

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
 Направление подготовки 14.04.02 Ядерные физика и технологии  
 ООП/ОПОП Изотопные технологии и материалы  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
<b>Исследование возможности использования процесса щелочной отмывки насыщенной ионообменной смолы</b>

УДК 661.183.1.081.3:661.879.1

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ11	Абдиянов Алмас Ержанович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	К.Т.Н.		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Спицына Л.Ю.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Ю.В.	К.Т.Н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Изотопные технологии и материалы	Видяев Д.Г.	д.т.н.		

School of Nuclear Science & Engineering  
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology  
Specialization: Isotope technologies and materials  
Nuclear Fuel Cycle Division

### MASTER THESIS

Topic of research work
<b>Investigation of the possibility of using the process of alkaline washing of saturated ion exchange resin</b>

UDC 661.183.1.081.3:661.879.1

#### Student

Group	Full name	Signature	Date
0AM11	Abdiyanov Almas Erzhanovich		

#### Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE	Timchenko S.N.	Ph.D.		

### ADVISERS:

#### Section «Financial Management, Resource Efficiency and Resource Saving»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor DSSH SBET	Spitsyna L.Yu.	Ph.D.		

#### Section «Social Responsibility»

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE	Perederin Yu.V.	Ph.D.		

### ADMITTED TO DEFENSE:

Program Director	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Isotope technologies and materials	Vidyaev D.G.	Sc.D.		

## РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
<b>Универсальные</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовывать и руководить работой команды, вырабатывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выбирать критерии оценки, выявлять приоритеты решения задач
ОПК(У)-2	Способен применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы
ОПК(У)-3	Способен оформлять результаты научно-исследовательской деятельности в виде статей, докладов, научных отчетов и презентаций с использованием систем компьютерной верстки и пакетов офисных программ
<b>Профессиональные</b>	
ПК(У)-1	Способен использовать фундаментальные законы в объёме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза новых идей, творческого самовыражения
ПК(У)-2	Способен создавать новые методы расчета современных физических установок и устройств, разрабатывать методы и перспективные технологии
ПК(У)-3	Способен создавать математические и физические модели, описывающие процессы и явления в разделительных каскадах, установках разделения и тонкой очистки веществ, переработки и обезвреживания промышленных отходов
ПК(У)-4	Способен оценить перспективы развития ядерной отрасли, использовать её современные достижения и передовые технологии в научно-исследовательских работах
ПК(У)-5	Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач с использованием современных приборов для научных исследований и математических методов расчета
ПК(У)-6	Способен провести расчет, концептуальную и проектную разработку современных физических установок и приборов
ПК(У)-7	Способен формулировать технические задания, использовать информационные технологии и пакеты прикладных программ при проектировании и расчете физических установок, использовать знания методов анализа эколого-экономической эффективности при проектировании и реализации проектов
ПК(У)-8	Способен к объективному анализу технических и расчетно-теоретических разработок, решений и проектов, учету их соответствия требованиям законов в области промышленности, экологии, технической, радиационной и ядерной безопасности, другим нормативным актам на российском и международном уровне, подготовить экспертное заключение
ПК(У)-9	Готовность к преподавательской деятельности по основным образовательным программам высшего образования и дополнительного профессионального образования (ДПО)
ПК(У)-10	Способен разрабатывать планы и программы организации инновационной деятельности, осуществлять технико-экономическое обоснование инновационных проектов, управлять программами освоения новой продукции и технологии

## LEARNING OUTCOMES

Competence code	Competence name
<b>Universal competences</b>	
<b>UC(U)-1</b>	Ability to make critical analysis of problem-based situations using the systems analysis approach, and generate decisions and action plans.
<b>UC(U)-2</b>	Ability to run a project at all life-cycle stages.
<b>UC(U)-3</b>	Ability to organize and lead the teamwork and generate a team strategy to achieve the target goal.
<b>UC(U)-4</b>	Ability to use modern communication technologies to realize academic and professional interaction.
<b>UC(U)-5</b>	Ability to analyze and account for cultural diversity in the process of intercultural interaction.
<b>UC(U)-6</b>	Ability to set and pursue individual and professional activity priorities and ways to modify professional activity based on the self-esteem.
<b>General professional competences</b>	
<b>GPC(U)-1</b>	Ability to formulate goals and objectives of the research study, select assessment criteria, identify priorities for solving problems.
<b>GPC(U)-2</b>	Ability to apply modern research methods, evaluate and present the results of the performed research.
<b>GPC(U)-3</b>	Ability to present research outcomes in the form of articles, reports, scientific reports and presentations using computer layout systems and office software packages.
<b>Professional competences</b>	
<b>PC(U)-1</b>	Ability to use fundamental laws in a volume sufficient for independent combination and synthesis of new ideas, creative self-expression
<b>PC(U)-2</b>	Ability to create new methods for calculating modern physical installations and devices, develop methods and advanced technologies
<b>PC(U)-3</b>	Ability to create mathematical and physical models that describe processes and phenomena in separation cascades, installations for the separation and fine purification of substances, processing and neutralization of industrial waste
<b>PC(U)-4</b>	Ability to assess the prospects for the development of the nuclear industry, use its modern achievements and advanced technologies in research work
<b>PC(U)-5</b>	Ability to independently perform experimental and theoretical research to solve scientific and industrial problems using modern instruments for scientific research and mathematical calculation methods
<b>PC(U)-6</b>	Ability to carry out calculation, conceptual and design development of modern physical installations and devices
<b>PC(U)-7</b>	Ability to formulate terms of reference, use information technologies and application packages in the design and calculation of physical installations, use knowledge of methods for analyzing environmental and economic efficiency in the design and implementation of projects
<b>PC(U)-8</b>	Ability to objectively analyze technical and computational-theoretical developments, solutions and projects, taking into account their compliance with the requirements of laws in the field of industry, ecology, technical, radiation and nuclear safety, other regulations at the Russian and international level, prepare an expert opinion
<b>PC(U)-9</b>	Readiness for teaching activities in the main educational programs of higher education and additional professional education (APE)
<b>PC(U)-10</b>	Ability to develop plans and programs for the organization of innovative activities, carry out a feasibility study of innovative projects, manage programs for the development of new products and technologies

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

Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.04.02 «Ядерные физика и технологии»  
ООП/ОПОП Изотопные технологии и материалы  
Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП  
 \_\_\_\_\_ Видяев Д.Г.  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Абдиянову Алмасу Ержановичу

Тема работы:

<b>Разделение изотопов бора методом химического изотопного обмена с термическим обращением потоков</b>	
Утверждена приказом проректора-директора (директора) (дата, номер)	от 02.02.2023 № 122-62/с

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

#### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b>	1. Процесс отмывки ионообменной смолы на узле сорбции цеха переработки продуктивных растворов ТОО «СП «Инкай»; 2. Увеличение содержания примесей на ионообменной смоле – отравление ионообменной смолы; 3. Возможность увеличения эффективности отмывки и интенсификации процесса сорбции урана.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Обзор и анализ литературы. 2. Исследование процесса щелочной отмывки ионообменной смолы в урановой промышленности 3. Проведение лабораторных исследований по щелочной отмывке насыщенной ионообменной смолы 4. Анализ эффективности процесса щелочной отмывки насыщенной ионообменной смолы 5. Определение целесообразности применения процесса щелочной отмывки насыщенной смолы в урановой промышленности 6. Экономический расчет.

	7. Охрана труда и техника безопасности. 8. Выводы. Заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Диаграммы и рисунки для иллюстрации расчетов
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент ОСГН ШБИП, к.э.н. Спицына Любовь Юрьевна
Социальная ответственность	Доцент ОЯТЦ ИЯТШ, к.т.н. Передерин Юрий Владимирович

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	27.01.2023
-------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Абдиянов Алмас Ержанович		

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

School of Nuclear Science & Engineering  
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology  
Specialization: Isotope technologies and materials  
Nuclear Fuel Cycle Division

APPROVED BY:  
 Program Director  
 \_\_\_\_\_ Vidyaev D.G  
 «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023

**ASSIGNMENT  
for the Graduation Thesis completion**

In the form:

Master's thesis
-----------------

For a student:

Group	Full name
0AM11	Abdiyanov Almas Ezhanovich

Topic of research work:

Approved by the order of the Director of School of Nuclear Science & Engineering (date, number):	от 02.02.2023 № 122-62/с
--------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------

Deadline for completion of Master Thesis:	
-------------------------------------------	--

**TECHNICAL TASK:**

<b>Initial date for research work:</b>	1. The process of washing the ion-exchange resin at the sorption unit of the processing shops of pregnant solutions of LLP “JV “Inkai”; 2. Increasing the content of impurities on the ion exchange resin - poisoning of the ion exchange resin; 3. The possibility of increasing the efficiency of washing and intensifying the process of sorption of uranium.
<b>List of the issues to be investigated, designed and developed</b>	1. Review and analysis of literature. 2. Study of the process of alkaline cleaning of ion-exchange resin in the uranium industry 3. Conducting laboratory studies on alkaline cleaning of saturated ion-exchange resin 4. Analysis of the efficiency of the process of alkaline washing of a saturated ion-exchange resin 5. Determination of the feasibility of using the process of alkaline washing of saturated resin in the uranium industry 6. Economic calculation. 7. Occupational health and safety. 8. Conclusions.

<b>List of graphic material</b>	Diagrams and figures to illustrate calculations
<b>Advisors to the sections of the Master Thesis</b>	
<b>Section</b>	<b>Advisor</b>
Financial management, resource efficiency and resource saving	Associate Professor of the Department of Social Sciences and Humanities, Ph.D. Spitsyna L. Yu.
Social Responsibility	Associate Professor of the Department of Nuclear Fuel Cycle, Ph.D. Perederin Yu.V.

<b>Date of issuance of the assignment for Master Thesis completion according to the schedule</b>	27.01.2023
--------------------------------------------------------------------------------------------------	------------

**Assignment issued by a scientific supervisor:**

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE	Timchenko S.N.	Ph.D.		

**Assignment accepted for execution by a student:**

Group	Full name	Signature	Date
0AM11	Abdiyanov Almas Erzhanovich		





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

Школа Инженерная школа ядерных технологий  
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии  
ООП/ОПОП Изотопные технологии и материалы  
Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

**Обучающийся**

Группы	ФИО
0AM11	Абдиянов Алмас Ержанович

**Тема работы:**

<b>Исследование возможности использования процесса щелочной отмывки насыщенной ионообменной смолы</b>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
27.01.2023	Разработка и утверждения технического задания	10
15.03.2023	Литературный обзор по теме ВКР	15
30.04.2023	Проведение экспериментальных работ	25
10.05.2023	Результаты исследований. Обработка результатов.	25
15.05.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность.	15
26.05.2023	Оформление работы и презентационных материалов.	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Тимченко С.Н.	к.т.н		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОЯТЦ ИЯТШ	Видяев Д. Г.	д.т.н.		

**Обучающийся**

Группы	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Абдиянов Алмас Ержанович		

School of Nuclear Science & Engineering  
Field of training: 14.04.02 Nuclear Science and Technology  
Specialization: Isotope technologies and materials  
Nuclear Fuel Cycle Division

### CALENDAR RATING PLAN completion of the final qualifying work

#### Student

Group	Full name
0AM11	Abdiyanov Almas Erzhanovich

#### Topic of research work:

<b>Investigation of the possibility of using the process of alkaline washing of saturated ion exchange resin</b>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Deadline for student submission of completed work:	
----------------------------------------------------	--

Date control	Section (module) name / type of work (research)	Maximum section (module) score
27.01.2023	Development and approval of terms of reference.	10
15.03.2023	Literature review on the research topic.	15
30.04.2023	Carrying out experimental work	25
10.05.2023	Research results. Processing of results.	25
15.05.2023	Financial management, resource efficiency and resource saving. Social responsibility.	15
26.05.2023	Preparation of papers and presentation materials.	10

#### COMPILED BY:

##### Scientific supervisor

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Associate Professor NFCD SNSE	Timchenko S.N.	Ph.D.		

#### AGREED:

##### Program Director

Position	Full name	Academic degree, academic rank	Signature	Date
Professor NFCD SNSE	Vidyaev D. G.	Sc.D.		

#### Student

Group	Full name	Signature	Date
0AM11	Abdiyanov Almas Erzhanovich		

## **Abstract**

The final qualifying work contains 105 pages, 26 figures, 57 tables, 20 sources.

Key words: ion-exchange resin, sorption, leaching of ion-exchange resin, alkaline leaching of ion-exchange resin.

The object of the study is the process of leaching off a saturated ion-exchange resin at the sorption unit of the processing shops of pregnant solutions extracted by the method of underground well leaching.

The purpose of the work is to determine the feasibility of the process of leaching a saturated ion-exchange resin with alkaline solutions.

In the course of the study, laboratory experiments were carried out on leaching the saturated ion-exchange resin with alkaline solutions. For the study, real ion-exchange resins and solutions were used, taken directly from the technological processes of the processing shops of pregnant solutions of the production site of LLP «JV «Inkai».

As a result of the study, the effectiveness of the use of alkaline cleaning on existing ion-exchange resins was determined, and an analysis of the state of ion-exchange resins at the nearest mines of neighboring deposits was carried out.

Scope: metallurgy, mining and processing of natural uranium.

## Table of contents

Introduction .....	15
1 Processing technology of PR solutions for drillhole ISL .....	16
1.1 Ion exchange .....	17
2 Ion exchange columns.....	19
2.1 Sorption of uranium. Ion Exchange Column .....	20
2.2 Desorption of uranium. Sorption and Desorption Column.....	22
3 Ion exchange resin leaching.....	25
3.1 Alkaline leaching in water treatment .....	26
3.2 Alkaline leaching of silicon in uranium processing .....	28
4 Ion exchange resin characteristics .....	30
4.1 Macroporous AMP anionite.....	30
4.2 Gel anionite Purolite PFA 460/4783.....	31
5 Experimental description .....	32
5.1 AMP resin leaching with alkaline solutions .....	33
5.2 AMP and Purolite resins leaching using pre-water leaching.....	38
5.3 Leaching of AMP and Purolite resins with increasing water volume for pre-leaching.....	49
5.4 Experimental results.....	58
6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	62
6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований .....	62
6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	64
6.1.3 SWOT-анализ.....	66

6.2. Инициация проекта .....	68
6.3. Планирование управления научно-техническим проектом .....	70
6.3.1. Иерархическая структура работ проекта.....	70
6.3.2. Контрольные события проекта.....	71
6.3.3. Определение трудоемкости выполнения работ .....	72
6.3.4. Разработка графика проведения научного исследования.....	73
6.4. Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	76
6.4.1. Расчет материальных затрат .....	76
6.4.2. Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ .....	78
6.4.3. Затраты на оплату труда исполнителей научно-технического исследования.....	79
6.4.4. Отчисления во внебюджетные фонды.....	81
6.4.5. Накладные расходы .....	82
6.4.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	82
6.5. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .	83
6.5.1. Определение финансовой и ресурсной эффективности .....	83
6.6. Выводы по разделу .....	87
7. Социальная ответственность .....	89
7.1. Выявление и анализ опасных и вредных производственных факторов.....	89
7.1.1. Микроклимат.....	90
7.1.2. Шум .....	91
7.1.3. Освещенность.....	92
7.1.4. Электробезопасность.....	93
7.1.5. Электромагнитные поля.....	95

7.1.6	Пожарная и взрывная безопасность.....	96
7.2	Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	98
7.3	Выводы по разделу «Социальная ответственность».....	101
8	Conclusions .....	102
	References .....	103

## **Introduction**

This Master's thesis was written to study the production problem to determine the necessity and effectiveness of introducing alkaline leaching of saturated ion exchange resin into the dynamic technological process for the intensification of sorption and desorption processes at JV Inkai LLP.

Alkaline leaching as a method of influence on ion exchange resin for improvement of its physico-chemical properties is successfully used in the water treatment, desalination, and in hydrometallurgical industries during processing of rare-earth and precious metals.

The literature review also found research aimed at studying this process under conditions of processing pregnant solutions (PR) produced during uranium mining using drillhole ISL. The purpose of such research is to clean the ion exchange resin from impurities, the composition of which, in turn, depends on the salt composition of PR solutions. PR solutions produced by underground leaching of uranium ores on each individual deposit have a unique salt composition. There is often a difference under control and efficiency of ion exchange processes at different sites of the same deposit.

Thus, the usefulness and potential effectiveness of introducing the alkaline leaching of ion exchange resin into the operating process requires special laboratory studies.

## **1 Processing technology of PR solutions for drillhole ISL**

Drillhole ISL technology has been developed since the beginning of the 20th century and today is one of the advanced technologies for the extraction of uranium and a number of other metals (gold, copper, rhenium, scandium, molybdenum, etc.). The drillhole ISL method [1] for uranium production is more effective and easy.

The method is most used in Kazakhstan, Uzbekistan and the United States, and almost all uranium production in these countries is conducted using drillhole ISL method [1]. Since 2009, Kazakhstan has been the world leader in the production of natural uranium. The national operator of the Republic of Kazakhstan on uranium import-export is the “National Atomic Company “Kazatomprom” JSC. All uranium deposits of the company can be used for economically efficient and least environmentally harmful drillhole ISL mining.

Uranium is extracted using a system of technological wells, integrated into processing cells and blocks. Leach solution, containing reagents capable dissolve uranium minerals, enters through injection wells. The physico-chemical interaction of uranium minerals with leaching reagents in the underground horizon produces a pregnant solution (PR solution) containing uranium to be injected to the surface through a system of extraction wells. While treatment process of the PR solution, uranium is extracted from it, and the remaining stock solutions are reinforced with leaching agents and fed back to the injection wells as a standard solution [2]. Underground leaching as a new, progressive method is now widely used in Kazakhstan in uranium mining. This method in a short time passed the whole process of research, development and industrial introduction of uranium mining enterprises of the country.

According to the complex chemical composition of the PR solutions and the low useful component content, sorption methods based on ion exchange are the most comfortable treatment option. The process cycle of uranium reprocessing, extracted using the drillhole ISL method, starts with sorption conversion as the first step of uranium concentration.



## **1.1 Ion exchange**

Ion exchange is widely used in uranium extraction and purification technologies [3].

Ion exchange processes for uranium hydrometallurgy in the Republic of Kazakhstan are too important, wherein they are used in most processes of PR solution processing.

In uranium hydrometallurgy, especially in ore processing with medium and small uranium content, different systems are used, including ion exchange.

Uranium is extracted from both plant leaching solutions and slurry and from underground uranium leaching solutions from ore formations as well as mine waters from uranium ore mining.

The characteristics of uranium-bearing ore is a complex composition including along with uranium and other valuable components – colored and rare metals: gold, molybdenum, copper, etc. Therefore, rational utilization of raw materials is one of the most important directions of scientific and technological progress in our country and abroad. To date, technological systems for the joint extraction of uranium, vanadium, molybdenum, etc., have been developed and continue to be improved. Sorption processing are important in processing chains to produce these elements, and they are used to extract, separate and concentrate a number of elements. Mechanization and improvement of such processes are similar to the extraction of uranium from ore materials. Waste water from various hydrometallurgical processes can be purified by ion exchange under different systems. To date, not a few of high-powered ion exchange columns have been developed for wastewater treatment processes, including the specifics of such changes.

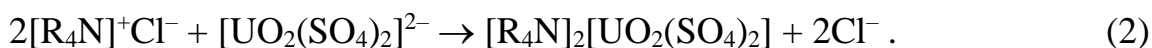
Ion exchange has taken on an important function in the process cycle of uranium extraction using drillhole ISL. For low-value industrial solutions, a more suitable treatment option is sorption methods based on ion exchange technology.

Uranium sorption from carbonate environment is widely used in uranium industry. Uranium in the carbonate environment is found in the form of a tricarbonate anion complex  $[\text{UO}_2(\text{CO}_2)_3]^{4-}$  which is quite efficiently sorbed with highly basic anionites AM, AMP, AV-17, VP 1Ap, Douex-1, Amberlit-400 and others.

Sulphuric-acid leaching process of uranium raw material laced with some oxidants (at atmospheric pressure, in autoclaves at high pressure, underground leaching from ores at the site of deposit) is the most common process of uranium conversion into solution. And the uranium discovering in the sulfuric acid environment in the cation and anionic forms creates, as noted above, opportunity for sorption extraction and concentration of uranium from pulp and solutions.

The concentration of uranium in the original solution and the availability and concentration of desorption anions - sulphates, nitrates, chlorides are the controlling factors of sorption extraction technology.

Y.N. Matveyev and V.S. Strizhko described the sorption extraction process of uranium from acid solutions at the leaching phase of ore raw material [4]. The use of ion exchange technology in the uranium industry based on ion exchange resin is due to the fact that uranium in solutions after leaching is found in the form of various complex uranyl anionites  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^-$ ,  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_3]^-$  (in a sulfuric acid environment). In this case, the sorption process is generally described by equations (1), (2):



At the same time, though in a less degree, there are rival sorption processes of other ones in the solution anion ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HSO}_4^-$ ,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)^{2-}$ ,  $\text{Fe}(\text{SO}_4)_3^{3-}$ ), some anions V, P, As, Mo, as well as chlorine and ion nitrate.  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$  and some others are not sorbed.

