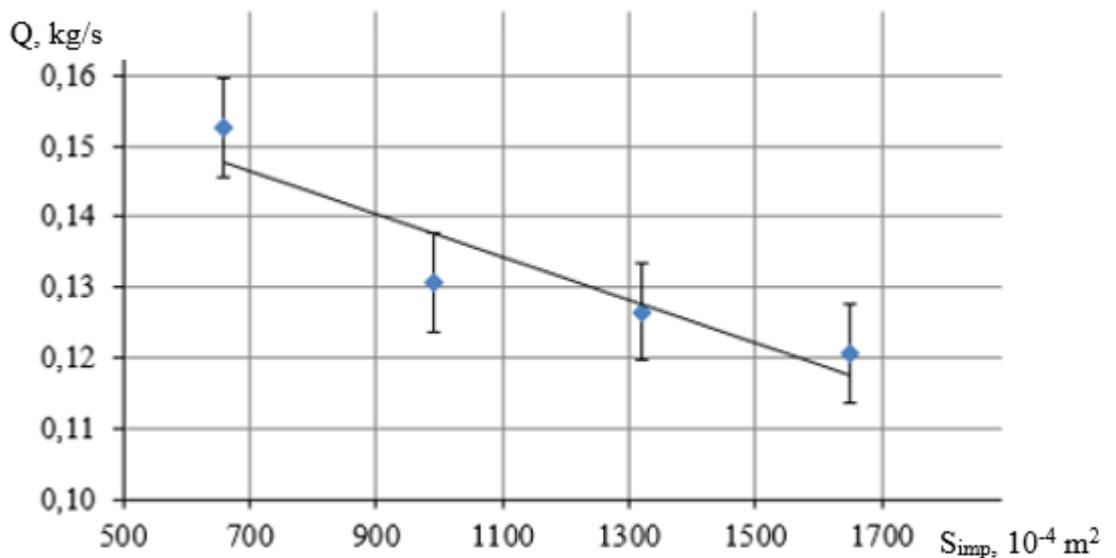


Figure 3.3 – Effect of the reactor impeller's input area on the amount of plasma-forming gas flowing through the HF plasma torch

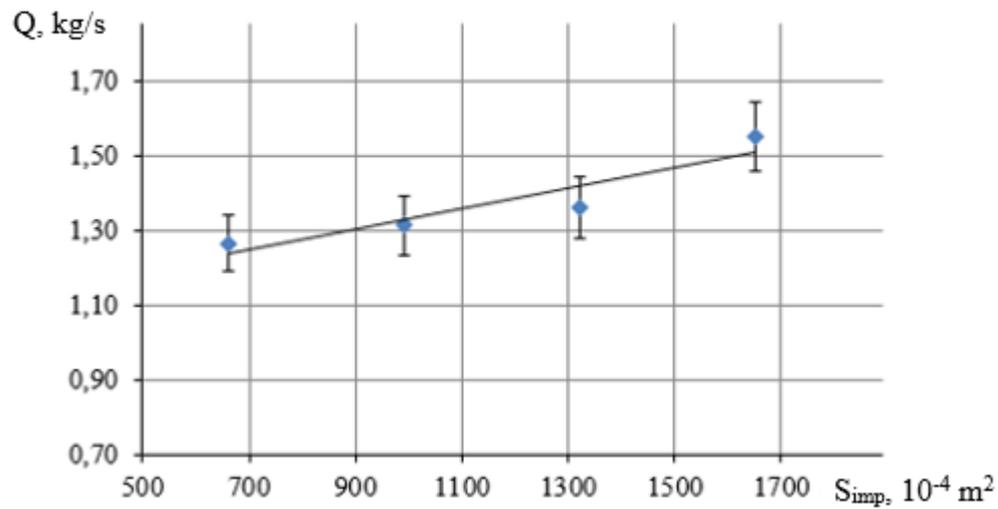


Figure 3.4 – Effect of the reactor impeller's input area on the pace at which the plasma-forming gas flows through the gas duct in terms of mass flow

3.3 Calculation of gas flow through the reactor

Calculation of the reactor's air flow:

$$Q_R = Q_g - Q_p, \quad (3.4)$$

where Q_R – air flow through the reactor, kg/s;

Q_g – air flow through the gas duct, kg/s;

Q_p – is the pace at which the gas that forms plasma flows through the HF plasma torch., kg/s.

A graph illustrating the relationship between the gas flow through the reactor and the area of the gate was created using the data gathered and is displayed in Figure 3.5.

The data for plotting graphs 3.3 – 3.5 are given in Appendix C.

Thus, by changing the gate of the input area of the impeller, it is possible to smoothly control the air flow through the plasma torch.

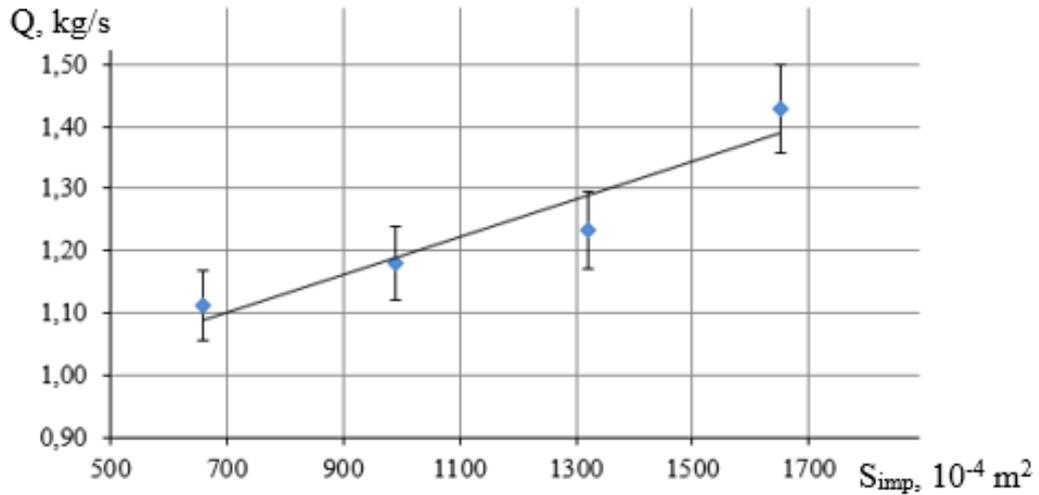


Figure 3.5 – Impact of the reactor impeller's input area on the mass flow rate of the reactor's air coolant

The results imply that the air flow through the reactor and plasma torch may be smoothly regulated by altering the input area of the reactor impeller.

3.4 Calculation of the main technological parameters of the installation

Power consumed by the HFG from the industrial network:

$$P_0 = I_a U_a, \text{ kW}, \quad (3.5)$$

where I_a – anode current, A;

U_a – voltage at the generator lamp anode, kV.

Power released at various units of the installation (generator lamp anode (a), grid inductance (g), electrode (e), housing (h)):

$$P_i = m_i C \Delta t_i \cdot 4,186, \text{ kW}, \quad (3.6)$$

where m_i – mass consumption of cooling water, kg/s;

C – heat capacity of water, kcal/kg·°C,

Δt_i – temperature variation in the cooling water, °C.

HF-discharge power:

$$P_d = P_0 - (P_a + P_g + P_e), \text{ kW}. \quad (3.7)$$

The plasma jet's power is calculated as the difference between the HF

discharge's power and the power delivered onto the plasma torch's body.:

$$P_j = P_d - P_h, \text{ kW}. \quad (3.8)$$

Plasma jet enthalpy:

$$H = H_0 + \frac{P_d}{Q_n}, \text{ kJ/kg}, \quad (3.9)$$

where H_0 – enthalpy of the gas mixture at temperature 300 K;

Q_n – mass consumption of plasma gas, kg/s.

Efficiency of HF-plasmatron:

$$\eta = \left(\frac{P_j}{P_d} \right) \cdot 100, \%. \quad (3.10)$$

Installation efficiency of the plasma stand:

$$\eta = \left(\frac{P_j}{P_0} \right) \cdot 100, \%. \quad (3.11)$$

Appendix D contains the data that were acquired. The plasma torch's operating mode was selected such that the flame jet's temperature did not fall below the point at which the processed WONS solution's combustible component ignites.

The following were found to be the ideal operating conditions for a high-frequency generator, a high-frequency torch plasma torch, and a plasma-chemical reactor in a laboratory plasma stand:

- HF generator (anode voltage 5.6 kV, anode current 3.5 A, grid current 1.2 A);
- HF plasma torch (air plasma jet power 15.0 kW);
- reactor (air flow through the reactor 0.95 kg/s, impeller inlet area 0.132 m²).

The HF plasma torch's mode of operation was chosen such that the flame jet's temperature did not fall below the WONS solution's processed ignition temperature.

3.5 Preparation and plasma processing of WONS solutions

Model water-organic nitrite solutions were prepared using neodymium nitrate salts instead of uranyl nitrate, cerium salts instead of thorium, and magnesium nitrate to form a matrix in the form of magnesium oxide as part of the «neodymium oxide – cerium oxide – magnesium» oxide oxide composition.

Aqueous solutions of metal nitrate salts were prepared using distilled water and mixed with an organic component (acetone) to obtain water-organic nitrate solutions of metal salts of a given composition. The prepared WONS solution is fed into the reactor through a disperser at a constant flow rate of 300 l/h. The reactor is then «ignited» by an air plasma jet produced by an HF plasma torch, the dispersed solution is processed in an air plasma flow, and oxide compositions are produced plasma-chemically at a temperature of 1373 ± 50 K. The temperature was controlled by a high-precision digital infrared pyrometer along the carbon dioxide absorption line.

The dust-vapor-gas mixture from the reactor was supplied to the centrifugal bubbling system in the «wet» unit of the exhaust gas purifier and quenched (cooled) with regenerated water to form an aqueous suspension of the oxide composition. The cleaned off-gas was removed by a high-pressure exhaust fan and released into the atmosphere through an air duct. The resultant solution was then transferred to a stainless-steel tank, where samples were obtained and the oxide composition's particle size distribution was calculated using laser diffraction. Then the aqueous suspension was allowed to settle, the precipitate formed was separated, filtered off, and calcined at 423 K for 20 min.

3.6 Studying the physicochemical characteristics of oxide compositions

On the analytical apparatus of the Centre for Collective Use Scientific and Educational Innovation Centre «Nanomaterials and Nanotechnologies» of the Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «National

Research Tomsk Polytechnic University», studies of the morphological, structural, crystalline, and other properties of the obtained oxide compositions were conducted.

To measure the particle size distribution of aqueous suspensions of oxide compositions, the SALD-7101 equipment (made by «Shimadzu», Japan) was utilised in the laser diffraction method.

Using a Sorbi-M equipment (produced by «META», Russia), the Brunauer-Emmett-Teller technique was used to calculate the specific surface area of the powders under study (S_{sp}). Based on the supposition that the data were spherical in geometry, the collected data were recalculated into particle size.

Next, the powders' phase composition, the detected phases' crystal structure's characteristics, and the typical diameters of the areas where coherent scattering of crystallites (D_{cr}) occurs were all determined.

The composition and processing modes of WONS solutions, the physicochemical and technological properties of the obtained simple and complex oxide compositions, simulating the plasma-chemical synthesis of uranium-thorium dispersive nuclear fuel in an air-plasma flow, are presented in Appendix E.

From the analysis of the presented results, it follows that at an RPV consumption of 2.8 kg/s for quenching OC and a frequency of 35 Hz of the dispersant, an increase in the initial concentration of metal salts ($Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$) from 300 g/l to 1500 g/l in solutions WONS – 33, 34, 35 leads to a decrease in the size of the resulting cerium oxide particles from 9.0 μm to 4.8 μm (LD method). At the same time, the specific surface of OC also decreases from 10.3 m^2/g to 4.9 m^2/g (BET).

A decrease in the size of the formed OC particles from 9.8 up to 9.6 μm (LD method) is caused by an increase in the mass fraction of the matrix (MgO) from 10% to 20% in the composition of OK ($\alpha = 0.5$) obtained from solutions of WONS - 2, 3. This is due to an increase in the dispersant's frequency: 50 Hz.

An increase in the mass fraction of the matrix (MgO) from 10% to 20% in the composition of OC (at $\alpha = 0.6$) obtained from solutions of WONS – 6, 7 also leads at a frequency of 50 Hz of the dispersant to a decrease in the size of the formed

particles of OC from 8, 9 μm to 7.5 μm (LD method). An increase in the mass fraction of the matrix (MgO) from 10% to 30% in the composition of OC (at $\alpha = 0.7$), obtained from solutions of WONS – 10, 11, also leads at a frequency of 50 Hz of the dispersant to a decrease in the size of the formed particles of OC from 9, 3 μm to 8.9 μm (LD method).

This suggests that the plasma processing of dispersed solutions of these WONSs in an air-plasma flow also leads to the plasma-chemical synthesis of nanosized OCs.

Figure 3.6 shows a histogram of the size distribution of particles of an aqueous suspension of OC-2 (LD method).

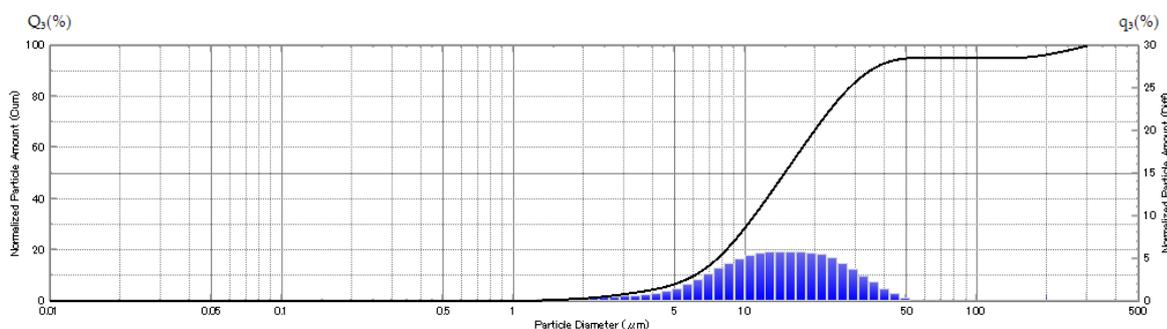


Figure 3.6 – Histogram of particle size distribution of aqueous suspension
OC-2

The size distribution of the OC-2 particles in an aqueous solution is rather broad and does not clearly have a maximum.

