

**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
<b>Investigation of plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions from water-organic nitrate solutions of uranium, plutonium, and magnesium</b>

UDC 621.039.543:66.091:533.9

Student

Group	Full name	Signature	Date
0A92	Shcherbina Danil Sergeevich		30,05.2023

Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Karengin A.G.	PhD		30,05.2023

**ADVISERS:**

Section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor of DSHS	Gasanov M.A.	Grand PhD in Economics		30,05.2023

Section «Social Responsibility»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor of DNFC	Perederin Y.V.	PhD		30,05.2023

**ADMITTED TO DEFENSE:**

Programme Director	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Senior lecturer	Selivanikova O.V.	-		30,05.2023

**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 – 14.03.02 Ядерные физика и технологии  
Отделение школы (НОЦ) – Отделение ядерно-топливного цикла

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов урана, плутония и магния</b>

УДК 621.039.543:66.091:533.9

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A92	Щербина Данил Сергеевич		30,05.2023

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	А.Г. Каренгин	к.ф.-м.н.		30,05.2023

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОГСН	М.А. Гасанов	д.э.н.		30,05.2023

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Ю.В. Передерин	к.т.н.		30,05.2023

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
14.03.02. Ядерные физика и технологии	О.В. Селиванникова	-		30,05.2023

## MAIN CURRICULUM LEARNING OUTCOMES

Competency code	Learning outcomes (competencies)
<b>Transferrable competencies</b>	
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
<b>General professional competencies</b>	
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
<b>Professional competencies</b>	
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)
<b>Универсальные</b>	
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
<b>Общепрофессиональные</b>	
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
<b>Профессиональные</b>	
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	Shcherbina Danil Sergeevich

Topic of research of work:

Investigation of plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions from water-organic nitrate solutions of uranium, plutonium, and magnesium	
Approved by the order of the Director of School of Nuclear Science & Engineering (date, number):	01.02.2023 г., № 32-52/с

Deadline for completion of Bachelor Thesis:	30,05.2023
---	------------

**TERMS OF REFERENCE:**

<b>Initial data</b>	Calculation of plasmachemical synthesis of fuel oxide compounds «PuO <sub>2</sub> -UO <sub>2</sub> -MgO» from water-organic nitrate metal solutions including water nitrate solutions of fissile metals (uranium, plutonium), matrix metal (magnesium), and organic component (acetone, ethanol).
<b>List of the issues to be investigated, designed and developed</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Review and comparative analysis of literature on methods for nanosized powder obtaining.</li> <li>2. Calculation of burning rates of WONS with added organic component.</li> <li>3. Thermodynamic simulation of plasmachemical treatment of WONS.</li> <li>4. Experiments on confirmation of the study.</li> </ol>
<b>Advisors to the sections of the Bachelor Thesis</b>	
<b>Section</b>	<b>Advisor</b>
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

<b>Date of issuance of the assignment for Bachelor Thesis completion according to the schedule</b>	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	Shcherbina Danil Sergeevich		01.02.2023

## Contents

1.	Literature review.....	13
1.1.	Metal oxide matrices for dispersion REMIX-fuel .....	14
2.2	Methods for obtaining oxide compositions for REMIX-fuel.....	16
2.	Calculation part .....	18
2.1.	Calculation of Combustibility Indicators for Organic Water Nitrate Solutions.....	18
2.2.	Thermodynamic modeling of the process of plasmachemical processing of WONS .....	21
3.	Experimental part .....	41
3.1	Determination of air flow rates through the reactor and plasmatron .....	41
3.2	Analysis of powders of model oxide compositions .....	43
4.	Социальная ответственность .....	49
4.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности .....	49
4.1.1	Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства.....	49
4.1.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования .....	51
4.2	Производственная безопасность.....	52
4.2.1	Анализ вредных и опасных факторов.....	52
4.2.2	Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов .....	54
4.2.2.1	Отклонение показателей микроклимата.....	54
4.2.2.2	Превышение уровня шума .....	55

4.2.2.3	Повышенный уровень электромагнитного излучения .....	56
4.2.2.4	Недостаточная освещенность рабочей зоны .....	57
4.2.2.5	Электробезопасность .....	61
4.2.2.6	Психофизические факторы .....	64
4.2.2.7	Химическая безопасность .....	64
4.2.2.8	Пожарная и взрывная безопасность .....	65
4.3	Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях .....	67
5.	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	72
5.1	Потенциальные потребители результатов исследования .....	72
5.2	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	73
5.2.1	Анализ конкурентных технических решений .....	73
5.3	SWOT-анализ .....	74
5.4	Планирование научно-исследовательского проекта .....	75
5.5	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	78
5.5.1	Расчет материальных затрат .....	79
5.5.2	Расчет амортизации оборудования для экспериментов .....	79
5.5.3	Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования .....	81
5.5.4	Отчисления во внебюджетные фонды .....	83
5.5.5	Накладные расходы .....	84
5.6	Определение ресурсной эффективности проекта .....	85
	References .....	89

## Abstract

Graduate qualification work 97 pages, 55 figure, 39 tables.

Key words: plasma, HFT-plasmatron, water-organic nitrate solution, oxide compounds.

The object of the study is the process of recycling water-organic nitrate solutions (WONS) of uranium, plutonium, and magnesium by plasmachemical synthesis in air plasma.

The aim of the work is investigation of plasmachemical process of «UO<sub>2</sub>–PuO<sub>2</sub>–MgO» oxide compounds in air plasma flow from WONS.

As a result of the work the following investigations have been carried out: calculated the initial composition of WONS in components, calculated adiabatic combustion temperature and the lowest calorific value of solutions that determines their energy-efficient processing, simulated plasmachemical synthesis of WONS in plasmatron in air plasma at different temperatures, measured parameters of plasmatron during processing solutions, investigated the structure of the obtained powders, determined the distribution of target components in the obtained powder.

In this work the composition of initial WONS was determined, the compositions of solutions that meet the criteria for processing in plasmatron were determined, the criteria for energy-efficient plasmachemical processing were obtained.

The results can be used to improve the production process of REMIX-fuel, for further research on the creation of nuclear fuels by plasmachemical synthesis in air plasma.

## Introduction

Today the nuclear industry is a strategic for the Russian Federation; our country has achieved significant success in this area that provides a beneficial negotiating position in the global energy market and the political arena. For example, the largest number of nuclear power plants under construction abroad, the world's only nuclear icebreaker fleet, more than 40% control of the global stable isotope market, 4th place in nuclear power production, 5<sup>th</sup> place in uranium mining. However, despite the obvious advantages, there are also problems that need to be solved. One of them is the high cost of producing REMIX-fuel.

REMIX-fuel is a type of nuclear fuel developed in Russia, created from a mixture of regenerated uranium and plutonium. The use of REMIX-fuel results in uranium savings because it is potentially possible to recycle plutonium without significant degradation. Thus, reprocessing with some re-enrichment can provide multiple returns of fuel to the reactor, which reduces reactor uranium consumption and the accumulation of spent nuclear fuel. Whereas conventional fuel degrades so much that it becomes completely unusable. Moreover, its production is multi-stage, after which, due to mechanical mixing, the resulting powders may have an unequal distribution of phases, which negatively affects its further operation.

The proposed method is a plasma-chemical synthesis of fuel oxide compounds (FOC) from water-organic nitrate solutions obtained after extraction of uranium and plutonium including magnesium nitrate. This method provides single-stage, high process rate, uniform distribution and the required composition of phases.

The purpose of this work is to study and optimize the process of plasma-chemical synthesis of «UO<sub>2</sub>–PuO<sub>2</sub>–MgO» fuel oxide compounds for REMIX-fuel from the optimal composition of water-organic nitrate solutions (OONR), including aqueous nitrate solutions of fissile metals (uranium, plutonium), matrix metal (magnesium) and organic component (ethanol, acetone). Also the modes of processing in air plasma of high-frequency flare discharge of model HNR solutions providing direct synthesis of nanostructured model oxide compositions «Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–MgO» imitating REMIX-fuel are investigated.

To achieve this goal it is necessary to solve the following tasks:

1. To conduct a review and comparative analysis of the literature on methods of producing REMIX-fuel from spent nuclear fuel. To determine their advantages and disadvantages;
2. To calculate the combustion indices of water-organic nitrate solutions including the organic component acetone, water solutions of uranium, plutonium and magnesium nitrates. Determination of patterns of influence of the content of the organic component on their lower calorific value. Determination of the optimal composition of WONS, ensuring their energy-efficient plasma processing;
3. Conduct thermodynamic modeling of the process of plasma chemical synthesis of fuel oxide compounds from WONS. Estimation of specific energy consumption for the process. Determination of modes ensuring the energy efficient synthesis of «UO<sub>2</sub>–PuO<sub>2</sub>–MgO» fuel oxide compounds for REMIX-fuel dispersion in air plasma;
4. Making analyses for the resulting powders to determine their particle size distribution and phase composition;
5. Preparation of science-based recommendations for the practical implementation of the process.

## **1. Literature review**

REMIX-fuel (REMIX – REgenerated MIXture of U, Pu oxides) consists of an unseparated mixture of U and Pu obtained by spent nuclear fuel reprocessing which the addition a small percentage of <sup>235</sup>U enriched up to 16–17% to compensate the presence of <sup>236</sup>U, <sup>232</sup>U, <sup>240</sup>Pu, <sup>242</sup>Pu isotopes and to provide the necessary neutron-multiplying properties. As a result, the approximate composition of REMIX-fuel is the following: 1-1.5% <sup>239</sup>Pu + 2.5-3% <sup>235</sup>U + <sup>238</sup>U. The technology makes it possible to reuse this mixture as nuclear fuel. It is worth mentioning that no additional plutonium is needed to the already regenerated fuel, but only plutonium produced in the reactor is used. To maintain the isotope balance of the fissile materials, only a small amount of <sup>235</sup>U is added to the fuel with an

enrichment of about 17% at each new cycle and stage. This suggests that the energy potential of REMIX-SNF remains nearly constant during recycling, thus allowing the entire amount of fissile material loaded into the reactor to be recycled multiple times and good stability during REMIX-fuel fabrication.

### 1.1. Metal oxide matrices for dispersion REMIX-fuel

At the moment, the main preference for making an inert matrix for dispersed nuclear fuel is given to oxides, so the most studied and used nuclear fuel is also oxide –  $UO_2$  and  $PuO_2$  [1].

The main oxide compounds for practical use:  $ZrO_2$ ,  $MgO$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Y_2O_3$ ,  $CeO_2$  and more difficult systems:  $(Zr, Ca)O_{2-x}$ ,  $(Zr, Y)O_{2+x}$ ,  $ZrSiO_4$ ,  $Y_3Al_5O_{12}$ ,  $MgAl_2O_4$  and other. Below are tables with the different characteristics of the main metal oxides used as matrix material for dispersed nuclear fuel and their comparison. The main characteristics is showed in tables (1-4)

Table 1 – Main physical and mechanical properties of oxide materials [2]

Property	Oxide compounds						
	$Al_2O_3$	$MgO$	$CeO_2$	$Y_2O_3$	$ZrO_2$	$MgAl_2O_4$	$ZrSiO_4$
<b>Melting temperature, °C</b>	2054	2827	~2400	2430	2710	2105	1676°C – eutectic formation
<b>Steam pressure, mm Hg.</b>	$10^{-9}$ (1950 °C)	$\sim 10^{-4}$ (1727°C)	$2 \cdot 10^{-7}$ (1500 °C) $6 \cdot 10^{-5}$ (2000°C)	$2 \cdot 10^{-7}$ (2000°C)	$2 \cdot 10^{-8}$ (2000°C)	-	-
<b>Thermal conductivity, W/(m·K)</b>	13,3 (500°C) 8,2 (1000°C) 5,8 (1500°C)	20,0 (500°C) 13,0 (1000°C) 6,0 (1500°C) 5,0 (2000°C)	1,2 (1000°C) 0,9 (1500°C) 1,2 (2000°C)	4,1 (500 °C) 2,5 (1000°C) 2,9 (1500°C) ~4,0 (2000°C)	2,2 (1000°C) 1,5 (1500°C) 1,8 (2000°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)
<b>Modulus of normal elasticity E, GPa</b>	374,63–147,10 (293–1773 K)	295,20–219,68 (298–1573)	162,4 (293 K)	180,1 (293 K)	168,68–94,15 (293–	274,0 (293 K)	154,0 (293 K)

		K)			1635K)		
<b>Shear modulus G, GPa</b>	124,55–105,92 (298–1323K)	113,76–35,31 (573–1673K)	62,74–34,32 (303–1373K)	–	60,80–97,09 (293–1573K)	–	64,4
<b>Poisson's ratio</b>	0,26–0,45 (298–1473 K)	0,36–0,47 (298–1373K)	0,515 (293K)	–	0,36 (293K)	–	0,19

Table 2 – Compatibility of oxide materials [3]

Contact substance	Kind of interaction					
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CeO <sub>2</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	MgAlO <sub>4</sub>
<b>Iron (shell of FUEL)</b>	Compatible at temperatures below 900 °C	Compatible at temperatures below 1100 °C	Compatible at temperatures below 650 °C	Compatible with refractory metals at temperatures below 1500 °C	Compatible at temperatures below 1200 °C	Compatible
<b>Water</b>	Doesn't dissolve	Hydroxide is formed	Doesn't dissolve	Slowly dissolving		
<b>HNO<sub>3</sub></b>	Doesn't dissolve	Dissolves at a low rate	Dissolves at a low rate	Dissolves at a low rate	Doesn't dissolve	

Table 3 – Changes in the length of oxide samples as a result of radiation exposure [4]

Sample material	Sample length L <sub>0</sub> , mm before irradiation	Sample length L, mm after irradiation	Extension (L – L <sub>0</sub> )/L <sub>0</sub> , %
MgO	251,6	252,7	0,4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	248,0	251,3	1,3
Y3Al5O12	250,0	249,6	–0,2
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	251,5	251,9	0,2

Table 4 – Influence of irradiation on the fracture viscosity of IMF matrix materials [5]

Matrix	Fracture viscosity	
	Data of work	Published data from unirradiated samples

CeO <sub>2-x</sub>	1,2 ± 2 <sup>xx</sup>	1,5 ± 0,4 <sup>xx</sup> 1,8 ± 0,3 <sup>xx</sup>	1,6–1,8
MgO		2,0 ± 0,5 <sup>x</sup>	-
MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	2,5 ± 0,4 <sup>x</sup>	2,0 ± 0,2 <sup>x</sup>	3,0 1,94 ± 0,10
Y <sub>3</sub> Al <sub>5</sub> O <sub>12</sub>	2,5 ± 0,4 <sup>x</sup>	1,9 ± 0,5 <sup>x</sup>	1,7 ± 0,1
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,7 ± 0,2 <sup>x</sup>	2,1 ± 0,4 <sup>xx</sup> 2,1 ± 0,3 <sup>x</sup>	

The main attention in the development of matrix materials is focused on zirconium dioxide, because it has high rates of chemical and radiation resistance [6].

However, zirconium oxide has a number of disadvantages, the main of which is the low thermal conductivity, which is improved by the gradual introduction of MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> [7].

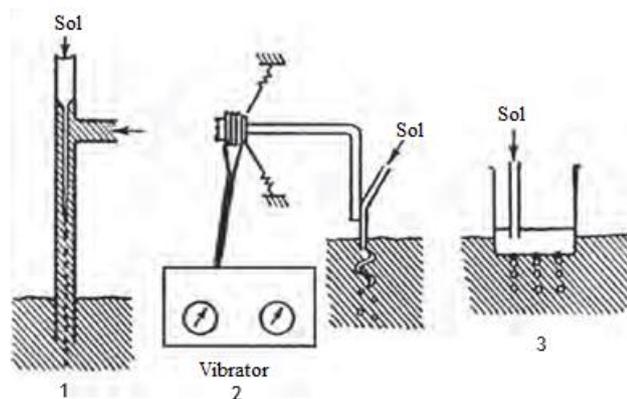
## 2.2 Methods for obtaining oxide compositions for REMIX-fuel

**Powder metallurgy** makes it possible to produce dispersion compounds, the creation of which includes the following stages: preparation of powders of each component, preparation of powder mixtures, creation of samples of compositions, heat treatment for achieving all the necessary physical and mechanical properties of the samples.

This technology is subdivided into several methods: hydrostatic pressing (the most common), extrusion forming and slip casting.

**Hydrostatic pressing.** The most important advantage of this method is the ability to distribute pressure evenly over the entire volume. The powdered mixture is enclosed in an elastic shell, which is placed in a perforated metal tube, and subjected to all-round hydrostatic compression in a pressure vessel. The method was used for production of cylindrical blanks of fuel element cores based on a mixture of thorium and plutonium dioxide powders [8].

**Gelation (formation of microspheres)** is performed through dehydration. The resulting dispersed sol droplets are injected into an organic liquid. CCl<sub>4</sub> was used as the phase. Dispersing device can have different forms (Fig. 1), the vibrating capillary is very popular because it makes it possible to achieve maximum uniformity of droplets in size.



1 - two-liquid nozzle; 2 - vibrating capillary; 3 - free-fall.  
 Figure 1 – Device for dispersing sol into a gelatinous medium [9]

The advantages of this method are simplicity, flexibility, easy process control, possibility of remote control.

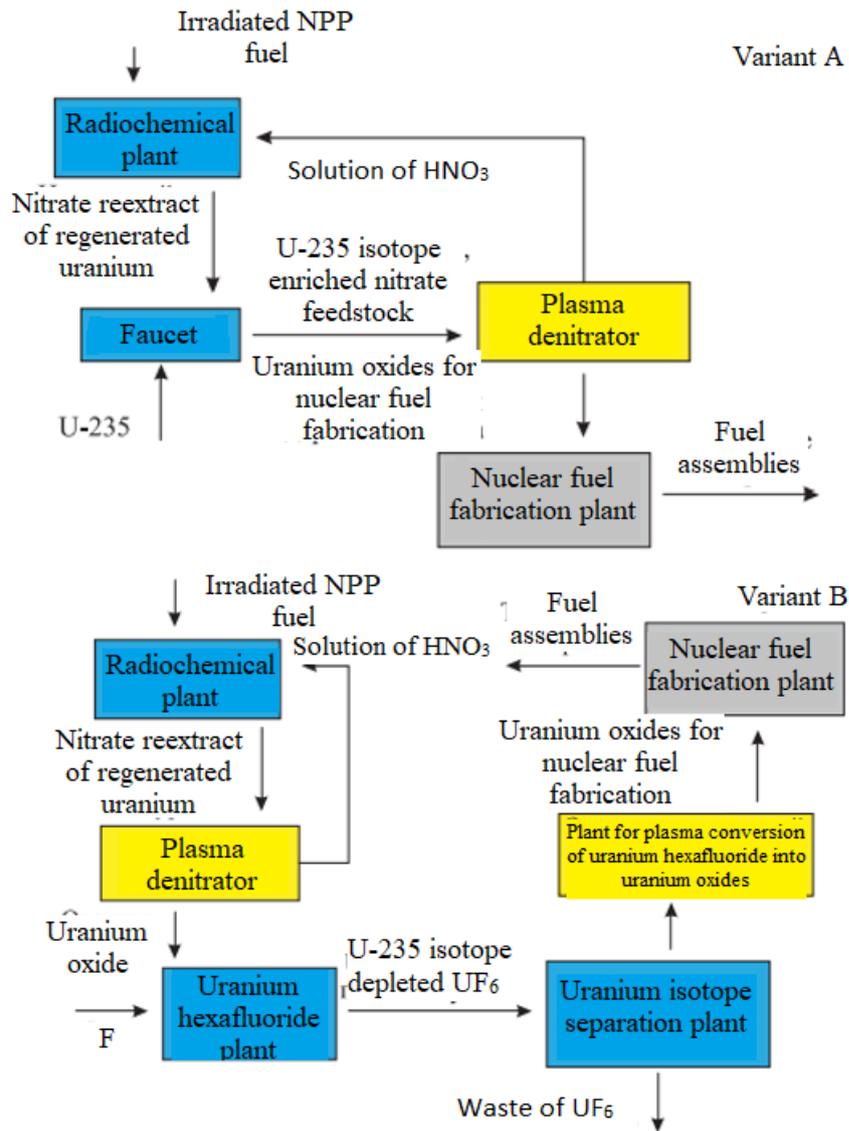
Disadvantages are impossibility to achieve monodispersity and to control the anisotropy parameters, obtaining only one-dimensional nanostructure.

### **Plasmachemical synthesis**

After the fuel is burned out, one of the further options for its development is the subsequent introduction of the residual usable nuclear fuel back into the fuel cycle. One way to do this is to extract the regenerated uranium through an extraction process, the last step of which is to produce nitrate solutions containing the isotope U-235 in a much lower concentration than that needed for the fuel.

Once the plant has extracted all the other components necessary to create the fuel, it is necessary to solve the problem of separating the uranium in the form of uranium dioxide. One way to do this is through the plasma process, which reduces the cost of creating the oxides, shortens the process chain, and has no environmental concerns.

Depending on the method of increasing the U-235 isotope content in the regenerated uranium, two schemes can be distinguished (Fig. 2).



A - without producing uranium hexafluoride. B - with production of uranium hexafluoride

Figure 2 – Potentially possible schemes of plasma conversion of nitrate reextracts of regenerated uranium from spent fuel elements for subsequent fabrication of uranium fuel

The advantages of this technology are the following: it is one-stage, it is carried out at high speed, it is possible to correct the size and morphology of the particles, often the technological equipment is compact.

## 2. Calculation part

### 2.1. Calculation of Combustibility Indicators for Organic Water

#### Nitrate Solutions

One of the indicators of combustibility of water-organic nitrate solutions is the lower calorific value  $Q_H^c$ , which is determined by the following formula:

$$Q_H^p = \frac{(100-W-A)Q_H^c}{100} - \frac{2,5W}{100}, \quad (1)$$

where  $Q_H^c$  is the heat of combustion of the combustible component, MJ/kg; W is the water content, A is non-combustible minerals in the composition %; Coefficient 2.5 takes into account the latent heat of water evaporation at 0 oC, MJ/kg.

Solutions with  $Q_H^p \geq 8.4$  MJ/kg are considered flammable [10].