At high acidity, a rival sorption of  $\text{HSO}_4^-$ , is particularly evident, significantly reducing the resin capacity by uranium. Therefore, sorption of uranium is more intense at high pH.

When the acidity and concentration of uranium in the solution decrease, the resin capacity grows, because the four-charge anion  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_4]^{4-}$  mainly two-charge complexes  $[\text{UO}_2(\text{SO}_4)_2]^{2-}$  are sorbed. As acidity decreases further (pH 2,5) the resin capacity increases due to the hydrolytic formation of uranium-type complexes:  $[\text{U}_2\text{O}_5(\text{SO}_4)_3]^{4-}$  и  $[\text{U}_2\text{O}_5(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ .

The resin capacity depends heavily on a few salts. The depressing effect of a few salts is used at the phase of uranium removal from resin (desorption, regeneration). Desorption is inverse to sorption. Therefore, nitrogen, hydrochloric, high sulfuric acid, chloride or nitrite solutions are usually used for desorption in uranium industry.

Molybdenum can be sorbed in the form of sulfate anion complex  $[\text{MoO}_2(\text{SO}_4)_3]^-$ , with uranium, and in small quantities of iron in the form of  $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_2]^-$ ,  $[\text{Fe}(\text{SO}_4)_3]^{3-}$ ,  $[\text{Fe}(\text{OH})(\text{SO}_4)_2]^{2-}$ , phosphate-ion, vanadat ion. Molybdenum, vanadate, phosphate, cyanide reduces the capacity of uranium

## **2 Ion exchange columns**

The wide variety of using the ion exchange process has been greatly supported by a wide range of ion exchange materials with different physico-chemical properties. The proper identifying of an ion exchange material is the first step in solving the complex problem of creating a new one or improving the actual ion exchange process.

However, effective using of ion exchange is not possible without the use of modern high-intensity column.

Sorption columns – Ion Exchange Column (IXC) are successfully used at sorption unit. The feature of the pressure column is to maintain a clamped layer of ionite along the entire volume of the column to establish conditions for uniform

saturation of the column. The height of the working layer (about 10 meters) creates ideal conditions with infinitely many theoretical steps.

The disadvantage of the ion exchange resin movement is that if the resin moves inside the column in a continuous, dense flow with minimal disruption of the parallelism of individual ionite layers (mixing ratio is close to zero) then outside the column, when transferred from the column to the ionite one is subjected to intensive mixing.

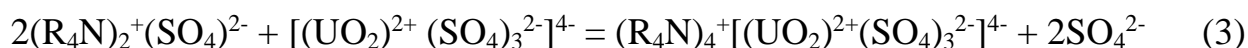
This results to distortion of the ion exchange process front, to an increase in the height of the equivalent theoretical phase of ion exchange, in other words to a decrease in the efficiency of ion exchange. One of the ways to increase productivity was the use of columns with alternate phase movement of short-cycle filtration. The creation of conditions with a short filter cart (function as an approximation to the mode of ideal dynamics of sorption, desorption) allowed to significantly reduce the one-time loading of ionite and to organize a fortification cycle (concentration) and uranium desorption in one column – sorption and desorption column.

## **2.1 Sorption of uranium. Ion Exchange Column**

The uranium sorption from PR solution is done in ion exchange column of IXC type on a high-basic anionite with the discharge of the sorption barren solution into the sand pond of the leaching solution. The ion exchange column is made from:

- Cylindrical shell (material selected using chemical resistance to aggressive process solutions);
- Upper drainage device;
- Storage tanks;
- Solution drainage;
- Injection devices for PR solution with a conical input flow distributor;
- Devices for loading saturated ion exchange resin;
- Pressure hopper for regenerated resin loading.

Sorption extraction of uranium in IXC flows in dynamic mode, in which the working flow of the solution is filtered through the stationary sorbent layer. The uranium contained in PR solution is fixed on the active exchange centers in air anionite, as a result of ion exchange flowing through a chemical reaction (3):



“IXC-3M» is the most easy ion exchange column of countercurrent, semi-continuous action. “IXC-3M” is a cylindrical container with a lower dilution distributor, upper drainage and a hopper for anionite storage. The column is filled with anionite, and the solution is filtered through its layer from the bottom up. The solution is regularly shut down and a part of the anionite is pumped by a hydroelevator or an erlift to another operation, the same amount of anionite flows from the hopper to the upper part of the column. Column material is from 12H18N10T, 10H17N13M2T Stainless Steel.

The saturated sorbent from the buffer vessel is directed to be reinforced and desorbed into the sorption-desorption column. Most often, the hydraulic transport is used to transfer saturated sorbent from columns “IXC-3M”. The hydraulic transport of saturated resin reduces the mechanical wear of the anionite and also produces a transport solution that allows anionite to be subsequently separated from the main amount of mechanical particles. The conveying solution is washing solution (WS), because if free acid is in the transport solution, partial desorption of uranium with saturated resin is possible during transportation. Uranium desorption a result from the saturated sorbent in the nitrate desorption area, where the initial desorbent solution (DS) is supplied to this area.

Barren solutions are removed via drainage cassettes at the top of the column. The content of uranium in barren solutions is not more than 2 mg/l.

Further, the barren solutions are directed to the sand pond leaching solutions. Leaching solution is the main control point in production, showing the impeccable

operation of the processing shop of PR solutions and determining the recovery efficiency of uranium extraction.

As sorption columns in processing shops of PR solutions of one of production sites of JV Inkai LLP are also used reliable in operation and showing good technological parameters cylindrical columns of “Down flow” type with internal drainage.

This technology was introduced along with IXC columns for sorption of uranium on resin. The feature of this type of columns is none of a clamped layer, but at the same time nonmixing in the volume of the column. The column is filled with only half resin, the upper part is supplied with a PR solution through switchgear. The uranium-depleted barren solution from one column is delivered to the next one in the form of a PR solution, from there on to the third phase, which is a pre-extraction column. Once the required saturation has been achieved, the resin from the header column is overloaded and loaded with the newly generated resin, becoming the tail. The past cycle of the intermediate column becomes the head, and the tail is the intermediate and so on. Thus, having three columns in a single bundle, called a train, there is a semi-continuous process of resin saturation with uranium.

## **2.2 Desorption of uranium. Sorption and Desorption Column**

The Sorption and Desorption Column (SDC) was developed by a group of engineers at the Tselinny Mining and Chemical Complex (TMCC) for metal extraction processes from poor PR solutions. The main difference between the sorption and desorption column is the richer finished product, i.e. rich eluate (RE). The concentration of uranium in rich eluate directly depends on the saturation of the ion exchange resin by uranium input. Uranium content limits in finished desorbate from 70 to 150 g/dm<sup>3</sup>. The uranium content in rich eluate exceeds the uranium content of the saturated sorbent. Concentration of U from WS to RE can reach 1000 or more.

Ion exchange in the column is done under conditions of sorption dynamics in a mode of ideal displacement of phases (height of equivalent theoretical stage is equal to one and a half diameters of grain resin, which provides about a thousand stages of ion exchange in a meter layer of resin). Such column operating conditions provide maximum efficiency (close to theoretical) of ion exchange processes.

During the column operation, the sorbent passes a series of zones concerning to the following processes (during the course of the resin): fortification (sorption of uranium from the regenerate), regeneration (desorption of uranium from the resin), leaching from the desorbent (desorbent solution).

Sorbent saturation at the sorption phase of PR solution follows the concentration of uranium in the solution, which, as a rule, is low, with 20-30% of the total sorbent exchange capacity. In the traditional desorption way, the concentration of uranium in the desorbate is therefore also low.

When sorbent is regenerated in SDC, the sorbent saturated at the sorption phase enters the fortification area, where additional saturation of the resin flows due to the sorption of uranium from a part of the desorbate diluted by the original MSF. The fortification of the sorbent increases its capacity and makes it possible to increase the concentration of uranium in the desorbate and thus reduce its volume at a given uranium flow. The fortification allows the use of 80-90% of the total sorbent exchange capacity, which increases the resin utilization rate. Fortification is the main advantage of SDC.

After fortification the sorbent passes the “concentration” area, which is a transition area between the fortification area (sorption) and regeneration one. This area, in a constructive way, follows the lower part of the column in the form of a torus. Here the sorbent and the solution (regenerate) pass the point of maximum concentration of uranium in both sorbent and solution. From this point the rich eluate is selected.

In the process of further progression through the column, the resin passes a desorption area, where uranium is desorbed from a sorbent solution based on ammonium nitrate high in nitrate-ion.

Sorbent with low residual content is transferred to the operation of denitration, from where transported to sorption in IXC (ion exchange column).

In the SDC columns, the sorbent moves with compressed air (pneumatic pulse) to counter the movement of the solutions and passes several areas.

The process, in industrial conditions, apart from the time and degree of desorption of the element, is the maximum concentration of the extracted element in RE. The technological conditions and operational parameters for the desorption concentration of uranium in the SDC-1500 column, determining the efficiency of the process, are the parameters described below:

- Volume of anionite overloaded,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;
- U concentration in RE,  $\text{g}/\text{dm}^3$ ;
- U concentration in the barren fortification solution (BFS),  $\text{g}/\text{dm}^3$ ;
- $\text{NO}_3$  ion concentration in DS,  $\text{g}/\text{dm}^3$ ;
- RE output,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;
- Desorption concentration time, h;

The quality of the rich eluate is higher the higher the uranium content. The concentrations of impurities shall aim at minimum values. The higher the contamination content of the SDC column, the higher the impurity content of the rich eluate. Thus, the quality of the rich eluate produced depends directly on the uranium content and impurities on the resin.



### **3 Ion exchange resin leaching**

In the standard treatment chart for drillhole ISL-derived production solutions, the process of leaching saturated resin is between the sorption and desorption. Leaching of saturated resin after its overload from IXC takes place in the ion exchange column. The leaching is made in the standard mode by a continuous flow of technical water in the ratio of  $L : S = 1-3 : 1$ . The barren leaching solutions are reversible solutions directed at the sludge pond or sander.

Technical water leaching designed to clean away residual acidity and impurities in air ionite moisture. Also in the process of resin transportation, a transport solution, which is directly PR solution with low pH value, residual acidity and high impurity content, enters the column.

The leaching process can be adjusted by the flow ratio  $L : S$  depending on the technological process required. For example, in the case of incorrect acidification and leaching, shortages for sulphuric acid extraction increase pH values, resulting in hydrolysis and deposition of various impurities. The usually high iron content in PR solution when the pH of PR solution increases the complexity of iron leaching with air moisture, which requires increasing the flow of fresh technical water to the leaching process.

Leaching of saturated ion exchange resin with technical water in standard mode depending on the deposit and salt composition is quite effective. In this case, if individual impurities increase in PR solution, technical water leaching may not be as effective. In such a case, preventing impurities from entering the final product, rich eluate requires a change in the technological regime and additional costs.

To make better conditions and shift equilibrium towards uranium sorption to displace rival depressing ions, an increase fortification front in the SDC column fortification area is required. The increase in the fortification front allows concentrating more uranium in the toroidal part of the column and creates conditions for the displacement of impurities into the barren fortification solution. Along with the content of impurities in the barren fortification solution the content of uranium

increases, which leads to irreparable losses of the extracted uranium like recycled solutions, which reduces the rate of extraction of uranium from the subsoil riches and increases the cost.

The above conditions in the SDC column also require high reagent costs in the form of a higher desorption solution flow rate. Expensive reagent - ammonium nitrate is used in JV Inkai LLP TMCC for desorbing solution preparation. Higher ammonium nitrate is required to reduce resin saturation by increasing L : S of desorbent solution or increasing the nitrate concentration in the desorbent solution.

Another problem of sorption and desorption processes related to impurities is the creation of conditions for deposition of certain impurities of complex composition as precipitation directly in ion exchange columns. During the opening of the ion exchange columns for Preventive Maintenance Plan (PMP) and stripping, various sediment accumulation phenomena were observed. Laboratory analysis of sediment data showed different complex salt composition.

Thus, the urgent issue is the study of the processes of leaching the ion exchange resin from depressing impurities.

### **3.1 Alkaline leaching in water treatment**

Methods of leaching ion exchange resins with various alkaline solutions for water treatment and desalination of water are widely known.

There is a problem related to the “poisoning” of ionites at the HPP (Heating Power Plant) water treatment plants. This is particularly the case with high-core anionites, which are the most affected by this adverse effect.

“Poisoning” of ionites is caused by clogging of functionally active groups of ionites with organoferric compounds (humates). The main reason for the introduction of organoferric impurities into ionites is the insufficient pre-treatment.

Ionite “poisoning” effects shows itself:

- reduced working exchange capacity;
- the deterioration of treated water quality;

- in increasing the unit costs of water, acid and alkali for the own needs of the ionic part of the ELSBM (exposed location single buoy mooring).

Traditional remediation of ionites is used to restore their performance.

The most detailed technology is described in [7]. The point of the technology consists in pre-regeneration of ionite, treatment first with a 2% solution of acid followed by leaching with an alkaline solution of sodium chloride consisting of 4% alkali and 10% solution of table salt, and subsequent leaching and regeneration.

[7] describes laboratory studies of salt-alkaline treatment of high-base anionite Purolite A-400, which has been used in the water desalination cycle for more than five years.

The purpose of the laboratory studies was to test the effectiveness of salt-alkaline treatment, and to determine the influence of the duration and multiplicity of treatment on the resulting effect.

The following results and conclusions were obtained in the::

- the duration of the reduction treatment of anionite not more than a day significantly affects the efficiency of leaching of organoferric compounds. Further increase in processing time will not significantly increase the leaching effect;

- the efficiency of the removal of organic compounds decreases when the reduction treatment of anionite increases. Indeed, the largest amount of organic compounds (mainly humates) are well dissolved under the influence of alkalis and become a leaching solution;

- the removal efficiency of iron compounds increases when the reduction treatment of anionite increases. This effect can be explained by the amphoteric of iron compounds. Under the influence of alkalis, iron is gradually dissolved (its complexes are destroyed) and then released into the leaching solution.

There are two ways to solve the problem of “poisoning” ionites: making remedial treatments or their complete replacement. The first area is highly priority due to the high cost of ion exchange materials.

### **3.2 Alkaline leaching of silicon in uranium processing**

A number of sources provide data on the accumulation of silicon compounds on ion exchange resin during processing of PR solutions produced by drillhole ISL.

As mentioned above, in the process of sorption extraction of uranium from solutions and pulp of complex salt composition, various impurities accumulate in them. Among poisonous impurities, silicon acid is the most important.

[8] provides data on the absorption mechanism of the silicon acids with highly basic anionites.

With acid leaching of aluminosilicate uranium ores, silica converts to liquid phase in soluble low polymeric form like mono- and dipolymeric acids. They become colloidal and even polymer particles at elevated concentrations. The maximum stability of the individual forms of silic acid corresponds to the following pH values: pH 1-2 monomeric ortho-silicic acid, pH 2-3 silicon acid dimer, pH 10-11 colloids polysilic acid colloids. Minimum silica stability is set at pH less than 1 and at pH between 5 and 6.

The ion exchange resin absorbs and accumulates silicon acid by gradually producing a large number of PR solutions. The absorbed silicon acid in the ion exchange granule condenses and at high silica acid concentration in the ionite phase of the silica gel macromolecule fills the voids of the high polymer anionite [5]. The accumulation of silica in anionites leads to a significant decrease in the capacity of anion exchange resin in uranium.

[8] shows dynamics of silicon accumulation in anionite VP-1Ap used at leach plant (LP) Priargunskoe Industrial Mining and Chemical Company OJSC (PIMCC) – Table 3.1.

Table 3.1 – Dynamics of silicon accumulation on VP-1Ap anionite during operation

No.	Indicators	Year of operation						
		1	2	3	4	5	7	9
1	SiO <sub>2</sub> content, %	28,0	34,0	36,0	40,0	43,0	50,0	54,0
2	OH/Si ratio in silicon skeleton	2,4	2,1	2,0	1,9	1,8	1,4	0,9
3	Mechanical strength, %	85,0	82,0	83,0	86,0	90,0	92,0	96,0

At PIMCC OJSC this problem was solved by introduction of desorption of silicon from anionite by treatment of sodium hydroxide solutions at pH 12,8 - 13,0. Saturation indicators of VP-1Ap anionite before and after desilicization are shown in Table 3.2.

Table 3.2 – VP-1Ap anionite saturation of uranium before and after alkaline treatment of solution

Contact time of anionite with solution, hour	Anionite capacity by uranium, g/l	
	Before processing	After processing
2	4,0	2
3	4,1	3
6	4,9	6
24	20,6	24

The developed chart of anionite desilicification is now put into process and successfully operated at leaching plant of PIMCC OJSC.

## 4 Ion exchange resin characteristics

This chapter provides a description and basic physico-chemical characteristics of ion-exchange resins used at the production site of the JV Inkai LLP mine including several sites with separate geo-technological landfills and workshops for PR solution processing. Due to different technological design of sorption units and use of two-typed sorption columns, different ion exchange resin is used at different sites.

### 4.1 Macroporous AMP anionite

AMP anionite is a macroporous anion exchange resin based on styrene copolymer and divinylbenzene with benzyl trimethylammonium functional groups. Porous polymer matrix structure gives high mechanical strength and osmotic stability, and allows the sorption of large ions and anionic complexes. The increased grain size of the working fraction results in the use of AMP anionite for extraction, separation and concentration not only of uranium, but also of other elements in the processing of solutions and pulp in hydrometallurgy. The main characteristics of this ion exchange resin are shown in Table 4.1.

Table 4.1 – Main physical and chemical properties of AMP ionite

Properties	Characteristics
Appearance	Matte grains of spherical shape
Ion form	Chloride
Grain size in swollen form, mm	0,8-2,5
Working fraction volume, %	98
Total chloride ion exchange capacity, no less, mg-eq/g	3,4
Moisture mass ratio, %	50-55
Specific volume, cm <sup>3</sup> /g	3,2-3,3
Mechanical strength, %	99
Maximum operating temperature, °C	80

## 4.2 Gel anionite Purolite PFA 460/4783

Anionite PUROLITE PFA 460/4783 is a high-core gel resin created to extract uranyl anionic complexes from sulfuric acid solutions of heap or underground leaching of uranium. The main characteristics of this ion exchange resin are shown in Table 4.2.

Table 4.2 – Main physical and chemical properties of AMP ionite

Properties	Characteristics
Polymer structure	Gel, polystyrene-divinyl benzene
Appearance	Uniform spherical particles
Functionality	Quaternary ammonium
Commercial ion form	Sulfate (SO <sub>4</sub> )
Total exchange capacity (Cl <sup>-</sup> ) min	1.3 g-eq./l
Commercial humidity (Cl <sup>-</sup> )	47-54%
Average diameter	570 (+/- 50) microns
Homogeneity coefficient, max	1.2
Total weight exchange capacity, no less	1.3 g-eq/l
Working temperature range (Cl <sup>-</sup> )	90°C

## **5 Experimental description**

The research as part of this Master's thesis was conducted at the production site of the JV Inkai LLP mine. Several series of experiments were conducted in the Physico-Chemical Laboratory to study the efficiency of the alkaline leaching of ionite to determine the feasibility of further introduction into the production cycle of the process of leaching saturated ionite at the sorption unit.

The research involved a full cycle of work from literature review and information collection to analysis and synthesis of results as recommendations to use alkaline leaching of ionites in the sorption process and the pilot test planning as the next logical phase of research development for the confirmation of efficiency.

The research practice as part of the operating enterprise has huge advantages: a developed infrastructure, tools for testing, human resource as the operating employees of the enterprise, but at the same time entails responsibility, because unequal planning and, in general, approach to the experiment may entail unjustified costs.

Predicted research results: decrease of ionite capacity by impurity elements (Fe, Al, Mg, Si, P, Ca), and increase in the saturation of the ionite during the SDC column fortification. As of testing, the interest was also aroused in the decrease of the uranium phosphate ionite capacity and the mechanism for the accumulation of phosphorus-containing impurities, as the accumulation of uranium phosphate precipitation in tanks was observed at the desorption unit when the acidity of the solutions decreased.



## 5.1 AMP resin leaching with alkaline solutions

According to some sources, the alkaline leaching can be used as a separate process that excludes and totally replaces the classic water leaching, while being more efficient for leaching individual impurities.

Thus far, the AMP ionite has been selected for research. The ionite was leached with solutions of sodium hydroxide (NaOH) and ammonium hydroxide (NH<sub>4</sub>OH). Leaching of ion exchange resin with alkaline solutions was conducted in a ratio of L : S, equal to 1 : 1. For comparison, fortification was conducted for the ion exchange resin leached with water in the ratio of L : S, equal to 1 : 1, without the use of alkaline leaching.

The leaching process was made using laboratory equipment and instruments. The leaching itself was made in glass containers set at the vibration table.

Resin samples were taken nearly from the process during the transfer of the saturated portion of ion exchange resin into the prefabricated hoppers. Rich eluate samples were taken from the final output of the sorption and desorption column. Samples were taken from solutions and ion exchange resin to control uranium and impurities as well as pH levels of solutions before and throughout the experiment.