The characteristic values of the median particle (agglomerate) distribution values vary from 2 to 45 μm . Particle size (agglomerates) D_{50} is 14.7 μm on average. A sample's typical CSR size is 89 nm.

In Figure 3.7, the SEM picture of the synthetic OC-2 powder is displayed.

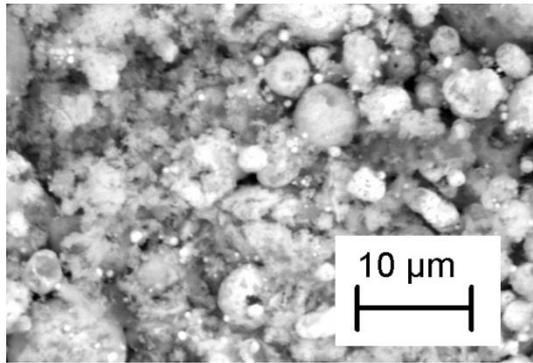


Figure 3.7 – SEM image of the morphological structure of OC-2 powder particles

The SEM picture analysis reveals the existence of several phases, tiny dense particles, and a reasonably wide range of particle sizes.

The bulk of the particles are spherical, according to microscopy. The specific surface area measured by the BET method was $12.8 \text{ m}^2/\text{g}$.

The obtained value of the area was translated into the particles' size, which was determined to be 76 nm (BET), on the assumption that the particles had a spherical form.

The test sample of OC-2 powder had a bulk density of $0.462 \text{ g}/\text{cm}^3$, which was determined in accordance with GOST 27801-93.

The compressibility characteristics of the OC-2 powder, which belongs to the fourth pressing complexity group, exhibit values typical of most oxide materials.

Thus, the production of ceramic tablets from this powder is possible using commercially available equipment and molds made of carbon tool steel.

The pressing of the powder material was carried out in a steel cylindrical mold with a diameter of 10 mm under a pressure of 400 MPa, followed by sintering the obtained compacts at a temperature of $1300 \text{ }^\circ\text{C}$.

A micrograph of sintered ceramics is shown in Figure 3.8.

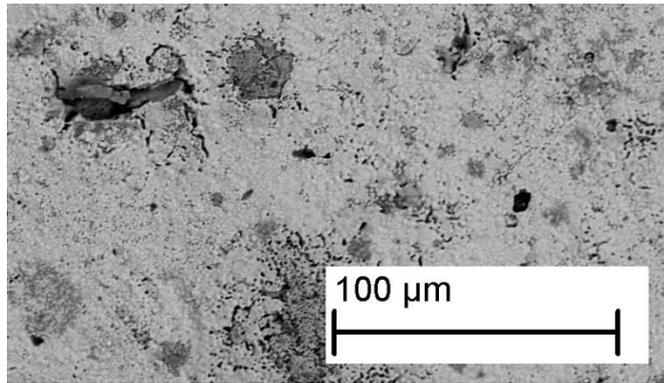


Figure 3.8 – Micrograph of sintered ceramics from OC-3 powder

As a result of the study, it was found that the plasma processing of dispersed WONS and the modes of plasma-chemical synthesis of nanosized OCs in an air-plasma flow have good physicochemical and technological properties that meet the requirements for dispersed nuclear fuel for various purposes. These factors also affect the frequency of the dispersant and the consumption of RPV.

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В настоящее время перспективность научного исследования обуславливается не только важностью разработки в какой-либо сфере деятельности, но и его коммерческой эффективностью. Оценка коммерческого потенциала разработки является наиболее важным фактором при поиске финансовых источников для реализации научного исследования и его последующей коммерциализации.

Целью данного раздела является оценка плазмохимического синтеза и исследования оксидных композиций, имитирующих дисперсионное уран-ториевое ядерное топливо с позиции ресурсоэффективности и конкурентоспособности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Определить потенциальных потребителей результатов исследования;
2. Провести анализ конкурентных технических решений;
3. Выполнить SWOT-анализ: описать сильные и слабые стороны проекта, выявить возможности и угрозы для реализации проекта;
4. Оценить степень готовности научной разработки к коммерциализации;
5. Построить календарный план-график проведения работ научно-исследовательского проекта;
6. Рассчитать бюджет научного исследования;
7. Определить ресурсную, финансовую, бюджетную, социальную и экономическую эффективности исследования.

В работе необходимо дать комплексное описание и анализ финансово-экономических аспектов выполненной работы, по изучению процесса синтеза в воздушной плазме оксидных композиций, и оценить полные затраты на

исследование (проект), а также дать приближенную экономическую оценку результатов ее внедрения. Это в свою очередь позволит с помощью традиционных показателей эффективности инвестиций оценить экономическую целесообразность осуществления работы.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

К потенциальным потребителям результатов исследований по получению топливных оксидных композиций можно отнести предприятия по фабрикации ядерного топлива, исследовательские и энергетические ядерные реактора эксплуатирующие данный вид ядерного топлива.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования менее ресурсоёмких технологий получения ядерного топлива (ЯТ). Результаты сегментирования представлены на рисунке 4.1.

		Получение ЯТ			
		Исследовательские ядерные реакторы	Промышленные реакторы	Научная отрасль	Металлургия
Потребность	Сильная				
	Средняя				
	Слабая				

Рисунок 4.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию дисперсионного ЯТ

Из анализа карты можно сделать вывод, что наибольшую потребность в данном виде топлива испытывают научные отрасли и ядерные реакторы.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в разрабатываемый объект.

Чтобы выявить ресурсоэффективность разработки необходимо провести анализ конкурентных технических решений с помощью оценочной карты, приведенной в таблице 4.1.

В таблице представлены следующие технические показатели конкурентоспособности исследований: плазмохимический синтез оксидных композиций (П), золь-гель метод (З), метод химического осаждения (Х) для получения уран-ториевого топлива.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – слабая позиция, а 5 – сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

К преимуществам плазмохимического синтеза сложных оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов следует отнести: одностадийность, низкие удельные энергозатраты, гомогенное распределение фаз с заданным стехиометрическим составом, возможность активно влиять на размер и морфологию частиц.

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б _п	Б _з	Б _х	К _п	К _з	К _х
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Повышение производительности труда	0,25	5	5	2	0,75	0,75	0,50
2. Удобство в эксплуатации	0,12	5	5	2	0,60	0,60	0,24
3. Энергоэкономичность	0,10	4	4	3	0,40	0,40	0,30
4. Надежность	0,12	3	3	5	0,36	0,36	0,60

5.Простота эксплуатации	0,15	5	5	2	0,75	0,75	0,30
Экономические критерии оценки эффективности							
6. Конкурентоспособность продукта	0,07	5	4	2	0,35	0,28	0,14
7. Уровень проникновения на рынок	0,07	3	2	5	0,21	0,14	0,35
8. Цена	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
9. Предполагаемый срок эксплуатации	0,05	3	3	5	0,15	0,15	0,25
Итого	1	38	35	29	3,92	3,71	2,89

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (4.1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Коэффициент конкурентоспособности предприятия:

$$k_k = \frac{K_{II}}{K_{3чср}} = \frac{3,92}{(3,71+2,89)/2} = 1,19. \quad (4.2)$$

В результате анализа, получен коэффициент конкурентоспособности $k_k > 1$, следовательно, предложенный метод получения оксидных композиций для ЯТ является конкурентоспособным среди представленных промышленных методов.

4.2 SWOT-анализ

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

Результатом является итоговая матрица, в которой описываются сильные и слабые стороны научного исследования, а также возможности и угрозы, которые могут повлиять на осуществление проекта.

В таблице 4.2 представлена упрощенная матрица анализа сильных и слабых сторон проекта.

Таблица 4.2 – Упрощенная матрица SWOT-анализа

Сильные стороны: С1. Предварительное моделирование. С2. Возможность влиять на размеры частиц в реальном времени. С3. Экологичность метода.	Слабые стороны: Сл1. Затраты на отработку технологии и ее внедрение. Сл2. Сложность конструкции технологического оборудования.
Возможности: В1. Расширение рынка по методам получения топливных оксидных композиций. В2. Рост спроса со стороны предприятий Росатома.	Угрозы: У1. Усовершенствования конкурентных технических решений. У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.

В таблицах 4.3 – 4.6 представлены интерактивные матрицы SWOT-анализа.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица соответствия (В-С)

Сильные стороны проекта				
Возможности проекта		С1	С2	С3
	В1	+	0	0
	В2	0	+	+

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица соответствия (В-Сл)

Слабые стороны проекта			
Возможности проекта		Сл1	Сл2
	В1	+	0
	В2	0	+

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица соответствия (У-С)

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		С1	С2	С3
	У1	+	-	0
	У2	-	+	0

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица соответствия (У-Сл)

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		Сл1	Сл2
	У1	+	-
	У2	0	+

Итоговая матрица SWOT-анализа представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT – анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Предварительное моделирование.</p> <p>С2. Возможность влиять на размеры частиц в реальном времени.</p> <p>С3. Экологичность метода.</p>	<p>Сл1. Затраты на отработку технологии и ее внедрение.</p> <p>Сл2. Сложность конструкции технологического оборудования.</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Расширение рынка по методам получения топливных оксидных композиций.</p> <p>В2. Рост спроса со стороны предприятий Росатома.</p>	<p>В1С1. Синтез разнообразных оксидных композиций для ядерной энергетики.</p> <p>В2С2. Использование практически всего объема исходного раствора</p> <p>В2С3. Высокое качество целевого продукта на выходе.</p>	<p>В1Сл1. Необходимость отработки технологии для получения лицензии на производство ядерных материалов.</p> <p>В2Сл2. Высокая вероятность износа конструктивных элементов при непрерывной работе.</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Усовершенствования конкурентных технических решений.</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение.</p>	<p>У1С1. Возможность оптимизации метода лазерной сублимации для синтеза оксидных композиций.</p> <p>У2С2. Привлечение дополнительного финансирования со стороны государства на увеличение мощности технологического оборудования.</p>	<p>У1Сл1. Финансирование технологий отработанных на протяжении десятков лет.</p> <p>У2Сл2. Возможность возникновения простоя производства в случае поломки.</p>

Таким образом, для успешного продвижения технологии необходимо совершенствование и отработка технологии синтеза оксидных композиций для привлечения предприятий Росатома и получение лицензии на производство, а также обеспечение оборудования запасными комплектующими для обеспечения стабильной работы.

4.3 Планирование научно-исследовательских работ

4.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта и исполнитель. После чего, в рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов.

В таблице 4.8 представлена структура работ в рамках выполнения курсового проекта.

Таблица 4.8 – Перечень этапов работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Изучение литературных источников по теме работы	1	Выбор направления исследований	Руководитель проекта, исполнитель
	2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель
	3	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель
	5	Моделирование и проведение экспериментов	Исполнитель
	6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Исполнитель
	7	Анализ и обработка полученных результатов	Исполнитель
Обобщение и представление результатов	8	Составление отчета по работе	Руководитель проекта, исполнитель

4.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4.3)$$

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

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

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ дн.}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_r , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{C_i}, \quad (4.4)$$

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

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

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

$$T_{pi} = \frac{6,2}{1} = 6,2 \text{ раб.дн.}$$

4.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Разработка графика работ осуществляется с учетом временных показатели проведения научного исследования представленных в таблице 4.9.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4.5)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}}, \quad (4.6)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году, 365 дней;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году, 104 дня;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году, 14 дней.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} округлены до целого числа.

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48.$$

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Трудоёмкость работ			Исполнители	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			
1	1	2	1,4	Руководитель, исполнитель	0,7	1

2	1	3	1,8	Исполнитель	1,8	3
3	5	8	6,2	Исполнитель	6,2	9
4	6	8	6,8	Исполнитель	6,8	10
5	6	8	6,8	Исполнитель	6,8	10
6	12	14	12,8	Исполнитель	12,8	19
	20	23	21,2	Исполнитель	21,2	31
8	3	5	3,8	Руководитель, исполнитель	1,9	3
Итого:			60,8		58,2/2,6	86

На основе расчета временных показателей проведения научного исследования построен план-график представлен в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения работы

№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя	Тк, кал.дн.	Продолжительность выполнения работ											
				Февраль			Март			Апрель			Май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Выбор направления исследований	Руководитель проекта, исполнитель	1			█									
2	Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	3			█									
3	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	9				█								
4	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Исполнитель	10					█							
5	Моделирование и проведение экспериментов	Исполнитель	10						█						
6	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Исполнитель	19							█	█	█			

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² т.д.);

$Ц_i$ – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих сайтах в Интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками). Расходы на материальные затраты представлены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Материальные затраты

Название	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб
Баллон со сжатым воздухом	м ³	1	290	290
Баллон с углекислым газом	м ³	1	250	250
Неодим нитрат 6-водный	Кг	1	12000	12000
Церий (III) нитрат 6-водный	Кг	1	7000	7000
Магний нитрат 6-водный	Кг	1	5000	5000
Бумага, формат А4	Пачка	1	295	295
Картридж для принтера	Шт	1	2650	2650
Программное обеспечение Windows	Шт	1	13000	13000
Программное обеспечение Terra	Шт	1	15000	15000
Аренда компьютера	Шт	1	5000	5000
Ацетон	Л	1	191,04	191,04
Итого:				60676,04

4.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

Расчёт амортизации производится на находящееся в использовании оборудование.

Все работы для ВКР проводились на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

В таблице 4.12 представлены затраты на оборудование необходимого для научных работ.

Таблица 4.12 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01	1	15	10000000	10000000
Итого:	10000000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.8:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.8)$$

где n – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.9:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m, \quad (4.9)$$

где I – итоговая сумма, тыс. руб.;

m – время использования, мес.