A more objective indicator of the flammability of water-organic nitrate solution is the adiabatic combustion temperature, which was calculated using this formula:

$$T_{ad} = \frac{(100 - v_{ok})Q_H^p + v_{ok}C_{ok}t_{ok}}{100VC}, \quad (2)$$

where  $v_{ok}$  - theoretical oxidizer flow rate,  $m^3/m^3$ ;  $C_{ok}$  - average heat capacity of oxidizer,  $kJ/m^3 \cdot grad$ ;  $t_{ok}$  - temperature of oxidizer, °C;  $C_{sp}$  - specific equilibrium heat capacity of plasma processing products of water-organic nitrate solution  $kJ/kg \cdot grad$ .

WONS that have  $T_{ad} \approx 1500$  K, provide their energy-efficient recycling in an air-plasma flow [11].

Acetone and ethanol were used as the combustible component because they have a high calorific value, high mutual solubility, and easy accessibility .

Tables 5 and 6 present the optimal composition of acetone-based BONP solutions having  $T_{ad} \approx 1500$ K.

Tables 7 and 8 present the optimal compositions of ethanol-based BONP solutions having  $T_{ad} \approx 1500$ K.

Table 5 – Calculation of the composition of solutions of WONS 1-10; 41-49 for plasmachemical synthesis of the required oxide compounds at  $\alpha = 0,033$  for the case of acetone

$\alpha = U/(U + Pu) = 0,033$								
$N_0$	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O, \%$	$Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O, \%$	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O, \%$	$H_2O, \%$	$C_3H_6O, \%$	$UO_2, \%$	$PuO_2, \%$	$MgO, \%$
1	34,159	1,362	6,399	38,078	20	91,865	3,135	5
2	28,227	1,126	11,164	39,482	20	87,03	2,97	10
3	23,343	0,931	14,664	40,061	21	82,195	2,805	15

4	19,485	0,777	17,340	40,397	22	77,36	2,64	20
5	13,803	0,551	21,058	40,587	24	67,69	2,31	30
6	9,987	0,398	23,7	40,913	25	58,02	1,98	40
7	7,271	0,29	25,882	41,556	25	48,35	1,65	50

Table 6 – Calculation of the composition of WONS 11-21; 50-58 solutions for plasmachemical synthesis of the required oxide compounds at  $\alpha = 0,044$  for the case of acetone

$\alpha = U/(U + Pu) = 0,044$								
№	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	H <sub>2</sub> O, %	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> O, %	UO <sub>2</sub> , %	PuO <sub>2</sub> , %	MgO, %
8	33,779	1,8178	6,401	38	20	90,82	4,18	5
9	27,563	1,483	11,027	38,926	21	86,04	3,96	10
10	22,79	1,226	14,481	39,502	22	81,26	3,74	15
11	19,266	1,036	17,343	40,353	22	76,48	3,52	20
12	14,186	0,763	21,892	42,158	21	66,92	3,08	30
13	10,269	0,552	24,65	42,527	22	57,36	2,64	40
14	7,476	0,402	26,92	43,202	22	47,8	2,2	50

Table 7 – Calculation of the composition of solutions of WONS 22-30; 59-67 for plasma chemical synthesis of the required oxide compounds at  $\alpha = 0,033$  for the case of ethanol

$\alpha = U/(U + Pu) = 0,033$								
№	UO <sub>2</sub> (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	Pu(NO <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> ·6H <sub>2</sub> O, %	H <sub>2</sub> O, %	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O, %	UO <sub>2</sub> , %	PuO <sub>2</sub> , %	MgO, %
1	30,315	1,209	5,679	33,794	29	91,865	3,135	5
2	24,698	0,985	9,768	34,546	30	87,03	2,97	10
3	20,684	0,825	12,993	35,497	30	82,195	2,805	15
4	17,486	0,697	15,561	36,253	30	77,36	2,64	20
5	12,532	0,5	19,118	36,850	31	67,69	2,31	30
6	9,055	0,361	21,488	37,095	32	58,02	1,98	40
7	6,495	0,259	23,121	37,124	33	48,35	1,65	50

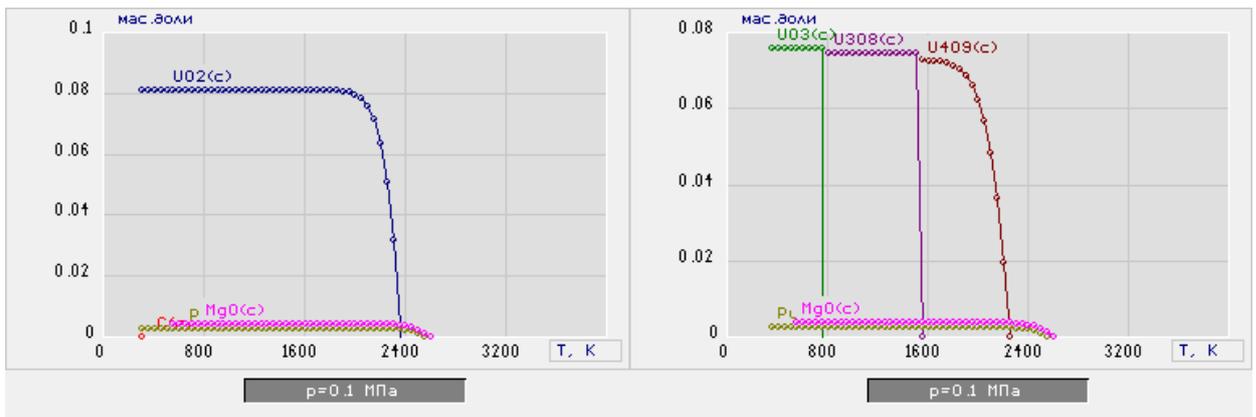
Table 8 – Calculation of the composition of WONS 31-40; 68-76 solutions for plasma chemical synthesis of the required oxide compounds at  $\alpha = 0,044$  for the case of ethanol

$\alpha = U/(U + Pu) = 0,044$								
№	$UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O, \%$	$Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O, \%$	$Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O, \%$	$H_2O, \%$	$C_2H_6O, \%$	$UO_2, \%$	$PuO_2, \%$	$MgO, \%$
1	29,979	1,613	5,681	33,73	29	90,82	3,135	5
2	24,423	1,314	9,771	34,491	30	86,04	2,97	10
3	20,160	1,085	12,810	34,945	31	81,26	2,805	15
4	16,796	0,904	15,119	35,180	32	76,48	2,64	20
5	12,031	0,647	18,566	35,754	33	66,92	2,31	30
6	8,821	0,474	21,174	36,530	33	57,36	1,98	40
7	6,230	0,335	22,4326	36,001	35	47,8	1,65	50

## 2.2. Thermodynamic modeling of the process of plasmachemical processing of WONS

For modeling the synthesis we used the program «TERRA», which has an extensive database of various heterogeneous mixtures and allows us to determine the output components with the setting of the required processing parameters. Atmospheric pressure, a wide temperature range from 300 to 4000 K was taken as the basis. Calculation was performed when the fraction of air content was changed, in order to find the optimal processing mode with the required output.

Figures 3-9 show the characteristic equilibrium compositions of the products of plasma processing of acetone-based WONS for  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K at  $\alpha = 0,033$ .

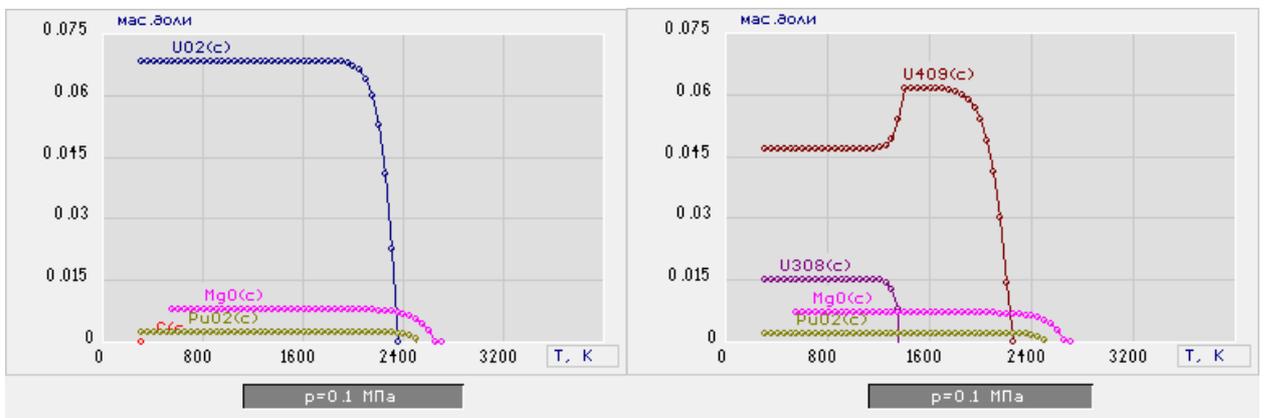


a)

b)

a – percentage of air 56 %; b – percentage of air 61 %

Figure 3 – Dependence of the mass fraction of WONS 1 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 5%)

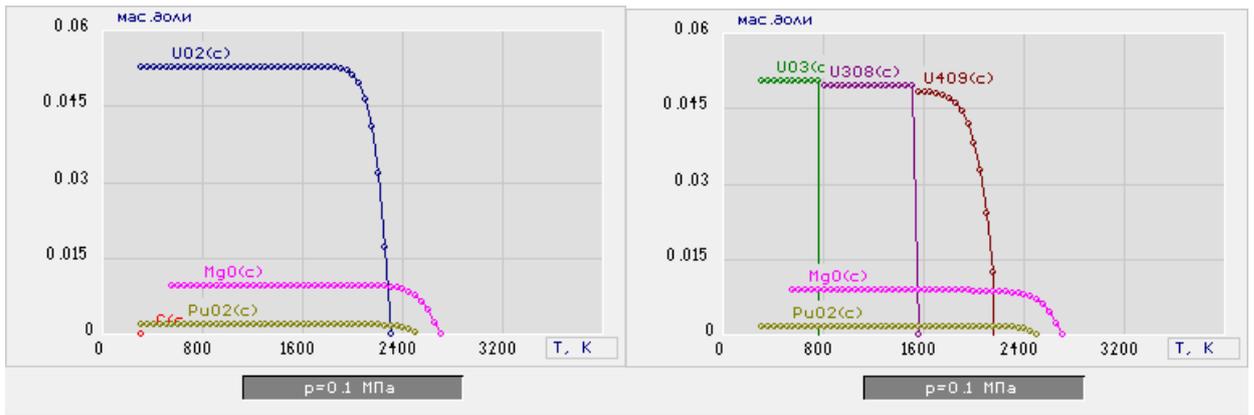


a)

b)

a – percentage of air 56 %; b – percentage of air 60 %

Figure 4 – Dependence of the mass fraction of WONS 2 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 10%)

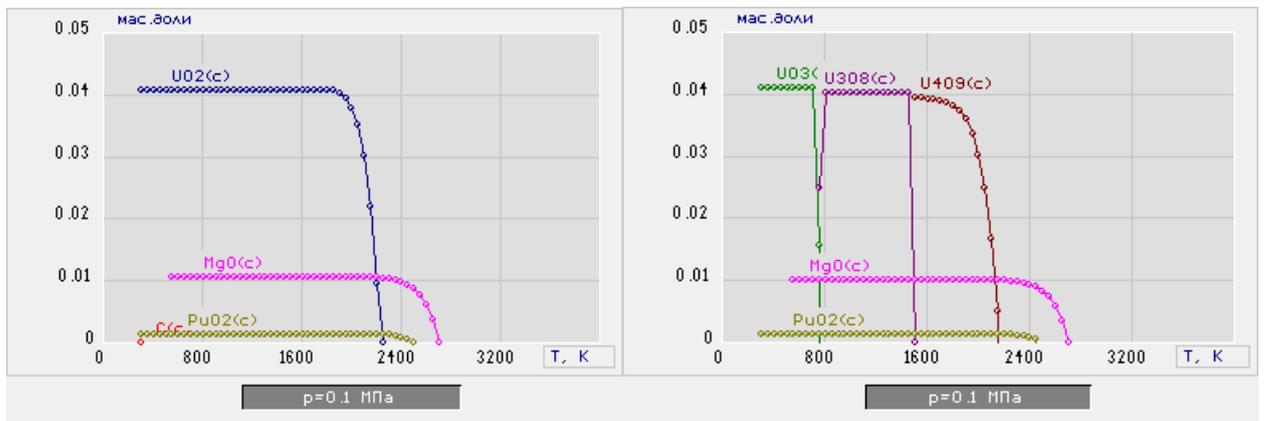


a)

b)

a – percentage of air 58 %; b – percentage of air 63 %

Figure 5 – Dependence of the mass fraction of WONS 3 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 15 %)

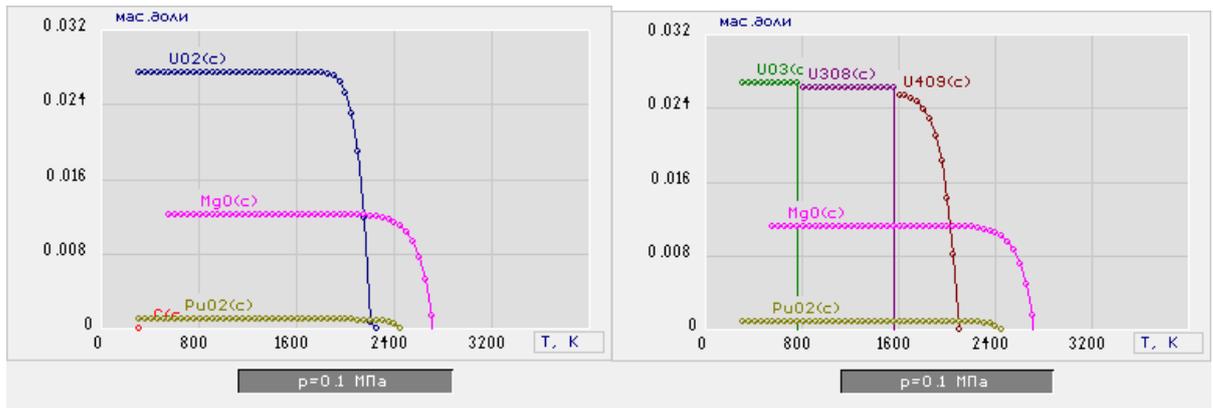


a)

b)

a – percentage of air 61 %; b – percentage of air 63 %

Figure 6 – Dependence of the mass fraction of WONS 4 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 20 %)

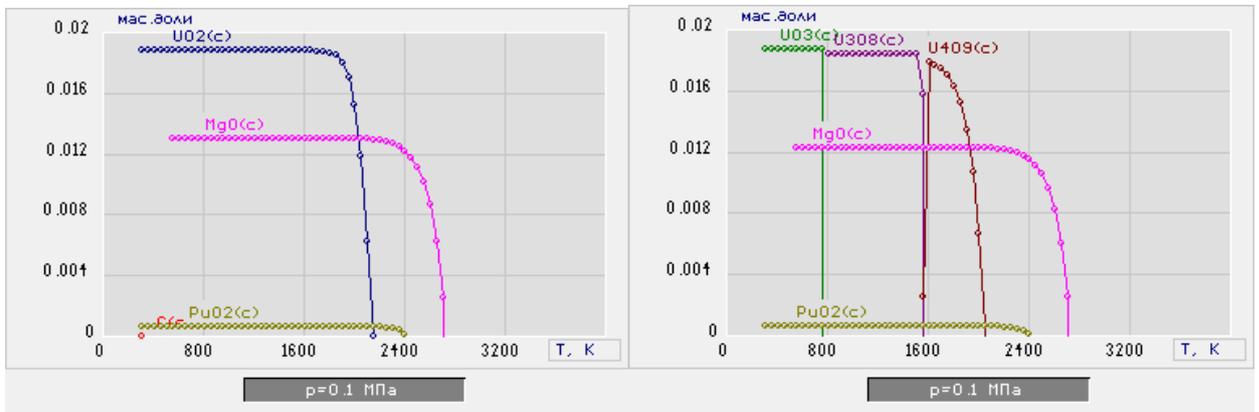


a)

b)

a – percentage of air 63 %; b – percentage of air 66 %

Figure 7 – Dependence of the mass fraction of WONS 5 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 30%)

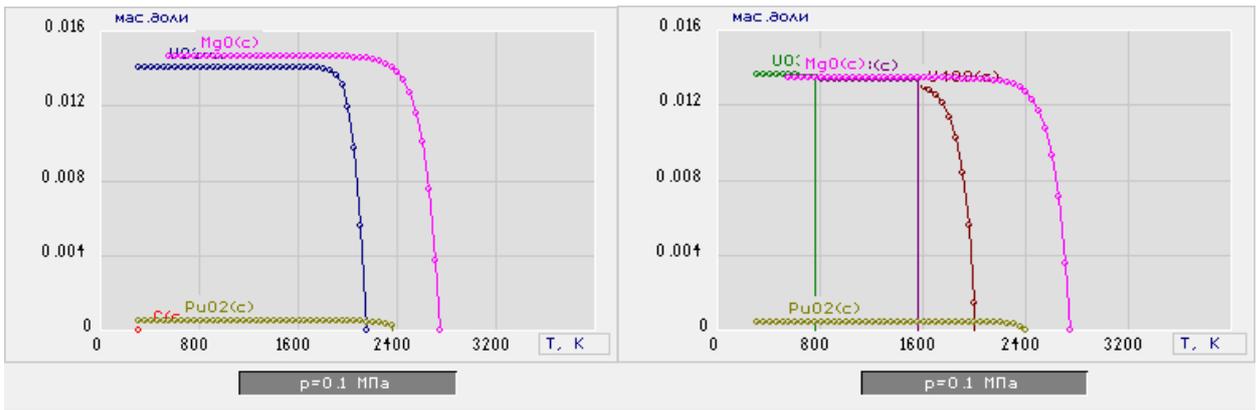


a)

b)

a – percentage of air 65 %; b – percentage of air 67 %

Figure 8 – Dependence of the mass fraction of WONS 6 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 40%)



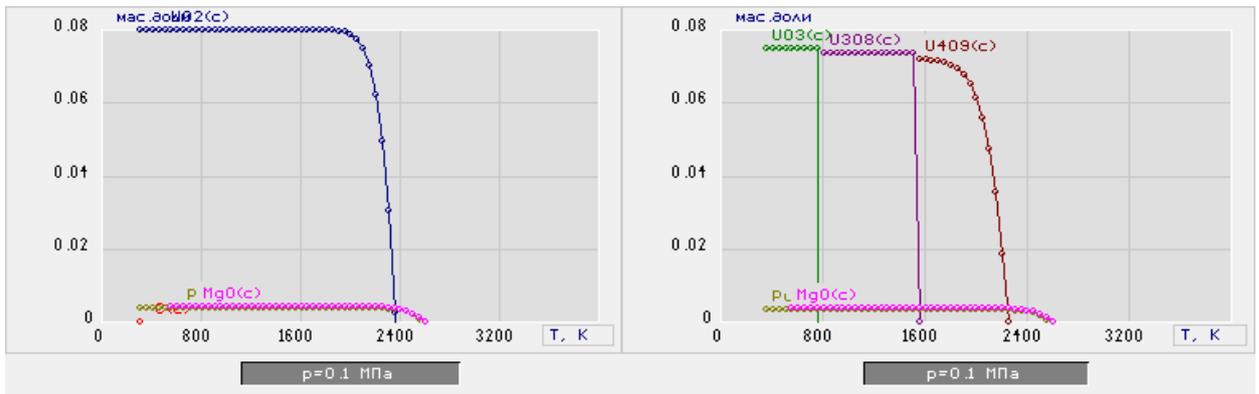
a)

b)

a – percentage of air 64 %; b – percentage of air 67 %

Figure 9 – Dependence of the mass fraction of WONS 7 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 50%)

Figures 10-16 show the characteristic equilibrium compositions of the products of plasma processing of acetone-based WONS for  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K at  $\alpha = 0,044$ .