Uranium samples, impurities and pH level control of solutions were analyzed at the Physico-Chemical Laboratory of the mine. Epsilon 3 XL X-ray fluorescence analysis was used to measure the uranium content of solutions and resin. Iron, aluminum, magnesium and calcium content measurements were tested on the inductive plasma mass spectrometer Perkin Elmer NexION 2000. Silicon and phosphorus were measured using the Lambda 25 spectrophotometric method. pH solutions were fixed by Mettler Toledo pH meter.

The basic flow-chart of the leaching process with L : S parameters and phase contact time for each solution is shown in Figure 5.1.

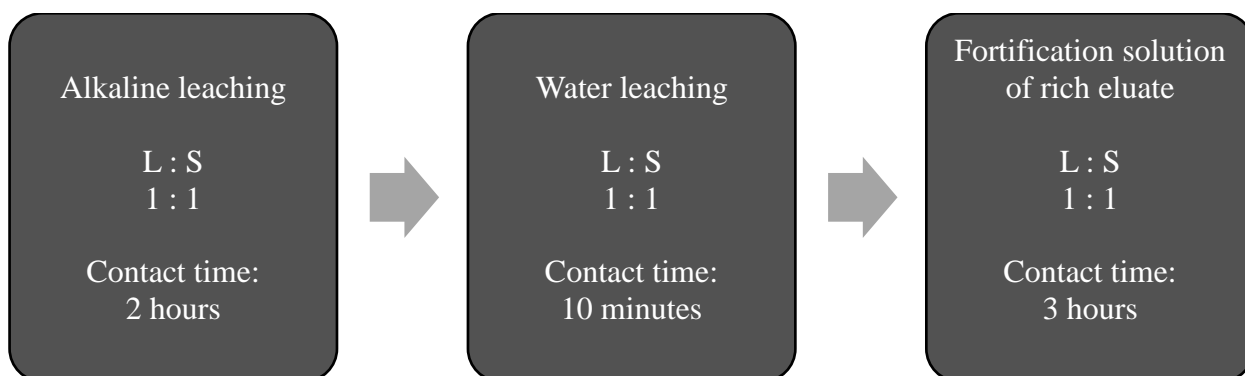


Figure 5.1 – Flow-chart of the first series of works

The results of the laboratory analyses are shown in Tables 5.1 to 5.6.

Table 5.1 – Results of saturated AMP ionite analysis

C(U), g/l
27,00

Table 5.2 – Results of RE solution analysis

C(U), g/l	Impurity content, mg/l					
	Fe	Al	Fe	Si	Fe	Ca
48,30	5,0	48,30	5,0	48,30	5,0	48,30

Table 5.3 – Results of post-leaching solution analysis

Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Fe	P	Ca
NaOH	2,0	5,0	1,0	1,0	10,6	1,0	6,0
NH <sub>4</sub> OH	2,0	5,0	1,0	49,0	0,2	1,0	70,0
Water	20,0	136,3	48,0	48,0	2,1	1,0	93,0

Table 5.4 – Results of leached process water analysis

Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
NaOH	3,5	5,5	1,0	13,0	2,0	1,0	35,0
NH <sub>4</sub> OH	2,0	5,0	1,0	16,0	0,5	1,0	12,0

Table 5.5 – Results of RE solution analysis after fortification

Leaching solutions	C(U), g/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
NaOH	18,6	230,2	66,0	84,0	20,3	1,0	66,0
NH <sub>4</sub> OH	17,2	272,4	75,0	84,0	13,0	1,0	123,0
Water	19,5	227,5	45,0	111,0	4,9	3,0	90,0

Table 5.6 – pH levels of solutions

Solution	pH
RE	0,73
NaOH solution	12,88
NH <sub>4</sub> OH solution	11,46
NaOH solution after leaching	11,60
NH <sub>4</sub> OH solution after leaching	9,24
Process water after leaching	2,42
Leached process water after leaching with NaOH solution	8,81
Leached process water after leaching with NH <sub>4</sub> OH solution	8,54
RE after fortification (NaOH leaching)	1,24
RE after fortification (NH <sub>4</sub> OH leaching)	1,57
RE after fortification (water leaching)	1,11

In order to reduce the number of analyses, the uranium resin capacity after leaching and fortification was calculated with the material balance for uranium.

The calculated results of the uranium ionite capacity after the leaching and fortification processes for alkali and water solutions are shown in Table 5.7 and in Figure 5.2.

Table 5.7 – Ion exchange resin fortification efficiency by uranium

Leaching solutions	Initial capacity of ionite, g/l	Ionite capacity after leaching and fortification, g/l	Fortification efficiency by uranium, %
NaOH	27,00	56,69	110
NH <sub>4</sub> OH		58,10	115
Water		55,78	107

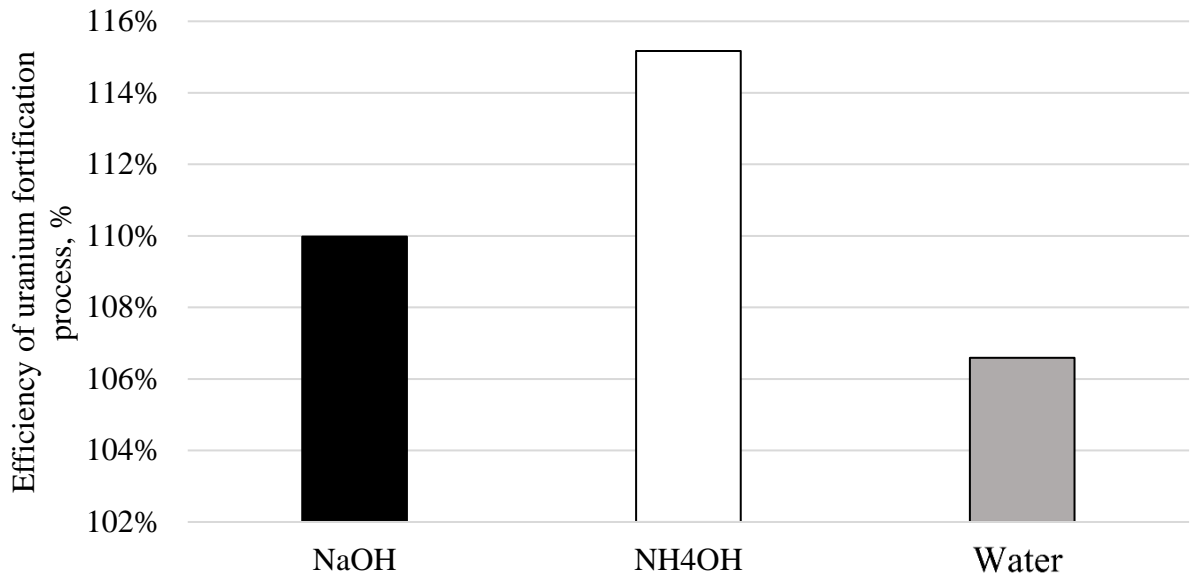


Figure 5.2 – Efficiency of uranium fortification process for different types of leaching solutions

There being no methods for the precise determination of impurity concentrations in resin, it is only possible to calculate the material balance equations of the quantity of impurity removed from the mole with the results of leaching and fortification. The results are shown in Table 5.8 and Figure 5.3.

Table 5.8 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from resin

Leaching solutions	Quantity of impurity removed from resin, mg					
	Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
NaOH	47	12	-2	6	-4	8
NH <sub>4</sub> OH	55	14	8	2	-4	28
Water	72	17	10	0	-4	23

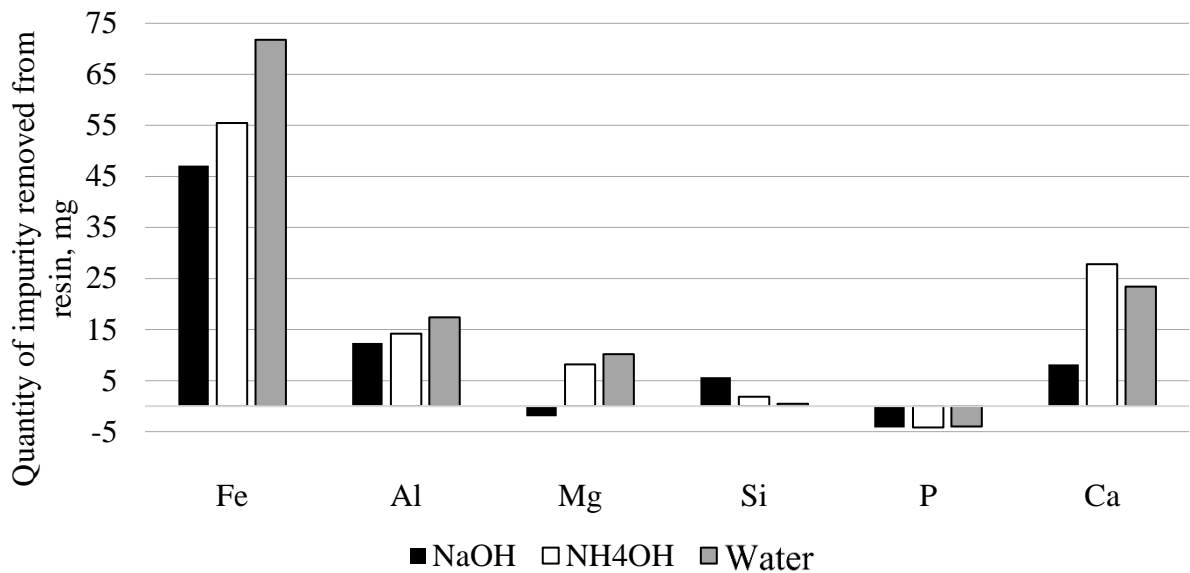


Figure 5.3 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from resin by alkaline (NaOH and NH<sub>4</sub>OH) and water leaching, mg

As we can see from the results shown in Table 5.8 and Figure 5.3, the alkaline solutions did not perform well in comparison with the usual process water leaching. The exception in this case is the removal of silicon from the resin.

It should be noted that when the alkaline solution interacts with saturated resin, a short-term neutralization reaction was observed with the release of a large quantity of sediment (Figure 5.4), because as a transport solution contained in the air moisture of the resin, a PR solution containing a large quantity of impurities is used. Sediment consists of metal hydroxides contained in the “ionite-residual acidic environment” system.

Reaction of alkali neutralization by residual acid environment on ionite negatively affects the reflection of the results of the alkaline leaching. There being a rather high quantity of precipitation in the samples for analysis that also negatively affects the accuracy of the results of the conducted analyses for impurities.

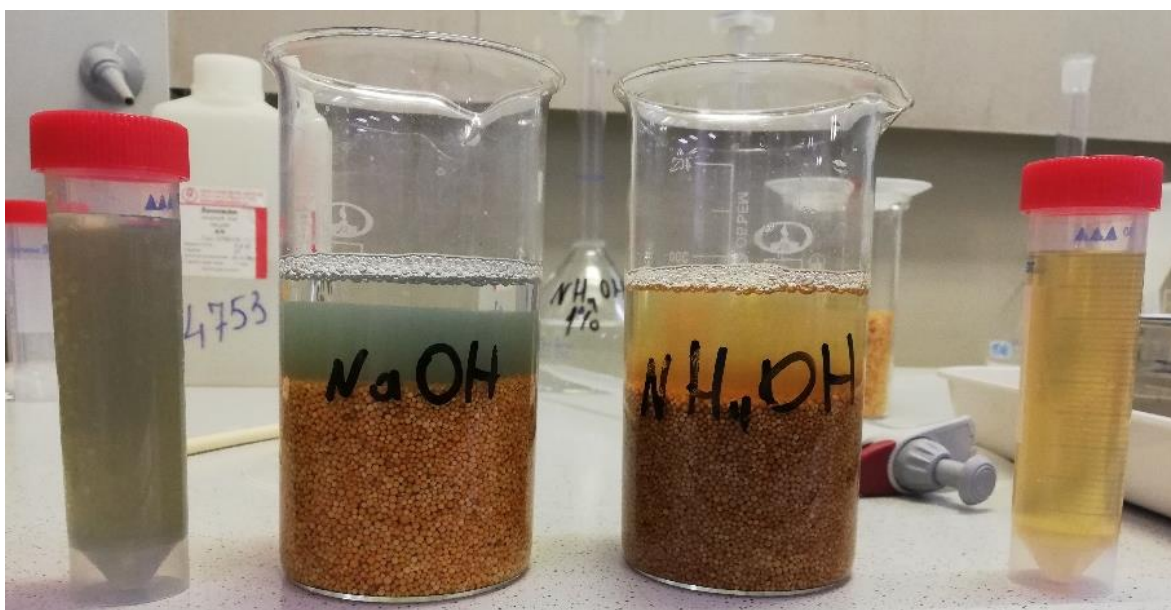


Figure 5.4 – Visible precipitation at first minutes of alkali environment exposure to saturated ionite with residual acidity

Thus, based on the results, it is not possible to draw firm conclusions about the effectiveness of the alkaline leaching. It is obvious that the acid residue has a negative impact on the appearance of alkaline solution in the system, so it is not advisable to use alkaline solution as separate water-free leaching method as a pre-leaching step.

## 5.2 AMP and Purolite resins leaching using pre-water leaching

Following the results of the AMP alkaline resin leaching, it was decided to add a step of pre-leaching with water. An alkaline pre-leaching with water was conducted for two grades of ion exchange resins – AMP and Purolite.

Before the alkaline leaching, the ion exchange resin, having an acid transport solution in air moisture (pH of transport solutions  $\sim 2$ ), was leached with water in a ratio of  $L : S = 1 : 1$ . The alkaline leaching of the ionite itself, similar to the first series of experiments, took place with solutions of sodium hydroxide (NaOH) and ammonium hydroxide (NH<sub>4</sub>OH). Otherwise, the sampling, leaching and analysis of

uranium samples, impurities and pH-level controls were conducted in accordance with the conditions described in 5.1.

The process flow-chart is shown in Figure 5.5.

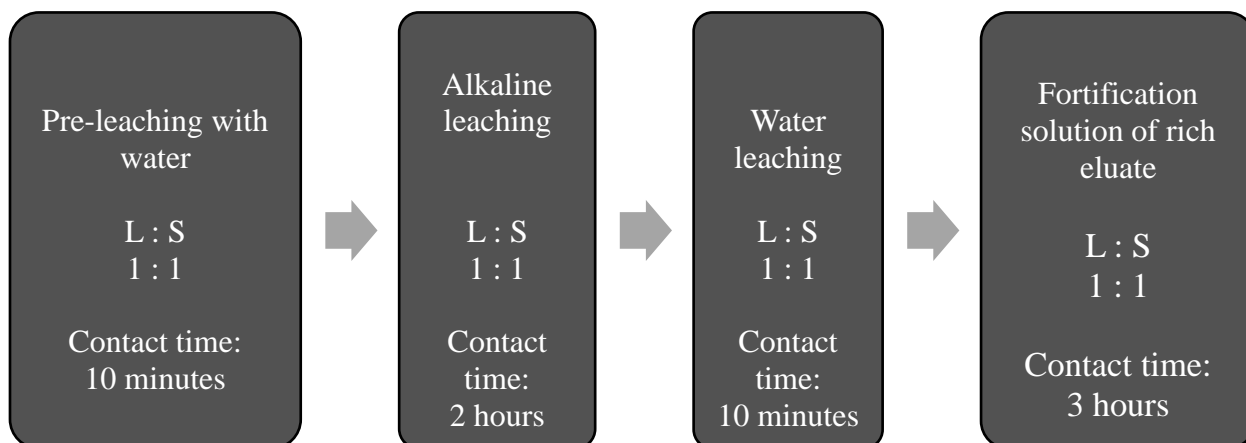


Figure 5.5 – Flow-chart of the second series of works

Samples were taken from solutions and ion exchange resin to control uranium and impurities, and pH levels of solutions before and throughout the experiment. The results of the laboratory analyses are shown in Tables 5.9 to 5.15.

Table 5.9 – Results of saturated ionite analysis

Ionite grade	C(U), g/l
AMP	27,0
Purolite	25,4

Table 5.10 – Results of RE solution analysis

RE for ionite	C(U) g/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	48,3	5,0	6,0	108,0	4,6	24,0	66,0
Purolite	86,5	9,0	1,0	90,0	6,5	1,0	120,0

Table 5.11 – Results of the pre-leaching water analysis

Resin	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP-1	28,6	58,7	44,0	44,0	2,1	1,0	52,0
AMP-2	25,4	54,3	47,0	47,0	2,1	1,0	55,0
Purolite-1	36,1	306,1	89,0	89,0	2,6	1,0	102,0
Purolite-2	10,8	228,3	95,0	95,0	3,1	1,0	102,0

Table 5.12 – Results of alkaline solution analysis after alkaline leaching

Resin	Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	75,6	8,8	24,0	24,0	29,2	1,0	34,0
	NH <sub>4</sub> OH	7,7	12,3	23,0	23,0	0,7	1,0	20,0
Purolite	NaOH	37,3	70,8	32,0	32,0	17,3	1,0	47,0
	NH <sub>4</sub> OH	10,8	56,3	29,0	29,0	0,9	1,0	30,0

Table 5.13 – Results of water leaching analysis after alkaline leaching

Resin	Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	11,6	6,8	14,0	14,0	3,1	1,0	22,0
	NH <sub>4</sub> OH	3,2	6,2	12,0	12,0	0,6	1,0	11,0
Purolite	NaOH	42,4	58,4	20,0	20,0	6,9	1,0	26,0
	NH <sub>4</sub> OH	17,8	23,5	16,0	16,0	0,7	1,0	23,0

Table 5.14 – Results of RE solution analysis after fortification

Resin	Leaching solutions	C(U), g/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	16,6	308,3	84,0	84,0	23,7	1,0	60,0
	NH <sub>4</sub> OH	16,9	304,9	87,0	87,0	12,8	1,0	111,0
Purolite	NaOH	19,3	205,3	81,0	81,0	12,9	1,0	93,0
	NH <sub>4</sub> OH	18,7	171,8	69,0	69,0	11,8	1,0	51,0



Table 5.15 – pH levels of solutions

Solution	Resin	pH	Resin	pH
RE	AMP	0,73	Purolite	0,92
Water after pre-leaching (for AMP)		2,35		2,41
Water after pre-leaching (for Purolite)		2,37		2,48
NaOH solution after leaching		12,29		11,37
NH <sub>4</sub> OH solution after leaching		9,66		9,39
Leaching water after leaching with NaOH solution		8,41		6,58
Leaching water after leaching with NH <sub>4</sub> OH solution		8,17		7,32
RE after fortification (NaOH leaching)		1,35		1,50
RE after fortification (NH <sub>4</sub> OH leaching)		1,53		1,79

In order to reduce the number of analyses, the uranium ionite capacity after leaching and fortification was calculated with the material balance for uranium.

The calculated results of the uranium ionite capacity after the leaching and fortification processes are shown in Table 5.16 and Figure 5.6.

Table 5.16 – Ion exchange resin fortification by uranium

Resin	Leaching solutions	Initial capacity of ionite, g/l	Ionite capacity after leaching and fortification, g/l	Fortification efficiency by uranium, %
AMP	NaOH	27,00	58,58	117
	NH <sub>4</sub> OH		58,36	116
Purolite	NaOH	25,40	92,48	264
	NH <sub>4</sub> OH		93,16	267

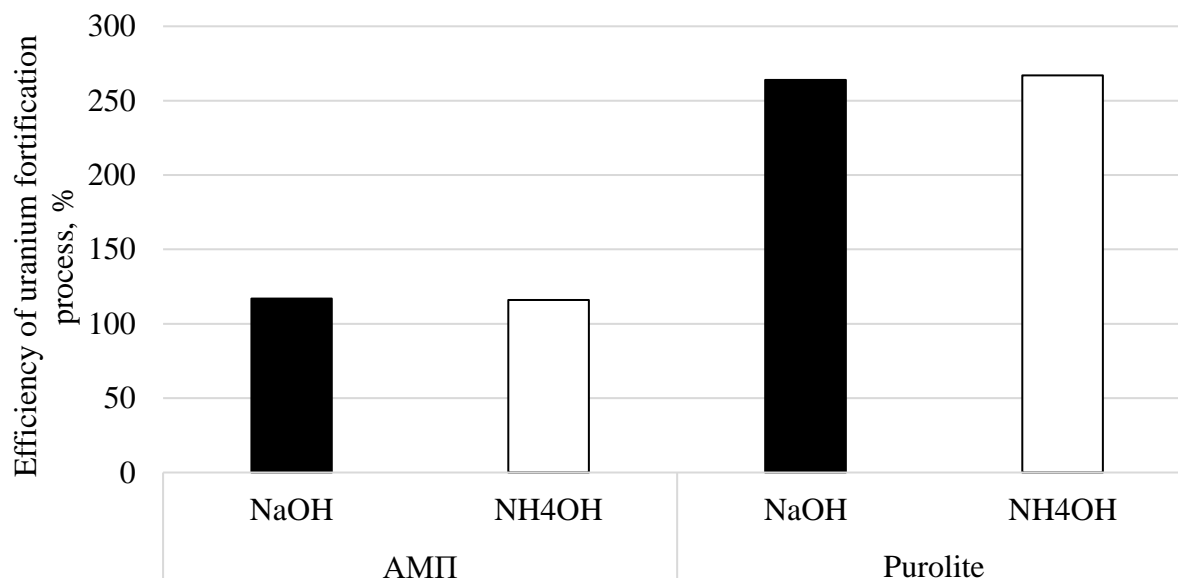


Figure 5.6 – Efficiency of uranium fortification process for AMP and Purolite resins when leaching with NaOH and NH<sub>4</sub>OH solutions

There being no methods for determining impurity concentrations in resin, it is only possible to calculate the quantity of impurity removed from the mole based on the results of leaching and fortification. The results are shown in Table 5.17 and Figures 5.7 and 5.8.