Рассчитаем амортизацию плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{15} = 0,06.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

Модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01:

$$A = \frac{H_A \cdot I}{12} \cdot m = \frac{0,06 \cdot 10000000}{12} \cdot 4 = 200000 \text{ руб.}$$

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования для экспериментальных работ. Амортизация для плазменного модуля на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01, учитывая, что срок полезного использования 15 лет составила 0,06, а общая сумма амортизационных отчислений 200000 рублей.

4.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

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

$$Z_{zn} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.10)$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p, \quad (4.11)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_\partial}, \quad (4.12)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб. (в качестве месячного оклада дипломника выступает оклад инженера, который составляет 14874,45 руб. и 38050 руб. для научного руководителя, доцента, кандидата наук).

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- При отпуске в 48 раб. дней $M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;
- При отпуске в 24 раб. дня $M=11,2$ месяца, 5-дневная неделя.

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{mc}(1 + k_{np})k_p, \quad (4.13)$$

где Z_{tc} – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

k_{np} – премиальный коэффициент, равный 0,3;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (г. Томск).

Баланс рабочего времени научного руководителя и исполнителя представлен в таблице 4.13.

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени.

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер (Исполнитель)
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
– выходные дни	52	104
– праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени:		
– отпуск	48	24
– невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	223

Расчет заработной платы для научного руководителя:

$$Z_m = 38050 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 64304,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{64304,5 \cdot 10,4}{251} = 2664,4 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 2664,4 \cdot 3 = 7993,2 \text{ руб.}$$

Приведем расчет заработной платы для инженера:

$$Z_{м} = 14874,45 \cdot (1+0,3) \cdot 1,3 = 25137,8 \text{ руб.}$$

$$Z_{дн} = \frac{25137,8 \cdot 11,2}{223} = 1262,5 \text{ руб.}$$

$$Z_{осн} = 1262,5 \cdot 59 = 74492,8 \text{ руб.}$$

Результаты расчета основной заработной платы научного руководителя и исполнителя представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	Оклад, руб.	$k_{пр}$	k_p	$Z_{м}$, руб	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб
Научный руководитель	38050	0,3	1,3	2664,4	55952,4	3	7993,2
Инженер (Исполнитель)	14874,45	0,3	1,3	25137,8	1262,5	59	74492,8
Итого:							82486,0

4.4.4 Дополнительная заработная плата

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

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.14)$$

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

$k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты ($k_{доп}=0,12$ – среднее);

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

В таблице 4.15 приведен расчёт дополнительной заработной платы.

Таблица 4.15 – Дополнительная заработная плата исполнителей.

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата, руб	7993,2	74492,8
Дополнительная зарплата, руб	959,2	8939,1
Зарплата исполнителя, руб	8952,4	83431,9
Итого по статье С _{зп} , руб:	92387,3	

4.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} (Z_{осн} + Z_{дон}), \quad (4.15)$$

где $k_{внеб}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2022 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ на основании пункта 1 ст.58 для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность, водится пониженная ставка – 30,2%. Расчет отчислений во внебюджетные фонды приводится в таблице 4.16. Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды.

Исполнитель	Основная заработная плата, руб	Дополнительная заработная плата, руб
Руководитель	7993,2	959,2
Инженер	74492,8	8939,1
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,302	
Итого	27716,2	

4.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д.

Накладные расходы в ТПУ составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + Z_{\text{внеб}}), \quad (4.16)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16(92387,3 + 27716,2) = 19216,2 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

4.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции. Расчет бюджета научно-исследовательской работы приведен в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб	Примечание
1. Материальные затраты НТИ	60676,04	Пункт 4.4.1
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	200000	Пункт 4.4.2
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	82486,0	Пункт 4.4.3
4. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей тем	9898,3	Пункт 4.4.4
5. Отчисления во внебюджетные фонды	27716,2	Пункт 4.4.5
6. Накладные расходы	19216,2	Пункт 4.4.6
7. Бюджет затрат НТИ	339316,7	Пункт 4.4.7

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 339316,7 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы.

4.5 Определение ресурсной эффективности проекта

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

Интегральный финансовый показатель разработки:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.18)$$

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

Интегральный показатель ресурсоэффективности:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.19)$$

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

b_i – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта.

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп. 1 (ацетон)	Исп. 1 (этанол)
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,10	4	4
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,15	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	3	3
4. Энергосбережение	0,20	5	4
5. Надежность	0,25	4	4

6. Материалоемкость	0,15	5	4
ИТОГО	1	25	21

$$I_{исп.1.(a)} = 0,10 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 3 + 0,20 \cdot 5 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 5 = 4,2.$$

$$I_{исп.1.(э)} = 0,10 \cdot 4 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 3 + 0,20 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 = 3,6.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки $I_{исп.i}$ определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.i} = \frac{I_{p-исп.i}}{I_{финр}^i}, \quad (4.20)$$

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{cp} = \frac{I_{исп.i}}{I_{исп.i}}, \quad (4.21)$$

Расчет сравнительной эффективности разработки представлен в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Сравнительная эффективность разработки.

Показатели	Исп.1 (ацетон)	Исп.1 (этанол)
Интегральный финансовый показатель разработки	1	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,2	3,6
Интегральный показатель эффективности	4,2	3,6
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,16	

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

В результате выполнения данного раздела можно сделать следующие выводы:

1. Результатом проведенного анализа конкурентных технических решений является выбор одного из вариантов реализации устройства, как наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с аналогом;

2. Определены сильные и слабые стороны проекта, выявлены возможности и угрозы для реализации проекта. Выполнен SWOT-анализ проекта;

3. В процессе планирования научно-исследовательского проекта построен план управления научным проектом, определены виды работ, установлены даты начала и окончания работ и состав участников;

4. Составлен бюджет проектирования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 339316,7 руб.

Оценка эффективности исследования показала, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенным аналогом.

5 Социальная ответственность

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда.

Опасный производственный фактор – производственный фактор, воздействие которого в определенных условиях приводят к травме или другому внезапному, резкому ухудшению здоровья.

Вредный производственный фактор – фактор, воздействие которого на работающего в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности.

Эксперименты проводились в лаборатории № 001А 10 корпуса Томского политехнического университета, при этом использовался плазменный модуль на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01.

В разделе рассмотрены опасные и вредные факторы, оказывающие влияние на процесс исследования, рассмотрены воздействия исследуемого объекта на окружающую среду, правовые и организационные вопросы, а также мероприятия в чрезвычайных ситуациях.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [17]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

Согласно каждый работник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;

- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний;
- получение достоверной информации от работодателя, соответствующих государственных органов и общественных организаций об условиях и охране труда на рабочем месте, о существующем риске повреждения здоровья, а также о мерах по защите от воздействия вредных и (или) опасных производственных факторов;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- обучение безопасным методам и приемам труда за счет средств работодателя;
- личное участие или участие через своих представителей в рассмотрении вопросов, связанных с обеспечением безопасных условий труда на его рабочем месте, и в расследовании происшедшего с ним несчастного случая на производстве или профессионального заболевания;
- внеочередной медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;
- гарантии и компенсации, установленные в соответствии с настоящим Кодексом, коллективным договором, соглашением, локальным нормативным актом, трудовым договором, если он занят на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

В [17] говорится, что нормальная продолжительность рабочего времени не может превышать 40 часов в неделю, работодатель обязан вести учет времени, отработанного каждым работником.

Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной более 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.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500–600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше – если угол обзора будет составлять 30° .

Должна предусматриваться возможность регулирования экрана:

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

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100–300 мм от края. Нормальным положением клавиатуры является её размещение на уровне локтя оператора с углом наклона к горизонтальной плоскости 15° [18].

В лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ полностью выполняются установленные нормы [18].

5.2 Производственная безопасность

5.2.1 Анализ вредных и опасных факторов

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

В таблице 5.1 представлены опасные и вредные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ.

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные

исследования, могут воздействовать следующие факторы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [19].

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ

Факторы		Нормативные документы
Вредные	Опасные	
Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [20]. МУ 2.6.5.033-2017 Организация вентиляции на радиационно опасных предприятиях (производствах) госкорпорации "Росатом" [21]
Воздействие радиации (ВЧ,УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [22], СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [23].
	Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [24].
Шум, микроклимат; воздействие радиации (ВЧ,УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах» [25], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [22].

К психологически вредным факторам, воздействующим на персонал, можно отнести:

- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

Биологические вредные производственные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ отсутствуют.

5.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

5.2.2.1 Отклонение показателей микроклимата

Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Оптимальные значения характеристик микроклимата приведены в таблице 5.2 [19].

Таблица 5.2 – Оптимальные параметры микроклимата

Период года	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	23–25	40–60	0,1
Тёплый	23–25	40	0,1

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений.

Вентиляция – процесс удаления отработанного воздуха из помещения и замена его наружным. Система вентиляции обеспечивает отток и приток воздуха в помещении. Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий хранения и т. д.

Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. Оптимальная кратность воздухообмена в производственных помещениях находится в достаточно широких пределах: от 3 до 40 раз в час [19]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$. Объем лаборатории № 001А рассчитан по формуле (5.1):

$$V = a \cdot b \cdot h = 6 \text{ м} \cdot 12 \text{ м} \cdot 7 \text{ м} = 504 \text{ м}^3. \quad (5.1)$$

Данный вентилятор обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории, рассчитанную по формуле (5.2):

$$BO = \frac{Q}{V} = (2400 \div 4400) / 504 = 4,8 \div 8,7 \text{ ч}^{-1}. \quad (5.2)$$

Требования изложены в нескольких документах [16, 18], указаны ориентировочные показатели кратности воздухообмена в физических лабораториях - от 5 до 15 ч⁻¹.

Таким образом, установлено, что микроклимат в используемой лаборатории № 001А–10 учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [19, 21].

5.2.2.2 Превышение уровня шума

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

В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе.

Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

В нашем случае источником шума является откачивающий компрессор.

Шум компрессора высокочастотного генератора используемой установки не превышает 75 дБ, что так же соответствует санитарным нормам [25].

В таблице 5 . 3 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 5.3 – Нормативы уровня шума при различных видах работ

	Максимально допустимый уровень шума (дБ), в полосах следующих октав (Гц)									Эквивалентные уровни шума, дБА
	86	71	61	54	49	45	42	40	38	
Научная работа, расчеты, конструирование	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50
Офисы, лаборатории	93	79	70	68	58	55	52	52	49	55

В лаборатории № 001А 10 учебного корпуса ТПУ уровень шума соответствует санитарным нормам [25].

5.2.2.3 Повышенный уровень электромагнитного излучения

Высокочастотный генератор плазменной установки производит электромагнитное излучение, которое может быть сведено к нулю за счет экранирования.

Экран и системные блоки ПК так же производят электромагнитное излучение. Основная его часть происходит от системного блока и видеокабеля. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц – 2кГц – 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц – 400кГц – 2,5В/м.
- плотность магнитного потока должна быть не более:
- в диапазоне частот 5Гц – 2кГц – 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц – 400кГц – 25нТл [20].

Существуют следующие способы защиты от действия электромагнитного излучения:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя) [23].

Установлено, что в лаборатории № 001А 10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [23].

5.2.2.4 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Утомляемость органов зрения может быть связана как с недостаточной освещенностью, так и с чрезмерной освещенностью, а также с неправильным направлением света.

По нормативам освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300-500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк [19].

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90° с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м, защитный угол светильников должен быть не менее 40°. Коэффициент запаса (Кз) для осветительных установок общего освещения должен приниматься равным 1,4. Коэффициент пульсации не должен превышать 5 %.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться:

- системой общего равномерного освещения.
- в производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы:
 - комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники;
 - местного освещения, предназначенные для освещения зонырасположения документов) [19].

Площадь помещения находится по формуле (5.3):

$$S = a \cdot b, \quad (5.3)$$

где a – длина, м; b – ширина, м.

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2,$$

Коэффициент отражения побеленных стен с окнами, $\rho_c = 50\%$,

побеленного потолка $\rho_{\text{п}} = 70\%$. Коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника для помещений с малым выделением пыли равен $K_3 = 1,5$. Коэффициент для неравномерности для светодиодных лент $Z = 1,1$.

Выбираем светодиоды Diora LPO, световой поток которых равен $\Phi_{\text{л}} = 2900$ Лм.

Выбираем светильники со светодиодами типа Diora LPO DLPOSE20-О-6К-N. Этот светильник имеет две светодиодные ленты мощностью 20 Вт каждая, длина светильника равна 1260 мм, ширина – 124 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеивателем лежит в диапазоне 1,1 – 1,3.

Принимаем $\lambda = 1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле (5.4):

$$h = h_n - h_p, \quad (5.4)$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса, h_p – высота рабочей поверхности над полом.

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухлентовых светильников Diora: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле (5.5):

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,5 = 2 \text{ м.} \quad (5.5)$$

Из формулы (5.6)

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta}, \quad (5.6)$$

где N – число светодиодных лент;

η – коэффициент использования светового потока;

находим число светодиодных лент N по формуле (5.7):

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_n \cdot \eta} \quad (5.7)$$

η определяем через индекс помещения по формуле (5.8):

$$i = \frac{(a \cdot b)}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 6}{2(6 + 6)} = 1,5. \quad (5.8)$$

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока светодиодных лент попадает на рабочую поверхность, для светильников типа Dioga со светодиодными лентами при $\rho_{\text{П}} = 70 \%$, $\rho_c = 50 \%$ и индексе помещения $i = 1,5$ равен $\eta = 0,52$.

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{\Phi_n \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{2900 \cdot 0,52} = 11,81 \text{ лент.}$$

Принимаем количество светодиодных лент 12. При этом получается 6 светильников, т.е. 2 ряда по 3 светильника.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_n = \frac{(E \cdot S \cdot K_3 \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,52} = 2856 \text{ Лм.}$$

Из условий равномерности освещения определяем расстояния L_1 и $\frac{L_1}{3}$, L_2 и $\frac{L_2}{3}$ по следующим уравнениям:

$$6000 = L_1 + \frac{2}{3} \cdot L_1 + 2 \cdot 124; L_1 = 3451 \text{ мм, } \frac{L_1}{3} = 1150 \text{ мм;} \quad (5.9)$$

$$6000 = 2 \cdot L_2 + \frac{2}{3} \cdot L_2 + 3 \cdot 1260; L_2 = 832 \text{ мм, } \frac{L_2}{3} = 277 \text{ мм;} \quad (5.10)$$

На рисунке 5.2 изображен план помещения и размещения светильников со светодиодными лентами в лаборатории № 001А 10 учебного корпуса ТПУ.