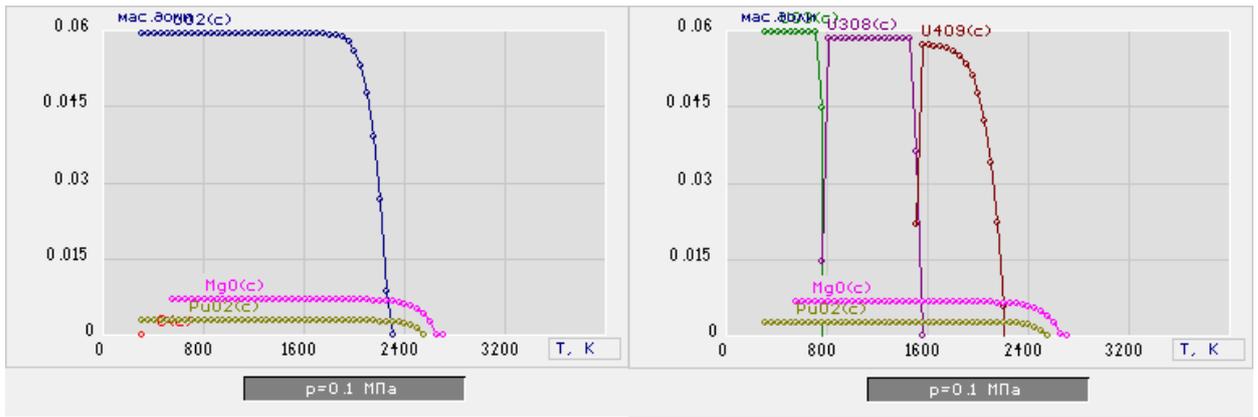


a)

b)

a – percentage of air 56 %; b – percentage of air 61 %

Figure 10 – Dependence of the mass fraction of WONS 8 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 5 %)

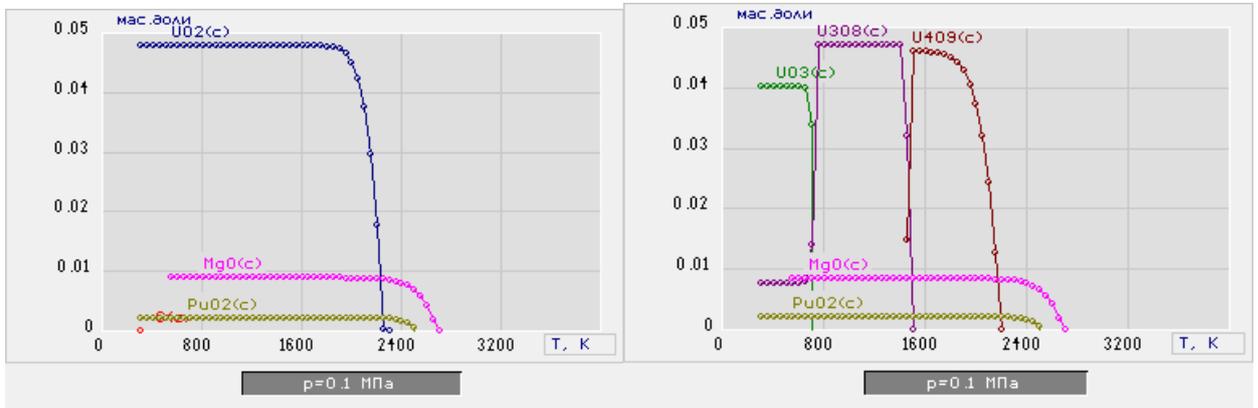


a)

b)

a – percentage of air 60 %; b – percentage of air 62 %

Figure 11 – Dependence of the mass fraction of WONS 9 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 10 %)

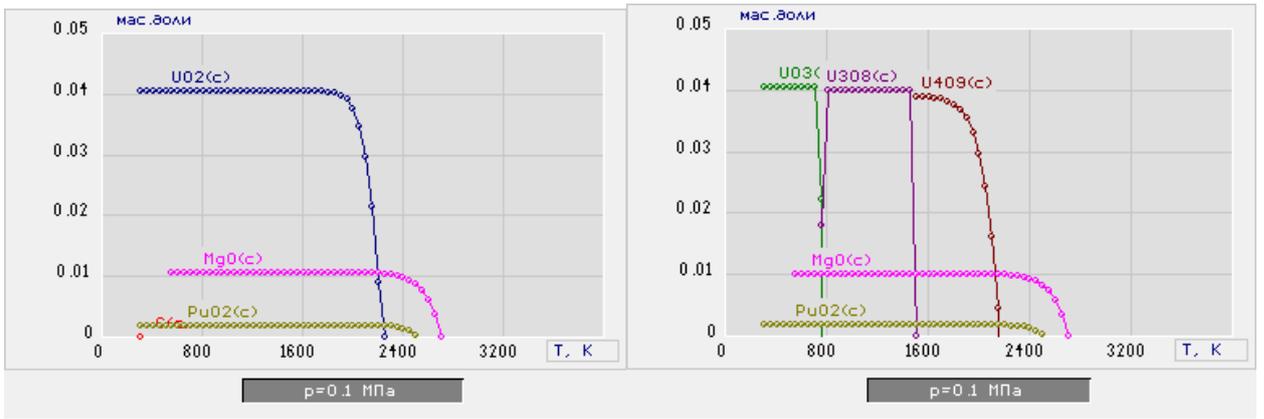


a)

b)

a – percentage of air 61 %; b – percentage of air 63 %

Figure 12 – Dependence of the mass fraction of WONS 10 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 15 %)

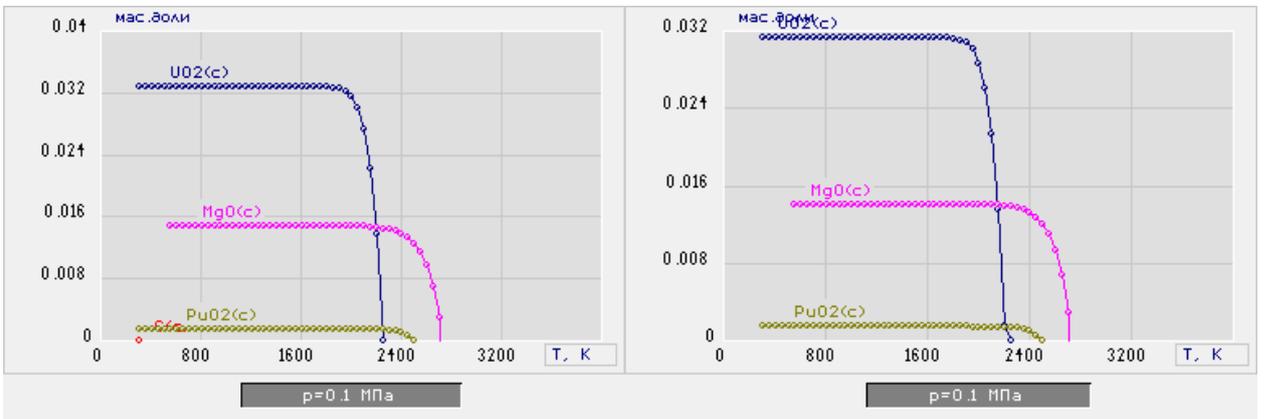


a)

b)

a – percentage of air 61 %; b – percentage of air 63 %

Figure 13 – Dependence of the mass fraction of WONS 11 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 20 %)

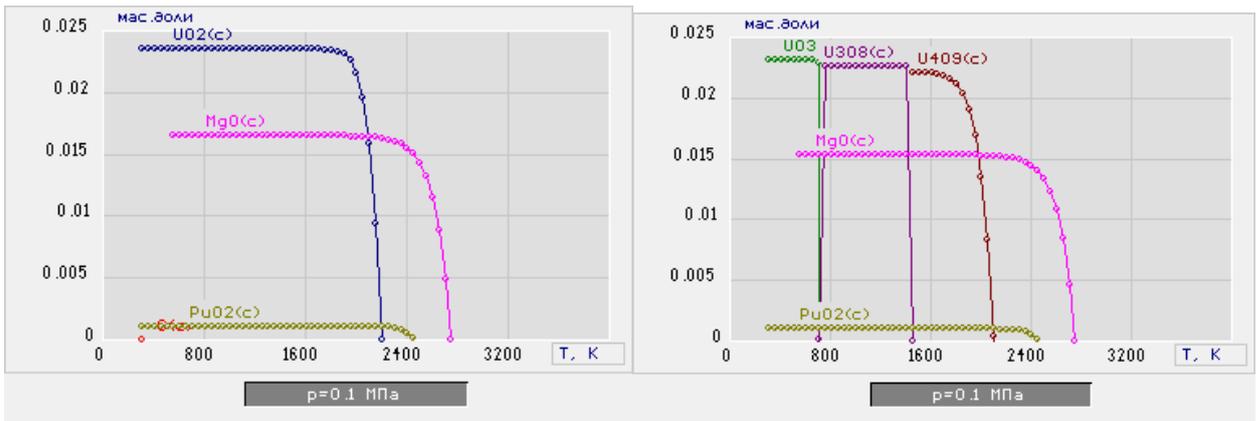


a)

b)

a – percentage of air 57 %; b – percentage of air 59 %

Figure 14 – Dependence of the mass fraction of WONS 12 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 30%)

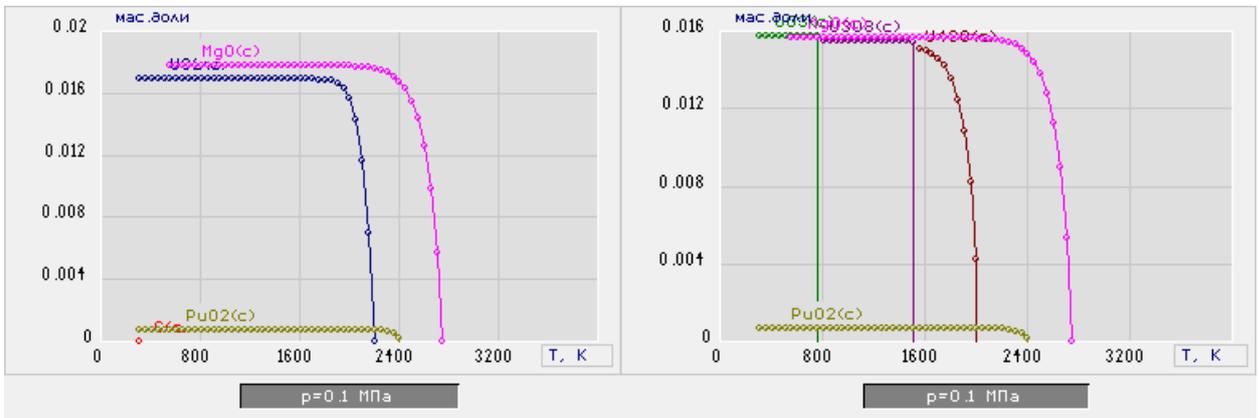


a)

b)

a – percentage of air 58 %; b – percentage of air 61 %

Figure 15 – Dependence of the mass fraction of WONS 13 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 40%)



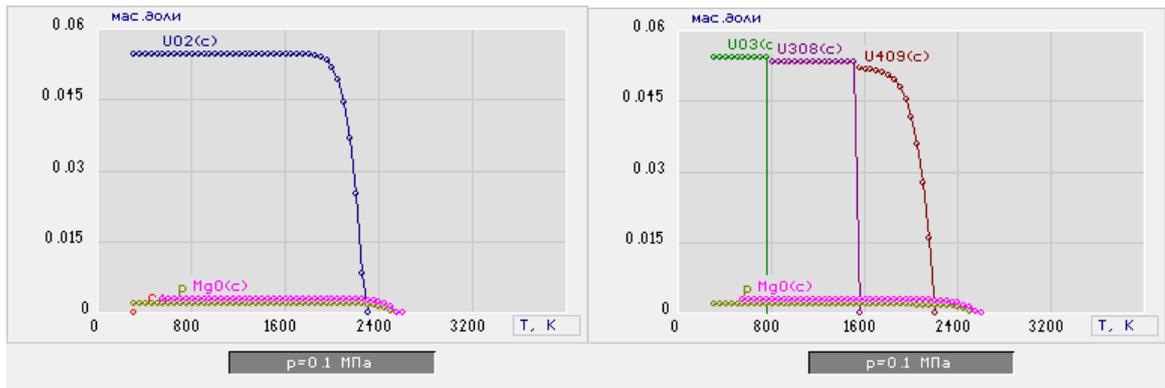
a)

b)

a – percentage of air 58 %; b – percentage of air 63 %

Figure 16 – Dependence of the mass fraction of WONS 14 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 50%)

Figures 17-23 show the characteristic equilibrium compositions of the plasma processing products of ethanol-based WONS for  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K at  $\alpha = 0,033$ .

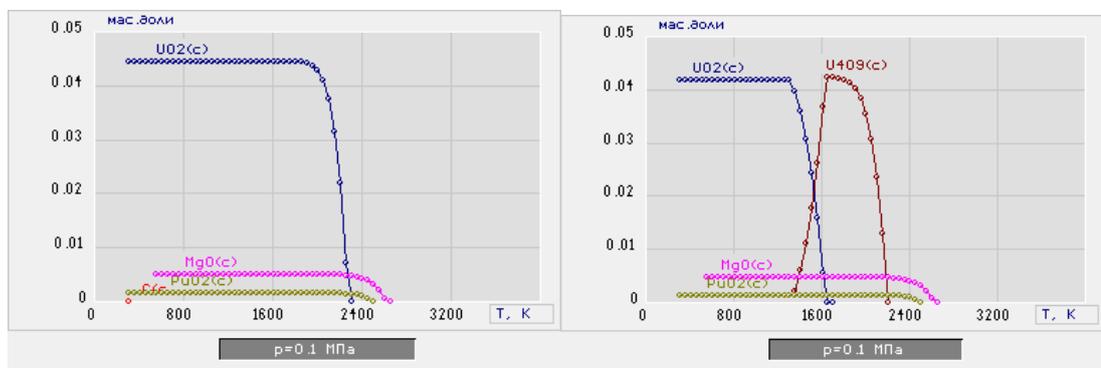


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 69 %

Figure 17 – Dependence of the mass fraction of WONS 15 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 5%)

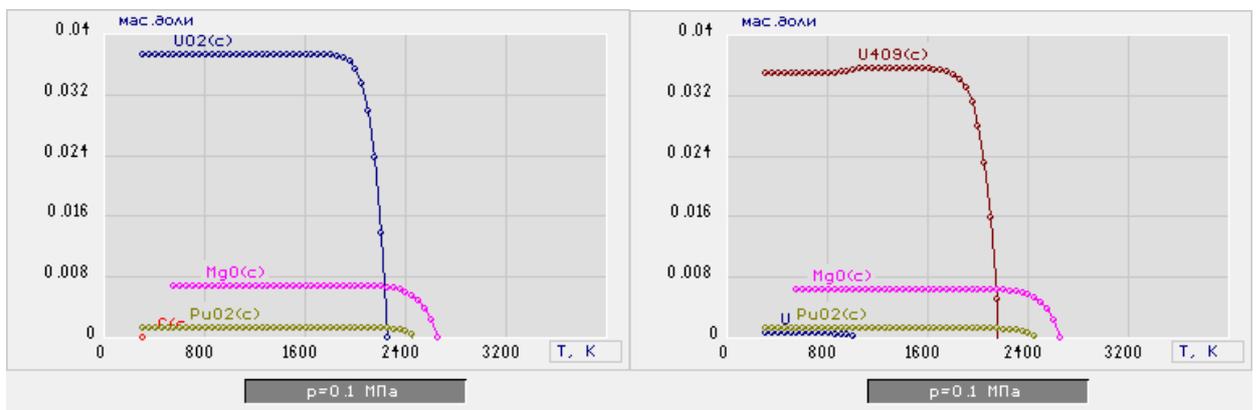


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 69 %

Figure 18 – Dependence of the mass fraction of WONS 16 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 10 %)

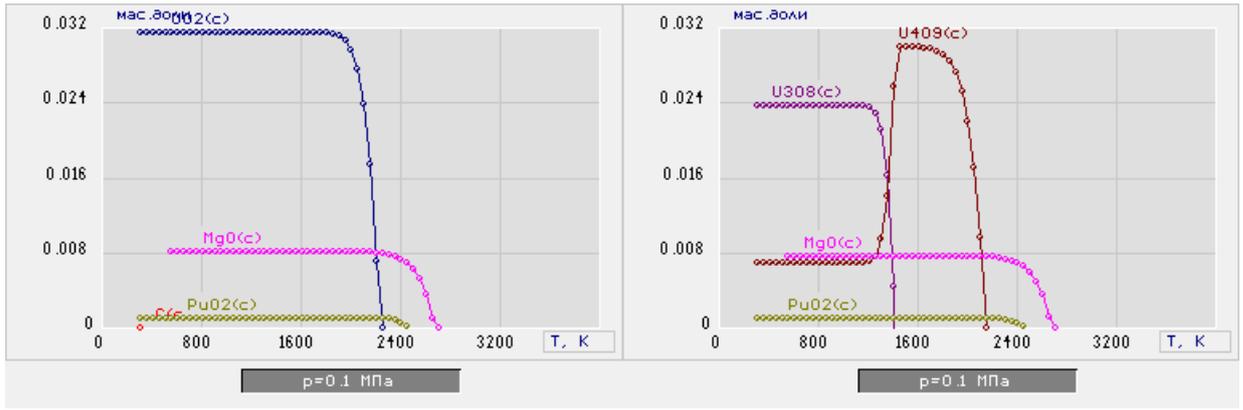


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 69 %

Figure 19 – Dependence of the mass fraction of WONS 17 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 15 %)

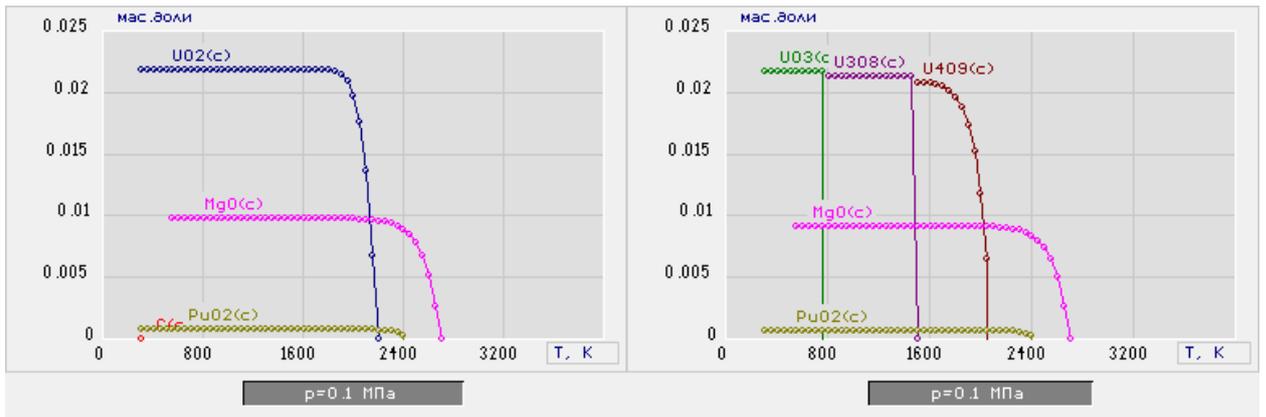


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 69 %

Figure 20 – Dependence of the mass fraction of WONS 18 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 20 %)

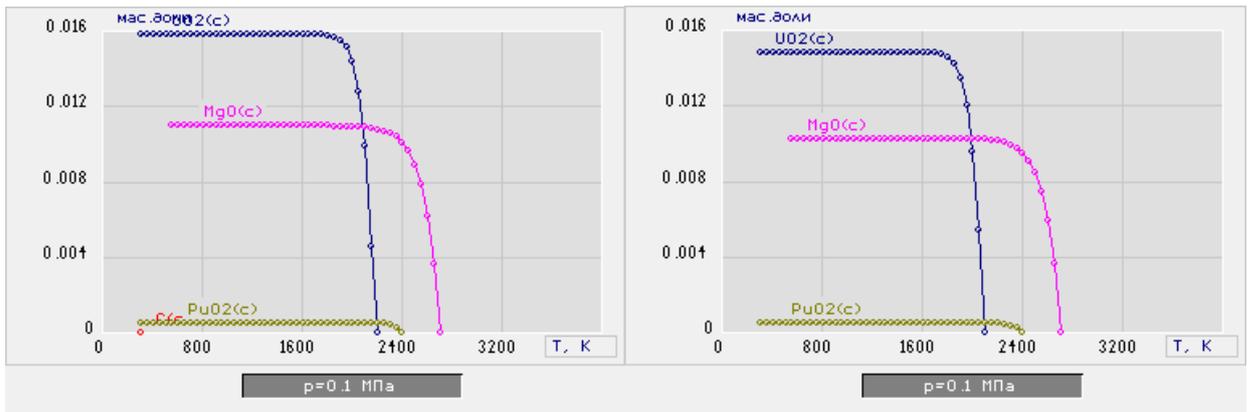


a)

b)

a – percentage of air 68 %; b – percentage of air 70 %

Figure 21 – Dependence of the mass fraction of WONS 19 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 30%)

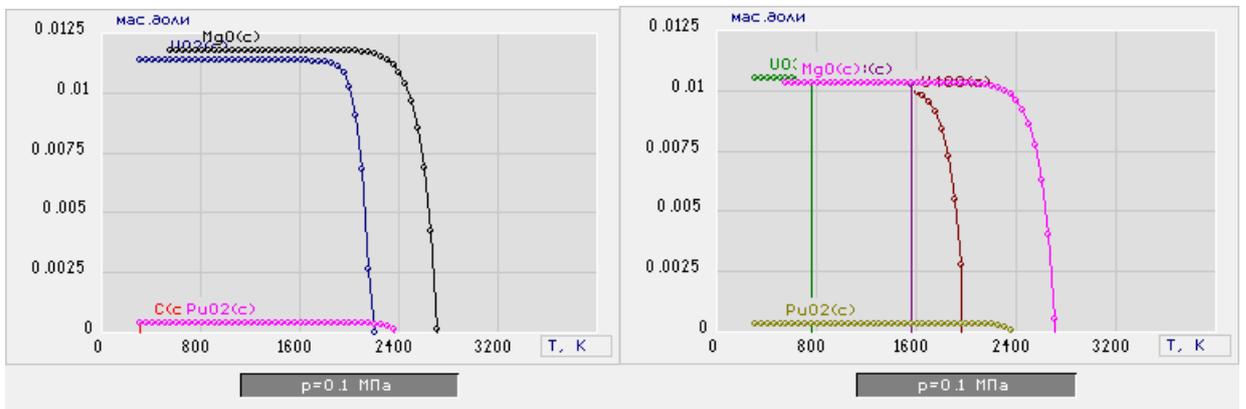


a)

b)

a – percentage of air 68 %; b – percentage of air 70 %

Figure 22 – Dependence of the mass fraction of WONS 20 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 40 %)



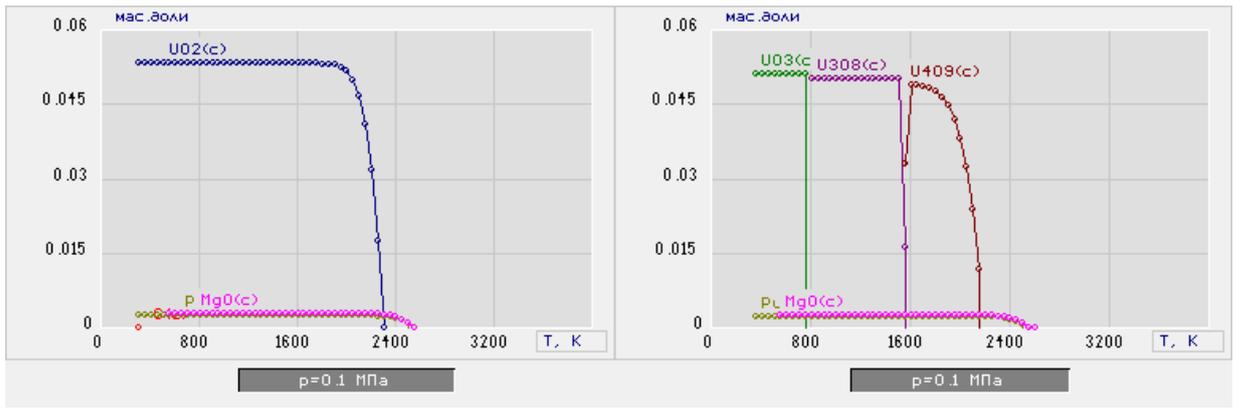
a)

b)

a – percentage of air 68 %; b – percentage of air 72 %

Figure 23 – Dependence of the mass fraction of WONS 21 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 50 %)

Figures 24-30 show the characteristic equilibrium compositions of the plasma processing products of ethanol-based WONS for  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K at  $\alpha = 0,044$ .