Table 5.17 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from resin

Resin	Leaching solutions	Quantity of impurity removed from resin, mg					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	75,5	32,0	11,6	10,7	-4,0	20,4
	NH <sub>4</sub> OH	74,5	32,6	12,2	2,3	-4,0	26,2
Purolite	NaOH	126,3	44,2	26,4	6,6	0,6	29,6
	NH <sub>4</sub> OH	94,2	41,6	23,8	2,0	0,6	17,2

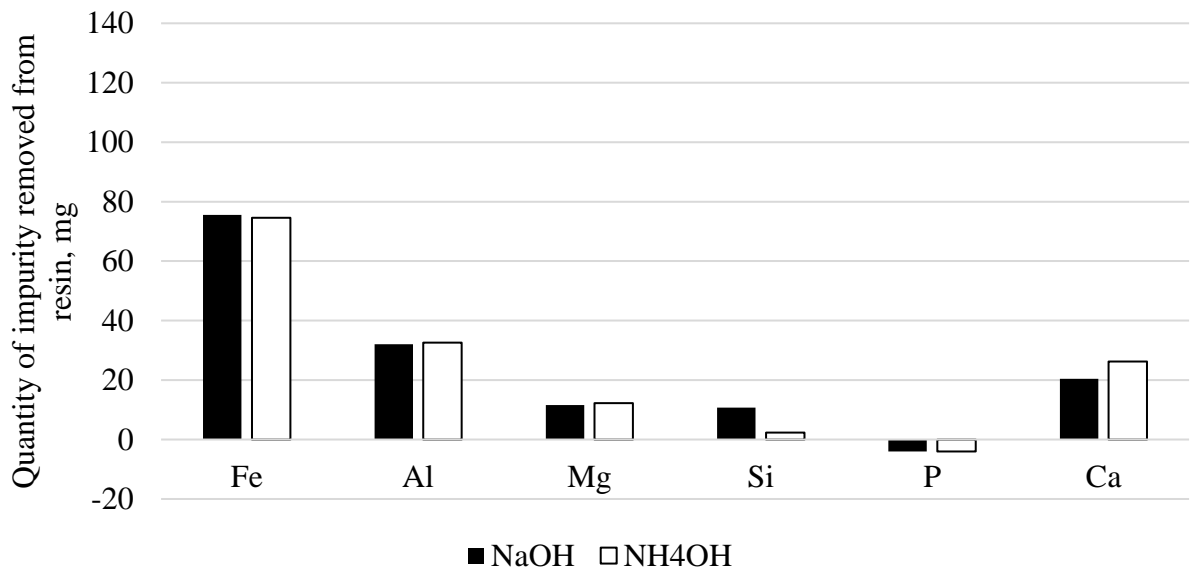


Figure 5.7 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin by alkaline leaching (NaOH and NH<sub>4</sub>OH), mg

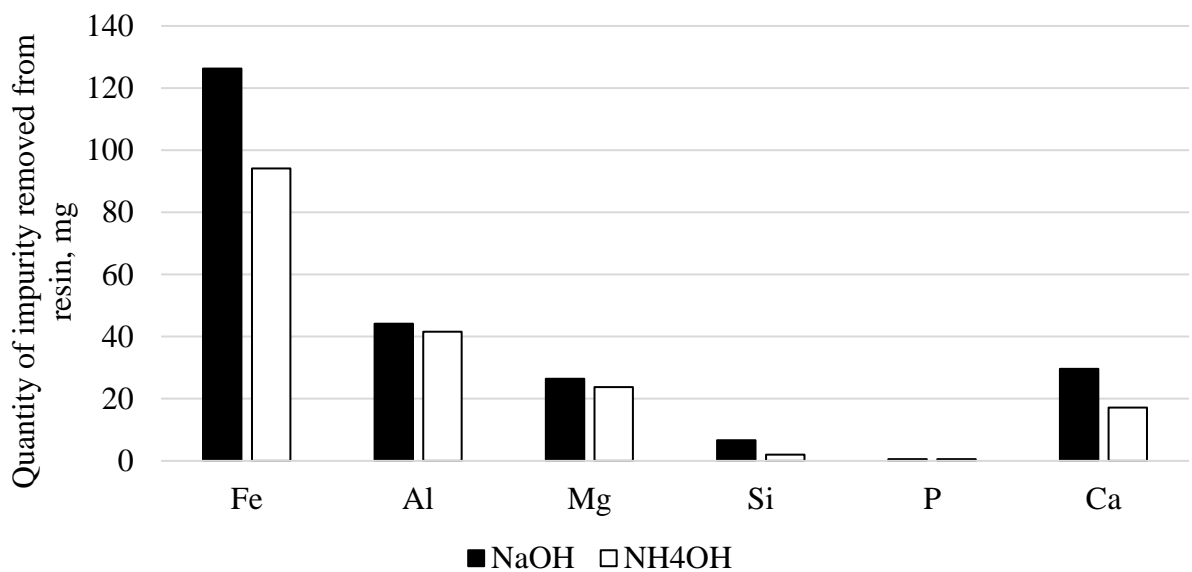


Figure 5.8 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from Purolite resin by alkaline leaching (NaOH и NH<sub>4</sub>OH), mg

It has been discussed above that in this experience the ionite was subjected to four phases of interaction with solutions, during each of which the uranium and impurity receptacles could change (Figure 5.9).



Figure 5.9 – Processes of ionite interaction with solutions

It can be said that there were three leaching steps: pre-leaching with water, leaching with alkaline solution and subsequent leaching with water before the pre-fortification process.

The results of each leaching step for AMP and Purolite resins are shown in Table 5.18 and Figures 5.10 - 5.13.

Table 5.18 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from the resin at each step of interaction with the solution

Ionite	Alkali solution	Element	Pre-water leaching, mg	Leaching with alkali solution, mg	Water leaching, mg
AMP	NaOH	Fe	11,7	1,8	1,4
		Al	8,8	4,8	2,8
		Mg	8,8	4,8	2,8
		Si	0,4	5,8	0,6
		P	0,2	0,2	0,2
		Ca	10,4	6,8	4,4
	NH <sub>4</sub> OH	Fe	10,9	2,5	1,2
		Al	9,4	4,6	2,4
		Mg	9,4	4,6	2,4
		Si	0,4	0,1	0,1
		P	0,2	0,2	0,2
		Ca	11,0	4,0	2,2
Purolite	NaOH	Fe	61,2	14,2	11,7
		Al	17,8	6,4	4,0
		Mg	17,8	6,4	4,0
		Si	0,5	3,5	1,4
		P	0,2	0,2	0,2
		Ca	20,4	9,4	5,2
	NH <sub>4</sub> OH	Fe	45,7	11,3	4,7
		Al	19,0	5,8	3,2
		Mg	19,0	5,8	3,2
		Si	0,6	0,2	0,1
		P	0,2	0,2	0,2
		Ca	20,4	6,0	4,6

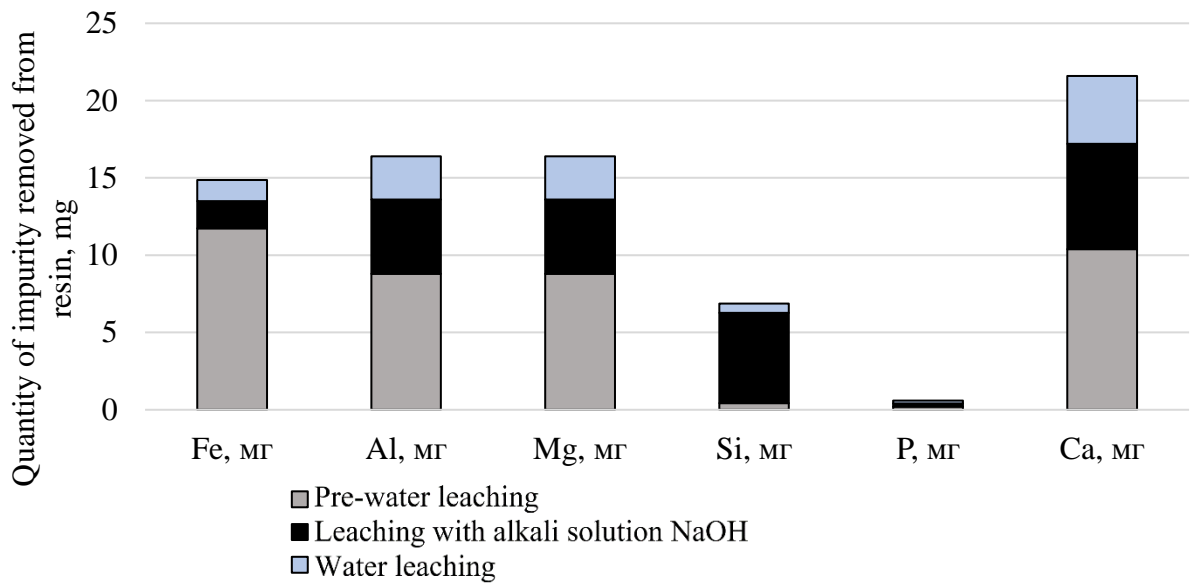


Figure 5.10 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin by leaching with NaOH solution, mg

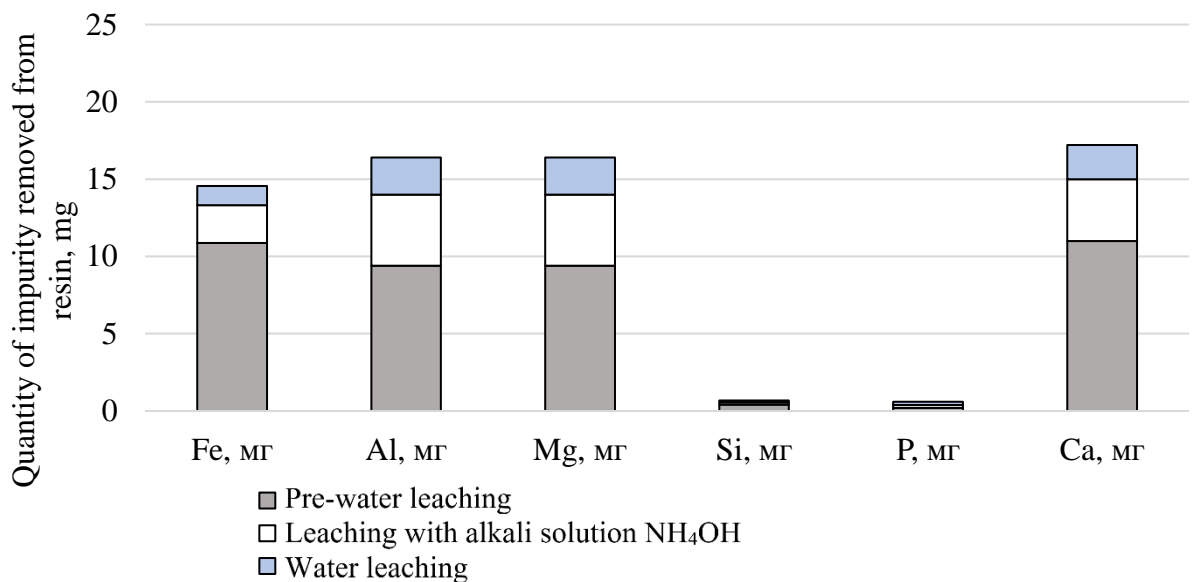


Figure 5.11 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin by leaching with NH4OH solution, mg

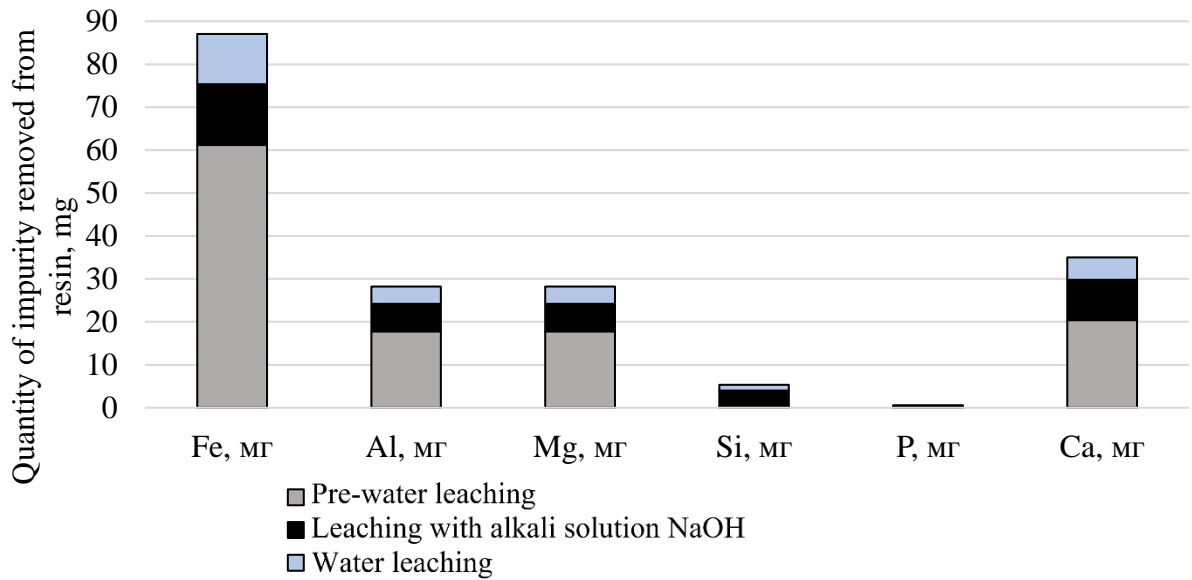


Figure 5.12 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NaOH solution, mg

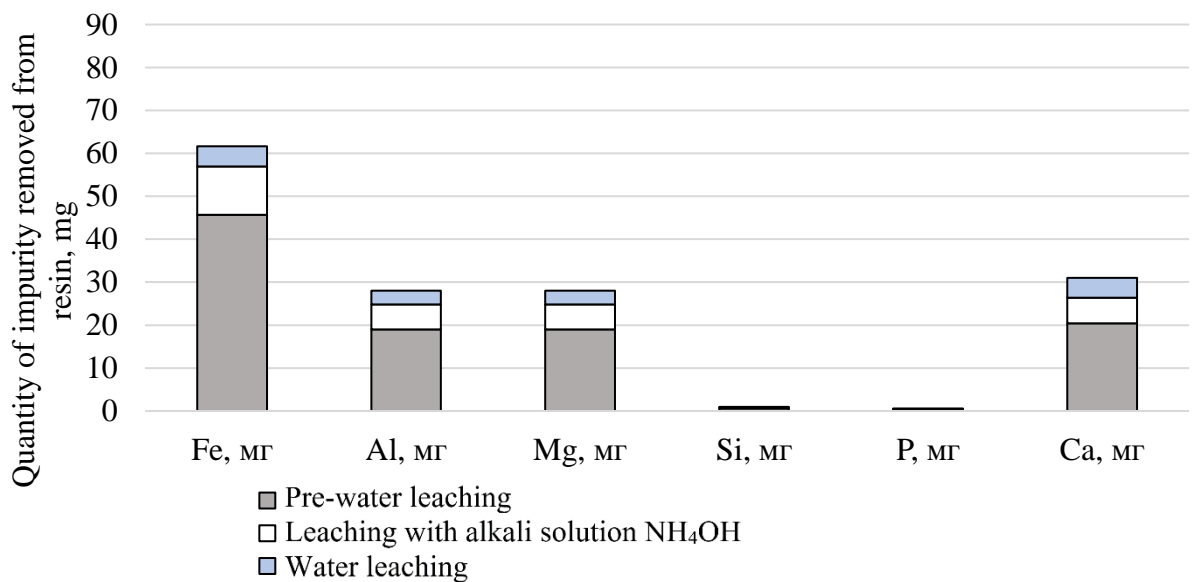


Figure 5.13 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NH<sub>4</sub>OH solution, mg

For completeness, figures 5.14 and 5.15 show the results of ion exchange resin fortification on impurities based on data from Table 5.19.

Table 5.19 – Fortification results of ion exchange resin by impurities

Resin	Leaching solutions	Quantity of impurity removed from resin at the fortification step, mg					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	60,7	15,6	-4,8	3,8	-4,6	-1,2
	NH <sub>4</sub> OH	60,0	16,2	-4,2	1,6	-4,6	9,0
Purolite	NaOH	39,3	16,0	-1,8	1,3	0	-5,4
	NH <sub>4</sub> OH	32,6	13,6	-4,2	1,1	0	-13,8

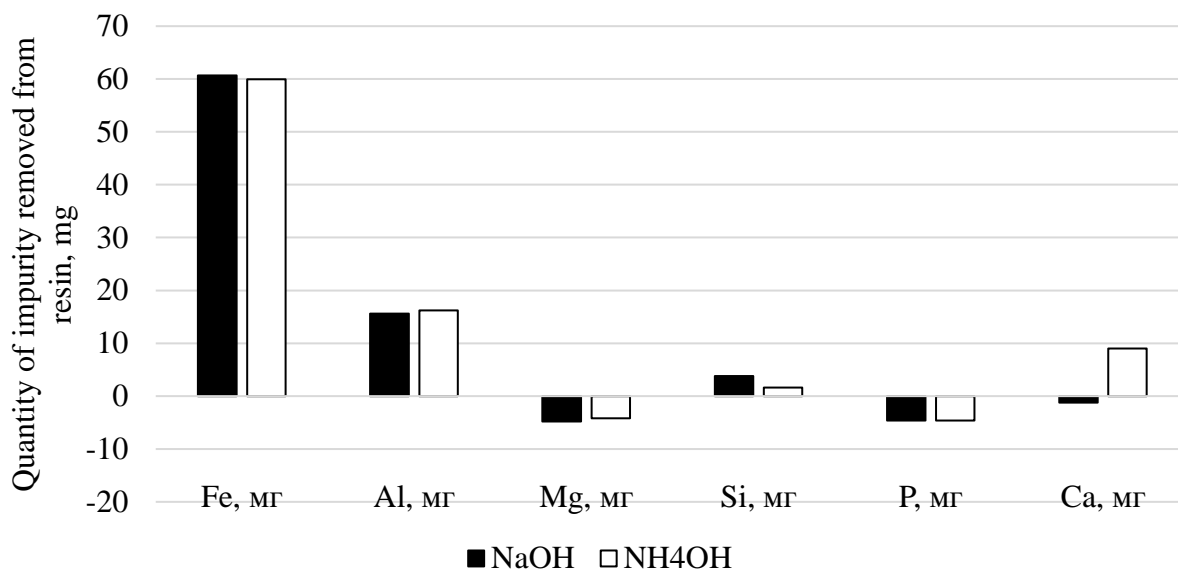


Figure 5.14 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin as a result of fortification with RE solution after leaching with alkaline solutions, mg

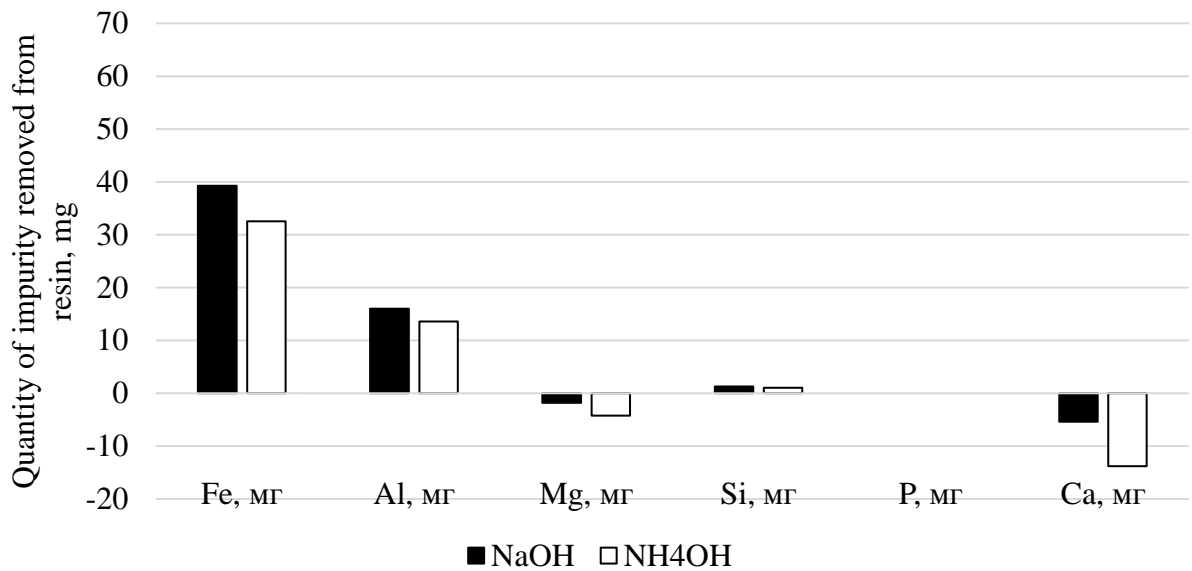


Figure 5.15 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from Purolite resin as a result of fortification with RE solution after leaching with alkaline solutions, mg

Based on the information shown in the graphs, the efficiency of the complex leaching of ionites can be evaluated. As shown in the graphs, alkaline leaching does not show return results: as for, high efficiency is observed for leaching individual elements, and there is no comprehensive improvement of leaching processes.