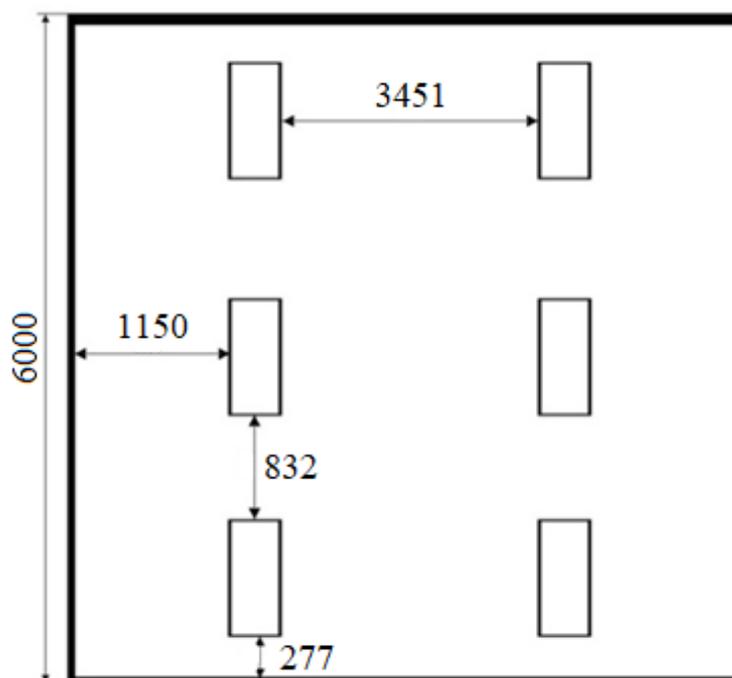


Рисунок 5.2 – План лаборатории №001А и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$\frac{-10\% \leq (\Phi_{л\delta} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\delta}} \cdot 100\% \leq 20\%; \quad (5.11)$$

$$\frac{(\Phi_{л\delta} - \Phi_{л})}{\Phi_{л\delta} \cdot 100\%} = \frac{(2900 - 2856)}{2900 \cdot 100\%} = 1,5\%.$$

Таким образом, мы получили, что необходимый световой поток не выходит за пределы требуемого диапазона. Мощность осветительной установки получилась:

$$P = 12 \cdot 20 = 240 \text{ Вт.}$$

Таким образом, установлено, что освещенность в используемой лаборатории № 001А 10 учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [19, 21].

5.2.2.5 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.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с 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 соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования.

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) [22];

Мероприятия по обеспечению электробезопасности установок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
 - вывешивание плакатов, указывающих место работы;
 - заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заклЮчение в корпус токоведущих и электропоражающих частей) [22].

Электрoзащитные 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.

В таблице 5.4 приведена классификация помещений по электробезопасности.

Таблица 5.4 – Классификация помещений по электробезопасности

Категория	Расшифровка	Критерии
1	Помещения без повышенной опасности	- Влажность не более 75 % - Работающая приточно-вытяжная вентиляция - Температура не выше 35 °С - Материал покрытия пола не проводит электричество
2	Помещения с повышенной опасностью	- Влажность более 75 % - В воздухе возможно наличие токопроводящей пыли - Высокое содержание в воздухе химических соединений - Материал пола способен проводить электричество - Высокая температура
3	Особо опасные	- Особо сырые, влажность воздуха 100 % - Помещения с активной химической или органической средой - Наличие сразу двух факторов, относящихся к условиям повышенной опасности
4	Территории с открытыми электроустановками	- Наличие открытого распределительного устройства (ОРУ)

Из таблицы 5.4 можно видеть, что лаборатория № 001А 10 учебного корпуса ТПУ относится ко 2-ой категории.

Организационными мероприятиями по электробезопасности являются периодические и внеплановые инструктажи. Периодический инструктаж персоналу, выполняющему следующие работы: включение и отключение электроприборов, уборка помещений вблизи электрощитов, розеток и выключателей и т. д. Весь неэлектротехнический персонал должен быть аттестован на первую квалификационную группу по электробезопасности. Периодический инструктаж проводится не менее одного раза в год [19].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при вводе в эксплуатацию нового технического электрооборудования.

При выполнении данной ВКР, использовался ВЧФ-плазменный стенд с использованием высокочастотного генератора ВЧГ8-60/13. Этот генератор питается от сети с промышленным напряжением 380 В, с анодным напряжением 10,5 кВ и номинальной потребляемой мощностью 100 кВт.

При использовании данного оборудования строго выполнялись требования по электробезопасности, все операции выполнялись руководителем, имеющим допуск к работе с напряжениями свыше 1000 В.

5.2.2.6 Психологические факторы

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

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

в ее деятельности, развития утомления, переутомления, стрессу.

Наиболее эффективные средства предупреждения утомления при работе на производстве – это средства, нормализующие активную трудовую деятельность человека. На фоне нормального протекания производственных процессов одним из важных физиологических мероприятий против утомления является правильный режим труда и отдыха [19].

В ходе выполнения работа в лаборатории № 001А 10 учебного корпуса ТПУ руководителем организованы все необходимые мероприятия для нивелирования психофизических факторов

5.2.2.7 Химическая безопасность

При эксплуатации ВЧФ плазматрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимой. В таблице 5.5 приведены предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [26].

Классы опасности:

- 1 – вещества чрезвычайной опасности;
- 2 – вещества высоко опасные;
- 3 – вещества умеренно опасные;
- 4 – вещества мало опасные [23].

Таблица 5.5 – ПДК вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности
1	Оксид магния	3,0	3
2	Ацетон	0,2	4

Вентиляция обеспечивает санитарно-гигиенические условия (температуру, относительную влажность, скорость движения воздуха и чистоту воздуха) воздушной среды в помещении, благоприятные для здоровья и самочувствия человека, отвечающие требованиям санитарных норм, технологических процессов, строительных конструкций зданий, технологий

хранения и т. д. Система вентиляции на плазматроне осуществляется с помощью специальных движимых лопастей, обеспечивающих скорость потока воздуха 18,76 м/с через газоход (вентиляцию).

При работе использовались следующие средства индивидуальной защиты: резиновые перчатки, лабораторный халат, респиратор «лепесток» [28].

5.2.2.8 Пожарная и взрывная безопасность

Согласно нормам пожарной безопасности, в зависимости от характеристики используемых в производстве веществ и их количества, по пожарной и взрывной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г, Д [27].

Так как помещение лаборатории по степени пожароопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий.

Возможные причины возгорания [24]:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоке питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности;
- наличие горючих компонентов.

Наиболее опасным с точки зрения пожарной безопасности веществом, применяемым в работе, является ацетон.

Все работы с ацетоном должны проводиться с использованием приточно-вытяжной вентиляции вдали от огня и источников искрообразования.

При отборе проб, проведении анализа и обращении в процессе транспортных и производственных операций с ацетоном применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего ацетона применяют порошковые огнетушители, средства объемного тушения (минимальная огнетушащая концентрация: углекислого газа – 29 % (по объему), азота – 43 % (по объему), дибромтетрафторэтана – 2,1 % (по объему), песок, асбестовое одеяло и пену [24].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [24].

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 [24].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [19].

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 [19]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильное содержание зданий и территорий (исключение образования источника воспламенения - предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении пожара сообщить руководителю, органам противопожарной безопасности предприятия и приступить к тушению пожара огнетушителем.

При возникновении аварийной ситуации необходимо [24]:

- сообщить руководству (дежурному);
- позвонить в соответствующую аварийную службу или МЧС по телефону – 112;
- принять меры по ликвидации последствий аварии в соответствии инструкцией.

5.3 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – обстановка, сложившаяся на определенной территории в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которая может повлечь за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

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

При проведении исследования наиболее вероятной ЧС является пожар. Пожар в рабочем помещении может возникнуть вследствие причин неэлектрического и электрического характера. В таблице 5.6 рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Таблица 5.6 – Аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий

№	Аварийная и чрезвычайная ситуация	Методы предотвращения АС и ЧС	Ликвидация последствий АС и ЧС
1	Пожар	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Соблюдение технологических режимов производства; Создание условий для эвакуации Персонала	Вызов пожарной службы и спасателей (тел. 112); Вызов скорой медицинской помощи
2	Удар током	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Содержание энергетических сетей в исправном состоянии	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи
3	Травмирование в результате падения с высоты	Проведение вводного и повторного (через 6 мес.) инструктажа; Создание систем предупреждения падений; Соблюдать требования безопасности при выполнении работ на высоте	Вызов скорой медицинской помощи (тел. 030, 112); Оказание первой помощи

В данной главе проведен анализ вредных и опасных факторов на рабочем месте в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ с исследованием:

- микроклимат [19, 21];
- шум [25];
- электромагнитное излучение [23];
- освещенность [19];
- психофизиологические факторы [19];
- химическая безопасность [26];
- электробезопасность [22];
- пожаро-взрывобезопасность [24].

Помещение № 001А–10 корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [19];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [24].

Также рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Conclusions

1. The report reviews and evaluates several ways to get uranium-thorium dispersion nuclear fuel. Their findings suggested that the plasma-chemical synthesis could be used to produce DNF, which is FOC, from dispersed water-organic nitrate solutions that also contained the organic compound acetone.

2. Based on the calculation findings, the compositions of the WONS solutions were defined, ensuring their energy-efficient plasma processing, as well as the regularities of the impact of the organic component (acetone) on the flammability indices of water-organic nitrate solutions:

Composition WONS - 2, 6, 10, 14 (80% WNS : 20% acetone).

3. The following conditions were established that guarantee the plasma-chemical synthesis of oxide compositions « $\text{UO}_2\text{-ThO}_2\text{-MgO}$ » and « $\text{UO}_2\text{-ThO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ » of the required composition in air plasma in accordance with the results of thermodynamic modelling of the process of plasma treatment of WONS solutions:

- composition WONS - 2, 6, 10, 14;
- minimum mass percentage of air plasma coolant: 57%;
- process temperature: 1500 ± 200 K;
- specific energy consumption for obtaining 1 kg FOC « $\text{UO}_2\text{-ThO}_2\text{-MgO}$ »: 23,38 – 23,83 MJ/kg .

4. Based on the experiment's findings, the plasma stand's operating modes, which guarantee effective processing of scattered WONS in an air-plasma flow, were identified:

- HF discharge power – 14,5 kW;
- the reactor's operating temperature – 1100 ± 50 °C;
- low rate of the WONS – 300 l/h;
- rotational frequency of the disperser rotor – 50 Hz;
- use of water during the «hardening» of oxide compositions – 2.8 kg/s.

5. From dispersed WONS solutions, oxide compositions were plasma-chemically synthesised in an air-plasma flow, and their physicochemical characteristics were investigated. The paper presents the patterns for how the resulting OC's size and specific surface area are affected by the mass percent of the matrix (magnesium oxide). It is demonstrated that a change in the mass fraction of the matrix (MgO) in the MOC obtained from WONS solutions from 10% to 20% leads to a decrease in the size of the resulting MOC particles from 9.8 μm to 9.6 μm (LD method), while the specific surface of the MOC and the particle size lie within 68-67 nm and 13.1-14.5 m^2/g (BET), respectively.

The results obtained can be used to create an energy-efficient technology for the plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions for uranium-thorium DNF for high-temperature gas-cooled reactors for hydrogen production.

List of sources used

1. Shamanin I. V., Karengin A. G., Karengin A. A., Novoselov I. Yu. Plasma-Chemical Synthesis and Investigation of Nano-Size Oxide Compositions Simulating Uranium-Thorium Dispersion Nuclear Fuel / I. V. Shamanin, A. G. Karengin, A. A. Karengin, I. Yu. Novoselov // Atomic Energy. – 2021 . - T. 131, No. 1. - S. 46-49.
2. Skorov D.M., Bychkov Yu.F., Dashkovsky A.M. Reactor materials science. – M.: Atomizdat, 1979. – 344 p.
3. Boyko V.I., Vlasov V.A., Zherin I.I. and others. Thorium in the nuclear fuel cycle. - M. Publishing house "Ore and Metals", 2006. - 360 p.
4. Alekseev S.V., Zaitsev V.A., Tolstoukhov S.S. Dispersive nuclear fuel. – M.: Technosfera, 2015. – 248 p.
5. Tumanov Yu.N. Plasma and high-frequency processes for obtaining and processing materials in the nuclear fuel cycle: present and future. – M.: Fizmatlit, 2003. – 759 p.
6. Samoilov A.G., Kashtanov A.I., Volkov V.S. Dispersion fuel elements of nuclear reactors. – M.: Atomizdat, 1965. – 343 p.
7. Gorsky V.V. // Nuclear engineering abroad. - 1999. - T. 10. - S. 9-13.
8. Degueudre C. and Paratte J.M. // J. Nucl. Mater. – 1999. – V. 274. – P. 1–6.
9. Samsonov G.V. etc. Physical and chemical properties of oxides. Directory. - M.: Metallurgy, 1978. - 472 p.
10. Current Status of Neutron Capture Therapy // IAEA – TECDOC-1223, IAEA, Vienna, 2001.
11. Strategic Planning for Research // IAEA – TECDOC-2212, IAEA, Vienna, 2001.
12. Pool Ch., Owens F. Nanotechnologies. - M.: Technosfera, 2005. - 336 p.