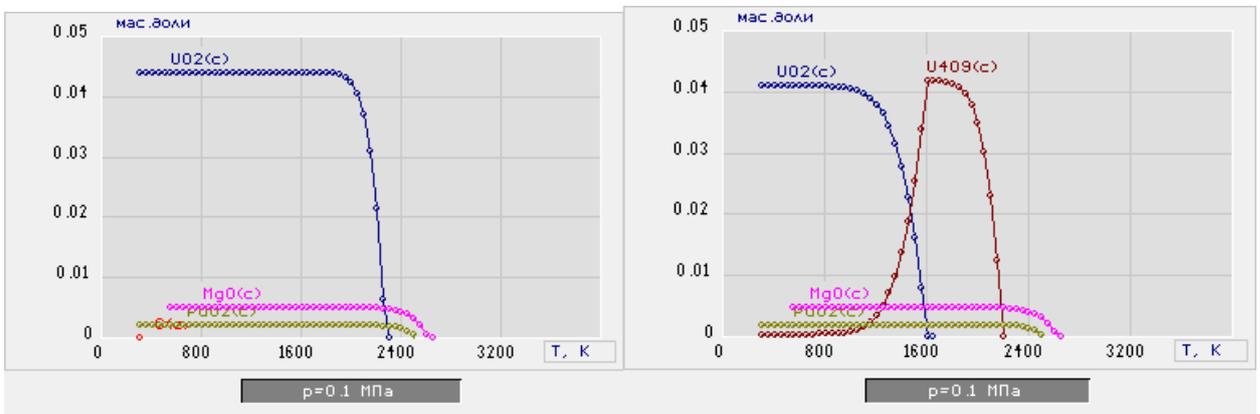


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 70 %

Figure 24 – Dependence of the mass fraction of WONS 22 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 5 %)

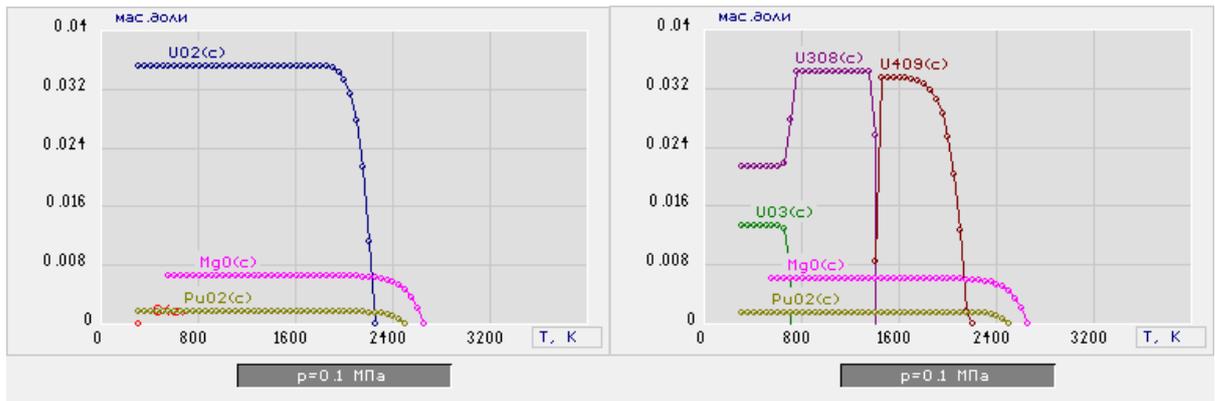


a)

b)

a – percentage of air 67 %; b – percentage of air 69 %

Figure 25 – Dependence of the mass fraction of WONS 23 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 10 %)

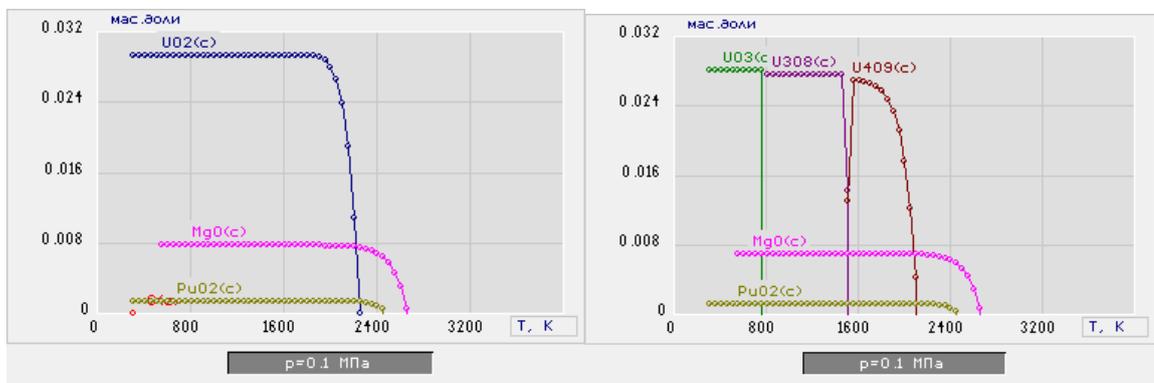


a)

b)

a – percentage of air 68 %; b – percentage of air 70 %

Figure 26 – Dependence of the mass fraction of WONS 24 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 15 %)

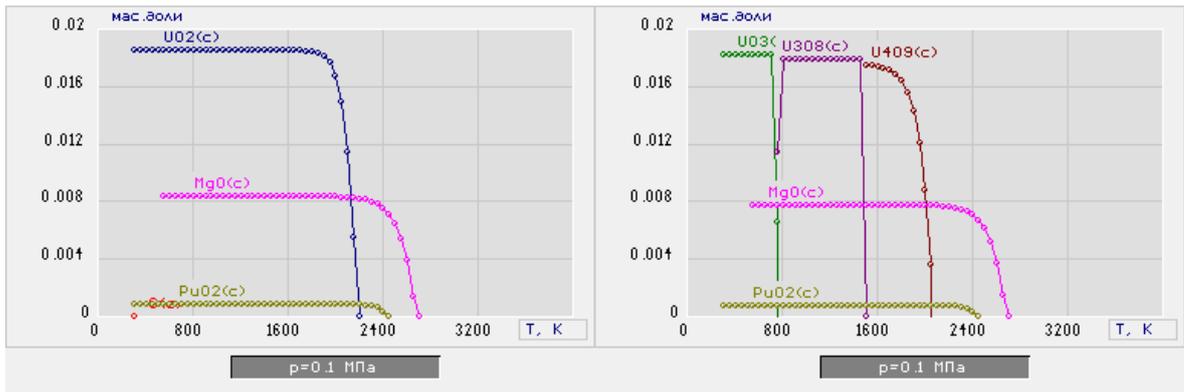


a)

b)

a – percentage of air 68 %; b – percentage of air 71 %

Figure 27 – Dependence of the mass fraction of WONS 25 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 20 %)

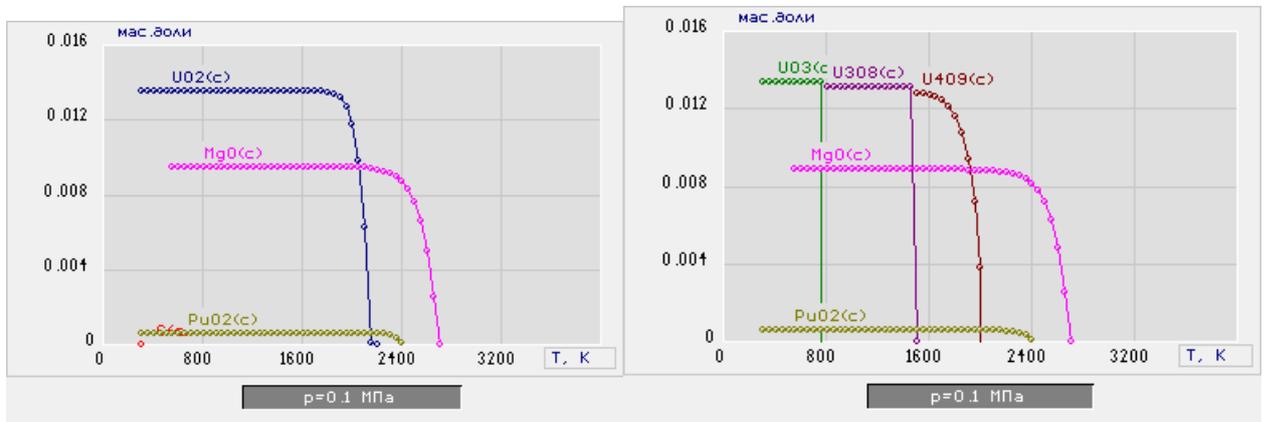


a)

b)

a – percentage of air 71 %; b – percentage of air 73 %

Figure 28 – Dependence of the mass fraction of WONS 26 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 30 %)

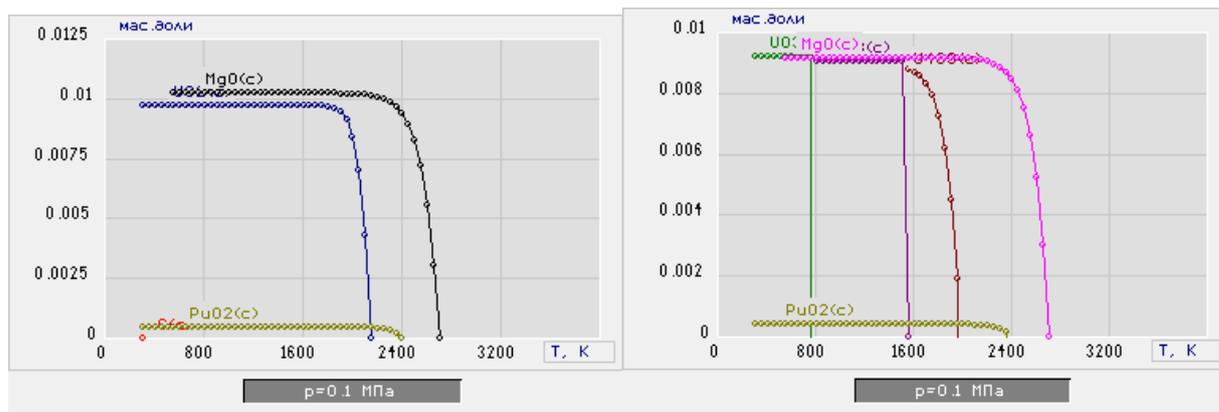


a)

b)

a – percentage of air 71 %; b – percentage of air 73 %

Figure 29 – Dependence of the mass fraction of WONS 27 output components on the temperature during plasma treatment, (MgO 40 %)



a)

b)

a – percentage of air 71 %; b – percentage of air 74 %

Figure 30 – Dependence of the mass fraction of WONS 28 output components on the temperature during plasma treatment (MgO 50 %)

Calculations of the energy consumption for compositions of acceptable WONS obtained after plasmachemical synthesis have been performed.

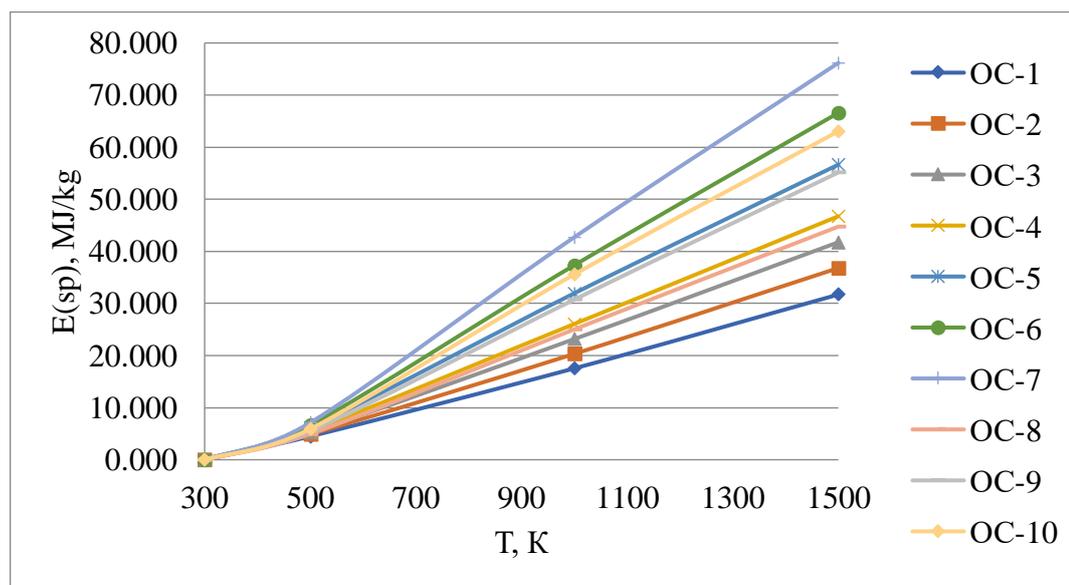


Figure 31 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 1500 K

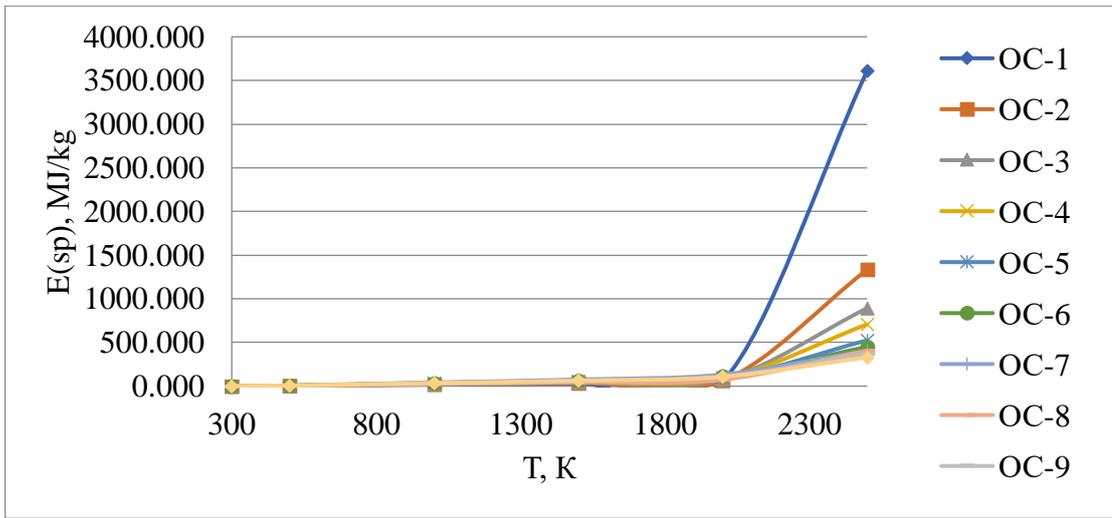


Figure 32 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 2500 K

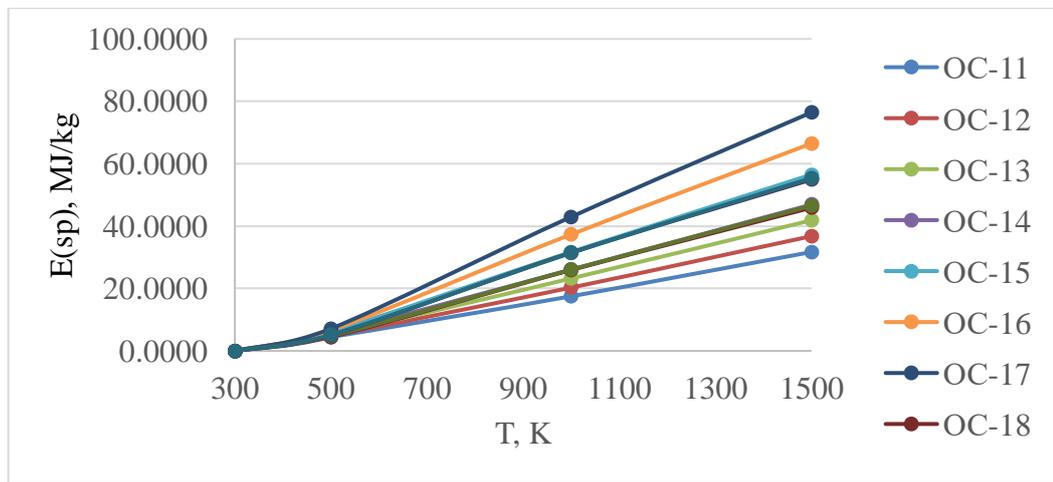


Figure 33 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 1500 K

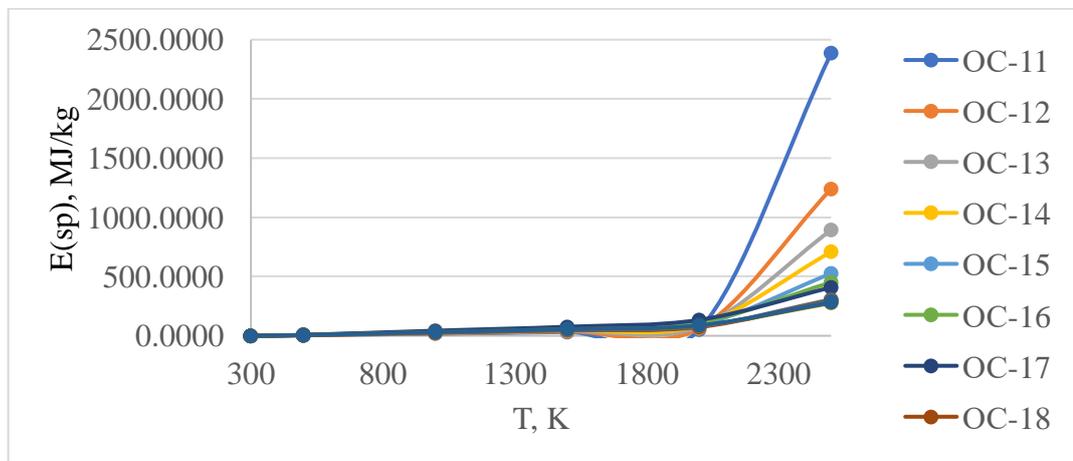


Figure 34 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 2500 K

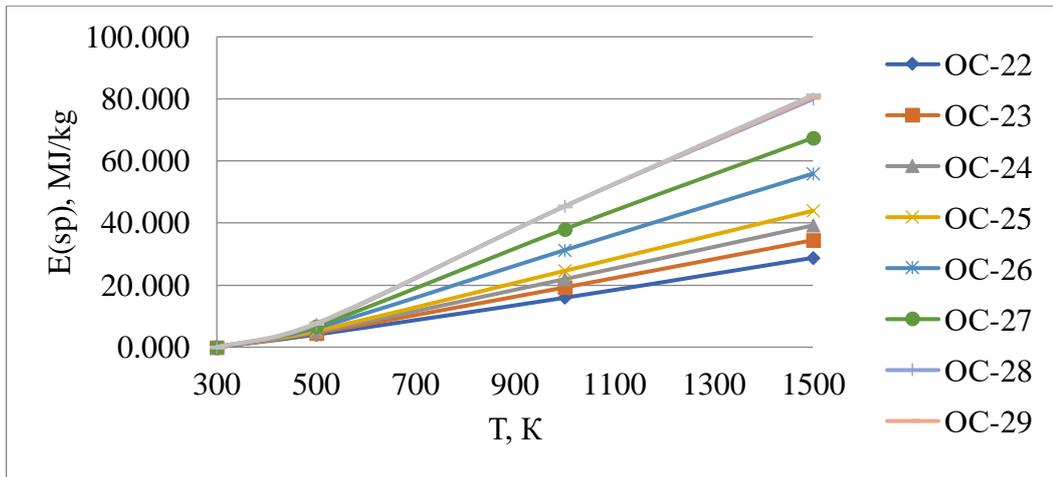


Figure 35 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 1500 K

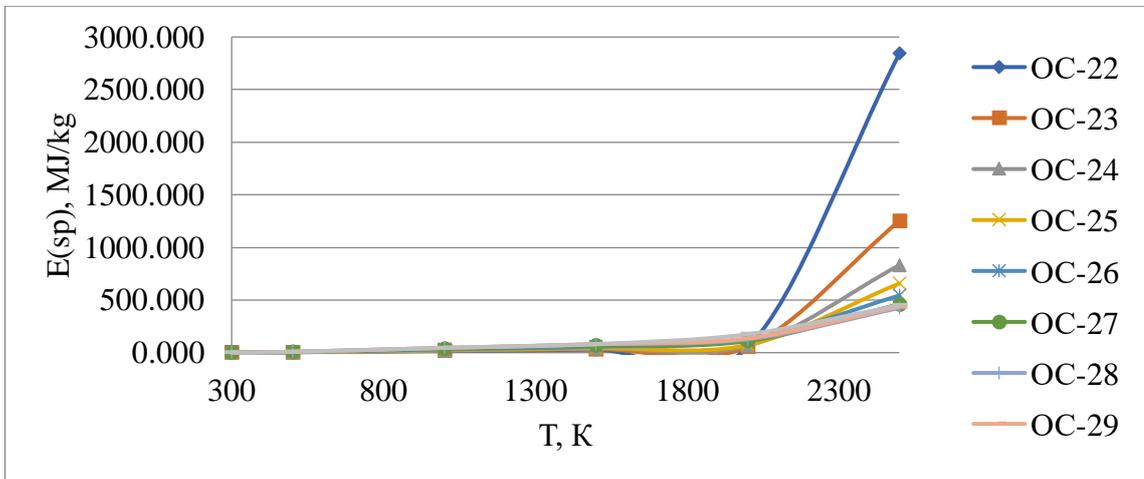


Figure 36 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 2500 K

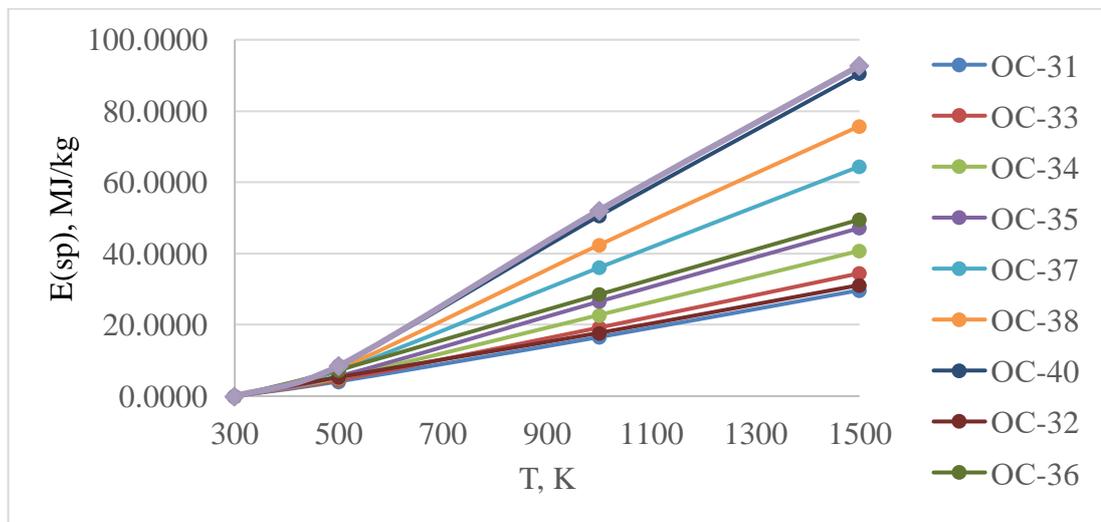


Figure 37 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 1500 K

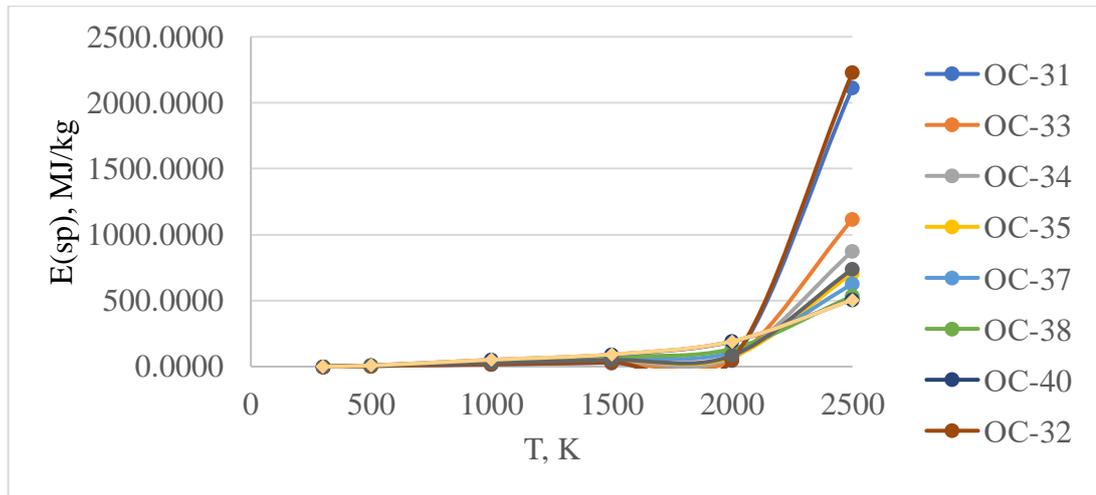


Figure 38 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $T(ad) = 1550 \pm 50$  K to 2500 K