The interaction of the alkaline solution with pre-leached resin also resulted in precipitation, especially on Purolite resin, due to the large quantity of residual solution in the space between resin particles. Due to the smaller diameter of the ion exchange resin, the surface area per resin volume is larger than the larger resin – AMP.

Various rich eluates equivalent to the salt composition of the sites were used for the fortification process where equivalent ion exchange resins were used.

Based on the analysis of the initial rich eluates used for resin fortification, it can be concluded that they are different: phosphorus and its compounds with a higher affinity for ion-exchange resin and transitioning from the liquid phase to the solid one at the fortification, is only observed in rich eluate at the site using the AMP grade as ion exchange resin.



Based on the results of the analyses and graphs above, it can be concluded that the near total number of phosphorus compounds has passed into the solid phase at the fortification of ion exchange resin.

As for the uranium fortification efficiency indicator, it seems fair to say that there is no obvious difference between NaOH and NH<sub>4</sub>OH solutions for different ion exchange resins. It is also not possible to compare the efficiency and fortification of two different resin grades as different solutions since different solutions of rich eluate were used for AMP and Purolite ion exchange resins.

### **5.3 Leaching of AMP and Purolite resins with increasing water volume for pre-leaching**

Following the work conducted on 5.2, it was decided to increase the ratio of L : S at the pre-leaching phase to 3 : 1. Actually alkaline leaching of ionite, similar to the first and second series of experiments, took place with the solutions of sodium hydroxide (NaOH) and ammonium hydroxide (NH<sub>4</sub>OH). Also for comparison, the element of ionite after the pre-leaching was fed on the fortification operation without alkaline leaching. Otherwise, the sampling, leaching and analysis of uranium samples, impurities and pH-level controls were conducted in accordance with the conditions described in 5.1.

Basic flow-chart of the leaching process is shown in Figure 5.16.

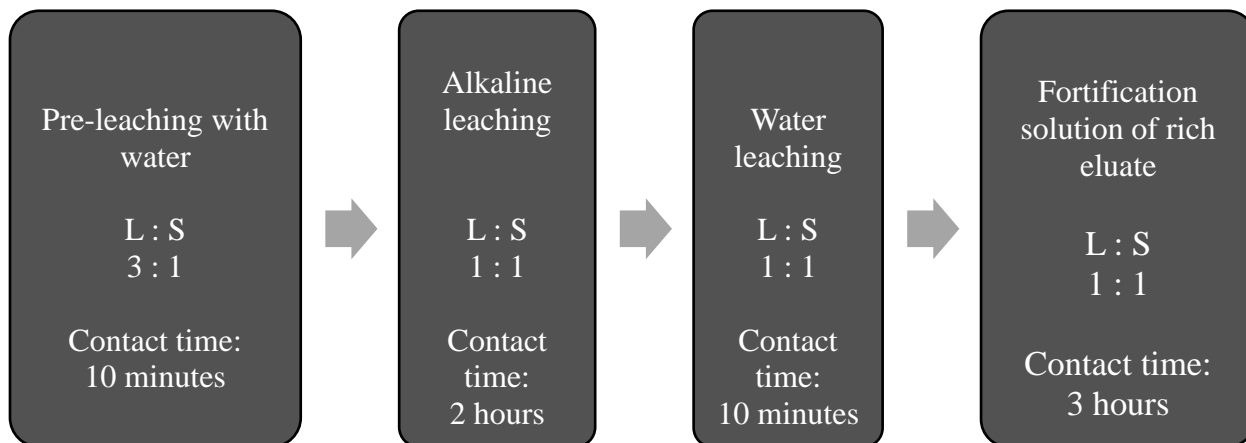


Figure 5.16 – Flow-chart of the third series of works

Samples were taken from solutions and ion exchange resin to control uranium and impurities as well as pH levels of solutions before and throughout the experiment. The results of the laboratory analyses are shown in Tables 5.20 to 5.26.

Table 5.20 – Results of saturated ionite analysis

Ionite grade	C(U), g/l
AMP	27,60
Purolite	54,60

Table 5.21 – Results of RE solution analysis

RE for ionite	C(U) g/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	61,25	6,00	0,00	122,70	0,05	16,80	31,80
Purolite	66,08	56,00	0,00	108,30	0,06	0,00	37,50

Table 5.22 – Results of the pre-leaching water analysis

Resin	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	0,02	97,00	27,90	31,50	0,02	0,00	28,20
Purolite	0,04	135,00	53,40	50,10	0,02	0,00	43,50

Table 5.23 – Results of alkaline solution analysis after alkaline leaching

Resin	Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	0,03	48,00	14,10	22,20	0,29	0,30	17,40
	NH <sub>4</sub> OH	0,01	44,00	4,50	16,80	0,01	0,30	11,10
Purolite	NaOH	0,03	56,00	24,00	24,00	0,23	1,50	26,40
	NH <sub>4</sub> OH	0,01	36,00	6,60	19,50	0,01	0,00	16,80

Table 5.24 – Results of leaching water analysis after alkaline leaching

Resin	Leaching solutions	C(U), mg/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	0,02	14,00	0,90	9,00	0,23	0,00	8,10
	NH <sub>4</sub> OH	0,00	14,00	0,60	11,40	0,01	0,00	6,60
Purolite	NaOH	0,02	13,00	4,80	11,10	0,07	0,30	15,60
	NH <sub>4</sub> OH	0,01	17,00	1,50	9,90	0,01	0,30	9,30

Table 5.25 – Results of RE solution analysis after fortification

Resin	Leaching solutions	C(U), g/l	Impurity content, mg/l					
			Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	22,50	187,00	27,30	90,00	0,25	1,80	34,80
	NH <sub>4</sub> OH	19,81	201,00	25,20	87,00	0,12	1,20	34,80
Purolite	NaOH	24,68	264,00	32,70	116,40	0,05	2,10	52,20
	NH <sub>4</sub> OH	14,47	147,00	23,70	69,90	0,17	0,00	36,60

Table 5.26 – pH levels of solutions

Solution	Resin	pH	Resin	pH
RE	AMP	0,68	Purolite	0,80
Pre-leaching water		2,32		2,06
NaOH solution after leaching		12,17		11,60
NH <sub>4</sub> OH solution after leaching		9,43		9,10
Leaching water after leaching with NaOH solution		8,21		6,88
Leaching water after leaching with NH <sub>4</sub> OH solution		7,80		7,00
RE after fortification (NaOH leaching)		1,26		1,57
RE after fortification (NH <sub>4</sub> OH leaching)		1,50		2,01
RE after fortification (water leaching)		1,02		1,26

In order to reduce the number of analyses, the uranium ionite capacity after leaching and fortification was calculated with the material balance for uranium. The calculated results of the uranium ionite capacity after the leaching and fortification processes are shown in Table 3.8.

The calculated results of the uranium ionite capacity after the leaching and fortification processes are shown in Table 5.27 and Figure 5.17.

Table 5.27 – Ion exchange resin fortification by uranium

Resin	Leaching solutions	Initial capacity of ionite, g/l	Ionite capacity after leaching and fortification, g/l	Fortification efficiency by uranium, %
AMP	NaOH	27,60	66,25	140
	NH <sub>4</sub> OH		68,97	150
	Water		64,11	132
Purolite	NaOH	54,60	106,04	94
	NH <sub>4</sub> OH		107,35	97
	Water		106,76	96

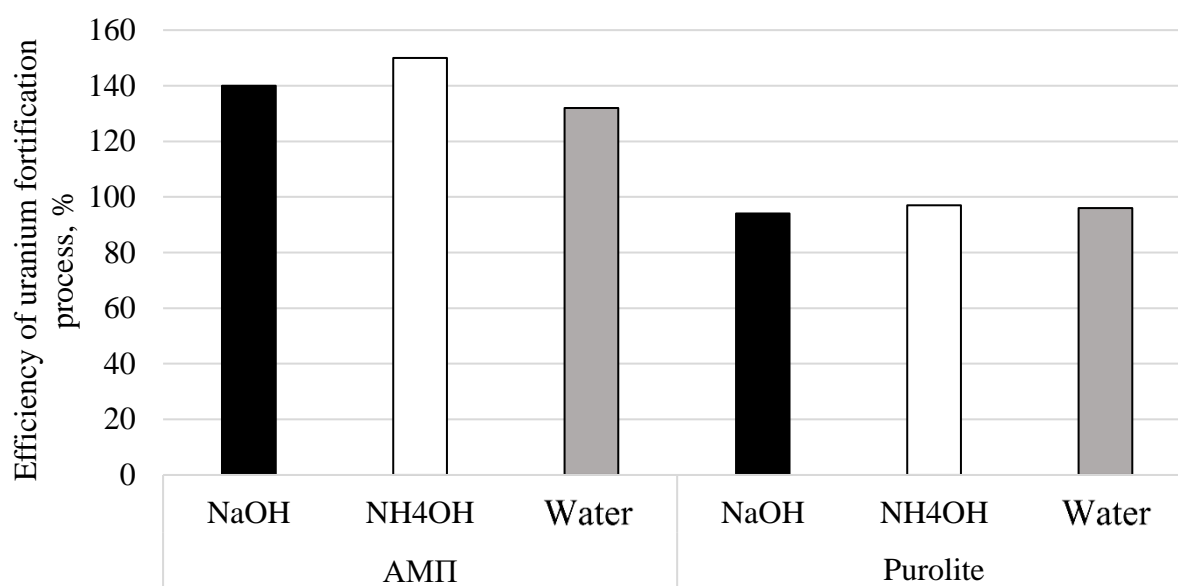


Figure 5.17 – Efficiency of uranium fortification process for AMP and Purolite resins when leaching with NaOH and NH<sub>4</sub>OH solutions and water

There being no methods for determining impurity concentrations in resin, it is only possible to calculate the quantity of impurity removed from the mole based on the results of leaching and fortification. The results are shown in Table 5.28 and Figures 5.18 and 5.19.

Table 5.28 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from resin

Resin	Leaching solutions	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	106,80	25,20	18,60	0,16	-2,94	22,62
	NH <sub>4</sub> OH	108,80	22,80	17,40	0,03	-3,06	21,06
	Water	109,80	23,28	17,64	0,01	-2,94	21,00
Purolite	NaOH	113,00	42,54	29,40	0,09	0,36	34,32
	NH <sub>4</sub> OH	109,00	37,68	28,08	0,02	0,06	30,60
	Water	111,80	37,92	26,76	0,01	0,00	28,92

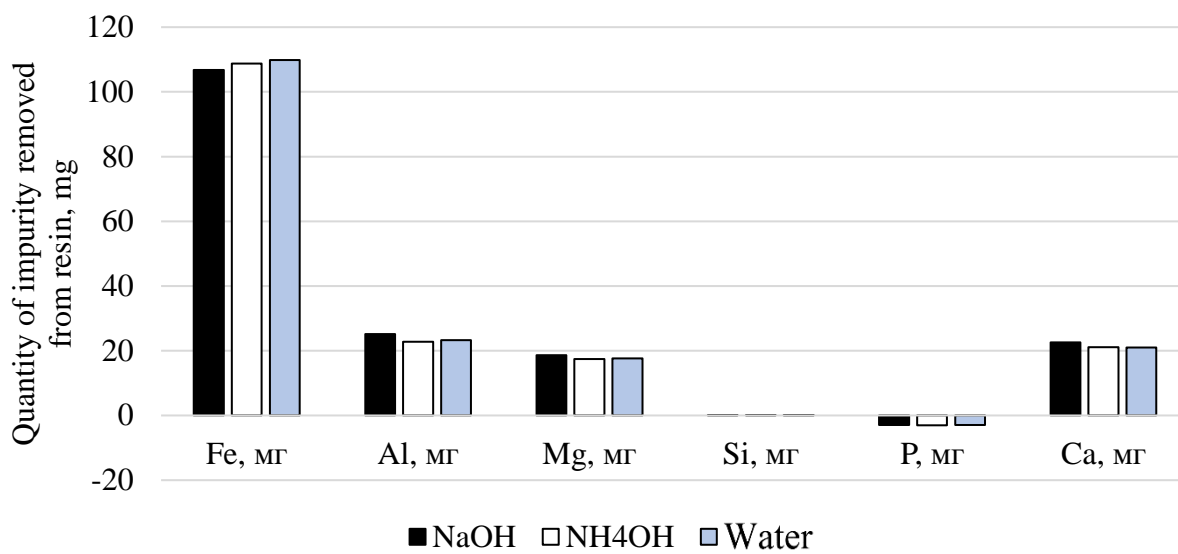


Figure 5.18 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin by leaching with NaOH and NH<sub>4</sub>OH solutions, mg

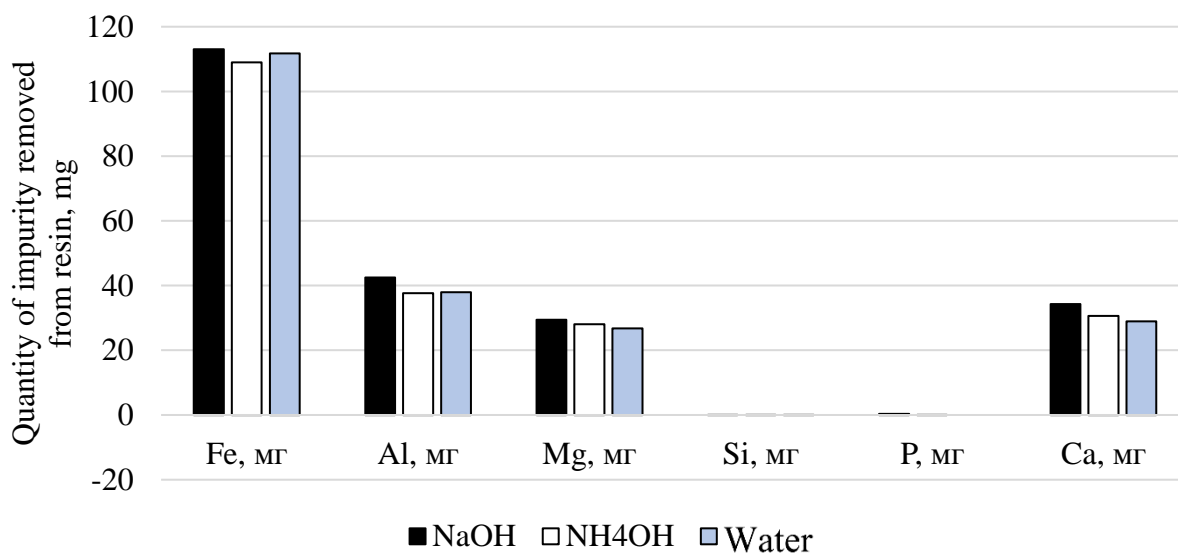


Figure 5.19 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NaOH and NH<sub>4</sub>OH solutions, mg

The efficiency results of each AMP and Purolite resin leaching step are shown in Table 5.29 and Figures 5.20 to 5.23.

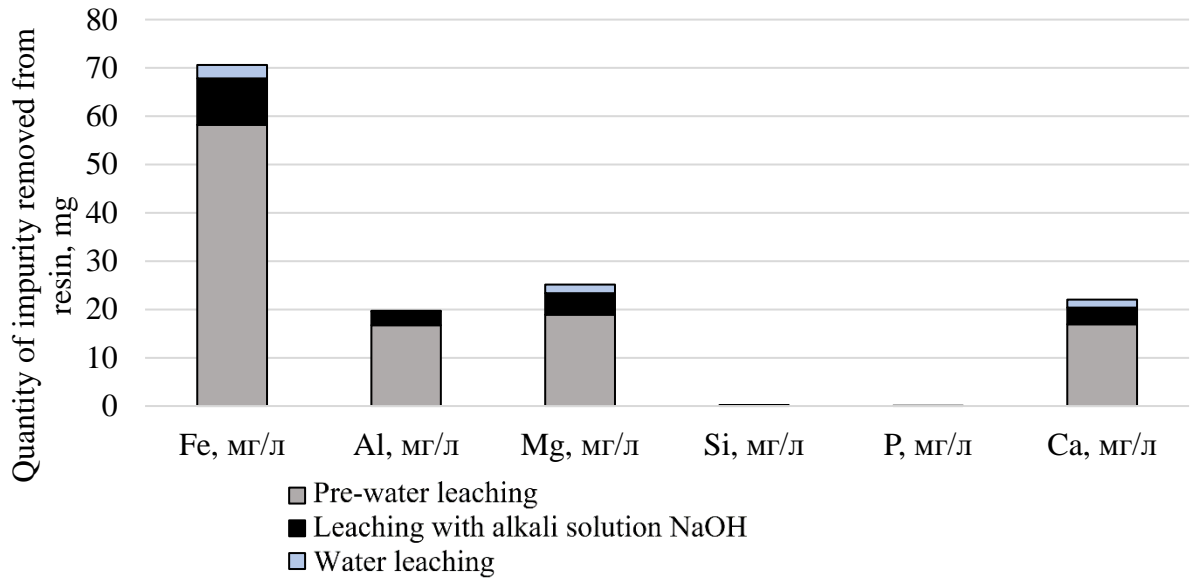


Figure 5.20 – Quantity of impurity (in mass terms) removed from AMP resin by leaching with NaOH solution, mg

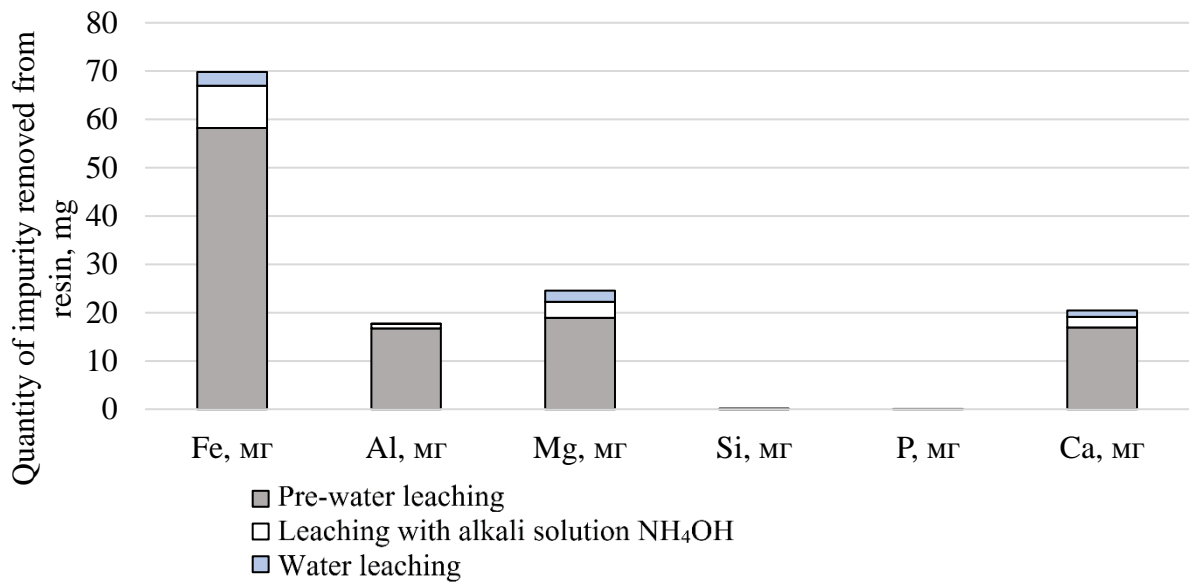


Figure 5.21 – Quantity of impurity element (in mass terms) removed from AMP resin by leaching with NH4OH solution, mg

Table 5.29 – Quantity of impurity removed from the resin at each step

Ionite	Alkali solution	Impurity element	Quantity of element removed after pre-leaching with water, mg	Quantity of element removed after leaching with alkali solution, mg	Quantity of element removed after leaching with water, mg
AMP	NaOH	Fe	58,20	9,60	2,80
		Al	16,74	2,82	0,18
		Mg	18,90	4,44	1,80
		Si	0,01	0,06	0,05
		P	0,00	0,06	0,00
		Ca	16,92	3,48	1,62
	NH <sub>4</sub> OH	Fe	58,20	8,80	2,80
		Al	16,74	0,90	0,12
		Mg	18,90	3,36	2,28
		Si	0,01	0,00	0,00
		P	0,00	0,06	0,00
		Ca	16,92	2,22	1,32
	Water	Fe	58,20	-	-
		Al	16,74	-	-
		Mg	18,90	-	-
		Si	0,01	-	-
		P	0,00	-	-
		Ca	16,92	-	-
Purolite	NaOH	Fe	81,00	11,20	2,60
		Al	32,04	4,80	0,96
		Mg	30,06	4,80	2,22
		Si	0,01	0,05	0,01
		P	0,00	0,30	0,06
		Ca	26,10	5,28	3,12
	NH <sub>4</sub> OH	Fe	81,00	7,20	3,40
		Al	32,04	1,32	0,30
		Mg	30,06	3,90	1,98
		Si	0,01	0,00	0,00
		P	0,00	0,00	0,06
		Ca	26,10	3,36	1,86
	Water	Fe	81,00	-	-
		Al	32,04	-	-
		Mg	30,06	-	-
		Si	0,01	-	-
		P	0,00	-	-
		Ca	26,10	-	-