13. Parkhomenko V.D., Soroka P.I., Krasnokutsky Yu.I., Vereshchak V.G. Plasma chemical methods for obtaining powdered substances and their properties. // All-Union Journal of the Chemical Society. D.I. Mendeleev. 1991(2). T.36. pp. 166-170.
14. Dulnev G.N., Zarichnyak Yu.P. Thermal conductivity of mixtures and composite materials: a reference book. - L.: Energy, 1974. - 264 p.
15. Karengin A. G. Plasma technique and technology in the nuclear fuel cycle: textbook Part 1. / A. G. Karengin, I. Yu. Novoselov, A. A. Karengin. - Tomsk: Publishing house of the Tomsk Polytechnic University -, 2020. -149 p. – ISBN 978-5-4387-0947-3.
16. Karengin A. G. Physics and technology of low-temperature plasma: textbook - Tomsk: Publishing house TPU-, 2008. -160 p. – ISBN 5-98298-334-9.
17. Labor Code of the Russian Federation dated December 30, 2001 No. 197-FZ (as amended on March 28, 2021) // Collection of Legislation of the Russian Federation. - 07.01.2002.
18. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03 "Hygienic requirements for personal electronic computers and organization of work."
19. SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans."
20. GOST 12.1.007-76 "SSBT. Harmful substances".
21. MU 2.6.5.033-2017 Organization of ventilation at radiation hazardous enterprises (industries) of the state corporation "Rosatom".
22. GOST 12.1.038-82 "SSBT. Electrical safety".
23. SanPiN 2.2.4/2.1.8.055-96 "Electromagnetic radiation in the radio frequency range".
24. GOST 12.1.004-91 "SSBT. Fire safety".
25. SanPin 2.2.4.3359-16 "Sanitary and epidemiological requirements for physical factors in the workplace."
26. GN 2.2.5.1313-03 Maximum Permissible Concentrations (MPC) of harmful substances in the air of the working area.

27. SP 12.13130.2009 “Definition of categories of premises, buildings and outdoor installations in terms of explosion and fire hazard”.

28. GOST 12.4.011-89 “SSBT. Means of protection for workers. General requirements and classification”.

Appendix A

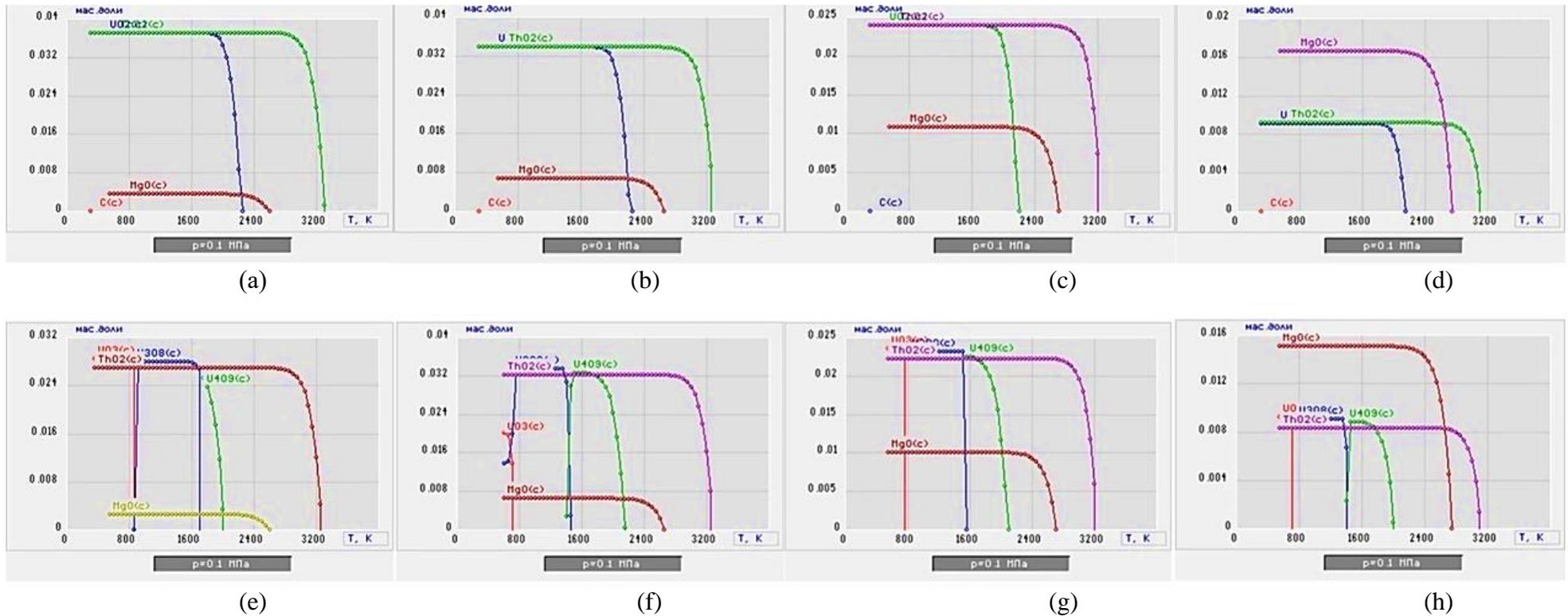


Figure A1 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-1÷4 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material MgO at a mass fraction of air:

a, b, c, d - 57%; e, f – 59%; g - 60%; h - 61%

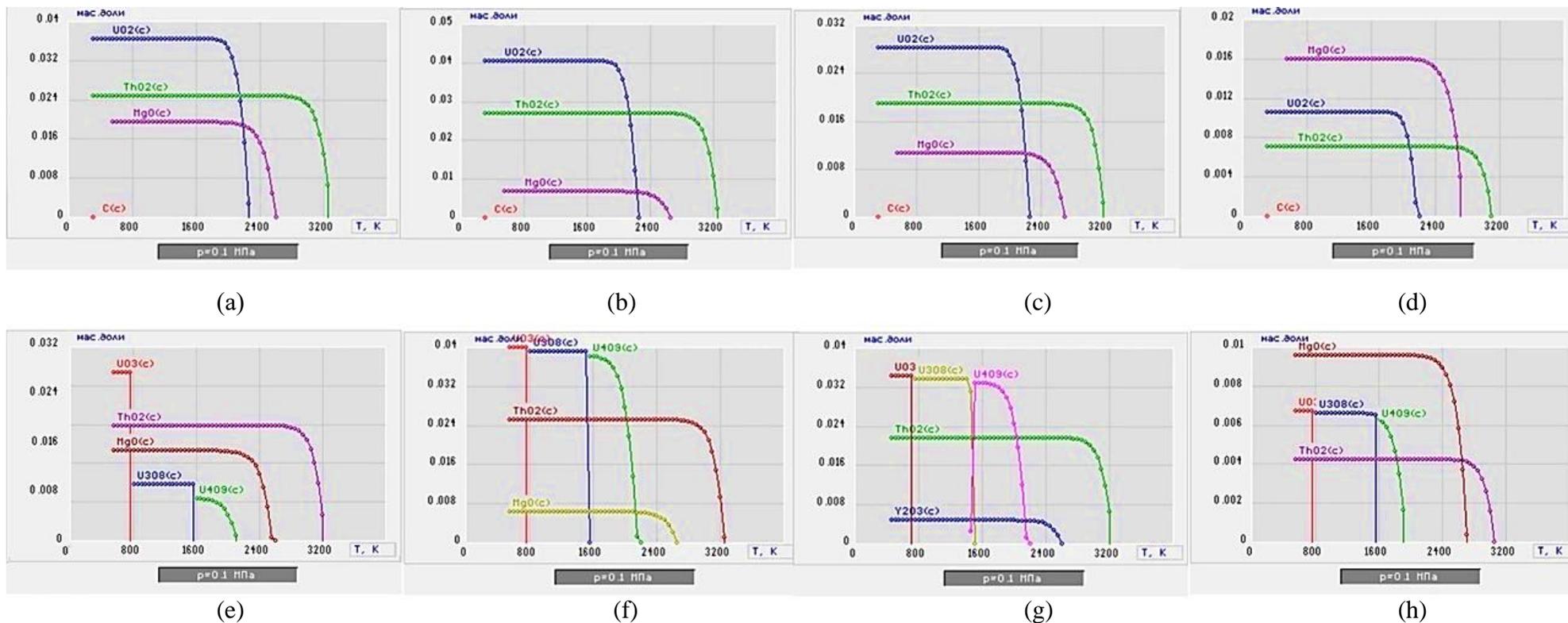


Figure A2 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-5÷8 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material MgO at a mass fraction of air:

a, b, c - 57%; d - 58%; e – 59%; f, g – 60%; h - 63%

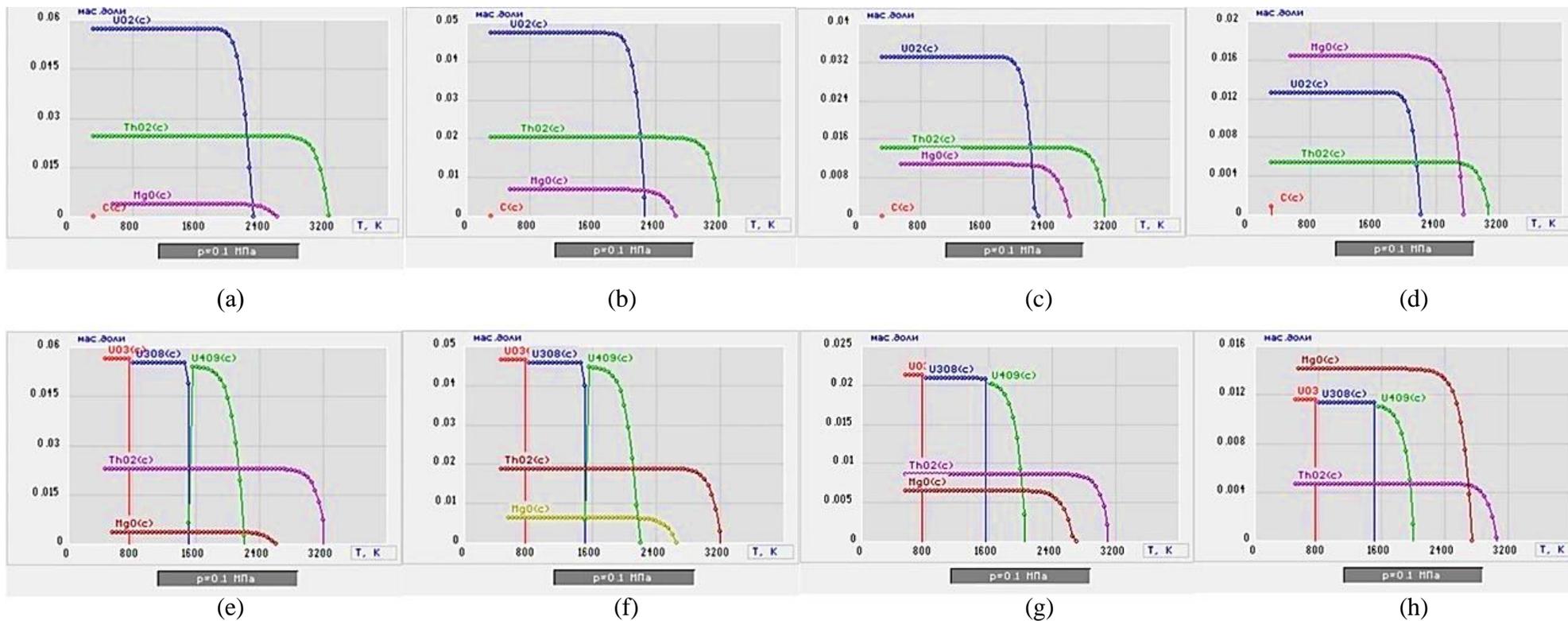
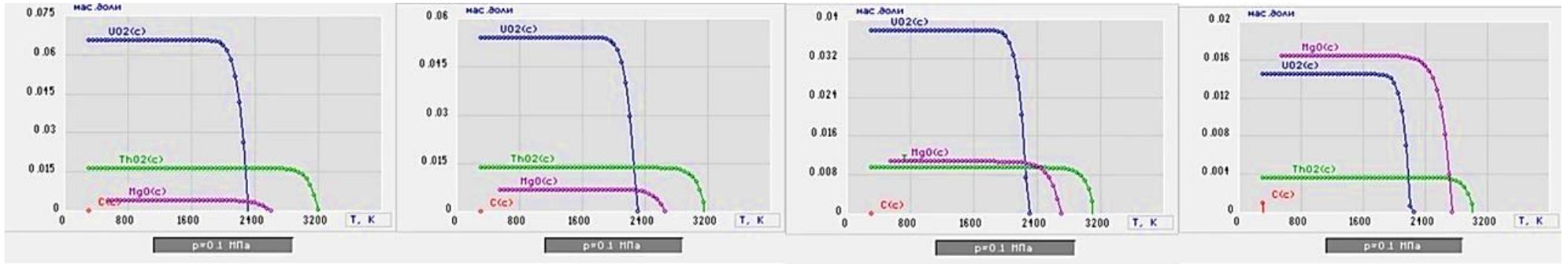


Figure A3 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-9÷12 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material MgO at a mass fraction of air:

a, b, c - 57%; d - 58%; e – 59%; f, g – 60%; h - 63%

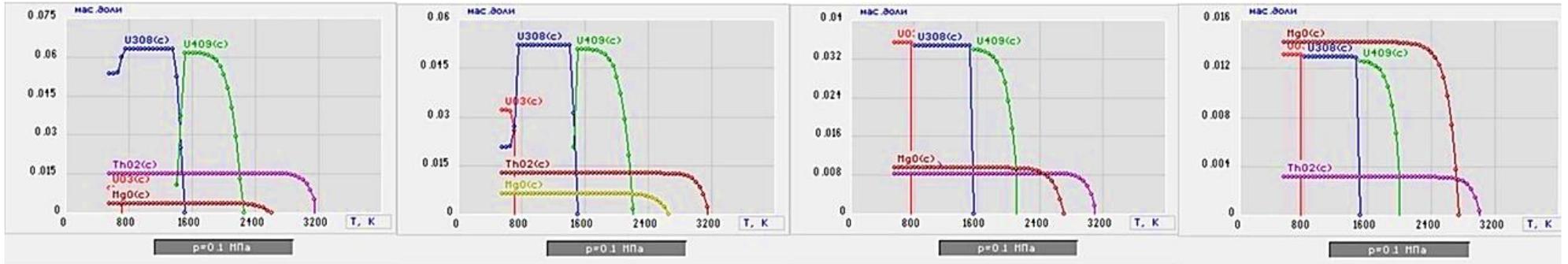


(a)