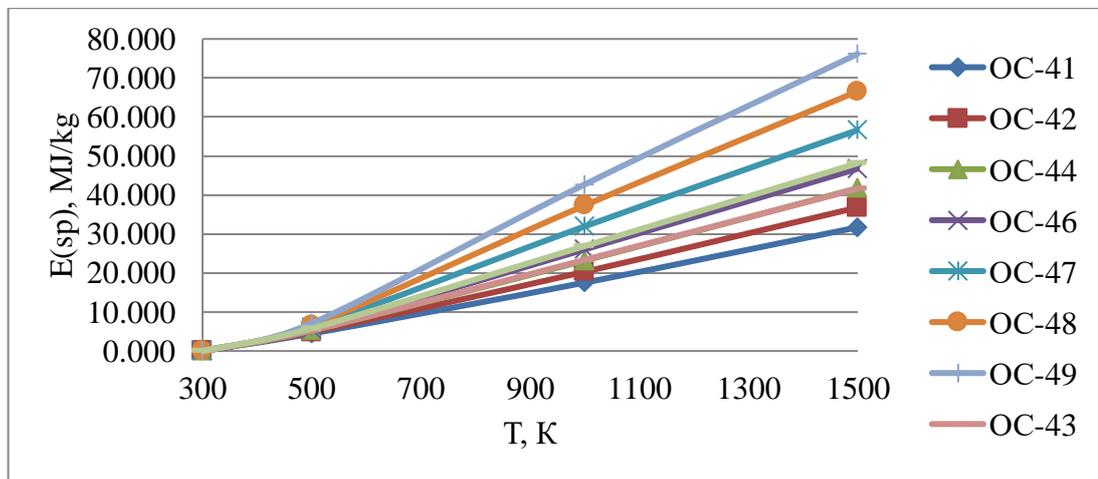


Figure 39 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 1500 K

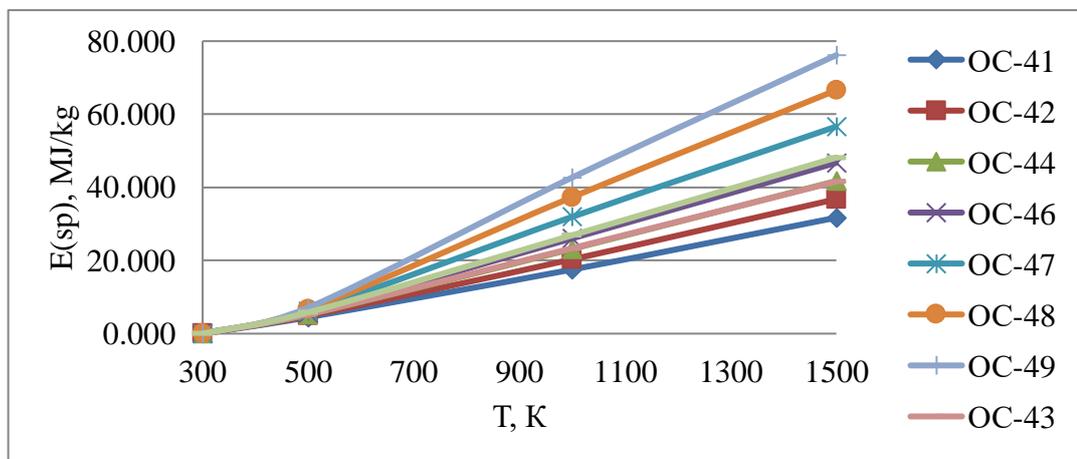


Figure 40 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 2500 K

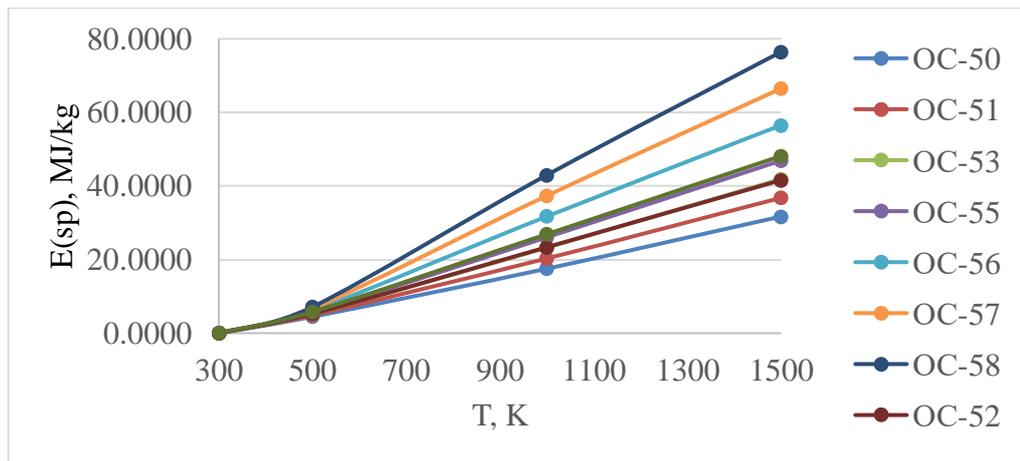


Figure 41 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 1500 K

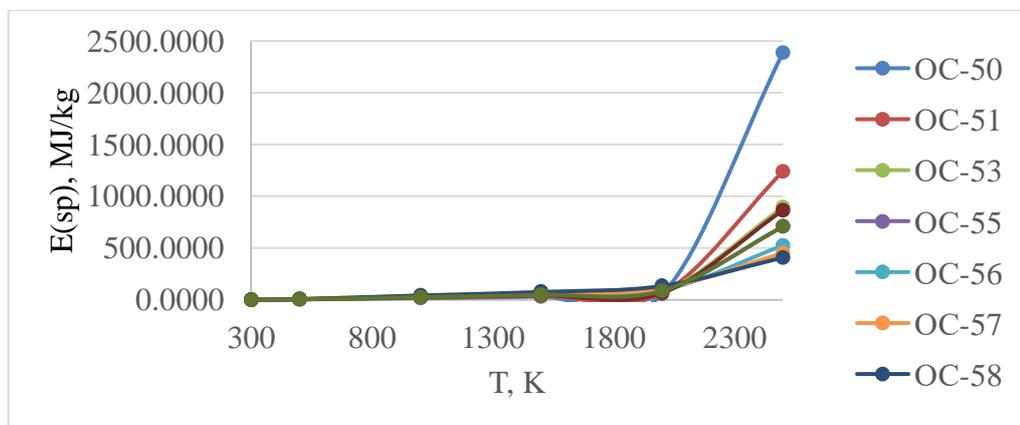


Figure 42 – Specific energy costs of acetone-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 2500 K

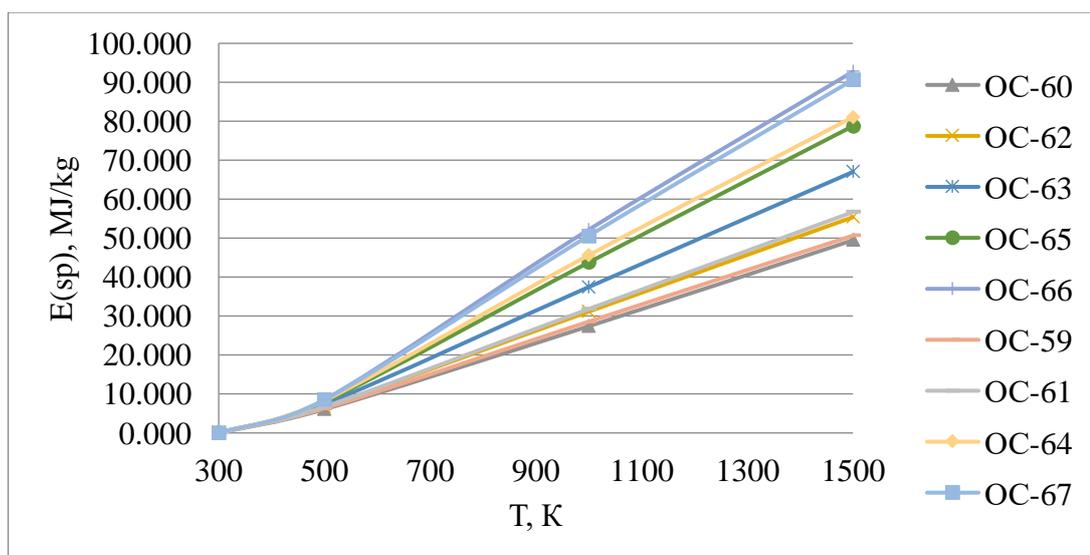


Figure 43 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 1500 K

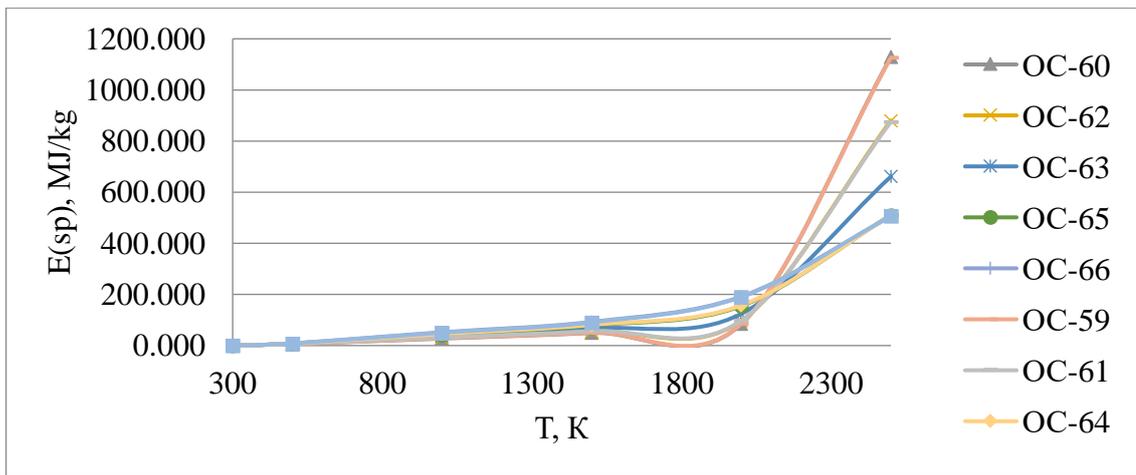


Figure 44– Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,033$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 2500 K

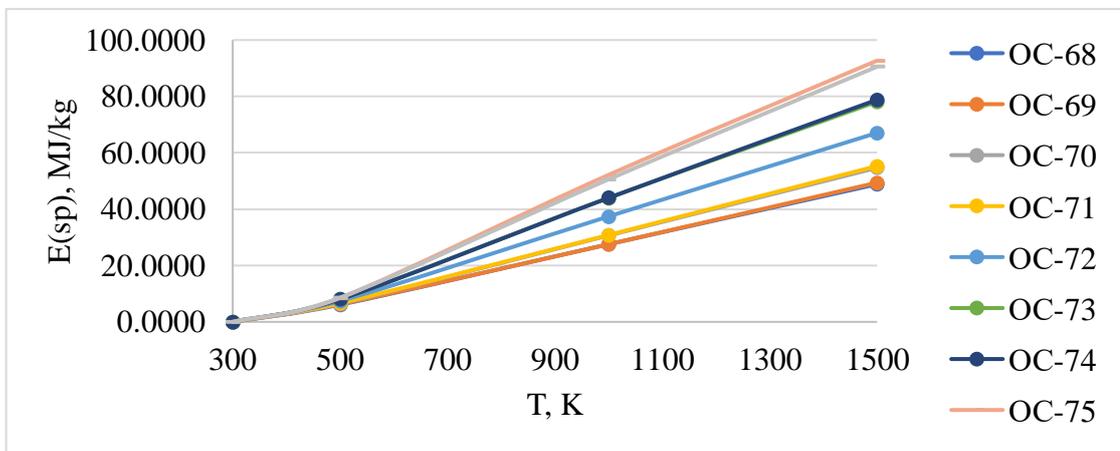


Figure 45 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 1500 K

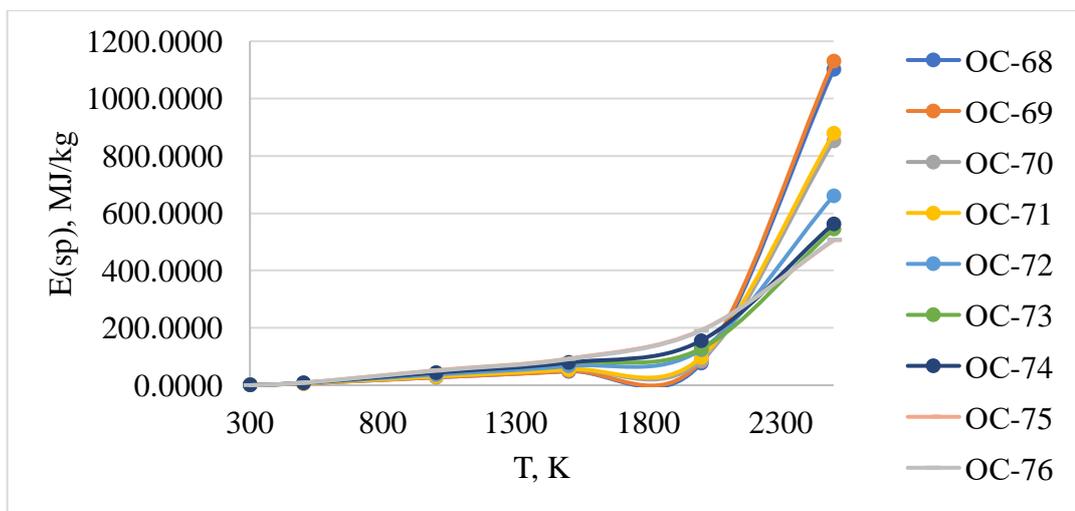


Figure 46 – Specific energy costs of ethanol-based plasma treatment at  $\alpha = 0,044$  and at  $Q_{sp} \geq 8.4$  MJ/kg up to 2500 K

### 3. Experimental part

#### 3.1 Determination of air flow rates through the reactor and plasmatron

The pressure created by the incoming air flow was determined by the formula [11]:

$$f = \frac{\rho V^2}{2} = P_{\Pi} - P_{CT}, \quad (3)$$

where  $P_n$  – total pressure, Pa;

$P_{cm}$  – static pressure, Pa;

$\rho$  – air density at temperature T, kg/m<sup>3</sup>;

$f = \frac{\rho V^2}{2}$  – pressure created by the incoming airflow.

Converting formula 3.1 lets to express the speed of the incoming flow V:

$$V = \left[ 2 \cdot \frac{P_{\Pi} - P_{CT}}{\rho} \right]^{0,5}. \quad (4)$$

The required value of volumetric airflow through the duct is calculated by the formula:

$$Q_{pt} = S \cdot V, \quad (5)$$

where S – cross-sectional area of the duct.

Due to the above formulas, plots of the plasma-forming gas flow rate through the HF plasma torch ( $Q_{pt}$ ), as well as the air coolant through the gas path ( $Q_{gd}$ ) on the reactor inlet area have been plotted. The effect of the reactor inlet area on the mass flow rate of air through the HF plasma torch and gas duct is shown in Figs. 47 и 48.

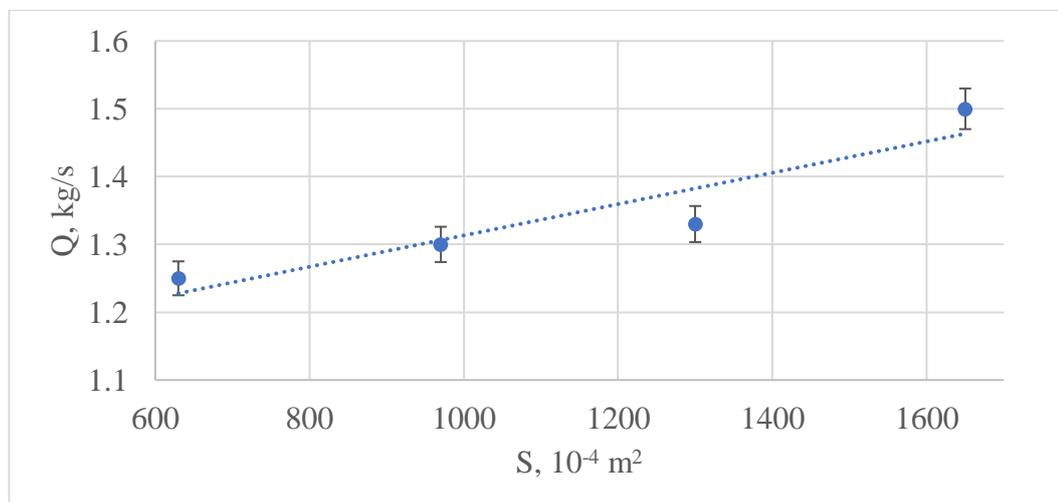


Figure 47 - Influence of the reactor inlet area on the mass flow rate of the air coolant through the HF plasma torch

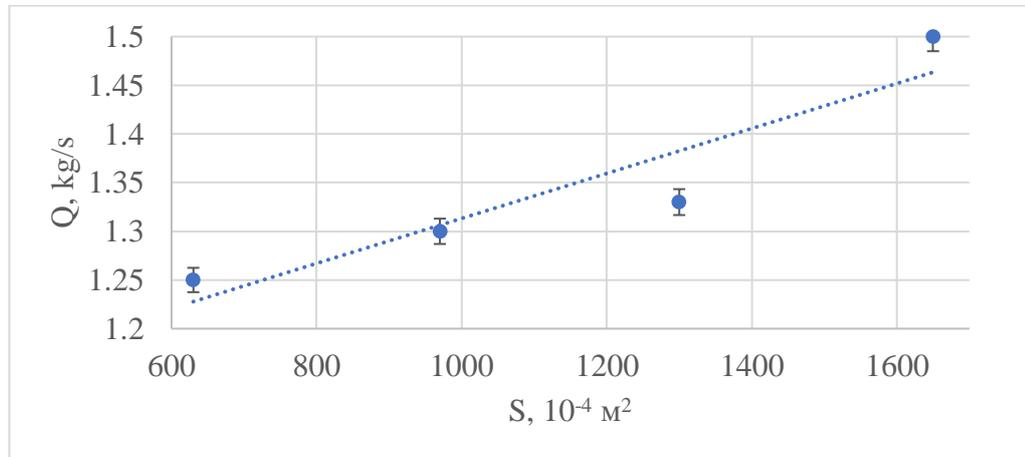


Figure 48 - Influence of reactor inlet area on mass flow rate of air coolant through the gas duct

The data from the obtained tables and graphs make it possible to estimate the dependence of the plasma gas flow through the reactor.

The following expression was used to calculate the air flow through the reactor:

$$Q_r = Q_{gd} - Q_{pt}, \quad (6)$$

where  $Q_r$  – air coolant flow rate through the reactor,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$Q_{gd}$  – air coolant flow rate through the gas duct,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$Q_{pt}$  – plasma gas flow rate through the HF plasma torch,  $\text{m}^3/\text{s}$ .