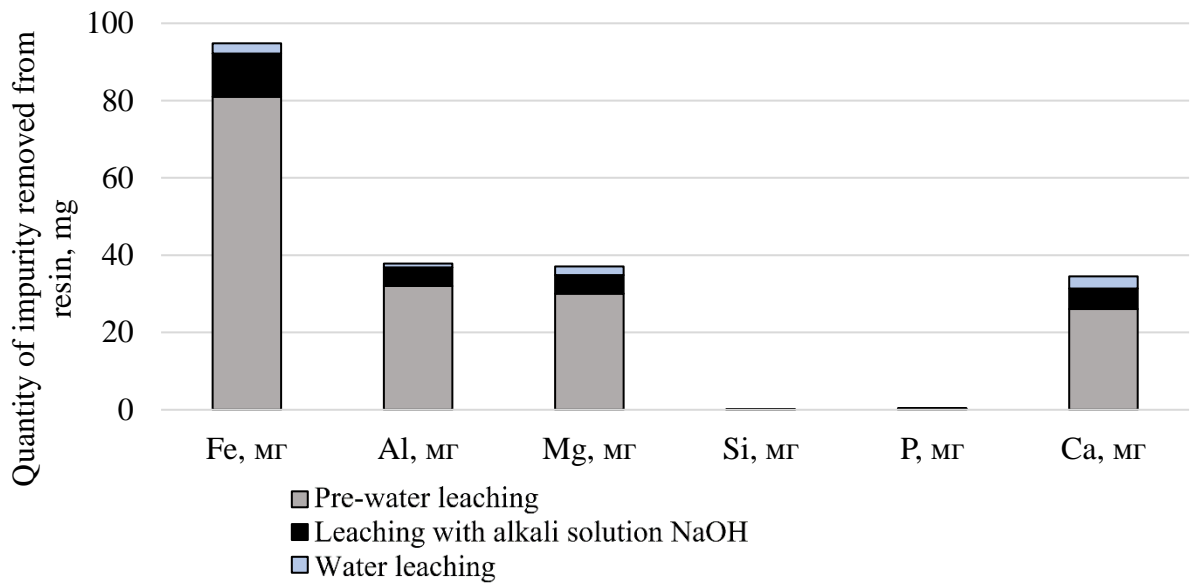


Figure 5.22 – Quantity of impurity element (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NaOH solution, mg

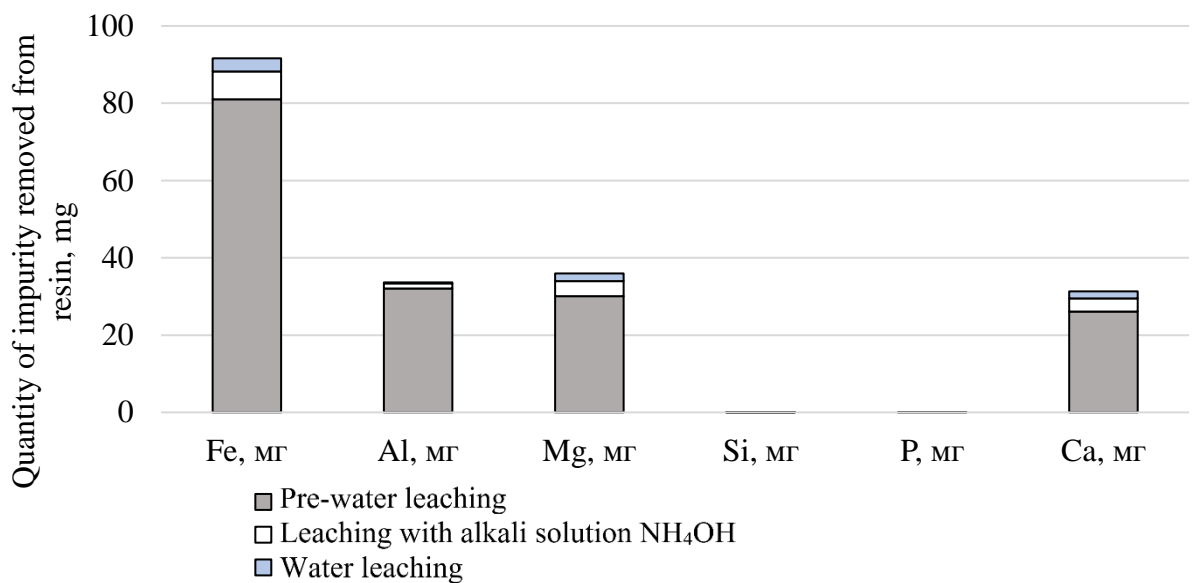


Figure 5.23 – Quantity of impurity element (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NH<sub>4</sub>OH solution, mg

For completeness, figures 5.24 and 5.25 show the results of ion exchange resin fortification on impurities based on data from Table 5.30.



Table 5.30 – Fortification results

Resin	Leaching solutions	Impurity content, mg/l					
		Fe	Al	Mg	Si	P	Ca
AMP	NaOH	36,20	5,46	-6,54	0,04	-3,00	0,60
	NH <sub>4</sub> OH	39,00	5,04	-7,14	0,01	-3,12	0,60
	Water	51,60	6,54	-1,26	0,00	-2,94	4,08
Purolite	NaOH	18,20	4,74	-7,68	0,02	0,00	-0,18
	NH <sub>4</sub> OH	17,40	4,02	-7,86	0,00	0,00	-0,72
	Water	30,80	5,88	-3,30	0,00	0,00	2,82

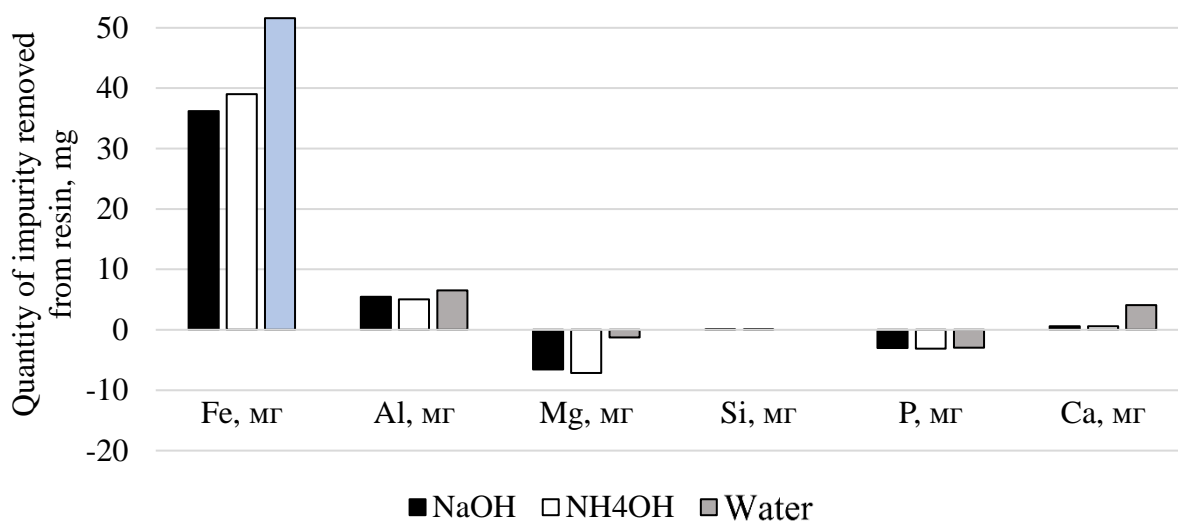


Figure 5.24 – Quantity of impurity element (in mass terms) removed from AMP resin as a result of fortification with RE solution after leaching with alkaline solutions, mg

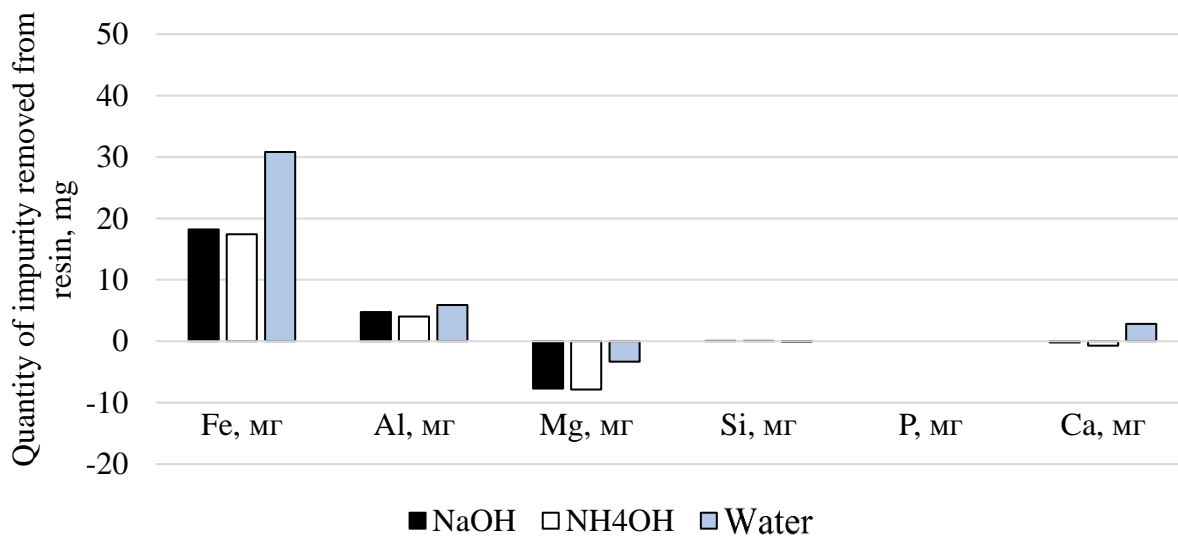


Figure 5.25 – Quantity of impurity element (in mass terms) removed from Purolite resin as a result of fortification with RE solution after leaching with alkaline solutions, mg

## 5.4 Experimental results

Based on the analysis of the results, it can be said that despite the data reflected in some literature sources, alkaline leaching does not show high efficiency for the whole list of elements, but is effective for certain impurities.

As to phosphorus character and its compounds, the following conclusion can be drawn: the leaching of phosphorus with sodium hydroxide solution has been achieved and confirmed (Table 5.31). Moreover, there is a principal transition of phosphorus compounds from the solution phase to the ionite one at the fortification. Since the fortification takes place under conditions of high concentration of uranium and acid in RE, it can be said that uranium phosphate complexes are more akin to AMP anionite at certain pH values than uranium sulfate complexes targeted for sorption. This is the reason for the periodic precipitation of uranium phosphate complexes in the desorption unit. Increased phosphorus content on resin allows resin to be deposited directly from resin or resin leaching solutions while reducing the acidity of regenerating solutions observed in practice.

Table 5.31 – Quantity of phosphorus impurities (in mass terms) removed from the resin at the results of each step of interaction with solutions

Leaching phase	Pre-leaching with water L : S = 6 : 1	Sodium Hydroxide leaching (NaOH) L : S = 1 : 1	Leaching with water before fortification L : S = 1 : 1	Fortification with RE solution L : S = 1 : 1
Quantity of phosphorus removed from resin, mg	0,00	0,12	0,00	- 1,86

Note: A negative value at the fortification phase indicates the inverse transition of phosphorus compounds from solution to ionite phase

High efficiency of leaching silicon compounds during processing with sodium hydroxide solution was also confirmed. The results are shown in Figure 5.26. The data are based on the results of the work under 5.2.

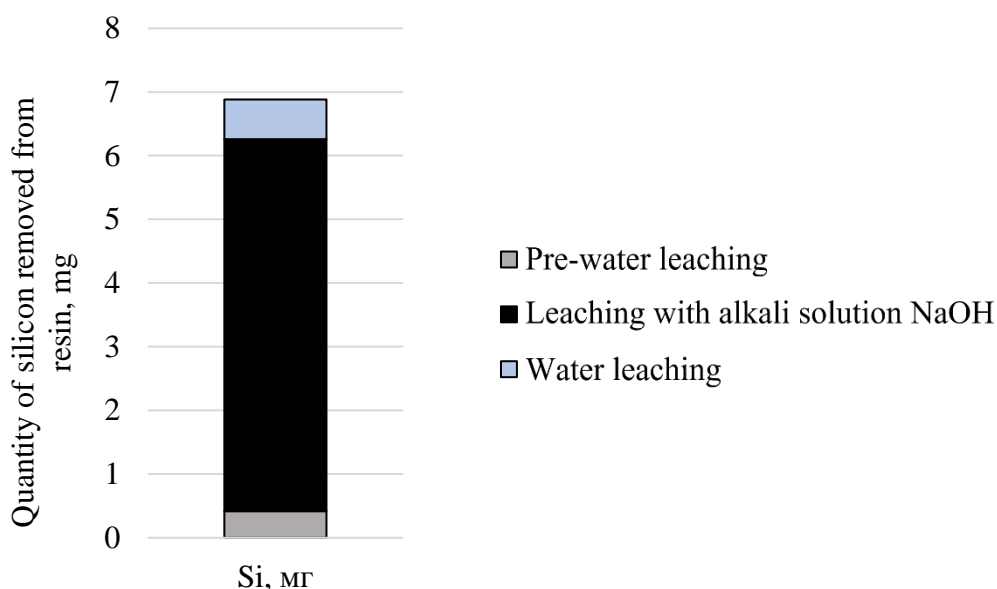


Figure 5.26 – Quantity of silicon (in mass terms) removed from Purolite resin by leaching with NaOH solution, mg

To determine the quantity of accumulated silicon on the resins used in the technological processes of JV Inkai LLP, expanded laboratory chemical analyses were conducted in a third-party organization. The results of determining the quantity of silicon dioxide in the ion exchange resins used are shown in Table 5.32.

Table 5.32 – Laboratory analysis of ion exchange resins

Determinable indicators	Unit measure	Measured results		
		Site 1	Site 2	Site 3
SiO <sub>2</sub> content	%	2,86	2,29	2,13
Grade		Purolite	Purolite	AMP

As you can see in the Table above, the silicon content on the ion exchange resin used for uranium sorption in the processing shops of PR solutions mined at the site 1 of the Northern Inkai field is within 3%. Such indicators do not have a high negative impact on the capacity of ion exchange resin for uranium and indicate none large quantity of silica in the PR solutions.

It can be said that according to the results of this research the use of alkaline solutions for leaching saturated resin from silicon compounds as part of the technological processes of JV Inkai LLP is impractical. At the same time, the

National Atomic Company “Kazatomprom” JSC, holding 60% of shares of JV Inkai LLP, includes other subsidiaries engaged in the development of other deposits with different ore compositions. Table 5.33 shows the results of analysis of ion exchange resins from some deposits of enterprises that are part of the National Atomic Company “Kazatomprom” JSC.

Table 5.33 – Results of silicon content analysis on ion exchange resins

Mine	SiO <sub>2</sub> content, %
Kanzhugan	22,78
Central Moyinkum	16,34
Mynkuduk	16,89
Central Mynkuduk, site 1	20,29
Central Mynkuduk, site 2	9,49
Semizbay	24,83

As you can see the Table above, there is indeed a problem with the accumulation of silicon on ion exchange resins in certain deposits. This is primarily due to the composition of leaching ore.

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

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
0AM11	Абдиянову Алмасу Ержановичу

<b>Школа</b>	<b>ИЯТШ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>ОЯТЦ</b>
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет проекта – не более 300000 руб., в т.ч. затраты по оплате труда – не более 146958 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Экологический коэффициент для Созакского района Туркестанской области равен 1,3. Премимальный коэффициент равен 0,3.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды- 30,2%

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

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	1. Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; 2. SWOT-анализ.
2. Разработка устава научно-технического проекта	1. Цели и результат проекта; 2. Организационная структура проекта; 3. Ограничения и допущения проекта.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Формирование плана и графика разработки: организация работ НИ; определение структуры работ; разработка графика Ганта. Формирование бюджета затрат на НИ: материальные затраты; заработная плата; отчисления во внебюджетные фонды.
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	1. Определение интегрального финансового показателя разработки; 2. Определение интегрального показателя ресурсоэффективности разработки; 3. Определение интегрального показателя эффективности; 4. Оценка сравнительной эффективности НИ.

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. Сегментирование рынка 2. Оценка конкурентоспособности технических решений 3. Матрица SWOT 4. Иерархическая структура работ 5. Диаграмма Ганта
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
0AM11	Абдиянов Алмас		

## **6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целью данного раздела является определение экономической целесообразности и перспективности использования процесса щелочной отмывки ионообменной смолы. Экспериментальные лабораторные работы проведены на производственной площадке ТОО «СП Инкай».

В данном разделе для обеспечения поставленной цели необходимо решение следующих задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- планирование и организация научно-исследовательских работ;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

### **6.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований**

#### **6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Данная научно-исследовательская работа направлена на изучение процесса отмывки насыщенной ионообменной смолы щелочными растворами, а также на определение эффективности данного процесса.

Целевым рынком для данного исследования будут являться предприятия, использующие процессы сорбции и десорбции урана. К таким

предприятиям относятся добычные предприятия, входящие в состав АО НАК Казатомпром, а именно: ТОО «СП «Хорасан-У», ТОО «Кызылкум», ТОО СП «Катко», ТОО «Байкен-У», ТОО «СП «ЮГХК», ТОО ДП «Орталык» и другие дочерние предприятия. А также потенциальным рынком являются все водоподготовительные предприятия, использующие ионообменные процессы.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности в использовании процесса щелочной отмывки. Результаты сегментирования представлены на рисунке 6.1.

		Эффективность процесса щелочной отмывки насыщенной смолы			
		Добычные предприятия (добыча и переработка природного урана»	Нефтяная и химическая промышленность	Научно-исследовательские учреждения	Глубокая водоочистка
Потребность	Сильная				
	Слабая				

Рисунок 6.1 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию процессов отмывки в сорбционных технологиях

В результате построения и анализа карты сегментирования (рисунок 6.1) повышенный спрос на результаты исследований выявлен у предприятий, занимающихся добычей и переработкой природного урана, а также у предприятий, использующих ионообменные процессы для глубокой очистки веществ.

### **6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Детальный анализ конкурирующих разработок, существующих на рынке, необходимо проводить систематически, поскольку рынки пребывают в постоянном движении. Такой анализ помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

Показатели оценки качества и перспективности новой разработки подбираются исходя из выбранного объекта исследования с учетом его технических и экономических особенностей разработки, создания и коммерциализации. Определены следующие технические критерии оценки:

- эффективность отмывки кремния;
- эффективность отмывки фосфора;
- эффективность отмывки железа и алюминия;
- качество получаемой продукции – наличие примесей на этапе получения готовой продукции;
- удобство и простота внедрения – объем работ при изменении обвязки технологического узла сорбции;
- надежность – неизменная эффективность процесса при поддержании заданных режимов отмывки;

Помимо технических критериев оценки ресурсоэффективности определены также и экономические критерии оценки:

- конкурентоспособность;
- затраты на строительство – оценка финансовых затрат на реализацию проекта;
- экономичность – сокращение материальных и энергетических затрат на эксплуатацию установки;
- уровень возможности вхождения на рынок – стратегия роста сбыта установок;



– финансирование научной разработки – поддержка государством или инвесторами.

В таблице 6.1 приведена оценочная карта сравнения конкурентных технических решений. Проведено сравнение используемого метода отмывки насыщенной ионообменной смолы со щелочной отмывкой:

– на данный момент на предприятиях используют техническую воду для отмывки ионообменной смолы;

– на предприятиях, связанных с водоподготовкой, используют солевые растворы высоких концентраций для проведения полноценной десорбции в качестве отмывки.

Позиция предлагаемого метода и других используемых методов отмывки оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная.

Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле (6.1):

$$K = \sum B_i \cdot B_i, \quad (6.1)$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

В оценочной карте для проведения сравнения выбрано три варианта технических решений проблемы отмывки насыщенной ионообменной смолы:

вариант 1 – щелочная отмывка насыщенной ионообменной смолы;

вариант 2 – отмывка ионообменной смолы технической водой;

вариант 3 – отмывка (полноценная десорбция) крепкими солевыми растворами.

Таблица 6.1 – 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
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>							
Эффективность отмывки кремния	0,2	5	0	2	1,00	0,00	0,40
Эффективность отмывки фосфора	0,05	4	2	2	0,80	0,40	0,40
Эффективность отмывки железа и алюминия	0,1	3	3	3	0,60	0,60	0,60
Качество получаемой продукции	0,2	4	3	3	0,80	0,60	0,60
Удобство и простота внедрения	0,05	3	3	3	0,60	0,60	0,60
Надежность	0,05	2	5	2	0,40	1,00	0,40
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>							
Конкурентоспособность	0,1	2	3	2	0,20	0,30	0,20
Затраты на строительство	0,05	4	4	4	0,40	0,40	0,40
Экономичность	0,05	5	3	4	0,50	0,30	0,40
Финансирование научной разработки	0,1	3	2	1	0,30	0,20	0,10
Вероятность освоения рынка	0,05	2	4	3	0,20	0,40	0,30
<b>Итого</b>	<b>1</b>	<b>37</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>5,80</b>	<b>4,80</b>	<b>4,40</b>

Полученные данные в таблице 6.1 позволяют говорить о том, что исследование является эффективным, так как обеспечивает приемлемое качество результатов. Дальнейшее инвестирование данной разработки можно считать целесообразными.