(b)

(c)

(d)



(e)

(f)

(g)

(h)

Figure A4 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-13÷16 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material MgO at a mass fraction of air:

a, b, c – 57%; d - 58%; e – 59%; f – 60%; g - 62; %, h - 63%

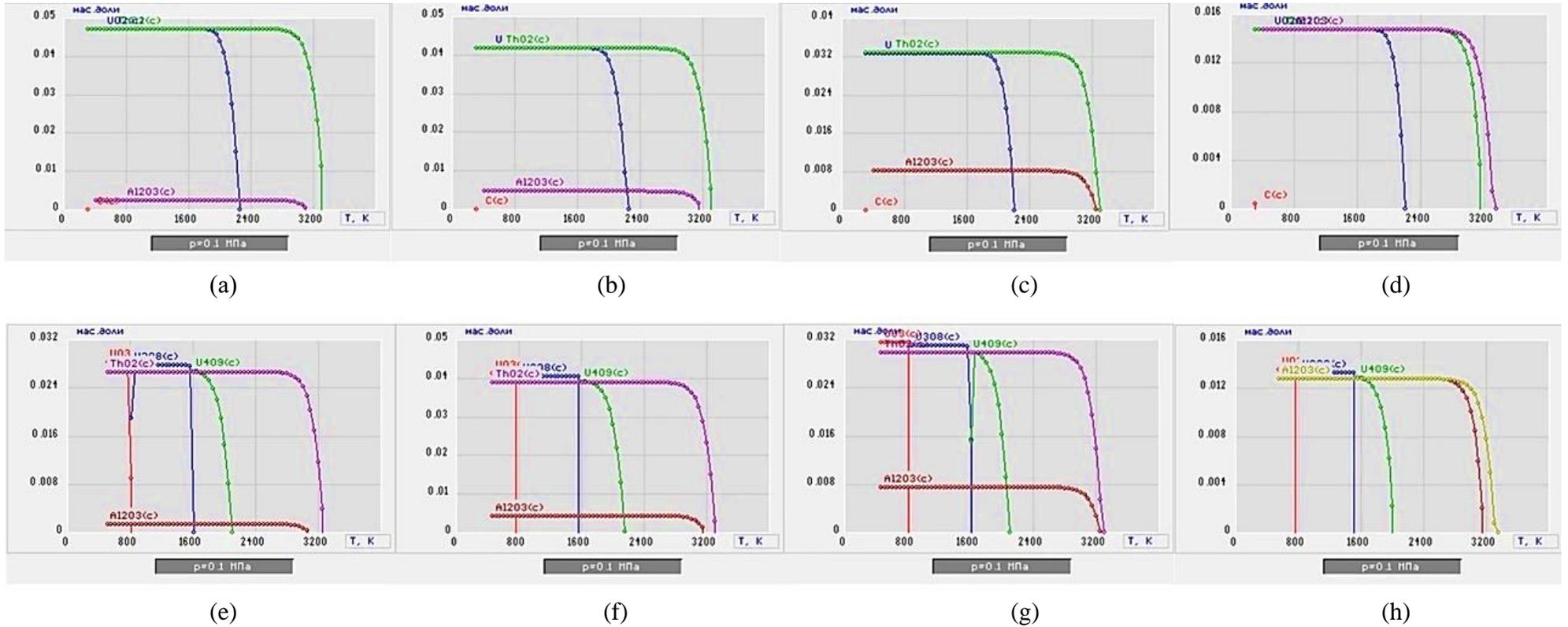


Figure A5 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-17÷20 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material Al_2O_3 at a mass fraction of air:

a, b, c, d - 55%; e – 57%; f – 58%; g – 59%; h - 61%

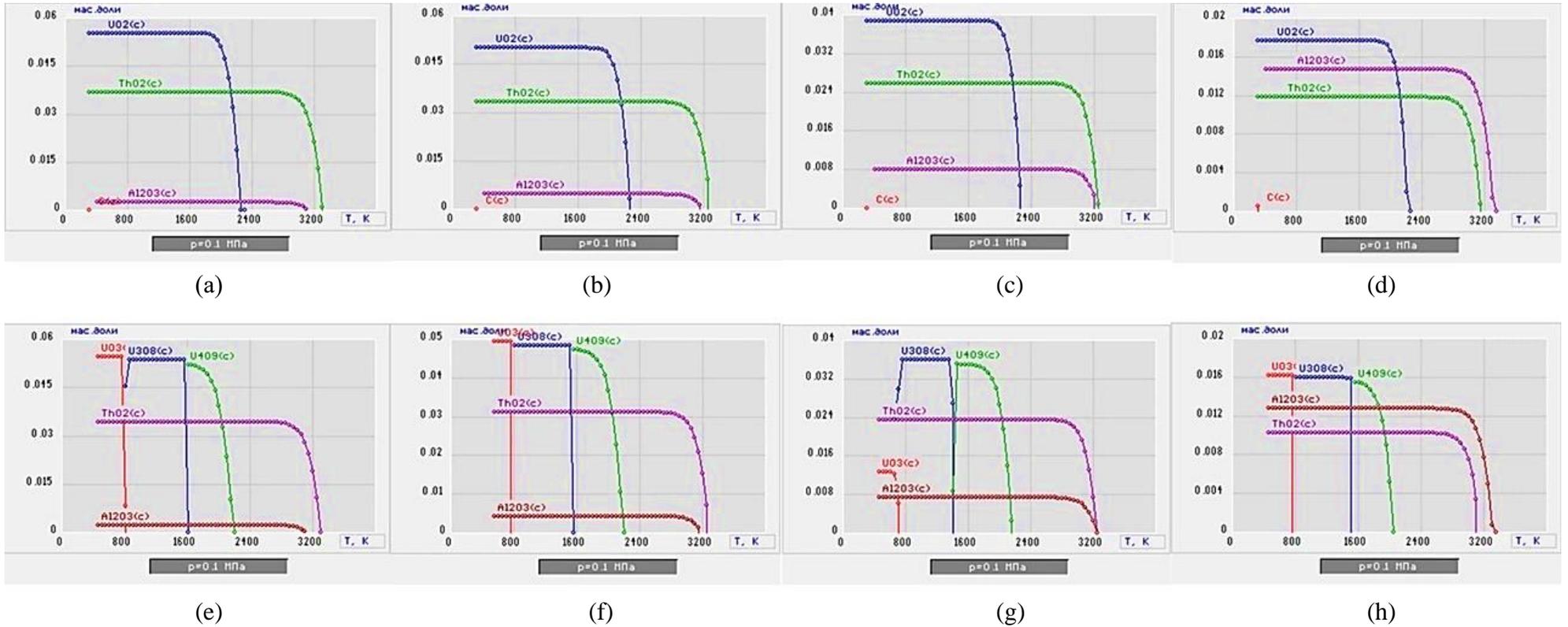


Figure A6 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-21÷24 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material Al₂O₃ at a mass fraction of air:

a, b, c, d - 55%; e, f, g – 59%; h - 61%

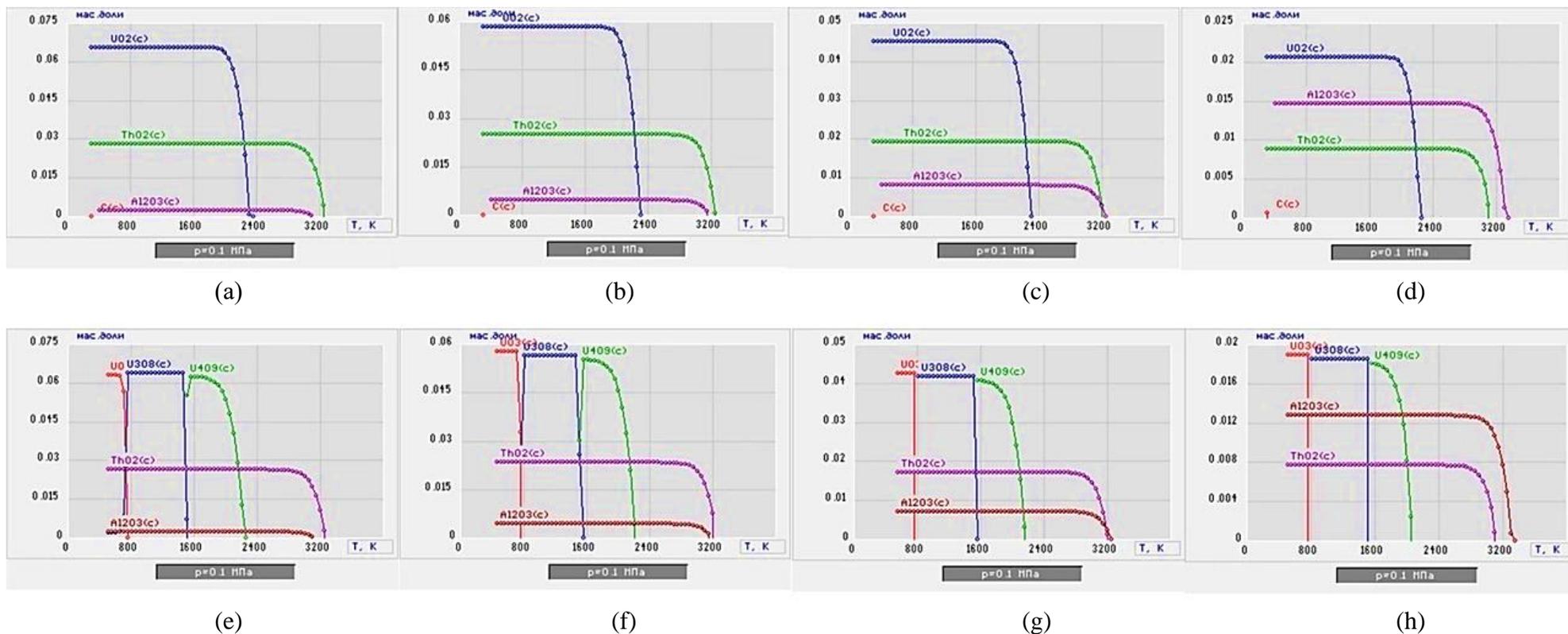


Figure A7 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-25÷28 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material Al₂O₃ at a mass fraction of air:

a, b, c, d - 55%; e, f – 58; g - 60%; h - 61%

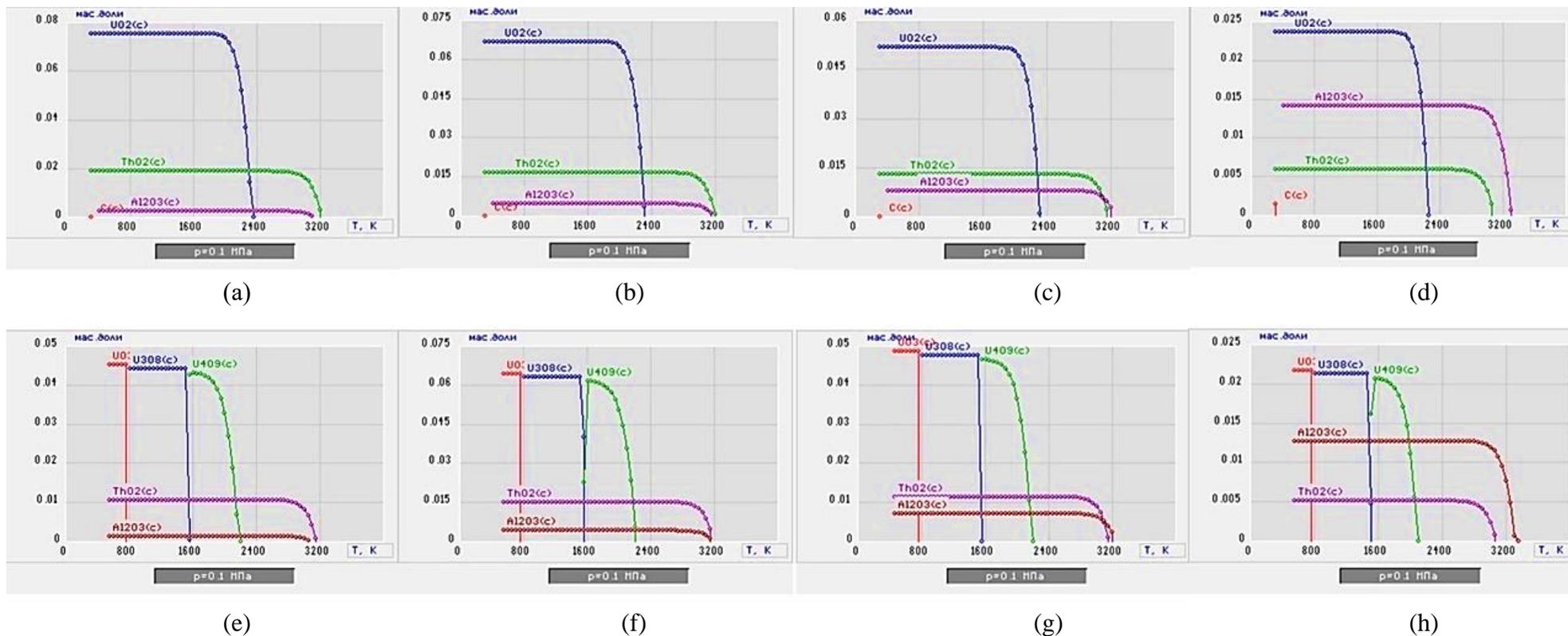


Figure A8 – The impact of temperature on the equilibrium composition of the primary plasma-processed WONS-29÷32 solution's condensed phases, which are based on acetone and include the matrix material Al_2O_3 at a mass fraction of air:

a, b, c, d - 55%; e, f – 59%; g - 60%; h - 61%

Table A1 - Comparison table of received currents with matrix MgO

Composition OC	Composition WONS, % mass					Q _{nc} , MJ/kg	T _{ad} , K	Air, %	Composition of products				Ξ _{sp} , MJ/kg
	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Th(NO ₃) ₄ ·6H ₂ O	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	H ₂ O	C ₃ H ₆ O				C	UO ₂	U ₃ O ₈	MgO	
$\alpha = \text{UO}_2 / (\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.5$													
47.5% UO ₂ - 47.5% ThO ₂ - 5% MgO	17.70	21.20	6.41	34.70	20	8.38	1867	69	-	+	-	+	29.70
						5.44	1602	71	-	-	+	+	
45% UO ₂ - 45% ThO ₂ - 10% MgO	14.62	17.51	11.18	16.69	20	8.33	1835	57	-	+	-	+	19.83
						5.39	1560	59	-	-	+	+	
40% UO ₂ - 40% ThO ₂ - 20% MgO	10.34	12.39	17.80	39.46	20	8.27	1793	69	-	+	-	+	34.79
						5.32	1504	71	-	-	+	+	
25% UO ₂ - 25% ThO ₂ - 50% MgO	3.96	4.75	27.27	43.02	21	8.51	1788	57	-	+	-	+	4501
						5.55	1500	60	-	-	+	+	
$\alpha = \text{UO}_2 / (\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.6$													
57% UO ₂ - 38% ThO ₂ - 5% MgO	21.22	16.95	6.04	35.42	20	8.36	1859	69	-	+	-	+	29.87
						5.42	1591	71	-	-	+	+	
54% UO ₂ - 36% ThO ₂ - 10% MgO	17.53	14.00	11.18	37.29	20	8.32	1829	57	-	+	-	+	19.97
						5.38	1551	59	-	-	+	+	
$\alpha = \text{UO}_2 / (\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.6$													
57% UO ₂ - 38% ThO ₂ - 5% MgO	21.22	16.95	6.04	35.42	20	8.36	1859	69	-	+	-	+	34.95
						5.42	1591	71	-	-	+	+	
54% UO ₂ - 36% ThO ₂ - 10% MgO	17.53	14.00	11.18	37.29	20	8.32	1829	57	-	+	-	+	23.53
						5.38	1551	60	-	-	+	+	