According to the results of calculations, plots of air coolant flow rate through the plasma reactor as a function of its walking area were obtained, shown in Fig. 49.

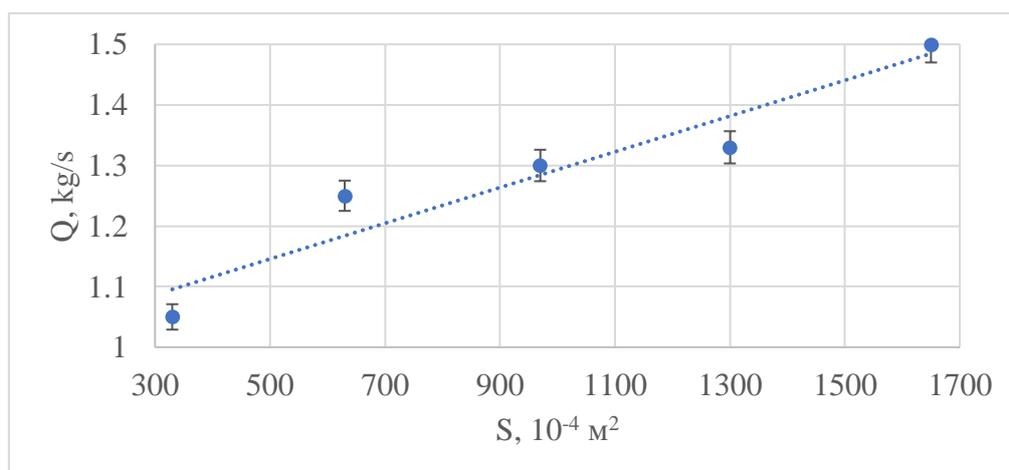


Figure 49 - Influence of reactor inlet area on mass flow rate of air coolant through the reactor

The obtained dependencies allow for smooth adjustment of the air coolant flow rate through the reactor and the plasma torch by changing the inlet area of the reactor.

### 3.2 Analysis of powders of model oxide compositions

The obtained powders of model oxide compositions were analyzed to evaluate the particle size distribution (particle size distribution), their shape and the presence of target components.

Powders were analyzed to evaluate the size of particles (particle size distribution), their shape and the presence of target components.

To study the size of particles in the powder, we used a laser diffraction method implemented on the SALD-7101 device (Shimadzu, Japan).

SEM analysis was used to study the topography of samples after sintering and to determine the nature of the distribution of target elements in them after sintering.

XRD-7000 X-ray diffractometer (Shimadzu, Japan) was used for X-ray phase analysis (XRD) of the studied OC powders using the standard database of crystal

structures of inorganic materials PDF-4, in the free PowderCell program using the Rietveld algorithm for full-profile analysis from X-ray diffractograms.

The degree of agglomeration of such particles is quantitatively characterized by the agglomeration coefficient Q, the value of which is defined as the ratio of the OC particle size (LD method) to the OC size (number of crystallites per linear transverse OC particle size).

Figure 50 shows the histogram of particle size distribution of the OC-65 aqueous suspension (LD method) obtained by WONS treatment.

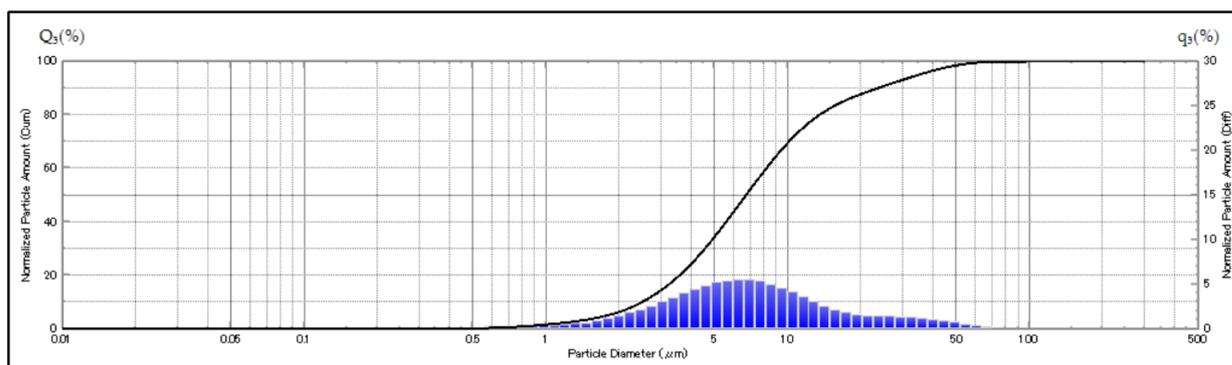


Figure 50 - Particle size distribution histograms of water suspension of OC-65

The aqueous suspensions under study are characterized by a fairly wide size distribution; the distribution for the OC-65 aqueous suspension particles has a pronounced maximum (7 μm). Characteristic values of medians of particle distribution for OC-65 are in the range of 1-52 μm. The average D50 particle size for OC-65 is 9.5 μm.

X-ray fluorescence analysis of the powder samples after XRD shows that the main products of the OC-65 powder samples are the target oxides  $\text{Nd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ , and  $\text{MgO}$ , as seen in Figure 51.

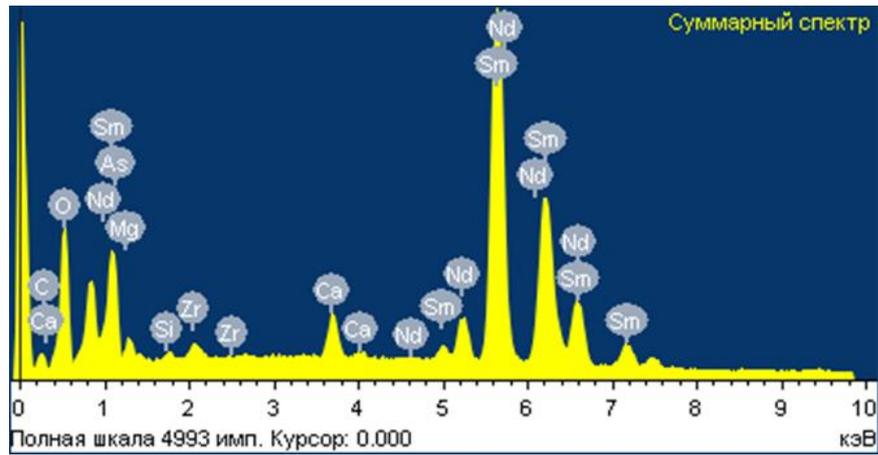


Figure 51 – X-ray fluorescence analysis of OC - 65

SEM images of synthesized OC-65 powders are shown in Figure 52, 53.

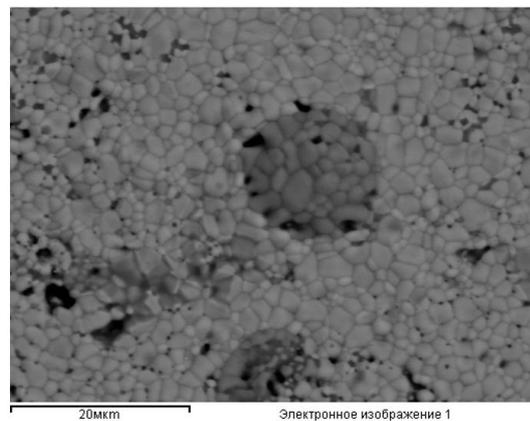


Figure 52 – SEM-image of the morphological structure of OC – 65 powder particles



Figure 53 – SEM-image of the morphological structure of OC – 65 powder particles

SEM images confirm the indications of the laser diffraction method about a wide range of particle diameters, their average value of 7-9  $\mu\text{m}$ , and the rounded shape of the particles is also noticeably visible. The distribution of neodymium

(instead of uranium), samarium (instead of plutonium) and magnesium between each other over the area of the pattern has been established due to various filters. There are places of concentration in magnesium and places of voids in samarium, which can be explained by the presence of impurities in the plasmatron from residual experiments, which negatively affect the distribution of the target components.

Thus, the production of ceramic powders from these powders is possible using commercially available equipment and steel molds.

Science-based recommendations for the practical implementation of the process are presented in (Application B)

**ASSIGNMENT FOR THE SECTION  
"SOCIAL RESPONSIBILITY"**

To the Student:

Group	Full name
0A92	Shcherbina Danil Sergeevich

Institute	ESNT	Department	DNFC
<b>Level of education</b>	Bachelor's Degree	<b>Direction/Specialty</b>	14.03.02 Nuclear Physics and technologies/Physics of kinetic phenomena

Work theme:

Investigation of plasma-chemical synthesis of fuel oxide compositions from water-organic nitrate solutions of uranium, plutonium, and magnesium
---

**Source data for the "Social Responsibility" section:**

1 Characteristics of the object of research (substance, material, instrument, algorithm, methodology, working area) and areas of its application	Object of study: nanostructured oxide compositions. Area of application: nuclear industry.
--	---

List of issues to be researched, designed and developed:

<p><b>1 Legal and organizational security issues:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- special (specific to the operation of the object of study, the projected work zone) legal norms of labor law;</li> <li>- organizational measures in the layout of the work zone.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legal norms of labor law;</li> <li>- Requirements for the organization and equipment of workplaces with PCs;</li> <li>- GOST 22269-76. System "man-machine". The operator's workplace. Mutual arrangement of elements of the workplace. General ergonomic requirements.</li> </ul>
<p><b>2 Occupational safety:</b></p> <p>2.1 Analysis of detected harmful and dangerous factors</p> <p>2.2 Justification of measures to reduce exposure</p>	<p>Harmful and dangerous factors:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- deviation of microclimate indicators;;</li> <li>- increased noise level;</li> <li>- increased level of electromagnetic radiation;</li> <li>- lack of illumination;</li> <li>- electrical safety;</li> <li>- psychophysiological factors;</li> <li>- fire and explosion safety</li> </ul>
<p><b>3. Safety in emergency situations::</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- choice and description of a typical emergency: fire;</li> <li>- substantiation of measures to prevent emergencies;</li> <li>- the order of actions in case of an emergency.</li> </ul>

**Assignment date for the line graph section**

--	--

**The assignment was given by a consultant:**

Position	Full name	Academic degree, title	Signature	The date
Assoc. Prof. DNFC ESNT	Perederin Yuri Vladimirovich	PhD in Engineering, Assoc. Prof		

**The assignment was accepted for execution by the student:**

Position	Full name	Signature	The date
0A92	Shcherbina Danil Sergeevich		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0A92	Щербине Данилу Сергеевичу

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

Тема ВКР:

Исследование процесса плазмохимического синтеза топливных оксидных композиций из водно-органических нитратных растворов урана, плутония и магния

**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:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> – 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.
<b>2 Производственная безопасность:</b> 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
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	– выбор и описание типичной ЧС: пожар; – обоснование мероприятий по предотвращению ЧС; – порядок действий при возникновении ЧС.

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

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0A92	Щербина Данил Сергеевич		

## **4. 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.

### **4.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

#### **4.1.1 Специальные (характерные для рабочей зоны исследователя) правовые нормы трудового законодательства**

Основные положения по охране труда изложены в Трудовом кодексе Российской Федерации [12]. В этом документе указано, что охрана здоровья трудящихся, обеспечение безопасных условий труда, ликвидация профессиональных заболеваний и производственного травматизма являются одной из главных забот государства.

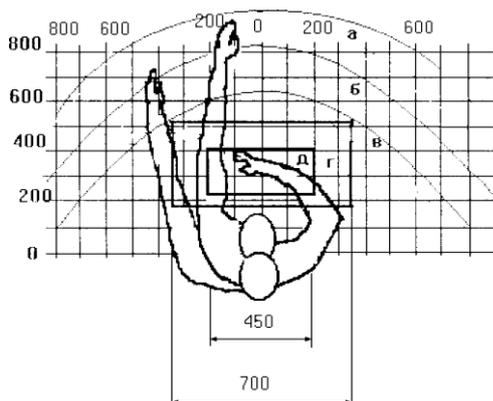
Согласно каждый работник имеет право на:

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

#### 4.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны исследования

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации [13]. То, что требуется для выполнения работ чаще должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства, как показано на рисунке 54.



а – зона максимальной досягаемости рук,  
б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой  
досягаемости ладони; г – оптимальное  
Рисунок 54 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости

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

- в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе;
- в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно [14].

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Предел высоты рабочей поверхности стола 680 - 800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной 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° [13].

В лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ полностью выполняются установленные нормы [13].

## **4.2 Производственная безопасность**

### **4.2.1 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 9 представлены основные виды работ, которые могут привести к воздействию опасных и вредных факторов.

На работника лаборатории, проводящего экспериментальные исследования, могут воздействовать следующие факторы:

- физические;
- химические;
- психофизиологические;
- биологические [14].

Таблица 9 – Опасные и вредные факторы в лаборатории № 001А 10 корпуса ТПУ

Наименование видов работ и параметров производственного процесса	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Работа с химическими реактивами.	Химические вредные вещества.	–	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества [15]. МУ 2.6.5.033-2017 Организация вентиляции на радиационно опасных предприятиях (производствах) госкорпорации "Росатом" [20]
Работа на плазменной установке.	Воздействие радиации (ВЧ, УВЧ, СВЧ и т.д.).	Электрический ток	ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [16], СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона [17].
		Пожарная опасность	ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность [18].

Расчёт данных на ЭВМ.	Шум, вибрация, 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» [19], ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность [16].
-----------------------	---	-------------------	---

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

- умственное напряжение;
- физические перегрузки.

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

## 4.2.2 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия вредных и опасных факторов

### 4.2.2.1 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 10.

Таблица 10 – 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 [14]. В используемой лаборатории установлен высоконапорный вытяжной вентилятор марки ВР-12-26-4 производительностью  $Q = 2400 - 4400 \text{ м}^3/\text{час}$ . Объем лаборатории № 001А составляет:

$$V = a \cdot b \cdot h = 6\text{м} \cdot 12\text{м} \cdot 7\text{м} = 504 \text{ м}^3,$$

данный вентилятор обеспечивает следующую кратность воздухообмена (ВО) в лаборатории:

$$BO = \frac{Q}{V} = \frac{2400 - 4400}{504} = 4,8 - 8,7 \text{ ч}^{-1}.$$

Требования изложены в нескольких документах [14, 20], указаны ориентировочные показатели кратности воздухообмена в физических лабораториях - от 5 до 15  $\text{ч}^{-1}$ .

Таким образом, установлено, что микроклимат в используемой лаборатории № 001А–10 учебного корпуса ТПУ соответствует оптимальным условиям работы [14, 20].

#### **4.2.2.2 Превышение уровня шума**

Шум и вибрация ухудшают условия труда, оказывают 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 [19].

В таблице 11 приведены нормы уровня шума при различных видах работ.

Таблица 11 – 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 [19].

#### 4.2.2.3 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 [17].

Существуют следующие способы защиты от действия электромагнитного излучения:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя) [17].

Установлено, что в лаборатории № 001А–10 учебного корпуса ТПУ уровень электромагнитного излучения соответствует санитарным нормам [17].

#### **4.2.2.4 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 [14].

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 зоны расположения документов) [14].

Площадь помещения:

$$S = a \cdot b,$$

где  $a$  и  $b$  – длина и ширина, м соответственно

$$S = 6 \cdot 6 = 36 \text{ м}^2.$$

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  $K_z = 1,5$ . Коэффициент для неравномерности для светодиодных лент  $Z = 1,1$ .

Выбираем светодиоды Varton 9w, светлый поток  $\Phi_{\text{лд}} = 950$  Лм.

Выбираем светильник "ВАРТОН" V-04-200-036-6500К промышленный. Этот светильник имеет четыре светодиодные лампы мощностью 9 Вт каждая, длина светильника 595 мм, ширина – 595 мм.

Интегральным критерием оптимальности расположением светильников является величина  $\lambda$ , которая для светодиодных светильников с защитным рассеиванием лежит в диапазоне 1,1 – 1,3. Принимаем  $\lambda = 1,1$  расстояние до светильников от перекрытия (свес)  $= h_c = 0,05$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

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

Наименьшая допустимая высота подвеса над полом для четырехлентовых светильников “ВАРТОН”:  $h_n = 3,5$  м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,05 = 2,45 \text{ м,}$$

из формулы

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K \cdot Z)}{N \cdot \eta},$$

находим число светодиодных лент  $N$

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta},$$

$i$  определяем через индекс помещения по формуле:

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

Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока светодиодных лент попадает на рабочую поверхность, для светильников типа “ВАРТОН” со светодиодными лентами при  $\rho_n = 70\%$ ,  $\rho_c = 50\%$  и индексом помещения  $i = 1,5$  равен  $\eta = 0,5$ .

Тогда

$$N = \frac{(E \cdot S \cdot K \cdot Z)}{\Phi_{л} \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{950 \cdot 0,5} = 37,52 \text{ лент.}$$

Применяем количество светодиодных лент равных 40, получается, при имеющемся светильнике “ВАРТОН”, необходимо 10 светильников, т.е. 2 ряда по 5 светильников.

Потребный световой поток светодиодных ламп:

$$\Phi_{л} = \frac{(E \cdot S \cdot K \cdot Z)}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 36 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{40 \cdot 0,5} = 891 \text{ лм.}$$

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

$$6000 = L_1 + \frac{2 \cdot L_1}{3} + 2 \cdot 595; L_1 = 2886 \text{ мм}; \frac{L_1}{5} = 962,$$

$$6000 = 4 \cdot L_2 + \frac{2 \cdot L_2}{3} + 5 \cdot 595; L_2 = 648 \text{ мм}; \frac{L_2}{5} = 216.$$

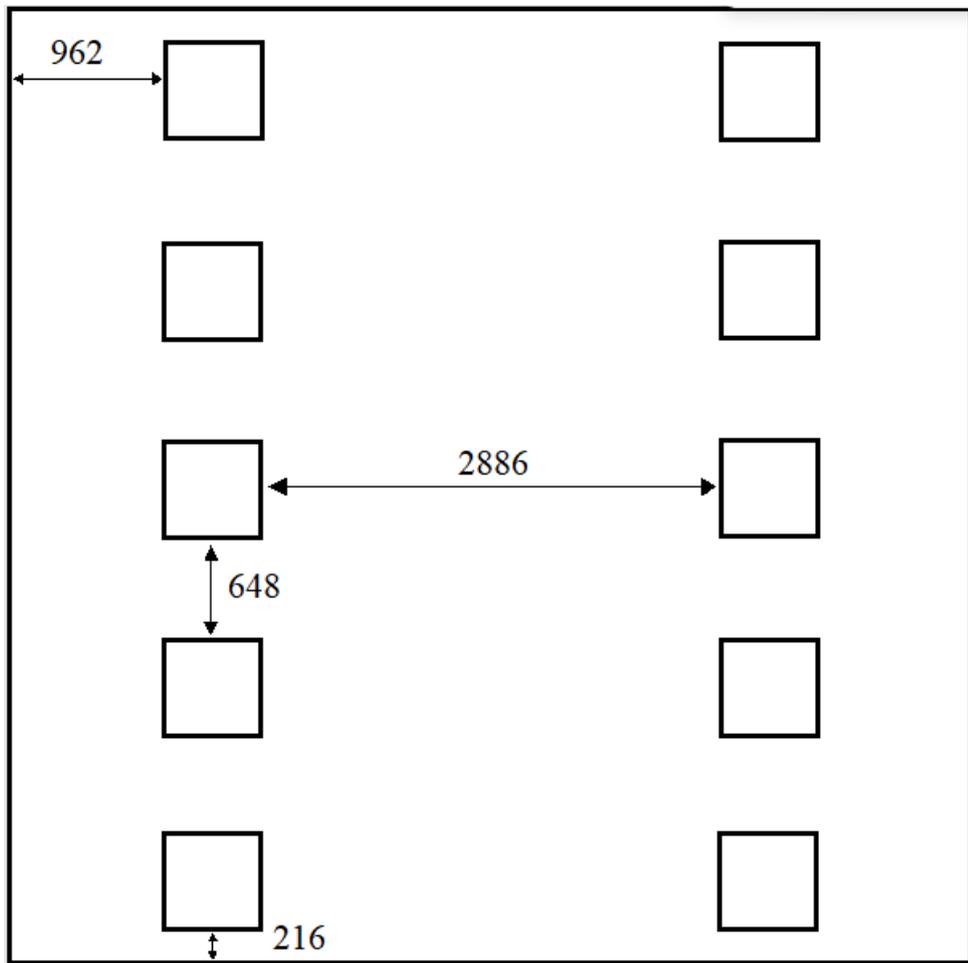


Рисунок 55 – План лаборатории № 001А и размещения светильников со светодиодными лентами

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{(\Phi_{лб} - \Phi_{л})}{\Phi_{лб}} \cdot 100\% \leq 20\%,$$

$$\frac{(\Phi_{лб} - \Phi_{л})}{\Phi_{лб} \cdot 100\%} = \frac{(950 - 891)}{950 \cdot 100\%} = 6,21\%.$$

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

$$P = 40 \cdot 9 = 360 \text{ Вт.}$$

#### **4.2.2.5 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) [16];

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) [16].

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.

Таблица 12 – Классификация помещений по электробезопасности

Категория	Расшифровка	Критерии
1	Помещения без повышенной опасности	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Влажность не более 75 %</li> <li>- Работающая приточно-вытяжная вентиляция</li> <li>- Температура не выше 35 °С</li> <li>- Материал покрытия пола не проводит электричество</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Влажность более 75 %</li> </ul>

2	Помещения с повышенной опасностью	<ul style="list-style-type: none"> <li>- В воздухе возможно наличие токопроводящей пыли</li> <li>- Высокое содержание в воздухе химических соединений</li> <li>- Материал пола способен проводить электричество</li> <li>- Высокая температура</li> </ul>
3	Особо опасные	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Особо сырые, влажность воздуха 100 %</li> <li>- Помещения с активной химической или органической средой</li> <li>- Наличие сразу двух факторов, относящихся к условиям повышенной опасности</li> </ul>
4	Территории с открытыми электроустановками	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Наличие открытого распределительного устройства (ОРУ)</li> </ul>

Из таблицы 12 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 [14].

Внеплановый инструктаж проводится руководителем подразделения при введении 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.

#### **4.2.2.6 Психофизические факторы**

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

Трудовая деятельность работников непромышленной 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 [14].