### 6.1.3 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.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	<p><b>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>С1.</b> Применение современных подходов в решении проблемы накопления примесей.</p> <p><b>С2.</b> Актуальность проекта – отсутствие метода отмывки кремния и фосфора.</p> <p><b>С3.</b> Наличие инфраструктуры и реагентов, использующихся на других технологических узлах, на основе которых проводят щелочную отмывку.</p> <p><b>С4.</b> Экономичность и энергоэффективность технологии.</p> <p><b>С5.</b> Отсутствие в казахстанской атомной отрасли предприятий, использующих щелочную отмывку ионита.</p>	<p><b>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</b></p> <p><b>Сл1.</b> Необходимость больших капитальных и эксплуатационных затрат.</p> <p><b>Сл2.</b> Необходимость удлинения цикла процесса отмывки.</p> <p><b>Сл3.</b> Возможное снижение механической прочности смолы.</p> <p><b>Сл4.</b> Сильные перепады кислотностей растворов могут привести к изменению геометрических размеров смолы.</p>
<p><b>Возможности:</b></p> <p><b>В1.</b> Использование предварительной водной отмывки.</p> <p><b>В2.</b> Возможность проведения исследований.</p> <p><b>В3.</b> Дополнительный спрос на результаты исследований.</p> <p><b>В4.</b> Использование щелочно-солевых растворов для отмывки смолы.</p> <p><b>В5.</b> Проверка исследования при изменении состава продуктивных растворов</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и возможности»:</b></p> <p><b>1.</b> Необходимость решения проблем с примесями в ближайшем будущем позволит увеличить финансирование исследований.</p> <p><b>2.</b> Полученные в работе результаты – хорошая базовая основа для продолжения изысканий на актуальную тему.</p> <p><b>3.</b> Использование комбинаций водных, щелочных и щелочно-солевых растворов для нахождения лучшего решения.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и возможности»:</b></p> <p><b>1.</b> Имеется возможность сократить временной интервал отмывки смолы при использовании новых комбинаций растворов.</p> <p><b>2.</b> Сильные перепады кислотности можно нивелировать растворами на основе соли.</p> <p><b>3.</b> Увеличения содержания примесей на смоле позволит переоценить необходимость исследований и внедрений на тему щелочной отмывки смолы.</p>
<p><b>Угрозы:</b></p> <p><b>У1.</b> Отсутствие подходящих составов продуктивных растворов.</p> <p><b>У2.</b> Отказ от использования щелочей в качестве реагентов-осадителей на предприятиях-переработчиках природного урана.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Сильные стороны и угрозы»:</b></p> <p><b>1.</b> Применение современных подходов в расчетах, а также имеющегося опыта проектирования приводит к созданию конкурентоспособных установок для эффективного выполнения поставленных задач.</p>	<p><b>Результаты анализа интерактивной матрицы полей «Слабые стороны и угрозы»:</b></p> <p><b>1.</b> Несовершенство расчетных методик можно решить с помощью их оптимизации и модернизации.</p> <p><b>2.</b> Проектирование более востребованной установки с возможностью получения побочных продуктов из отходов производства.</p>

В таблице 6.3 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями.

Таблица 6.3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	-	0	+	+
B2	+	-	-	0	+
B3	+	+	-	+	+
B4	+	-	+	+	+
B5	+	+	+	+	-

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «+» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «-» – слабое соотношение, «0» – если есть сомнения в том, что поставить «+» или «-».

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент трудности и проблемы, с которыми так или иначе может столкнуться данный исследовательский проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон и возможностей.

## 6.2. Инициация проекта

В инициацию проекта входит информация о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Информация о заинтересованных сторонах проекта, информация о целях и результатах

проекта, рабочая группа проекта и ограничения проекта приведены в таблицах 6.4 – 6.7.

Таблица 6.4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
ТОО «СП «Инкай»	Положительные результаты эффективности процесса щелочной отмывки насыщенной ионообменной смолы
Дочерние предприятия АО «НАК «Казатомпром»	Использование разработанных режимов для внедрения в другие дочерние предприятия
Частные инвесторы	Получение максимальной доходности в зависимости от вложений

Информация целях и результатах проекта приведены в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Цели и результаты проекта

Цели проекта:	Определение эффективности процесса щелочной отмывки насыщенного ионита на узле сорбции урана из продуктивных растворов
Ожидаемые результаты проекта:	Оценка эффективности. Получены рекомендации по ведению процесса щелочной отмывки
Критерии приемки результата проекта:	Проведенные исследования должны иметь под собой экспериментально подтвержденные результаты
Требования к результату проекта:	Полученные результаты анализов должны отображать высокие коэффициенты эффективности отмывки смолы (отдельных примесей)

Таблица 6.6– Рабочая группа проекта

ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
Тимченко С.Н., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», профессор	Руководитель	координация проекта; выбор направления исследования; составление и утверждения технического задания; календарное планирование работ; обобщение и оценка результатов.
Абдиянов А.Е., ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», магистрант	Исполнитель	выбор направления исследования; календарное планирование работ; обзор источников информации; проведение экспериментальных работ, расчетов; составление отчета; анализ полученных данных; подведение итогов.

Таблица 6.7 – Ограничения проекта

<b>Фактор</b>	<b>Ограничения/допущения</b>
1. Бюджет проекта:	Не должен превышать 300 000 руб.
1.1 Источник финансирования	Средства ФГАОУ ВО НИ ТПУ.
2. Сроки проекта:	15.02.2023 – 20.05.2023
2.1 Дата утверждения задания на выполнение исследований	Задание на выполнение исследований должно быть утверждено к 15.02.2023.
2.2 Дата завершения проекта	Работа должна быть выполнена к 20.05.2023.
3. Прочие ограничения и допущения	Ограничение рабочего времени участников проекта (руководителя и исполнителя).

### **6.3. Планирование управления научно-техническим проектом**

#### **6.3.1. Иерархическая структура работ проекта**

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо рационально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

В данном разделе составляется полный перечень проводимых работ, в рамках проведения научного исследования, определяются их исполнители и рациональная продолжительность.

Иерархическая структура работ (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта. ИСР приведена на рисунке 6.2.

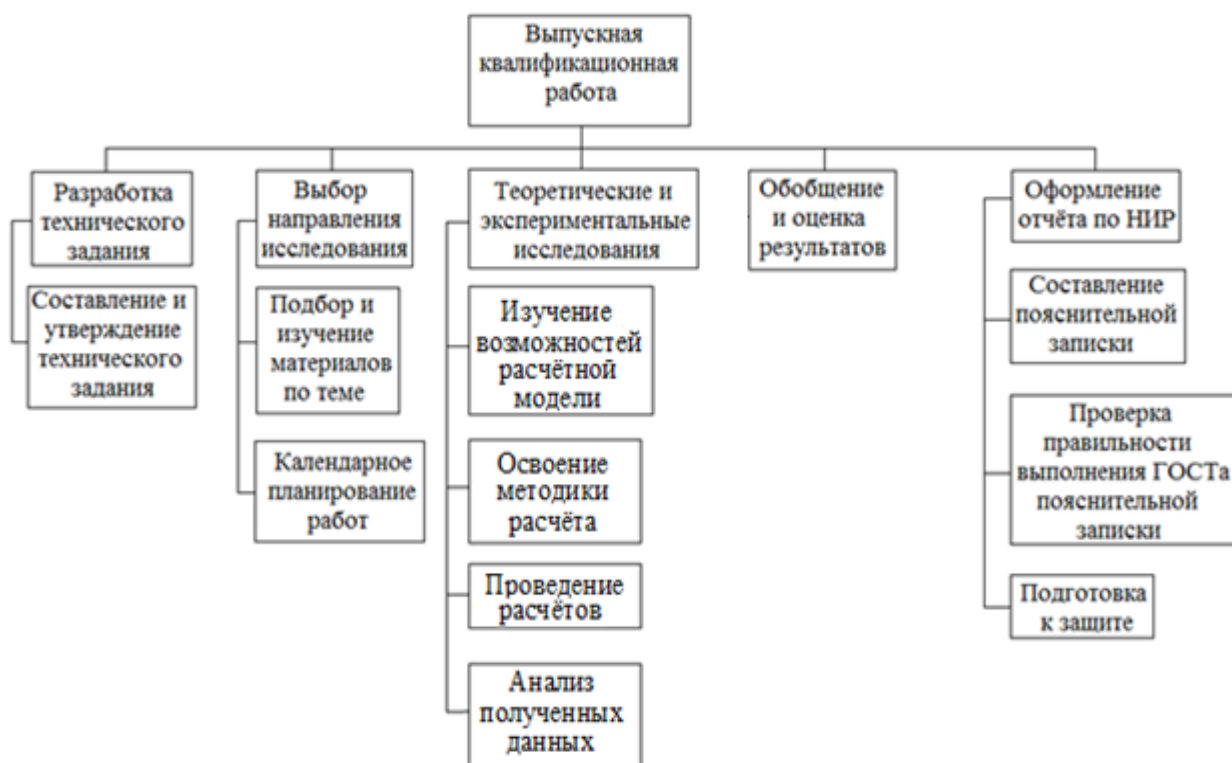


Рисунок 6.2 – Иерархическая структура работ

### 6.3.2. Контрольные события проекта

Перечень основных этапов их содержание и распределение среди участников представлены в таблице 6.8.

Таблица 6.8 – Перечень ключевых этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ работ	Содержание работ	Состав участников
Разработка ТЗ	1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель, исполнитель
	2	Анализ актуальности темы	Руководитель, исполнитель
Выбор направления исследований	3	Поиск и изучение материала по теме	Исполнитель
	4	Выбор направления исследования	Руководитель, исполнитель
	5	Календарное планирование работ	Руководитель, исполнитель
	6	Подбор нормативных документов	Руководитель, исполнитель
	7	Проведение экспериментальных работ	Исполнитель
Теоретические и экспериментальные исследования	8	Создание методики и верификация данных, полученных в результате пробного расчета	Руководитель, исполнитель
Обобщение и оценка результатов	9	Анализ результатов	Руководитель, исполнитель
	10	Заключение	Исполнитель
	11	Оформление пояснительной записки	Исполнитель
	12	Подготовка к защите	Исполнитель

### 6.3.3 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5}, \quad (6.2)$$

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



в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i} \quad (6.3)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;  $Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

#### 6.3.4 Разработка графика проведения научного исследования

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

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал} \quad (6.4)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{кал}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле (6.5).

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} \quad (6.5)$$

где  $T_{кал}$  – количество календарных дней в году;  $T_{вых}$  – количество выходных дней в году;  $T_{пр}$  – количество праздничных дней в году.

Все рассчитанные значения представлены в таблице 6.9. В таблице 6.9 используются следующие сокращения: Р – руководитель, И – исполнитель.

Таблица 6.9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$		Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$	
	$t_{min}$ , чел-дни		$t_{max}$ , чел-дни		$t_{ож}$ , чел-дни		Р	И	Р	И
	Р	И	Р	И	Р	И				
Составление и утверждение темы дипломной работы	2	2	4	5	2,8	3,2	1,4	1,6	3	3
Анализ актуальности темы	2	3	3	5	3,8	2,4	1,2	1,9	2	3
Поиск и изучение материала по теме	-	6	-	10	-	7,6	-	7,6	-	12
Выбор направления исследования	2	3	4	5	2,8	3,8	1,4	1,9	3	3
Календарное планирование работ	2	2	3	3	2,4	2,4	1,2	1,2	2	2
Подбор нормативных документов	2	4	3	6	2,4	4,8	1,2	2,4	2	4
Проведение экспериментальных работ	-	7	-	15	-	10,2	-	10,2	-	16
Создание методики и верификация данных	15	20	20	25	17	22	8,5	11	13	17
Анализ результатов	2	10	5	20	3,2	14	1,6	7	3	11
Заключение	-	2	-	5	-	3,2	-	3,2	-	5
Оформление пояснительной записки	-	15	-	18	-	16,2	-	16,2	-	24
Подготовка к защите	-	5	-	8	-	6,2	-	6,2	-	10
Общее количество дней	27	79	42	125	34,4	96	16,5	70,4	28	110

На основе полученной таблицы построена диаграмма Ганта, представленная рисунке 6.3.

№ работ	Вид работ	Участники	$T_{ki}$ , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ												
				февр.		март			апрель			май			июнь	
				2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2
1	Составление и утверждение темы дипломной работы	Руководитель	8	■												
2	Анализ актуальности темы	Руководитель, исполнитель	3		■											
3	Поиск и изучение материала по теме	Руководитель, исполнитель	5		■	■										
4	Выбор направления исследования	Руководитель	8			■	■									
5	Календарное планирование работ	Руководитель	3				■									
6	Подбор нормативных документов	Руководитель, исполнитель	5				■	■								
7	Проведение экспериментальных работ	Исполнитель	13					■	■	■						
8	Создание методики и ее верификация	Руководитель, исполнитель	12							■	■	■				
9	Анализ результатов	Руководитель, исполнитель	6									■	■			
10	Заключение	Исполнитель	13											■		
11	Оформление пояснительной записки	Исполнитель	19												■	■
12	Подготовка к защите	Исполнитель	15													■

■ – исполнитель    ▨ – руководитель

Рисунок 6.3 – Календарный план-график проведения научного исследования

## 6.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы

### 6.4.1 Расчет материальных затрат

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

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх\ i} \quad (6.6)$$

где  $m$  – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расх\ i}$  – количество материальных ресурсов  $i$ -ого вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  – цена приобретения единицы  $i$ -ого вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы,

принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов. Примем  $k_T$  равным 0,2.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на электроэнергию и проведение лабораторных анализов. Программное обеспечение по образовательным лицензиям бесплатное. Цена проведения всех лабораторных анализов внутренней физико-химической лабораторией составила 50 000 рублей. Результаты расчетов по затратам на материалы приведены в таблице 6.10.

Затраты на электроэнергию для работы ПЭВМ рассчитываются по формуле:

$$C_M = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 800 = 2320 \quad (6.7)$$

где  $C_{эл}$  – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);  $P$  – мощность оборудования, кВт;  $F_{об}$  – время использования оборудования, ч.

Таблица 6.10 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Электроэнергия		400 кВт·ч	5,8	2320
Лабораторные анализы		п	-	50 000
Программное обеспечение: PTC Mathcad Prime		4 месяца	0	0
Всего за материалы				52 320
Транспортно-заготовительные расходы				0
Итого по статье $C_M$				52 320

Затраты на электроэнергию для двух ПЭВМ и лабораторные анализы составили 52 320 рубля.

#### 6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для экспериментальных работ

На статью «Спецоборудование» для разработки и экспериментальных работ относятся затраты на приобретение, изготовление, аренду или амортизационные отчисления специальных приборов, устройств и т.д.

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается по следующим формулам:

$$A_n = \frac{1}{N}, \quad (6.8)$$

$$A_z = C_{осн} \cdot A_n, \quad (6.9)$$

$$A_m = \frac{A_z}{12}, \quad (6.10)$$

$$A = A_m \cdot n \quad (6.11)$$

где  $A_n$  – норма амортизации;  $N$  – срок полезного использования;  $A_z$  – годовые амортизационные отчисления;  $C_{осн}$  – стоимость основного средства;  $A_m$  – ежемесячные амортизационные отчисления;  $A$  – затраты на амортизацию в проекте;  $n$  – количество месяцев использования основного средства или нематериального актива;

Используемое оборудование, его стоимость и амортизация приведены в таблице 6.11.

Таблица 6.11 – Затраты на оборудование

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Цены единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.	Затраты на амортизацию, руб.
1	Персональный компьютер	2	3	45000	90000	10000
<b>Итого:</b>					90000 руб.	10000

В данном разделе проведен расчёт амортизации оборудования. Амортизация для персонального компьютера, с учётом того, что срок полезного использования 3 года составила – 0,33, а общая сумма амортизационных отчислений 10000 рублей.

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

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

$$C_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп} \quad (6.12)$$

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

Основную заработную плату руководителя НИР можно рассчитать по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} + T_{раб} \quad (6.13)$$

где  $Z_{дн}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $T_{раб}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником 28 и 110 для руководителя и исполнителя соответственно, раб.дн.

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается

исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = Z_{осн} \cdot \kappa_{доп} \quad (6.14)$$

где  $\kappa_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты, равный 12,5%.

Среднедневная заработная плата работника рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_M \cdot M}{F_D} \quad (6.15)$$

где  $Z_M$  – месячный должностной оклад работника, руб.;  $M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года 10,1 и 10,4 для руководителя и исполнителя соответственно, мес.  $F_D$  – расчетный годовой фонд рабочего времени персонала в рабочих днях представлен в таблице 6.12.

Таблица 6.12 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные/праздничные)	66	118
Потери рабочего времени (отпуск/ невыходы по болезни)	56	28
Действительный годовой фонд рабочего времени	243	219

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле:

$$Z_M = Z_{ТС} + \kappa_{ПР} \cdot \kappa_P \quad (6.16)$$

где  $Z_{ТС}$  – заработная плата по тарифной ставке 35000 и 15000 для руководителя и исполнителя соответственно, руб.;  $\kappa_{ПР}$  – премиальный коэффициент, равный 20% от  $Z_{ТС}$ ;  $\kappa_P$  – районный коэффициент, равный 1,3 для Томска;

Результаты расчета заработной платы представлены в таблице 6.13.



Таблица 6.13 – Результаты расчета заработной платы исполнителей

Работники	$Z_{ТС}$ , руб.	$K_{ПР}$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_{раб}$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{доп}$ , руб	$C_{зп}$ , руб
Руководитель	35000	7000	1,3	44100	1825	28	51100	6387	57487
Исполнитель	15000	3000		18900	723	110	79530	9941	89471
Итого	50000	10000		63000	2547	138	130630	16328	146958

#### 6.4.4 Отчисления во внебюджетные фонды

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{внеб} = k_{внеб} \cdot C_{зп} \quad (6.17)$$

где  $k_{внеб} = 30,2\%$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.)

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

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 57487 = 17362 \text{ руб.}$$

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

$$C_{внеб} = 0,302 \cdot 89471 = 27021 \text{ руб.}$$

В результате расчётов 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 17362 руб., а для исполнителя 27021 рубля.

#### **6.4.5 Накладные расходы**

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

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (C_{\text{зн}} + A + C_{\text{внеб}}) \quad (6.18)$$

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

Накладные расходы в ТПУ составляют 12 – 16 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем  $k_{\text{накл}} = 16 \%$ .

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot 146958 = 23514 \text{ руб.}$$

#### **6.4.6 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта**

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при

формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 6.14.

Таблица 6.14 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
1. Материальные затраты НИИ	52320
2. Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	10000
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	146958
4. Отчисления во внебюджетные фонды	44383
5. Накладные расходы	23514
6. Бюджет затрат НИИ	277175

## **6.5 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

### **6.5.1 Определение финансовой и ресурсной эффективности**

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

Определения финансовой эффективности и ресурсоэффективности проводится для трех вариантов реализации методов отмывки насыщенной смолы:

- вариант 1 – щелочная отмывка насыщенной ионообменной смолы;
- вариант 2 – отмывка ионообменной смолы технической водой;
- вариант 3 – отмывка (полноценная десорбция) крепкими солевыми растворами.

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\phi}^p = \frac{\Phi_i}{\Phi_{\max}}, \quad (6.19)$$

где  $\Phi_i$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;  $\Phi_{\max}$  – максимальная стоимость исполнения НТИ (в т.ч. аналоги).

$$I_{\phi}^{\text{Вар.1}} = \frac{\Phi_{\text{Вар.1}}}{\Phi_{\max}} = \frac{277175}{300000} = 0,92;$$

$$I_{\phi}^{\text{Вар.2}} = \frac{\Phi_{\text{Вар.2}}}{\Phi_{\max}} = \frac{290000}{300000} = 0,97;$$

$$I_{\phi}^{\text{Вар.3}} = \frac{\Phi_{\text{Вар.3}}}{\Phi_{\max}} = \frac{295000}{300000} = 0,98;$$

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

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

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (6.20)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 6.15.