48% UO ₂ - 32% ThO ₂ - 20% MgO	12.25	9.79	17.58	39.38	21	8.26	1788	69	-	+	-	+	45.18
								71	-	-	+	+	
						5.64	1574	57	-	+	-	+	31.84
		60	-	-	+	+							
30% UO ₂ - 20% ThO ₂ - 50% MgO	4.69	3.75	26.93	42.63	22	8.51	1787	69	-	+	-	+	126.37
								71	-	-	+	+	
						5.87	1553	58	-	+	-	+	86.62
		63	-	-	+	+							
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.7$													
66.5% UO ₂ - 28.5% ThO ₂ - 5% MgO	24.75	12.71	6.40	36.14	20	8.34	1851	69	-	+	-	+	30.01
								71	-	-	+	+	
						5.40	1580	57	-	+	-	+	21.14
		59	-	-	+	+							
63% UO ₂ - 27% ThO ₂ - 10% MgO	20.45	10.50	11.17	37.88	20	8.31	1765	69	-	+	-	+	34.27
								71	-	-	+	+	
						5.36	1542	57	-	+	-	+	23.69
		60	-	-	+	+							
56% UO ₂ - 24% ThO ₂ - 20% MgO	14.29	7.34	17.57	39.80	21	8.25	1784	69	-	+	-	+	31.95
								71	-	-	+	+	
						5.63	1568	57	-	+	-	+	31.95
		60	-	-	+	+							
35% UO ₂ - 15% ThO ₂ - 50% MgO	5.47	2.81	26.92	42.79	22	8.50	1785	69	-	+	-	+	79.77
								71	-	-	+	+	
						5.87	1570	58	-	+	-	+	57.02
		63	-	-	+	+							
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.8$													
76% UO ₂ - 19% ThO ₂ - 5% MgO	28.27	8.47	6.40	36.87	20	8.33	1843	69	-	+	-	+	30.18
								71	-	-	+	+	
						5.39	1569	57	-	+	-	+	20.30
		59	-	-	+	+							
	23.36	7.00	11.17	38.48	20	8.29	1816	69	-	+	-	+	35.24
								71	-	-	+	+	

72% UO ₂ - 18% ThO ₂ - 10% MgO						5.35	1534	57	-	+	-	+	23.83
								60	-	-	+	+	
64% UO ₂ - 16% ThO ₂ - 20% MgO	16.33	4.89	17.57	40.22	21	8.24	1779	69	-	+	-	+	35.24
								71	-	-	+	+	
						5.62	1552	57	-	+	-	+	23.83
								62	-	-	+	+	
40% UO ₂ - 10% ThO ₂ - 50% MgO	6.26	1.87	26.92	42.95	22	8.50	1783	69	-	+	-	+	45.47
								71	-	-	+	+	
						5.87	1568	58	-	+	-	+	32.12
								63	-	-	+	+	

Table A2 - Comparison table of received currents with matrix Al₂O₃

Composition OC	Composition WONS, % mass					Q _{nc} , MJ/kg	T _{ad} , K	Air, %	Composition of products				ϑ _{sp} , MJ/kg
	UO ₂ (NO ₃) ₂ ·6H ₂ O	Th(NO ₃) ₄ ·6H ₂ O	Al(NO ₃) ₃ ·9H ₂ O	H ₂ O	C ₃ H ₆ O				C	UO ₂	U ₃ O ₈	Al ₂ O ₃	
$\alpha = \text{UO}_2 / (\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.5$													
47.5% UO ₂ - 47.5% ThO ₂ - 5% Al ₂ O ₃	19.50	23.36	4.06	34.08	19	8.40	1883	69	-	+	-	+	27.59
								71	-	-	+	+	
						5.14	1584	55	-	+	-	+	17.43
								57	-	-	+	+	
45% UO ₂ - 45% ThO ₂ - 10% Al ₂ O ₃	17.24	20.65	7.58	35.53	19	8.37	1859	69	-	+	-	+	30.68
								71	-	-	+	+	
						5.10	1552	55	-	+	-	+	19.48
								58	-	-	+	+	
40% UO ₂ - 40% ThO ₂ - 20% Al ₂ O ₃	13.52	16.20	13.37	37.92	19	8.32	1821	69	-	+	-	+	37.32
								71	-	-	+	+	
						5.04	1500	55	-	+	-	+	23.93
								59	-	-	+	+	

25% UO ₂ - 25% ThO ₂ - 50% Al ₂ O ₃	6.09	7.30	24.09	41.53	21	8.54	1806	69	-	+	-	+	64.66
								71	-	-	+	+	
						5.59	1560	55	-	+	-	+	43.82
								61	-	-	+	+	
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.6$													
57% UO ₂ - 38% ThO ₂ - 5% Al ₂ O ₃	23.38	18.68	4.06	34.88	19	8.38	1874	69	-	+	-	+	27.79
								71	-	-	+	+	
						5.12	1553	55	-	+	-	+	17.69
								59	-	-	+	+	
54% UO ₂ - 36% ThO ₂ - 10% Al ₂ O ₃	20.68	16.51	7.57	36.24	19	8.35	1542	69	-	+	-	+	30.81
								71	-	-	+	+	
						5.09	1542	55	-	+	-	+	19.64
								59	-	-	+	+	
48% UO ₂ - 32% ThO ₂ - 20% Al ₂ O ₃	16.02	12.79	13.20	37.99	20	8.30	1815	69	-	+	-	+	37.44
								71	-	-	+	+	
						5.36	1572	55	-	+	-	+	24.97
								59	-	-	+	+	
30% UO ₂ - 20% ThO ₂ - 50% Al ₂ O ₃	7.31	5.84	24.08	41.77	21	8.54	1804	69	-	+	-	+	64.67
								71	-	-	+	+	
						5.58	1557	55	-	+	-	+	43.88
								61	-	-	+	+	
$\alpha = \text{UO}_2/(\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.7$													
66.5% UO ₂ - 28.5% ThO ₂ - 5% Al ₂ O ₃	27.27	14.00	4.05	35.68	19	8.36	1865	69	-	+	-	+	27.94
								71	-	-	+	+	
						5.10	1559	55	-	+	-	+	17.84
								58	-	-	+	+	
63% UO ₂ - 27% ThO ₂ - 10% Al ₂ O ₃	24.11	12.39	7.57	36.94	19	8.33	1843	69	-	+	-	+	31.00
								71	-	-	+	+	
						5.07	1531	55	-	+	-	+	19.78
								58	-	-	+	+	
	18.68	9.59	13.19	38.54	20	8.29	1810	69	-	+	-	+	37.60
								71	-	-	+	+	

56% UO ₂ - 24% ThO ₂ - 20% Al ₂ O ₃						5.34	1563	55	-	+	-	+	25.10
								60	-	-	+	+	
35% UO ₂ - 15% ThO ₂ - 50% Al ₂ O ₃	8.52	4.38	24.08	42.02	21	8.53	1801	69	-	+	-	+	64.86
								71	-	-	+	+	
						5.57	1554	55	-	+	-	+	43.98
								61	-	-	+	+	
$\alpha = \text{UO}_2 / (\text{UO}_2 + \text{ThO}_2) = 0.8$													
76% UO ₂ - 19% ThO ₂ - 5% Al ₂ O ₃	31.14	9.33	4.05	36.48	19	8.35	1856	69	-	+	-	+	28.11
								71	-	-	+	+	
						5.08	1548	55	-	+	-	+	17.90
								59	-	-	+	+	
72% UO ₂ - 18% ThO ₂ - 10% Al ₂ O ₃	27.54	8.25	7.56	37.65	19	8.32	1836	69	-	+	-	+	31.16
								71	-	-	+	+	
						5.05	1520	55	-	+	-	+	19.94
								59	-	-	+	+	
64% UO ₂ - 16% ThO ₂ - 20% Al ₂ O ₃	21.34	6.39	13.19	39.08	20	8.28	1804	69	-	+	-	+	38.01
								71	-	-	+	+	
						5.33	1555	55	-	+	-	+	25.26
								60	-	-	+	+	
40% UO ₂ - 10% ThO ₂ - 50% Al ₂ O ₃	9.74	2.92	24.07	42.27	21	8.53	1799	69	-	+	-	+	64.88
								71	-	-	+	+	
						5.57	1550	55	-	+	-	+	44.69
								61	-	-	+	+	

Appendix B

Перв. примен.

Справа. №

Подп. и дата

Имя № дубл.

Взам. инв. №

Лист и дата

Имя № подл.

ФЮРА140303.034СБ

1. Размеры для справок
 2. Припой ПОС-60 ГОСТ 21931-76
 3. Шов герметичный

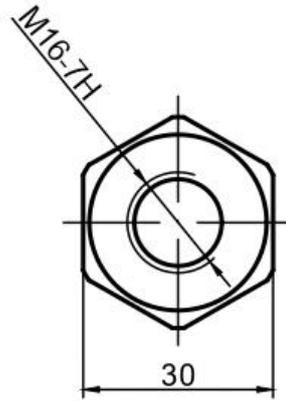
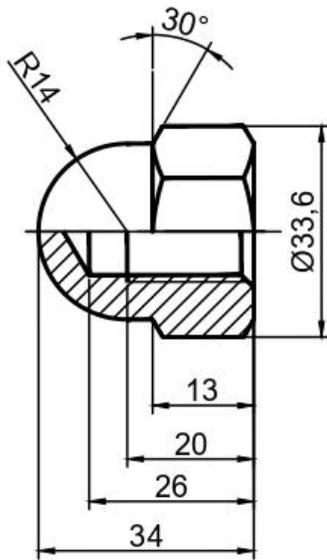
					ФЮРА140303.001.СБ		
Изм	Лист	№ докум	Подп	Дата			
		Кузнецова А.А.			Приложение Б Сборочный чертёж		
		Карентин А.Г.					
Т.контр					Лит	Масса	Масштаб
Н.контр							1:1
Утв		Видяев Д.Г.			Лист		Листов
					ТПУ Группа 0А92		
Формат А3							

ФЮРА140303.001

3,2/√

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взаим. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.

H14, h14, + t2/2

ФЮРА140303.001

Гайка

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист		Листов

Пруток Гкр НТ-36
M2 ГОСТ 1535-71

ТПУ Группа 0A92

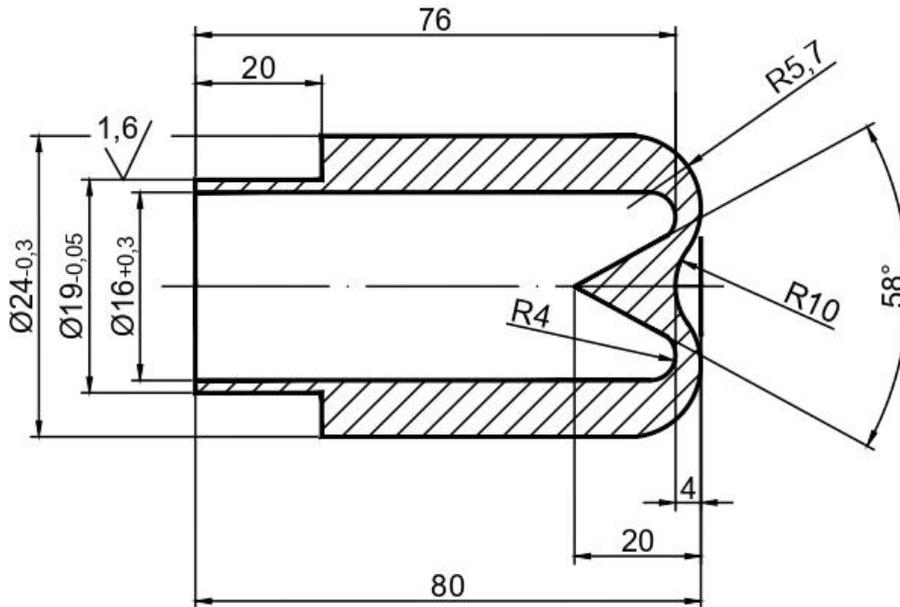
Формат А4

ФЮРА140303.003

3,2
√

Перв.примен.

Справ.№



Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взаим. инв. №

H14,h14,+ t2/2

Подп. и дата

Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Кузнецова А.А.		
Пров.		Каренгин А.Г.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Видяев Д.Г.		