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

#### **4.2.2.7 Химическая безопасность**

При эксплуатации ВЧФ плазматрона в окружающую среду выбрасываются вредные газообразные вещества, с концентрацией, не превышающей нормы предельно допустимой. В таблице 13 приведены

предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ и их класс опасности [21].

Классы опасности:

1 – вещества чрезвычайной опасности;

2 – вещества высоко опасные;

3 – вещества умеренно опасные;

4 – вещества мало опасные [21].

Таблица 13 – ПДК вредных веществ и их класс опасности

№	Вещество	ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Класс опасности
1	Оксид магния	3,0	3
2	Ацетон	0,2	4
3	Этанол	2,0	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 подвижных 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» [23].

#### **4.2.2.8 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 [22]. 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 [18]:

- 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 этанол.

Все работы с этанолом 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 этанолом применяются индивидуальные средства защиты по нормам выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств защиты, утвержденным в установленном порядке.

Для тушения горящего этанола 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 [18].

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на: организационные, технические, эксплуатационные и режимные [18].

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 [18].

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования [14].

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 [14]:

- 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 [18]:

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

#### **4.3 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 14 рассмотрены возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, методы их предотвращения и ликвидации последствий.

Таблица 14 – 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 [14, 20];

- шум [19];
- электромагнитное излучение [17];
- освещенность [14];
- психофизиологические факторы [14];
- химическая безопасность [21];
- электробезопасность [16];
- пожаро-взрывобезопасность [18].

Помещение № 001А–10 корпуса ТПУ отнесено:

- по электробезопасности – к 2 классу [16];
- по пожаро-взрывобезопасности – к категории В [22].

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

**ASSIGNMENT FOR THE SECTION  
"FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE SAVING"**

To the student:

<b>Group</b>	<b>Full name</b>
0A92	Shcherbina Danil Sergeevich

<b>Institute</b>	<b>ESNT</b>	<b>Institute department</b>	<b>DNFC</b>
<b>The level of education</b>	Bachelor	<b>Direction/Specialty</b>	14.03.02 Nuclear Physics and Technology/Physics of Kinetic Phenomena

<b>Input data for the section "Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving"</b>	
<p>1 <i>The cost of scientific research (SR) resources: material and technical, energy, financial, information and human</i></p>	<p><i>The cost of material resources and special equipment are determined in accordance with the market prices of Tomsk. Tariff rates of executors are determined by the staff schedule of SR TPU.</i></p>
<p>2 <i>Norms and norms of resources expenditure</i></p>	<p><i>Rate of depreciation charges for special equipment.</i></p>
<p>3 <i>The system of taxation, tax rates, deductions, discounting and crediting used</i></p>	<p><i>Contributions to non-budgetary funds 30%</i></p>
<b>List of issues to be researched, designed and developed:</b>	
<p>1 <i>Analysis of competitive technical solutions (SR)</i></p>	<p><i>Calculation of competitiveness SWOT-analysis</i></p>
<p>2 <i>Formation of a plan and schedule for development and implementation (SR)</i></p>	<p><i>Determination of the structure of the SR. Determination of labor intensity of the work. Development of the research schedule.</i></p>
<p>3 <i>Engineering project (SR) budgeting</i></p>	<p><i>Calculation of the budget cost of SR.</i></p>
<p>4 <i>Assessment of resource, financial, budgetary, efficiency (SR)</i></p>	<p><i>Definition: integral financial index, integral resource efficiency index, integral efficiency index.</i></p>
<b>List of graphic material</b>	
<p>1 Evaluation of SR competitiveness 2 SWOT matrix 3 Grants diagram 4 SR budget. 5 Key performance indicators of SR</p>	

<b>Assignment date for the line graph section</b>	
---	--

**The assignment was given by a consultant:**

<b>Position</b>	<b>Full name</b>	<b>Academic degree</b>	<b>Signature</b>	<b>Date</b>
Professor of DSSH	Hasanov Maharram Ali oglu	Grand PhD in Economics.		04.02.2023

**The assignment was accepted for execution by the student:**

<b>Group</b>	<b>Full name</b>	<b>Signature</b>	<b>Date</b>
0A92	Shcherbina Danil Sergeevich		04.02.2023

**ЗАДАНИЕ ПО РАЗДЕЛУ  
"ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0А92	Щербине Данилу Сергеевичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	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>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2	<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование.</i>
3	<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

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

1	<i>Анализ конкурентных технических решений (НИ)</i>	<i>Расчет конкурентоспособности SWOT-анализ</i>
2	<i>Формирование плана и графика разработки и внедрения (НИ)</i>	<i>Определение структуры выполнения НИ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.</i>
3	<i>Составление бюджета инженерного проекта (НИ)</i>	<i>Расчет бюджетной стоимости НИ.</i>
4	<i>Оценка ресурсной, финансовой, бюджетной, эффективности (НИ)</i>	<i>Определение: интегрального финансового показателя, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности.</i>

**Перечень графического материала**

1	Оценка конкурентоспособности НИ
2	Матрица SWOT
3	Диаграмма Грантта
4	Бюджет НИ
5	Основные показатели эффективности НИ

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

**Задание выдал консультант:**

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

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0А92	Щербина Данил Сергеевич		

## **5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

В условиях сегодняшней жесткой конкурентности и бюрократии, научное исследование обязано быть не только потенциально значимым, имеется ввиду широта и значимость его открытия, но и ресурсноэффективным и коммерчески выгодным. Поэтому оценка коммерческих издержек является крайне необходимым этапом на ранних стадиях развития любого проекта. Она позволяет упростить поиск всех возможных ресурсов для реализации проекта: финансовых, временных, человеческих, материальных и т.д. Можно сказать, что целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является оценка жизнеспособности нашего проекта, разработка необходимых мер по его выполнению на разных этапах его реализации.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- коммерческая оценка научного исследования;
- составление плана исследования;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

Цель раздела – оценка коммерческих аспектов научной работы “Плазмохимический синтез и исследование оксидных композиций из водноорганических нитратных растворов самария, церия и магния” на всех ее этапах выполнения. Подсчет всех затрат на данную работу и оценка ее ресурсноэффективности.

### **5.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данная научная работа направлена на нахождение наиболее удачной с точки зрения энергоэффективности состава оксидных композиций для REMIX топлива, использующее уже отработанное ядерное топливо, которое в последствии будет использоваться и производиться на всех АЭС типа ВВЭР и соответствующих заводов по созданию топлива для АЭС и ТВЭЛ-ов.

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

### 5.2.1 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных решений позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

В данной работе был рассмотрен синтез ДЯТ с использованием воздушной плазмы (ф), а в качестве конкурента выбран традиционный метод синтеза ДЯТ (к).

Проведем данный анализ с помощью оценочной карты, которая приведена в таблице 15.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по пятибалльной шкале. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

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

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

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

$B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 15 –Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Вар.1	Вар.2	Вар.3	Вар.1	Вар.2	Вар.3
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
Время наработки данных	0,04	3	4	1	0,12	0,16	0,04
Помехоустойчивость	0,02	3	4	3	0,06	0,08	0,06
Мобильность	0,01	5	3	5	0,05	0,03	0,05
Уровень шума	0,2	3	4	4	0,6	0,8	0,8
Потребность в ресурсах памяти	0,03	5	3	2	0,15	0,09	0,06
Наличие отходов	0,01	5	3	5	0,05	0,03	0,05

Простота в эксплуатации	0,13	5	3	1	0,65	0,39	0,13
Наличие дорогостоящего оборудования	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
Экономические критерии оценки эффективности							
Конкурентоспособность	0,07	5	4	3	0,35	0,28	0,21
Цена	0,15	5	5	5	0,75	0,75	0,75
Финансовая эффективность научной разработки	0,08	4	5	5	0,32	0,4	0,4
Трудоемкость	0,06	4	5	1	0,24	0,3	0,06
Итого	1	51	46	40	4,14	3,91	3,61

Полученные данные в таблице 15 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными. Проведенный анализ конкурентных технических решений показал, что вариант устройства №1 является наиболее предпочтительным.

### 5.3 SWOT-анализ

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

Приведем матрицу SWOT-анализа для производства дисперсионного ядерного топлива с применением воздушной плазмы в табл. 16.

Таблица 16 – SWOT-анализ

	<b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b>	<b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b>
	С1 Невысокая стоимость переработки сырья С2 Компактность необходимого оборудования С3 Возможность влиять на морфологию частиц	Сл1 Работа с моделями Сл2 Большое количество вариантов смесей

	С4 Одностадийность получения ДЯТ	
<b>Возможности:</b>	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Сильные стороны и возможности”</b>	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Слабые стороны и возможности”</b>
<b>В1</b> Возможное уменьшение вырабатываемых отходов ядерного производства <b>В2</b> Возможность сокращения доли урана 235 в производстве <b>В3</b> Ужесточение требований к выбросам окружающей среде <b>В4.</b> Возможность снижения затрат при использовании водноорганических нитратных растворов	1. При успешном подборе смеси получится снизить количество отработанного уранового топлива 2. ДЯТ, получаемое сейчас синтезом, эффективнее используемого ЯТ	1. Повышение спроса на данную продукцию обеспечит приток кадров.
<b>Угрозы</b>	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Сильные стороны и угрозы”</b>	<b>Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей “Слабые стороны и угрозы”</b>
<b>У1.</b> Отсутствие спроса на новые технологии производства. <b>У2.</b> Трудоемкий процесс поиска подходящей смеси. <b>У3.</b> Недостаточное финансовое обеспечение.	1. Качественные преимущества нового ДЯТ создают хорошую конкуренцию используемым методам производства ЯТ. 2. Такие факты, как нехватка урана-235 и необходимость сокращения отходов прошлых лет, обеспечат спрос на новые технологии производства ЯТ.	1. Отсутствие данной, новой в своем роде, разработки может обернуться провалом без должного финансирования.

Таким образом, на основе результатов анализа данной матрицы можно сделать вывод о том, что трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон разработки.

#### 5.4 Планирование научно-исследовательского проекта

Для выполнения работы формируется рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и исполнитель (И). После чего, в

рамках проведения научного исследования выполняется ряд основных этапов, представленных в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этап работы	Исполнители
Постановка целей и задач, получение исходных данных	Руководитель, инженер
Подбор и изучение материалов по тематике	Руководитель, инженер
Разработка календарного плана	Руководитель, инженер
Обсуждение литературы	Руководитель, инженер
Разработка модели	Руководитель, инженер
Определение адекватности модели	Руководитель, инженер
Изучение результатов	инженер
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	инженер
Оформление графического материала	инженер
Подведение итогов	Руководитель, инженер

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Линейный график представлен в таблице 18.

Таблица 18– Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	2	01.02.2023	02.02.2023	Щербина Д.С. Каренгин А.Г.
2	Календарное планирование работ по теме	4	03.02.2023	07.02.2023	Щербина Д.С.
3	Изучение материалов по теме	14	08.02.2023	22.02.2023	Щербина Д.С.
4	Анализ исходных параметров	5	24.02.2023	01.03.2023	Щербина Д.С.
5	Выбор метода выполнения работы	8	02.03.2023	10.03.2023	Щербина Д.С. Каренгин А.Г.
6	Применение метода к исходным параметрам	28	11.03.2023	09.04.2023	Щербина Д.С.
7	Анализ результатов работы	30	10.04.2023	10.05.2023	Щербина Д.С.
8	Составление отчета по работе	10	11.05.2023	21.05.2023	Щербина Д.С.

ИТОГО:	97			
--------	----	--	--	--

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

График строится в виде таблицы 19 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 19– Календарный план-график проведения работ

Код работы	Вид работ	Исполнители	$T_{ki}$	Продолжительность выполнения работ											
				февраль			март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение задания магистерской диссертации	Научный руководитель, Исполнитель	2	■											
2	Календарное планирование работ по теме	Исполнитель	4	■											
3	Изучение материалов по теме	Исполнитель	17	■	■	■									
4	Термодинамическое моделирование процесса плазмохимической переработки растворов ВОНР	Исполнитель	7			■									



### 5.5.1 Расчет материальных затрат

Все работы для ВКР проводились на плазматроне и на компьютере. В качестве материальных затрат представлены затраты на этанол, ацетон и нитрат магния  $Mg(NO_3)_2$ . Материальные затраты, необходимые для данной разработки, занесены в таблицу 20.

Таблица 20 – Материальные затраты

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Кол-во	Сумма, руб.
Этанол	60	2,5 л.	150
Ацетон	244	2,5 л.	610
Нитрат магния $Mg(NO_3)_2$	1040	2,5 кг.	2600
Итого:	3360 руб.		

Таким образом общая сумма материальных затрат для данной разработки составила 3360 рублей.

### 5.5.2 Расчет амортизации оборудования для экспериментов

Расчет амортизации производится на находящееся в использовании оборудование.

Все работы для ВКР проводились на плазменном модуле на базе высокочастотного генератора ВЧГ 8-60/13-01 и на персональном компьютере, затраты на оборудования представлены в таблице 21.

Таблица 21 – 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
2	Персональный компьютер	1	3	45000	45000
<b>Итого:</b>	1045000 руб.				

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации рассчитывается по формуле 4.3:

$$H_A = \frac{1}{n}, \quad (4.2)$$

где  $n$  – срок полезного использования, лет.

Амортизация рассчитывается по формуле 4.4:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m, \quad (4.3)$$

где  $И$  – 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:

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

Рассчитаем амортизацию для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года:

$$H_A = \frac{1}{n} = \frac{1}{3} = 0,33.$$

Общую сумму амортизационных отчислений находим следующим образом:

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

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

Персональный компьютер:

$$A = \frac{H_A \cdot И}{12} \cdot m = \frac{0,33 \cdot 45000}{12} \cdot 4 = 4950 \text{ руб.}$$

Суммарные затраты амортизационных отчислений:

$$A = 200000 + 4950 = 204950 \text{ руб.}$$

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. Амортизация для персонального компьютера, с учётом, что срок полезного использования 3 года составила 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 4950 рублей. Суммарные затраты амортизационных отчислений – 204950 рублей.

### **5.5.3 Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования**

1) Оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст.преподаватель, доцент, профессор.

2) Стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д. 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:

Статья включает основную заработную плату работников (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{ЗП} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (4.4)$$

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

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

$$Z_{доп} = K_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (4.5)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата в рублях;

$K_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата в рублях.

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по формуле:

$$Z_{осн} = T_{раб} \cdot Z_{дн}, \quad (4.6)$$

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

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником в рабочих днях;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника в рублях.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 4.7:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{T_{\partial}}, \quad (4.7)$$

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

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

$T_{\partial}$  - действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн. (таблица 22).

Таблица 22 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные, праздники): -выходные/праздничные.	66	66
Отпуск/невыходы по болезни	56	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	251

Исполнитель во время написания диплома ежемесячно получает вознаграждение в размере МРОТ 13890 руб. Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{ок}} \cdot k_{\text{з}}, \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{ок}}$  – заработная плата по окладу, руб.;

$k_{\text{з}}$  – районный коэффициент, равный 1,3.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является доцент ИЯТШ Томского политехнического университета с окладом 37700 рублей. Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 23.

Таблица 23 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{\text{ок}}$ , руб.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{раб}}$ , дн	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
-------------	------------------------	-----------------------	------------------------	-----------------------	-------------------------

Руководитель	37700	49010	2343	8	18744
Исполнитель	13890	18057	863	63	54369
Итого $Z_{осн}$	73113 руб.				

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении темы.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы для научного руководителя равным 15 %. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Заработная плата исполнителей исследовательской работы

Заработная плата	Руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	18744	54369
Дополнительная зарплата, руб.	2812	8155
Зарплата исполнителя, руб.	21556	62524
Итого по статье $C_{зп}$ , руб.	84080 руб.	

Таким образом в разделе рассчитаны затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования. Заработная плата руководителя – 21556 руб, а исполнителя – 62524 рублей. Суммарная заработная плата исполнителей составила 84080 рублей.

#### 5.5.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{внеб} = k_{внеб} \cdot (Z_{осн} + Z_{доп}), \quad (4.9)$$

где  $k_{внеб}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет 30%.

Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет:

$$k_{\text{внеб}} = 0,3.$$

Таким образом отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда руководителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 21556 = 6510 \text{ руб.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды от затраты на оплату труда исполнителя вычисляются следующим образом:

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 62524 = 18882 \text{ руб.}$$

В результате расчётов были определены отчисления во внебюджетные фонды от затрат на оплату труда руководителя и исполнителя, при том что коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составил 0,302. Для руководителя, отчисления составили 6510 руб., а для исполнителя 18882 рубля.

### 5.5.5 Накладные расходы

В данную статью входят расходы на содержание аппарата управления и общехозяйственных служб. По этой статье учитываются оплата труда административно-управленческого персонала, содержание зданий, оргтехники и хоз. инвентаря, амортизация имущества, расходы по охране труда и подготовке кадров.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (\text{сумма статей 1-6}), \quad (4.10)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов, равный 0,16.

Накладные расходы составят:

$$Z_{\text{накл}} = (25105 + 3360 + 204950 + 84080) \cdot 0,16 = 50799 \text{ руб.}$$

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости научно-исследовательского проекта, приведенная в таблице 25.

Таблица 25 – Группировка затрат по статьям

Статьи							
Амортизация	Сырье, материалы	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Итого бюджетная стоимость
204950 руб.	3360 руб.	73113 руб.	10967 руб.	25105 руб.	317495 руб.	50799 руб.	368294 руб.

В итоге бюджетная стоимость научного исследования составила 368294 рублей. В эту стоимость входят: амортизация, стоимость сырья, материалов, основная заработная плата, дополнительная заработная плата, отчисления на социальные нужды и накладные расходы, которые составили 50799 рублей при коэффициенте накладных расходов 0,16.

### 5.6 Определение ресурсной эффективности проекта

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле 4.11:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.11)$$

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

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

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

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности данного исследования представлен в форме таблицы 26.

Таблица 26 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,15	4	3	3

2. Удобство в эксплуатации (соответствует потребителям)	0,15	5	4	2
3. Помехоустойчивость	0,15	4	4	2
4. Энергосбережение	0,1	5	4	3
5. Надежность	0,25	4	4	4
6. Материалоемкость	0,2	4	3	4
Итого	1	4,25	3,65	3,15

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

$$I_{a1} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 4 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 4 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 = 3,65$$

$$I_{a2} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,1 \cdot 3 + 0,25 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 3,15$$

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (4.12)$$

где  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\Phi}^p}, \quad (4.13)$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\Phi}^a}, \quad (4.14)$$

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_p}{I_{\Phi}^p} = \frac{4,25}{0,89} = 4,77,$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_a}{I_{\Phi}^a} = \frac{3,65}{0,9} = 4.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность, представленная в таблице 27, проекта определяется по формуле 4.15:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_p}. \quad (4.15)$$

Таблица 27– Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
------------	----------	----------	------------

Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	3,15	4,25
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	3,65	3,15	4,25
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1	1,12

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно заключить что, сравнительная оценка текущего проекта выше других аналогов

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 368294 руб.;

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

## **Findings**

1. A review and comparative analysis of literary sources on methods of separate and joint production of fuel oxide compositions "uranium oxide - plutonium oxide - magnesium oxide" from aqueous nitrate solutions is carried out. Their advantages and disadvantages are disclosed;

2. Calculations of combustibility characteristics of water-organic nitrate solutions of different compositions, including aqueous nitrate solutions of fissile (uranium and plutonium), matrix (magnesium) metals and organic component (ethanol, acetone) resulted in determining the optimal composition of HNR solutions, having  $T_{ad} \approx 1500$  K and providing their energy-efficient recycling;

3. According to the results of thermodynamic calculation of the process under study in the form of optimal composition of BONR solutions in a wide range of temperatures (300-4000 K) and mass fraction of air plasma heat transfer medium (10-90 %) the following optimal conditions are determined:

3.3 **WONS-65** (58.02 % -  $UO_2$ ; 1.98 % -  $PuO_2$ ; 40 % -  $MgO$ ); **WONS-67** (48.35 % -  $UO_2$ ; 1.65 % -  $PuO_2$ ; 50 % -  $MgO$ ); **WONS-74** (57.36 % -  $UO_2$ ; 1.98 % -  $PuO_2$ ; 40 % -  $MgO$ ); **WONS-76** (47.8 % -  $UO_2$ ; 1.65 % -  $PuO_2$ ; 50 % -  $MgO$ );

3.4 Composition of WONS-65 based on ethanol: [37.095% -  $H_2O$ ; 32% -  $C_2H_6O$ ; 9.055% -  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; 0,361% -  $Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$ ; 21.488% -  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ];

3.5 Composition of WONS-67 based on ethanol: [37.124% -  $H_2O$ ; 33% -  $C_2H_6O$ ; 6.495% -  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; 0,259% -  $Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$ ; 23.121% -  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ];

3.6 Composition of WONS-74 based on ethanol: [36.53% -  $H_2O$ ; 33% -  $C_2H_6O$ ; 8.821% -  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; 0,474% -  $Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$ ; 21.174% -  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ];

3.7 Composition of WONS-76 based on ethanol: [36.001% -  $H_2O$ ; 35% -  $C_2H_6O$ ; 6.23% -  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ; 0,335% -  $Pu(NO_3)_4 \cdot 6H_2O$ ; 22.4326% -  $Mg(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ];

3.8 Mass ratio of phases: 73% - Air, 27% - WONS - (65); 73% - Air, 27% - WONS - (67); 73% - Air, 27% - WONS - (74); 73% - Air, 27% - WONS - (76);

3.9 Operating temperature:  $1550 \pm 50$  K;

3.10 Specific energy consumption:  $E_{ud} = 78.766$  (WONS - 65); 90,622 (WONS - 67); 78.8241 (WONS - 74); 90,5645 (WONS - 76);

- 4 Experimentally obtained model oxide compositions and investigated their physical and chemical properties;
- 5 Scientifically substantiated recommendations have been prepared for for the practical implementation of the process.

### **Conclusion**

The results of the calculations can be used to create technology and equipment for the plasmachemical synthesis of oxide compounds from water-organic nitrate and other solutions.