Таблица 6.15 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
1. Эффективность отмывки кремния	0,15	5	2	4
2. Эффективность отмывки фосфора	0,15	4	2	3
3. Эффективность отмывки железа и алюминия	0,2	3	3	4
4. Качество получаемой продукции	0,3	4	3	3
5. Удобство и простота внедрения	0,1	3	3	3
6. Надежность	0,1	2	5	2
$I_p$		3,65	2,9	2,60

$$I_{\text{Вар.1}} = 0,15 \cdot 5 + 0,15 \cdot 4 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 3,65;$$

$$I_{\text{Вар.2}} = 0,15 \cdot 2 + 0,15 \cdot 2 + 0,2 \cdot 3 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 5 = 2,90;$$

$$I_{\text{Вар.3}} = 0,15 \cdot 3 + 0,15 \cdot 3 + 0,2 \cdot 4 + 0,3 \cdot 3 + 0,1 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 = 3,25;$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{финр}^{Вар.1}$ ) и аналогов ( $I_{финр}^{Вар.2}$ ,  $I_{финр}^{Вар.3}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формулам  $I_{финр}^{Вар.1} = \frac{I_{Вар.1}}{I_{\phi}^{Вар.1}}$ ,  $I_{финр}^{Вар.2} = \frac{I_{Вар.2}}{I_{\phi}^{Вар.2}}$ ,  $I_{финр}^{Вар.3} = \frac{I_{Вар.3}}{I_{\phi}^{Вар.3}}$ :

$$I_{финр}^{Вар.1} = \frac{I_{Вар.1}}{I_{\phi}^{Вар.1}} = \frac{3,65}{0,92} = 3,97;$$

$$I_{финр}^{Вар.2} = \frac{I_{Вар.2}}{I_{\phi}^{Вар.2}} = \frac{3,05}{0,97} = 3,14;$$

$$I_{финр}^{Вар.3} = \frac{I_{Вар.3}}{I_{\phi}^{Вар.3}} = \frac{3,40}{0,98} = 3,45;$$

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

Сравнительная эффективность проекта определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{финр}^p}{I_p} \quad (6.21)$$

Таблица 6.16 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки и аналогов	3,65	2,90	3,25
Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки и аналога	3,97	3,14	3,45
Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,09	1,08	1,06

На основе расчета интегрального показателя с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности научного исследования можно сделать вывод о том, что разрабатываемый проект является более эффективным вариантом решения поставленной задачи по сравнению с предложенными конкурентами, но стоит отметить, что относительная эффективность всех трех вариантов достаточно близка.

## **6.6 Выводы по разделу**

1. Оценочная карта сравнения технических решений конкурентов показала, что проводимые в работе исследования по созданию методики и рассчитанной с помощью нее установки являются оптимальными для использования в практических целях.

2. В ходе планирования научно-исследовательских работ определен перечень работ, выполняемый рабочей группой. В данном случае рабочая группа состоит из двух человек: руководитель и исполнитель. Согласно составленному плану работ длительность трудовой занятости в рабочих днях сотрудников исследовательского проекта составила в сумме 138 дней, занятость руководителя и исполнителя 28 и 110 дней соответственно.

3. Составлен бюджет выполнения научно-исследовательских работ, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляют 277175 рублей.

4. Эффективность проекта подтверждается наибольшими значениями интегрального финансового показателя – 0,92, интегрального показателя ресурсоэффективности – 3,65, сравнительной эффективности – 1,09 по отношению к аналогам.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0AM11	Абдиянову Алмасу Ержановичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: процесс щелочной отмывки насыщенной ионообменной смолы, узел сорбции. Область применения: атомная промышленность.
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

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

<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы.</li> <li>– СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Вредные и опасные факторы: <ul style="list-style-type: none"> <li>– микроклимат;</li> <li>– шум;</li> <li>– освещенность;</li> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаро- и взрывоопасность.</li> </ul>
<b>3. Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях:</b>	Возможные аварийные и чрезвычайные ситуации: <ul style="list-style-type: none"> <li>– травматизация при падении с высоты собственного роста;</li> <li>– удар электрическим током;</li> <li>– пожар.</li> </ul>

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Передерин Юрий Владимирович	К.Т.Н.		

### Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM11	Абдиянов Алмас Ержанович		



## **7 Социальная ответственность**

В соответствии с поставленной целью результатом магистерской диссертации являются проведенные анализ и расчеты по итогам экспериментальных работ по исследованию процесса щелочной отмывки насыщенной смолы.

Анализ полученных данных, расчет эффективности процессов и результатов исследования проводились в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай» за рабочим местом, оборудованным ЭВМ.

В данном разделе рассмотрены вредные и опасные факторы производственной среды, оказывающие влияние на операторов ЭВМ, определены способы обеспечения защиты от них в соответствии с требованиями действующей нормативной документации.

### **7.1 Выявление и анализ опасных и вредных производственных факторов**

В соответствии с [9] определены основные элементы производственного процесса, формирующие опасные и вредные факторы, которые возникают при выполнении данной работы:

- микроклимат [10, 11];
- шум [12, 13];
- освещенность [14];
- электробезопасность [15, 16];
- пожаро- и взрывоопасность [17, 18]

### 7.1.1 Микроклимат

Основными показателями, характеризующими микроклимат в производственных помещениях, являются: температура воздуха; температура поверхностей; относительная влажность воздуха; скорость движения воздуха; интенсивность теплового облучения.

ЭВМ, вспомогательная техника, а также приборы освещения в процессе работы выделяют тепло. Высокая температура способствует быстрой утомляемости и перегреву организма при нахождении в непосредственной близости от источников тепла. Влажность также оказывает значительное влияние на терморегуляцию человека, так низкая влажность может привести к высыханию кожи, слизистых оболочек и общему обезвоживанию организма, а высокая – к повышенной отдаче тепла и возможному перегреву организма [10].

В таблице 7.1 приведены оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах, которые установлены санитарными нормами для различных категорий работ в разные периоды года. При работе за ЭВМ категория работ является легкой (Ia), поскольку не возникает систематических физических нагрузок [10].

Таблица 7.1 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	не более 0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	не более 0,1

В имеющемся кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай» за рабочим местом выполняются нормативы по микроклимату.

Для поддержания санитарных норм достаточно местного кондиционера установки полного кондиционирования воздуха, обеспечивающего постоянство температуры, относительной влажности, скорости движения и чистоты воздуха [11].

Для расчёта производительности воздухообмена вентиляции в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай» воспользуемся формулой:

$$W = V \cdot K, \quad (7.1)$$

где  $V = 115 \text{ м}^3$ ; кратность воздухообмена в помещении  $K = 3 \text{ ч}^{-1}$ , что соответствует норме по [11].

Подставляя известные значения в формулу, получим  $W = 345 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$ . Исходя из имеющихся критериев для обеспечения надлежащих параметров микроклимата, подойдёт вихревая воздуходувка Becker SV 700/2 5.5, с максимальной производительностью  $370 \text{ м}^3 \cdot \text{ч}^{-1}$  [19].

### **7.1.2 Шум**

Шум ухудшает условия труда, оказывает вредное воздействие на организм человека, а именно, на органы слуха и на весь организм через центральную нервную систему. В результате этого ослабляется внимание, ухудшается память, снижается реакция, увеличивается число ошибок при работе. Шум может создаваться работающим оборудованием, установками кондиционирования воздуха, осветительными приборами дневного света, а также проникать извне.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ). Допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе

с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ [12].

За рабочей поверхностью уровень шума от ЭВМ достигает 30 дБ, что находится в пределах нормы. Уровень шума от вихревой воздуходувки составляет 53 дБ, что соответствует нормам [13].

### **7.1.3 Освещенность**

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Освещению следует уделять особое внимание, так как при работе наибольшее напряжение получают глаза. Недостаточная освещенность рабочей зоны также считается одним из факторов, влияющих на работоспособность человека. Для промышленных предприятий оптимальная освещенность территории и помещений является важной и непростой технической задачей, решение которой обеспечивает нормальные гигиенические условия для работающего персонала. Правильно подобранные источники света и их проектирование создают условия для производственного труда, корректности выполнения технологических операций, соблюдения правил и техники безопасности.

Освещение делится на естественное, искусственное и совмещенное. Совмещенное сочетает оба вида освещения.

Причинами недостаточности естественного и искусственного освещений являются отдаленность рабочего места от источников освещения, недостаточная мощность и некачественность источников освещения, неподходящие погодные факторы или время суток. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения [14].

Необходимая освещенность на рабочем месте достигается за счет искусственного освещения люминесцентными лампами. Посчитаем необходимое количество светильников по формуле:

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot m}, \quad (7.2)$$

где  $n$  – количество светильников, необходимое для установки на рабочем месте, шт.;

$E$  – нормированная освещенность,  $E = 300$  лк;

$S$  – площадь помещения,  $S = 41,1$  м<sup>2</sup>;

$Z$  – поправочный коэффициент светильника,  $Z = 1,2$ ;

$K$  – коэффициент запаса, учитывающий снижение освещенности при эксплуатации,  $K = 1,2$ ;

$F$  – световой поток одной лампы, ЛД 40,  $F = 2130$  лк;

$U$  – коэффициент использования,  $U = 0,55$ ;

$m$  – число ламп в светильнике,  $m = 2$ .

Подставив значения получаем  $n = 7,58$  шт. Но так как необходимо целое число, то округлив, получаем 8 ламп, что соответствует количеству ламп в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай».

#### 7.1.4 Электробезопасность

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с ЭВМ в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75 %), высокой температуры (более 35 °С), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного прикосновения к имеющим соединение с землей металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Оператор работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Опасность поражения

электрическим током существует в следующих случаях [15]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие.

Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон.

Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- 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 (заклочение в корпуса электропоражающих элементов, заклочение в корпус токоведущих частей) [16].

Помещение, в котором проходили работы, подходит под помещения 1 класса, в котором рабочие напряжения не превышают 1000 В [15].

### 7.1.5 Электромагнитные поля

Основным вредным фактором при использовании ЭВМ является электромагнитное излучение от составляющих частей устройств. Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы.

Электромагнитные поля контролируют в следующих диапазонах: 50 Гц (промышленная частота) и от 30 кГц до 300 ГГц. Измерения проводят на рабочих местах пользователей стационарных и портативных персональных компьютеров. Контролируют следующие параметры: напряженность электрического и магнитного поля, напряженность электростатического поля.

Нормы предельно допустимых уровней (ПДУ) электромагнитного излучения, установленные в документе [12], показаны в таблицах 7.2 и 7.3.

Таблица 7.2 – Предельно допустимые уровни электрических и магнитных полей промышленной частоты 50 Гц

N п/п	Тип воздействия	Напряженность электрического поля, кВ/м	Индукция (напряженность магнитного поля), мкТл (А/м)
1	В жилых зданиях, детских, дошкольных, школьных, общеобразовательных учреждениях	0,5	5,0 (4,0)
2	В общественных зданиях	0,5	10,0 (8,0)
3	На территории жилой застройки	1,0	10,0 (8,0)

Таблица 7.3 – Предельно допустимые уровни ЭМП диапазона частот 30 кГц-300 ГГц

Диапазон частот	30-300 кГц	0,3-3 МГц	3-30 МГц	30-300 МГц	0,3-300 ГГц
Нормируемый параметр	Напряженность электрического поля, Е (В/м)				Плотность потока энергии, ППЭ (мкВт/см <sup>2</sup> )
Предельно-допустимые уровни	25	15	10	3	10 25 для случаев облучения от антенн, работающих в режиме кругового обзора или сканирования

Персональный компьютер, находящийся в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай», создает электромагнитное излучение частотой 130 Гц, что не контролируется [12].

### 7.1.6 Пожарная и взрывная безопасность

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. Так как помещение по степени пожаровзрывоопасности относится к категории В, т.е. к помещениям с твердыми сгорающими веществами, необходимо предусмотреть ряд профилактических мероприятий [17].

Возможные причины загорания:

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

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



Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий, противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

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

К режимным мероприятиям относятся следующие: 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 [17]:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- правильная эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электрического питания, контроль нагрева оборудования);
- правильное содержание зданий, территорий (исключение образования источника воспламенения – предупреждение самовозгорания веществ, ограничение огневых работ);
- обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности;
- издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации;
- соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения;
- правильное размещение оборудования;

- своевременный профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

При возникновении аварийной ситуации необходимо:

- сообщить руководителю;
- позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;
- принять меры в соответствии с [18].

## **7.2 Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях**

Чрезвычайная (аварийная) ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, распространения заболевания, представляющего опасность для окружающих, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей. Есть два вида чрезвычайных ситуаций:

- техногенная;
- природная.

К техногенным ЧС можно отнести пожары, взрывы, диверсии, выбросы ядовитых веществ. К природным ЧС относятся природные катаклизмы. Наиболее вероятной техногенной ЧС являются пожары.

К опасностям несчастного случая относится внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое движение или энергия [20].

Рассмотрим возможные аварийные и чрезвычайные ситуации в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай», а именно:

- падение с высоты собственного роста;
- удар электрическим током;

– возникновение пожара.

Мероприятия по предотвращению вышеуказанных аварийных и чрезвычайных ситуаций и мероприятия по ликвидации их последствий представлены в таблице 7.4.

Таблица 7.4 – Аварийные и чрезвычайные ситуации, мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций.

№	Аварийные (чрезвычайные) ситуации	Мероприятия по предотвращению аварийной и чрезвычайной ситуации	Мероприятия по ликвидации последствий аварийной и чрезвычайной ситуации
1	Травматизация при падении с высоты собственного роста	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Содержание помещения в надлежащем порядке.</li> <li>2. Ограничение рабочего пространства.</li> <li>3. Своевременное проведение инструктажа.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Осмотреть или опросить пострадавшего;</li> <li>2. если необходимо – вызвать скорую помощь – тел. 112;</li> <li>3. остановить кровотечение, если оно имеется;</li> <li>4. если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник (резкая боль в позвоночнике при малейшем движении), необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.</li> <li>5. позвонить на единый номер служб экстренного реагирования – тел. 112;</li> </ol>
2	Удар электрическим током	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Заземление всех электроустановок.</li> <li>2. Ограничение рабочего пространства.</li> <li>3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры.</li> <li>4. Своевременное проведение инструктажа.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока;</li> <li>2. вызвать скорую помощь;</li> <li>3. если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой;</li> <li>4. пострадавшему надо дать понюхать нашатырный спирт, сбрызнуть лицо водой, растереть и согреть тело;</li> <li>5. при отсутствии дыхания нужно немедленно делать искусственное дыхание и массаж сердца.</li> <li>6. позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;</li> </ol>
3	Пожар	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Своевременное проведение инструктажа.</li> <li>2. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях.</li> <li>3. Установка датчиков дыма и огня.</li> <li>4. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии.</li> <li>4. Контроль работы электроприборов.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха;</li> <li>2. немедленно сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны;</li> <li>3. по возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и спасению материальных ценностей.</li> <li>4. позвонить в аварийную службу или МЧС – тел. 112;</li> </ol>

В данном подразделе рассмотрены потенциальные аварийные ситуации, которые могут возникнуть при работе в кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай». Рассмотрены мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий этих ситуаций согласно [20].

### **7.3 Выводы по разделу «Социальная ответственность»**

В разделе рассмотрены организационные вопросы обеспечения безопасности работников, выявлены возможные вредные и опасные факторы (микроклимат [10, 11], шум [12, 13], освещение [14], электробезопасность [15, 16], пожаро- и взрывопасность [17, 18]), также проведен их анализ и обоснован ряд мероприятий по снижению их воздействия на исследователя.

Работа в штатном режиме кабинете Управления переработки участка №1 ТОО «СП «Инкай» не принесет вред работнику. Помещение отнесено к классу В по пожароопасности [17], к 1 категории по электробезопасности (до 1000 В) [15].

Проанализированы возможные аварийные и чрезвычайные ситуации, описаны мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий. Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией является возникновение пожара на рабочем месте вследствие возгорания оборудования.

## 8 Conclusions

Laboratory experiments were conducted to study the process of leaching ion exchange resin with alkaline solutions. Alkaline leaching scientific process was conducted under different conditions for different ion exchange resins. The following results and conclusions were obtained:

1. Qualified laboratory experiments to determine the efficiency of using the alkaline leaching of ion exchange resin at the production site of JV Inkai LLP were tested. According to the research results, the use of alkaline leaching of ion exchange resin with the processed impurity composition of PR solutions is impractical;

2. High efficiency of leaching silicon and phosphorus from AMP resin with an alkaline solution with sodium hydroxide content equal to 1% was confirmed. The leaching efficiency of the above substances is 12-14 times higher than that of water leaching under the same conditions;

3. The mechanism of sorption and accumulation on the resin of uranium phosphate having a higher selectivity to the resin compared to uranium sulfate has been determined. Proceeding of uranium phosphate to ion exchange resin phase is observed during the fortification process. Accumulation of uranium phosphate on resin leads to deposition over time with reduced acidity of solutions;

4. The condition of ion exchange resins of nearby deposits in sectional of silicon compounds on resin was reviewed. Alkaline solution silicon leaching data transferred to interested mining corporates.

Thus, the findings of the research can be used in corporates engaged in the production and processing of natural uranium using drillhole ISL method.

## References

1. Dobycha urana metodom skvazhinnogo podzemnogo vyshchelachivaniia: uchebnoe posobie/ M.D.Noskov. Seversk: Izdatelstvovo STI NIIaU MIFI, 2010.-83 s.
2. Dobycha urana metodom podzemnogo vyshchelachivaniia. Batashov B.G., Veselova L.N., Vodolazov L.I., Gubkin N.V., Zontov N.S., Kochetkov V.I., Krotkov V.V., Atomizdat, Moskva, 1980 g., 248 str.
3. Intensifikatsiia protsessa podzemnogo skvazhinnogo vyshchelachivaniia urana na osnove sozdaniia modulnogo pererabatyvaiushchego kompleksa. Duisebaev B.O., Kopbaeva M.N., Panova E.N., Smailov E.K. M. Zhurnal: Khimicheskaiia promyshlennost, Iz-vo Teza (Sankt-Peterburg), Tom: 85, №: 5, 2008 g. Str.: 256 261.
4. Matveev Iu.N., Strizhko V.S. Tekhnologiia metallurgicheskogo proizvodstva tsvetnykh metallov (teoriia i praktika): uchebnik dlia vuzov. – M.: Metallurgiiia, 1986. – 368 s.
5. Saduakasova A.T., Zelenin V.I., Samoilov V.I., Titov D.N. Sovremennoe sostoianie mineralno-syrevoi bazy urana i ee rasshirenie putem vovlecheniia v pererabotku gidromineralnogo syria // Zelenaiia ekonomika – budushchee chelovechestva: materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. – Ust-kamenogorsk: VKGTU, 2014. – T. 5. – S. 377-386.
6. STO VTI 37.002-2005 «Osnovnye trebovaniia k primeneniuiu ionitov na vodopodgotovitelnykh ustanovkakh teplovykh elektrostantsii. Tekhnologicheskie rekomendatsii po diagnostike ikh kachestva i vyboru».

7. Issledovanie effektivnosti vosstanovitelnoi obrabotki vysokoosnovnogo anionita Purolite A-400 / E. A. Karpychev, A. Ia. Sorokina, E. G. Ukhalova, A. Iu. Budaeva // Sostoianie i perspektivy razvitiia elektro- i teplotekhnologii : XVIII Benardosovskie chteniia: materialy mezhdunarodnoi nauchno-tekhnikeskoi konferentsii, Ivanovo, 27–29 maia 2015 goda. Tom II. – Ivanovo: Ivanovskii gosudarstvennyi energeticheskii universitet im. V.I. Lenina, 2015. – S. 78-81. – EDN TZYDHL.
8. Litvinenko V.G., Miazin V.P., Dorzhieva A.G. Issledovanie sostavov kremnevykh kislot na protsess izvlecheniia urana iz rudnykh pulp anionoobmennymi smolami // Gornyi informatsionno - analiticheskii biulleten. 2013. № 5. S. 97-101.
9. GOST 12.0.003-2015 Sistema standartov bezopasnosti truda (SSBT). Opasnye i vrednye proizvodstvennye faktory. Klassifikatsiya: data vvedeniya 2017-03-01.
10. GOST 30494-2011 Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshcheniyah: data vvedeniya 2013-01-01.
11. GOST 32548 - 2013. Ventilyatsiya zdaniy. Vozduhoraspredelitel'nye ustrojstva. Obshchie tekhnicheskie usloviya.
12. SanPiN 1.2.3685-21 Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya: data vvedeniya 2021-01-28.
13. SP 51.13330.2011 Zashchita ot shuma. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 23-03-2003: data vvedeniya 2011-05-20.
14. SP 52.13330.2016 Estestvennoe i iskusstvennoe osveshchenie. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP 23- 05-95\*.
15. GOST 12.1.019-2017 Sistema standartov bezopasnosti truda. Elektrobezopasnost'. Obshchie trebovaniya i nomenklatura vidov zashchity: data vvedeniya 2019-01-01.



16. GOST R 58698-2019 (MEK 61140:2016). Zashchita ot porazheniya elektricheskim tokom. Obshchie polozheniya dlya elektroustanovok i elektrooborudovaniya: data vvedeniya 2020-06-01.

17. SP 12.13130.2009. Opredelenie kategorij pomeshchenij, zdaniy i naruzhnyh ustanovok po vzryvopozharnoj i pozharnoj opasnosti (v red. izm. № 1, utv. prikazom MCHS Rossii ot 09.12.2010 № 643): data vvedeniya 2009-05-01.

18. GOST 12.1.004-91 Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharnaya bezopasnost'. Obshchie trebovaniya.

19. Vozduhoduivki.pro. – Access mode: <https://vozduhoduivki.pro/> (date of the application 04.05.2023).

20. GOST R 22.0.02-2016 Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Terminy i opredeleniya.