ФЮРА140303.003

Наконечник

Пруток Гкр НТ30
М2 ГОСТ 1535-71

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист	Листов	

ТПУ Группа 0A92

Формат А4

ФЮРА140303.004

6,3/√(√)

Перв.примен.

Справ.№

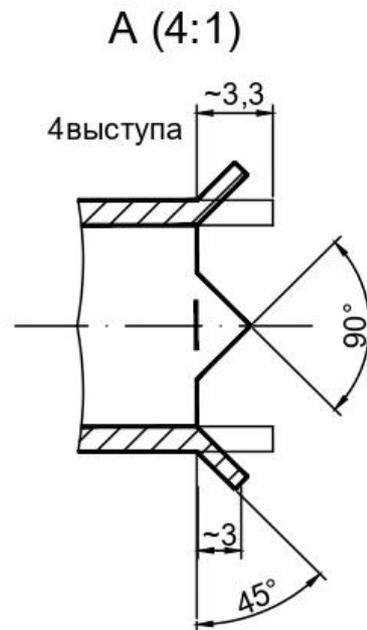
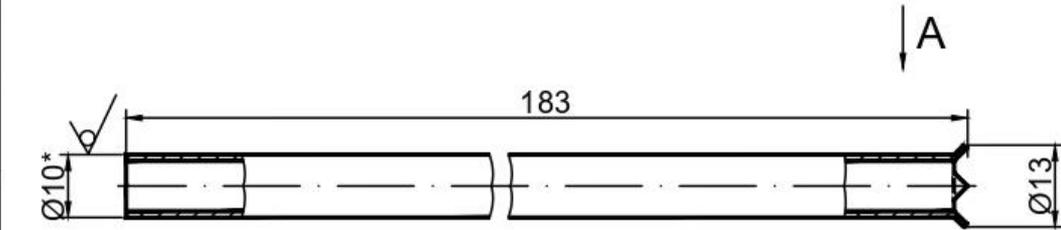
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взаим. инв. №

Подп. и дата

Инв.№ подл.



- 1. Длина развертки L=184
- 2. H14, h14, ± t2/2

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Кузнецова А.А.		
Пров.		Каренгин А.Г.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Видяев Д.Г.		

ФЮРА140303.004

Трубка

Трубка 10x1
M1 ГОСТ 617-90

Лит.	Масса	Масштаб
		1:1
Лист	Листов	

ТПУ Группа 0A92

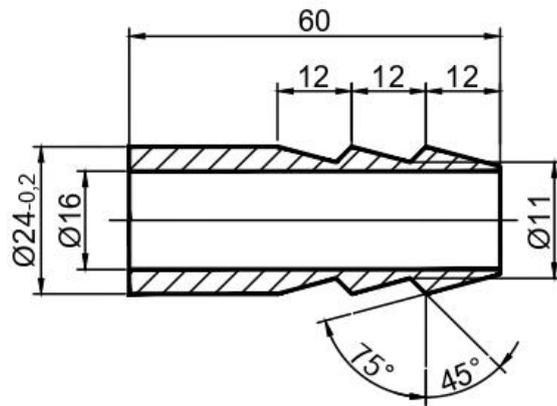
Формат А4

ФЮРА140303.005

3,2/

Перв. примен.

Справ. №



Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взаим. инв. №

H14, h14, + t2/2

Подп. и дата

Инв. № подл.

ФЮРА140303.005

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
Разраб.		Кузнецова А.А.		
Пров.		Каренгин А.Г.		
Т.контр.				
Н.контр.				
Утв.		Видяев Д.Г.		

Штуцер

Пруток Гкр НТ14
М2 ГОСТ 1535-71

Лит.	Масса	Масштаб
		2:1
Лист		Листов

ТПУ Группа 0A92

Формат А4

Appendix C

Table C1 – Measuring the air flow through the flue

№	S _{imp}		P _p , ρv ² /2							P _m
	3xn	cm ²	1	2	3	4	5	6	7	mbar
1	3x10	1650	2.64	2.66	2.66	2.56	2.52	2.57	2.61	2.60
2	3x8	1320	2.56	2.54	2.50	2.48	2.49	2.48	2.49	2.51
3	3x6	990	2.41	2.36	2.42	2.39	2.40	2.41	2.37	2.39
4	3x4	660	2.25	2.29	2.24	2.30	2.25	2.29	2.28	2.27
1	3x10	1650	2.66	2.56	2.60	2.55	2.57	2.63	2.64	2.60
2	3x8	1320	2.56	2.48	2.50	2.53	2.44	2.51	2.53	2.51
3	3x6	990	2.42	2.37	2.35	2.40	2.39	2.41	2.32	2.38
4	3x4	660	2.27	2.23	2.30	2.32	2.27	2.25	2.33	2.28

Table C2 – Measurement of air flow through the plasma torch

№	S _{imp}		P _p , ρv ² /2							P _m
	3xn	cm ²	1	2	3	4	5	6	7	mbar
1	3x10	1650	2.23	2.21	2.24	2.30	2.19	2.26	2.28	2.24
2	3x8	1320	2.41	2.43	2.56	2.42	2.47	2.52	2.51	2.47
3	3x6	990	2.57	2.67	2.66	2.65	2.61	2.64	2.55	2.62
4	3x4	660	3.57	3.60	3.51	3.57	3.63	3.65	3.67	3.60
1	3x10	1650	2.19	2.25	2.21	2.23	2.27	2.28	2.22	2.24
2	3x8	1320	2.42	2.43	2.54	2.47	2.41	2.51	2.53	2.47
3	3x6	990	2.58	2.63	2.65	2.59	2.60	2.62	2.63	2.61
4	3x4	660	3.57	3.60	3.63	3.53	3.55	3.61	3.54	3.58

Table C3 – Measurement of air flow in the reactor

№	S _{imp}		Flue			HFPT			T	ρ	Q _p
	3xn	cm ²	P _{cp} , mbar	P _p , Pa	Q, kg/s	P _m , mbar	P _p , Pa	Q, kg/s	°C	kg/m ³	kg/s
1	3x10	1650	4.01	399.94	1.55	2.24	223.76	0.12	21	1.2009	1.43
2	3x8	1320	3.09	307.65	1.36	2.47	246.69	0.13			1.23
3	3x6	990	2.88	286.71	1.31	2.62	261.36	0.13			1.18
4	3x4	660	2.67	266.63	1.27	3.60	358.92	0.15			1.11
1	3x10	1650	4.02	401.08	1.55	2.24	222.90	0.12	21	1.2009	1.43
2	3x8	1320	3.11	310.21	1.36	2.47	246.54	0.13			1.24
3	3x6	990	2.89	287.85	1.31	2.61	260.64	0.13			1.18
4	3x4	660	2.68	267.48	1.27	3.58	356.50	0.15			1.12

Appendix D

Table D1 – The results of the analysis and optimisation of a plasma installation's operating modes based on a HF-plasmatron

						Anode				Grid				Electrode				Housing				
№	I, A	U _a , kV	P ₀ , kW	T _a , °C	S, cm ²	m _a , kg/s	dT _a , °C	P _a , kW	T _a , °C	m _g , kg/s	dT _g , °C	P _g , kW	T _g , °C	m _e , kg/s	dT _e , °C	P _e , kW	T _e , °C	m _h , kg/s	dT _h , °C	P _h , kW	T _h , °C	
1	3.0	5.7	17.10	34.0	3x10	0.244	7.5	7.65	18.4	0.066	4.3	1.18	12.3	0.119	4.1	2.05	14.7	0.057	1.0	0.238	11.9	
2	3.0	5.7	17.10	34.6	3x8	0.244	7.5	7.65	18.4	0.066	4.3	1.18	12.3	0.119	4.1	2.05	14.7	0.057	1.0	0.238	11.9	
3	3.0	5.8	17.40	35.7	3x6	0.244	7.6	7.75	18.5	0.066	4.3	1.18	12.3	0.119	4.2	2.10	14.8	0.057	1.0	0.238	11.9	
4	3.0	5.8	17.40	36.6	3x4	0.244	7.6	7.75	18.5	0.066	4.3	1.18	12.3	0.119	4.2	2.09	14.8	0.057	1.0	2.380	11.9	
1	3.5	5.8	20.30	37.3	3x10	0.244	8.5	8.67	19.4	0.066	3.7	1.02	11.7	0.119	4.9	2.45	15.5	0.057	1.0	0.238	11.9	
2	3.5	5.8	20.30	36.8	3x8	0.244	8.5	8.67	19.4	0.066	3.8	1.05	11.8	0.119	4.9	2.45	15.5	0.057	1.0	0.238	11.9	
3	3.5	6.3	22.05	36.5	3x6	0.244	8.4	8.57	19.3	0.066	4.0	1.10	12.0	0.119	4.9	2.45	15.5	0.057	1.0	0.238	11.9	
4	3.5	6.5	22.75	37.0	3x4	0.244	8.6	8.77	19.5	0.066	4.1	1.13	12.1	0.119	5.1	2.55	15.7	0.057	1.0	0.238	11.9	
1	4.0	6.5	26.00	37.8	3x10	0.244	9.3	9.49	20.2	0.066	3.6	0.99	11.6	0.119	5.4	2.70	16.0	0.057	1.0	0.238	11.9	
2	4.0	6.7	26.80	38.0	3x8	0.244	9.4	9.59	20.3	0.066	3.5	0.96	11.5	0.119	5.5	2.75	16.1	0.057	1.0	0.238	11.9	
3	4.0	6.9	27.60	37.9	3x6	0.244	9.6	9.79	20.5	0.066	3.3	0.91	11.3	0.119	5.6	2.80	16.2	0.057	0.9	0.214	11.8	
4	4.0	7.0	28.00	36.8	3x4	0.244	9.6	9.79	20.5	0.066	3.0	0.83	11.0	0.119	5.7	2.85	16.3	0.057	0.8	0.191	11.7	

Table D2 – The temperature of an air plasma jet and the effectiveness of a plasma installation based on an HF-plasmatron

№	I, A	U _a , kV	P ₀ , kW	T _a , °C	S, cm ²	HFTP					
						P _c , kW	Q _p , kg/s	H _r , kJ/kg	T _c , °C	P _p , kW	η, %
1	3.0	5.7	17.10	34.0	3x10	5.737	0.11	354	350	5.98	96.0
2	3.0	5.7	17.10	34.6	3x8	5.737	0.12	349	350	5.98	96.0
3	3.0	5.8	17.40	35.7	3x6	5.885	0.13	344	350	6.12	96.1
4	3.0	5.8	17.40	36.6	3x4	5.884	0.15	338	340	6.12	96.1
1	3.5	5.8	20.30	37.3	3x10	7.682	0.11	372	375	7.92	97.0
2	3.5	5.8	20.30	36.8	3x8	7.654	0.12	365	375	7.89	97.0
3	3.5	6.3	22.05	36.5	3x6	9.451	0.13	370	375	9.69	97.5
4	3.5	6.5	22.75	37.0	3x4	9.820	0.15	365	375	10.10	97.6
1	4.0	6.5	26.00	37.8	3x10	12.340	0.11	415	425	12.60	98.1
2	4.0	6.7	26.80	38.0	3x8	13.020	0.12	411	425	13.30	98.2
3	4.0	6.9	27.60	37.9	3x6	13.670	0.13	402	420	13.90	98.5
4	4.0	7.0	28.00	36.8	3x4	14.150	0.15	393	400	14.30	98.7

Appendix E

Table E1 – Composition and methods of WONS solution processing, technical and physicochemical characteristics of the produced simple and complicated oxide compositions, and simulation of plasma-chemical synthesis of uranium-thorium dispersive nuclear fuel oxide compositions in an air-plasma flow

Composition OC	Composition WONS					WONS processing modes		Laser diffraction OC	BET analysis OC		Press parameters OC	
	№	Nd(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O, g/l	Ce(NO ₃) ₃ ·6H ₂ O, g/l	Mg(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O, g/l	C ₃ H ₆ O, % mass.	f _Ф , Hz	Q _{отб} , kg/s	D ₅₀ , μm	S, m ² /g	D _{bet} , nm	ρ _{bulk} , g/cm ³	ρ _{bulk} , %
OC-33 (100% Ce ₂ O ₃)	WONS-33	-	300.0	-	64.9	35	2.8	9.0	10.3	76	-	-
OC-34 (100% Ce ₂ O ₃)	WONS-34	-	500.0	-	64.5	35	2.8	6.1	5.2	151	-	-
OC-35 (100% Ce ₂ O ₃)	WONS-35	-	1000.0	-	54.6	35	2.8	4.8	4.9	159	-	-
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0.5$												
OC-2 (45.0% Nd ₂ O ₃ –45.0% Ce ₂ O ₃ –10.0% MgO)	WONS-2	146.7	148.8	160.3	62.3	50	2.8	9.8	13.1	68	0.84	12.5
OC-3 (40.0% Nd ₂ O ₃ –40.0% Ce ₂ O ₃ –20.0% MgO)	WONS-3	130.7	132.3	320.5	60.3	50	2.8	9.6	14.5	67	-	-
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0.6$												
OC-6 (54.0% Nd ₂ O ₃ –36.0% Ce ₂ O ₃ –10.0% MgO)	WONS -6	176.0	119.1	160.3	62.3	50	2.8	8.9	-	-	-	-
OC-7 (48.0% Nd ₂ O ₃ –32.0% Ce ₂ O ₃ –20.0% MgO)	WONS-7	156.5	105.8	320.5	60.3	50	2.8	7.5	-	-	-	-
$\alpha = \text{Nd}_2\text{O}_3 / (\text{Nd}_2\text{O}_3 + \text{Ce}_2\text{O}_3) = 0.7$												
OC-10 (63.0% Nd ₂ O ₃ –27.0% Ce ₂ O ₃ –10.0% MgO)	WONS-10	205.4	89.3	160.3	62.3	50	2.8	9.3	13.9	64	-	-
OC-11 (56.0% Nd ₂ O ₃ –24.0% Ce ₂ O ₃ –20.0% MgO)	WONS-11	182.5	79.4	320.5	60.3	50	2.8	8.9	16.8	58	-	-