### **References**

1. Savchenko A., et al. Zirconium matrix alloys for high uranium content dispersion type fuel. – International Meeting On LWR Fuel Performance «Nuclear Fuel: Addressing The Future», Salamanca, Spain, 22–26 October, 2006. – P. 22.
2. 19. Current Status of Neutron Capture Therapy // IAEA – TECDOC-1223, IAEA, Vienna, 2001.
3. Kleykamp H. Selection of materials as diluents for burning of plutonium fuels in nuclear reactors // J. Nucl. Mater. – 1999. – V. 275. – No 1–2. – P. 1.
4. Chauvin N., et al. In-pile studies of inert matrices with emphasis on magnesia and magnesium aluminates spend // J. Nucl. Mater. – 1999. – V. 274. – No 1–2. – P. 91.
5. Matzke H.J., Rondinella V.V., Wiss T. Materials research on inert matrixes: a screening study // J. Nucl. Mater. – 1999. – V. 274. – No 1–2. – P. 47.
6. Yanagisawa K., et al. Density, porosity and grain size. (1) Unirradiated Rox Fuels // J. of Nucl. Science and Technol. 1999. – V. 36. – No 11. – P. 1052.
7. Alekseev S.V., Zaitsev V.A. Thorium in Nuclear Power Engineering. - M: Technosphere, 2014. - 394 c.
8. Wymer R.G. Laboratory and engineering studies of sol-gel processes at Oak-Ridge Nat. Lab. Sol-gel processes for ceramic nuclear fuels, Vienna, 6–10 May, 1968. IAEA. – Vienna, 1968. – P. 131.

9. Waldron M.B. Technology of plutonium used in reactor systems // Proceedings of the Second International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy. Geneva, 1958. Selected Papers of Foreign Scientists. T. 6. Nuclear Fuel and Reactor Materials. - M.: Atomizdat, 1959. - C. 627.
10. Novoselov I.Yu., Karengin A.G., Shamanin I.V. e.a. // AIP Conference Proceedings. – 2018. – Vol. 1938. – P. 1–7.
11. Karengin, A. A. Karengin, I. Yu. Novoselov. e.a. // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1989. – P. 1–5.
12. Labor Code of the Russian Federation from 30.12.2001 № 197-FZ (ed. from 28.03.2021) // Sobranie zakonodatelstva RF. - 07.01.2002.
13. SanPiN 2.2.2/2.4.1340-03 "Hygienic requirements for personal electronic computers and work organization.
14. SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic specifications and requirements for provision of safety and (or) harmlessness of environmental factors for people".
15. GOST 12.1.007-76 "SSBT. Hazardous substances.
16. GOST 12.1.038-82 SSBT electrical safety.
17. SanPiN 2.2.4/2.1.8.055-96 Electromagnetic Radiation of Radio Frequency Range.
18. GOST 12.1.004-91. Fire Safety".
19. SanPin 2.2.4.3359-16 "Sanitary and Epidemiological Requirements to Physical Factors at Workplace".
20. MU 2.6.5.033-2017 Organization of ventilation at radiation hazardous enterprises (productions) of Rosatom State Corporation
21. GN 2.2.5.1313-03 Maximum permissible concentrations (MPC) of harmful substances in working area air. 22.
22. SP 12.13130.2009 "Determination of explosion and fire hazard categories of premises, buildings and outdoor facilities".
23. GOST 12.4.011-89 "SSBT. Protective equipment for workers. General requirements and classification".

## APPLICATION A

Table A 1. Calculation results of the acetone-based WONS in the "TERRA" program for  $\alpha = 0,033$

№	Воз дух, %	UO <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	U <sub>4</sub> O <sub>9</sub>	UO <sub>3</sub>	PuO <sub>2</sub>	MgO	C	Q(nr), MJ/k g	T(ad), K	E(sp), MJ/k g
<b><math>\alpha = 3,3</math></b>											
91,865% - UO <sub>2</sub> ; 3,135% - PuO <sub>2</sub> ; 5% - MgO											
-	56	+	-	+	-	+	+	+	5,35	1570,3	
WONS-1	57	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1550,5	20,33
WONS-2	58	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1530,6	20,34
WONS-3	59	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1510,4	20,72
-	60	+	-	+	-	+	+	-	5,35	1470,1	
-	61	-	+	+	+	+	+	-	5,35	1457,5	
WONS-41	71	+	-	+	-	+	+	-	8,63	1811,7	31,71
87,03% - UO <sub>2</sub> ; 2,97% - PuO <sub>2</sub> ; 10% - MgO											
-	56	+	-	-	-	+	+	+	5,32	1536,6	
WONS-4	57	+	-	+	-	+	+	-	5,32	1517,7	23,85
-	58	+	-	+	-	+	+	-	5,32	1498,5	
-	59	+	-	+	-	+	+	-	5,32	1479,2	
-	60	-	+	+	+	+	+	-	5,32	1498,5	
WONS-42	71	+	-	+	-	+	+	-	8,6	1784,6	36,80
82,195% - UO <sub>2</sub> ; 2,805% - PuO <sub>2</sub> ; 15% - MgO											
-	58	+	-	-	-	+	+	+	5,62	1549,4	
WONS-5	59	+	-	-	-	+	+	-	5,62	1529,4	28,39
WONS-6	60	+	-	-	-	+	+	-	5,62	1509,3	28,61
-	61	+	-	+	-	+	+	-	5,62	1488	
-	62	-	+	+	+	+	+	-	5,62	1457,3	
WONS-43	70	+	-	-	-	+	+	-	8,57	1806,5	41,58
WONS-44	71	+	-	+	-	+	+	-	8,57	1770,3	41,75
77,36% - UO <sub>2</sub> ; 2,64% - PuO <sub>2</sub> ; 20% - MgO											
-	61	+	-	-	-	+	+	+	5,93	1541,5	
WONS-7	62	+	-	+	-	+	+	-	5,93	1520,1	33,76
-	63	-	+	+	+	+	+	-	5,93	1488	
WONS-45	70	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1792,1	48,15
WONS-46	71	+	-	+	-	+	+	-	8,55	1755,5	46,74
67,69 % - UO <sub>2</sub> ; 2,31% - PuO <sub>2</sub> ; 30% - MgO											
-	63	+	-	-	-	+	+	+	6,55	1607	
WONS-8	64	+	-	-	-	+	+	-	6,55	1583,4	44,75
-	65	-	-	+	-	+	+	-	6,55	1548,8	
-	66	-	+	+	+	+	+	-	6,55	1522,4	
WONS-47	70	+	-	-	-	+	+	-	8,53	1767,1	56,65
58,02% - UO <sub>2</sub> ; 1,98% - PuO <sub>2</sub> ; 40% - MgO											
-	65	+	-	-	-	+	+	+	6,86	1565,4	
WONS-9	66	+	-	+	-	+	+	-	6,86	1577,2	55,15
-	67	-	+	+	+	+	+	-	6,86	1584,4	

WONS-48	70	+	-	-	-	+	+	-	8,51	1756	66,59
48,35% - UO <sub>2</sub> ; 1,65% - PuO <sub>2</sub> ; 50% - MgO											
-	64	+	-	-	-	+	+	+	6,84	1617,8	
WONS-10	65	+	-	-	-	+	+	-	6,84	1593,5	63,05
-	66	+	-	+	-	+	+	-	6,84	1557,2	
-	67	-	+	+	+	+	+	-	6,84	1531,2	
WONS-49	70	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1745	76,17

Table A 2. Calculation results of acetone-based WONS in the "TERRA" program for  $\alpha = 0,044$

№	Воз дух , %	UO 2	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	U <sub>4</sub> O 9	UO 3	PuO 2	MgO	C	Q(nr), MJ/k g	T(ad), K	E(sp), MJ/k g
$\alpha = 4,4$											
90,82% - UO <sub>2</sub> ; 4,18% - PuO <sub>2</sub> ; 5% - MgO											
-	56	+	-	-	-	+	+	+	5,35	1571,4	
WONS-11	57	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1551,6	20,45
WONS-12	58	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1531,6	20,47
WONS-13	59	+	-	-	-	+	+	-	5,35	1511,5	20,72
-	60	+	-	+	-	+	+	-	5,35	1470,5	
-	61	-	+	+	+	+	+	-	5,35	1458,3	
WONS-50	71	+	-	+	-	+	+	-	8,63	1812,4	31,71
86,04% - UO <sub>2</sub> ; 3,96% - PuO <sub>2</sub> ; 10% - MgO											
-	60	+	-	-	-	+	+	+	5,65	1533,4	
WONS-14	61	+	-	+	-	+	+	-	5,65	1511,9	25,29
-	62	-	+	+	+	+	+	-	5,65	1174,3	
WONS-51	71	+	-	+	-	+	+	-	8,6	1788,8	36,80
81,26% - UO <sub>2</sub> ; 3,74% - PuO <sub>2</sub> ; 15% - MgO											
-	61	+	-	-	-	+	+	+	5,95	1560,2	
WONS-15	62	+	-	-	-	+	+	-	5,95	1538,2	29,99
-	63	+	-	+	-	+	+	-	5,95	1505,5	
WONS-52	70	+	-	-	-	+	+	-	8,57	1807,1	41,58
WONS-53	71	+	-	+	-	+	+	-	8,57	1770,6	41,88
76,48% - UO <sub>2</sub> ; 3,52% - PuO <sub>2</sub> ; 20% - MgO											
-	61	+	-	-	-	+	+	+	5,93	1507,4	
WONS-16	62	+	-	+	-	+	+	-	5,93	1520,6	33,76
-	63	-	+	+	+	+	+	-	5,93	1483,7	
WONS-54	70	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1792,5	48,15
WONS-55	71	+	-	+	-	+	+	-	8,55	1755,7	46,92
66,92% - UO <sub>2</sub> ; 3,08% - PuO <sub>2</sub> ; 30% - MgO											
-	57	+	-	-	-	+	+	+	5,57	1521,3	
WONS-17	58	+	-	-	-	+	+	-	5,57	1502,7	38,98
-	59	+	-	-	-	+	+	-	5,57	1484	
WONS-56	70	+	-	-	-	+	+	-	8,53	1771,2	56,52
57,36% - UO <sub>2</sub> ; 2,64% - PuO <sub>2</sub> ; 40% - MgO											
-	58	+	-	-	-	+	+	+	5,87	1565	

WONS-18	59	+	-	-	-	+	+	-	5,87	1545,5	45,91
WONS-19	60	+	-	-	-	+	+	-	5,87	1525,7	46,54
-	61	-	+	+	+	+	+	-	5,87	1487,7	
WONS-57	70	+	-	-	-	+	+	-	8,51	1756,3	66,5
47,8% - UO <sub>2</sub> ; 2,2% - PuO <sub>2</sub> ; 50% - MgO											
-	58	+	-	-	-	+	+	+	5,85	1541,8	
WONS-20	59	+	-	-	-	+	+	-	5,85	1522,6	54,93
WONS-21	60	+	-	-	-	+	+	-	5,85	1503,3	55,40
-	61	+	-	-	-	+	+	-	5,85	1483,8	
-	62	+	-	+	-	+	+	-	5,85	1462,8	
-	63	-	+	+	+	+	+	-	5,85	1433,4	
WONS-58	70	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1745,2	76,45

Table A 3. Calculation results of ethanol-based WONS in the "TERRA" program for  $\alpha = 0,033$

№	Возд ух, %	UO 2	U <sub>3</sub> O 8	U <sub>4</sub> O 9	UO 3	PuO 2	Mg O	C	Q(nr) , MJ/k g	T(ad), K	E(sp), MJ/kg
$\alpha = 3,3$											
90,82% - UO <sub>2</sub> ; 4,18% - PuO <sub>2</sub> ; 5% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,64	1534,2	
WONS-22	68	+	-	+	-	+	+	-	6,64	1507,7	28,79
-	69	-	+	+	+	+	+	-	6,64	1470,1	
-	73	+	-	-	-	+	+	+	8,99	1737,4	37,60
86,04% - UO <sub>2</sub> ; 3,96% - PuO <sub>2</sub> ; 10% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,89	1560,8	
WONS-23	68	+	-	-	-	+	+	-	6,89	1534,5	34,49
-	69	+	-	+	-	+	+	-	6,89	1489,5	
-	73	+	-	-	-	+	+	+	8,58	1649,9	43,61
81,26% - UO <sub>2</sub> ; 3,74% - PuO <sub>2</sub> ; 15% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,87	1543,8	
WONS-24	68	+	-	-	-	+	+	-	6,87	1517,5	39,22
-	69	+	-	+	-	+	+	-	6,87	1475,5	
WONS-59	72	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1669,9 78	50,64
WONS-60	73	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1635,7 33	49,47
76,48% - UO <sub>2</sub> ; 3,52% - PuO <sub>2</sub> ; 20% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,85	1529,4	
WONS-25	68	+	-	-	-	+	+	-	6,85	1504,2	43,96
-	69	-	+	+	-	+	+	-	6,85	1467,9	
WONS-61	72	+	-	-	-	+	+	-	8,53	1658,2	56,70
WONS-62	73	+	-	-	-	+	+	-	8,53	1624,5	55,39
66,92 % - UO <sub>2</sub> ; 3,08% - PuO <sub>2</sub> ; 30% - MgO											
-	68	+	-	-	-	+	+	+	7,1	1532,6	
WONS-26	69	+	-	-	-	+	+	-	7,1	1506,5	55,91
-	70	-	+	+	+	+	+	-	7,1	1470,9	

WONS-63	73	+	-	-	-	+	+	-	8,51	1608,0 3	67
57,36% - UO <sub>2</sub> ; 2,64% - PuO <sub>2</sub> ; 40% - MgO											
-	68	+	-	-	-	+	+	+	7,36	1566,6	
WONS-27	69	+	-	-	-	+	+	-	7,36	1539,9	67,41
-	70	+	-	-	-	+	+	-	7,36	1513,4	
WONS-64	72	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1629,1	81,06
WONS-65	73	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1596,4	78,76
47,8% - UO <sub>2</sub> ; 2,2% - PuO <sub>2</sub> ; 50% - MgO											
-	68	+	-	-	-	+	+	+	7,63	1603,8	
WONS-28	69	+	-	-	-	+	+	-	7,63	1576,4	79,91
WONS-29	70	+	-	-	-	+	+	-	7,63	1548,7	84,03
WONS-30	71	+	-	+	-	+	+	-	7,63	1520,2	88,43
-	72	-	+	+	+	+	+	-	7,63	1480,3	
WONS-66	72	+	-	-	-	+	+	-	8,47	1620,2	92,72
WONS-67	73	+	-	-	-	+	+	-	8,47	1587,9	90,62

Table A 4. Calculation results of ethanol-based WONS in the "TERRA" program for  $\alpha = 0,044$

№	Ai r, %	UO 2	U <sub>3</sub> O 8	U <sub>4</sub> O 9	UO 3	PuO 2	Mg O	C	Q(nr), MJ/kg	T(ad), K	E(sp), MJ/kg
$\alpha = 4,4$											
90,82% - UO <sub>2</sub> ; 4,18% - PuO <sub>2</sub> ; 5% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,93	1584,8	
WONS-31	68	+	-	-	-	+	+	-	6,93	1557,6	29,72
WONS-32	69	+	-	+	-	+	+	-	6,93	1528,9	31,16
-	70	-	+	+	+	+	+	-	6,93	1489,7	
-	73	+	-	-	-	+	+	+	8,61	1669,1	37,59
86,04% - UO <sub>2</sub> ; 3,96% - PuO <sub>2</sub> ; 10% - MgO											
-	67	+	-	-	-	+	+	+	6,89	1561,5	
WONS-33	68	+	-	-	-	+	+	-	6,89	1535,	34,46
-	69	+	-	+	-	+	+	-	6,89	1489,7	
-	73	+	-	-	-	+	+	+	8,58	1659,2	43,61
81,26% - UO <sub>2</sub> ; 3,74% - PuO <sub>2</sub> ; 15% - MgO											
-	68	+	-	-	-	+	+	+	7,15	1566,3	
WONS-34	69	+	-	-	-	+	+	-	7,15	1539,1	40,79
-	70	-	+	+	+	+	+	-	7,15	1501,6	
WONS-68	72	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1670,4	48,83
WONS-69	73	+	-	-	-	+	+	-	8,55	1635,9	49,41
76,48% - UO <sub>2</sub> ; 3,52% - PuO <sub>2</sub> ; 20% - MgO											
-	68	+	-	-	-	+	+	+	7,41	1600,6	
WONS-35	69	+	-	-	-	+	+	-	7,41	1572,8	47,17
WONS-36	70	+	-	-	-	+	+	-	7,41	1544,7	49,55
-	71	-	+	+	+	+	+	-	7,41	1188,3	
WONS-70	72	+	-	-	-	+	+	-	8,54	1658,6	54,66
WONS-71	73	+	-	-	-	+	+	-	8,54	1624,9	55,30
66,92 % - UO <sub>2</sub> ; 3,08% - PuO <sub>2</sub> ; 30% - MgO											

-	71	+	-	-	-	+	+	+	8,21	1621,2	
WONS-37	72	+	-	-	-	+	+	-	8,21	1589,8	64,46
-	73	-	+	+	+	+	+	-	8,21	1553,1	
WONS-72	73	+	-	-	-	+	+	-	8,51	1608,3	67,07
57,36% - UO <sub>2</sub> ; 2,64% - PuO <sub>2</sub> ; 40% - MgO											
-	71	+	-	-	-	+	+	+	8,21	1617,8	
WONS-38	72	+	-	-	-	+	+	-	8,21	1586,8	75,77
-	73	-	+	+	+	+	+	-	8,21	1546	
WONS-73	72	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1629,3	78,15
WONS-74	73	+	-	-	-	+	+	-	8,49	1596,2	78,82
47,8% - UO <sub>2</sub> ; 2,2% - PuO <sub>2</sub> ; 50% - MgO											
-	71	+	-	-	-	+	+	+	8,48	1652,049	
WONS-39/75	72	+	-	-	-	+	+	-	8,48	1620,3	92,71
WONS-40/76	73	+	-	-	-	+	+	-	8,48	1588,1	90,56
-	74	-	+	+	+	+	+	-	8,48	1543,8	

## APPLICATION B

### Scientifically-based recommendations

Based on the results of the calculations the following optimal conditions for the practical implementation of the process, providing the maximum yield of the target product in the form of compositions can be recommend:

1. WONS-65 (58.02 % -  $\text{UO}_2$ ; 1.98 % -  $\text{PuO}_2$ ; 40 % -  $\text{MgO}$ ); WONS-67 (48.35 % -  $\text{UO}_2$ ; 1.65 % -  $\text{PuO}_2$ ; 50 % -  $\text{MgO}$ ); WONS-74 (57.36 % -  $\text{UO}_2$ ; 1.98 % -  $\text{PuO}_2$ ; 40 % -  $\text{MgO}$ ); WONS-76 (47.8 % -  $\text{UO}_2$ ; 1.65 % -  $\text{PuO}_2$ ; 50 % -  $\text{MgO}$ );
2. Composition of WONS-65 based on ethanol: [37.095% -  $\text{H}_2\text{O}$ ; 32% -  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ; 9.055% -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,361% -  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 21.488% -  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ];
3. Composition of WONS-67 based on ethanol: [37.124% -  $\text{H}_2\text{O}$ ; 33% -  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ; 6.495% -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,259% -  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 23.121% -  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ];
4. Composition of WONS-74 based on ethanol: [36.53% -  $\text{H}_2\text{O}$ ; 33% -  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ; 8.821% -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,474% -  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 21.174% -  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ];
5. Composition of WONS-76 based on ethanol: [36.001% -  $\text{H}_2\text{O}$ ; 35% -  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ ; 6.23% -  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 0,335% -  $\text{Pu}(\text{NO}_3)_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; 22.4326% -  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ];
6. Mass ratio of phases: 73% - Air, 27% - WONS - (65); 73% - Air, 27% - WONS - (67); 73% - Air, 27% - WONS - (74); 73% - Air, 27% - WONS - (76);
7. Operating temperature:  $1550 \pm 50$  K;
8. Specific energy consumption:  $E_{\text{ud}} = 78.766$  MJ/kg (WONS - 65); 90,622 MJ/kg (WONS - 67); 78.8241 MJ/kg (WONS - 74); 90,5645 MJ/kg (WONS - 76).

# APPLICATION C

ФЮРА140303.034СБ

1. Размеры для справок  
2. Плавкой ГОСТ 21931-78  
3. Шов перламутровый

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.001.СБ	Электрод	1:1	1:1

ФЮРА140303.001.СБ  
Электрод  
Сборочный чертёж  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4

ФЮРА140303.001

H14, h14, + 0/2

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.001	Гайка	1:1	1:1

ФЮРА140303.001  
Гайка  
Пруток Гер НТ-36  
М2 ГОСТ 1535-71  
ФТФ Группа ОМ501  
Формат А4

ФЮРА140303.002

H14, h14, + 0/2

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.002	Корпус	1:1	1:1

ФЮРА140303.002  
Корпус  
Пруток Гер НТ-40  
М2 ГОСТ 1535-71  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4

ФЮРА140303.003

H14, h14, + 0/2

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.003	Наконечник	2:1	2:1

ФЮРА140303.003  
Наконечник  
Пруток Гер НТ-30  
М2 ГОСТ 1535-71  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4

ФЮРА140303.004

1. Длина развертки L=184  
2. H14, h14, + 0/2

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.004	Трубка	1:1	1:1

ФЮРА140303.004  
Трубка  
Трубка 10x1  
М1 ГОСТ 617-90  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4

ФЮРА140303.005

H14, h14, + 0/2

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.005	Штуцер	2:1	2:1

ФЮРА140303.005  
Штуцер  
Пруток Гер НТ-14  
М2 ГОСТ 1535-71  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4

Вид	Код	Обозначение	Наименование	М	Примечание
<b>Документация</b>					
А3	ФЮРА140303.034 СБ	Сборочный чертёж			
<b>Детали</b>					
А4	1	ФЮРА140303.001	Гайка	1	
А4	2	ФЮРА140303.002	Корпус	1	
А4	3	ФЮРА140303.003	Наконечник	1	
А4	4	ФЮРА140303.004	Трубка	1	
А4	5	ФЮРА140303.005	Штуцер	2	
А4	6	ФЮРА140303.006	Шайба	1	

№ п/п	Код	Наименование	Материал	Масштаб
1	ФЮРА140303.000	Электрод	1	1:1

ФЮРА140303.000  
Электрод  
ФТФ Группа ОМ540  
Формат А4