

**ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ**

# **ХАБАРШЫСЫ**

## **HERALD**

**OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL  
UNIVERSITY**

## **ВЕСТНИК**

**КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Volume 17, Issue 1  
January-March 2020**

**ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Алматы

№ 1 (52)

2020

Главный редактор – Ректор КБТУ,  
**Ибрашев К.Н.**

Заместитель главного редактора –  
**Габдуллин М.Т.**

**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

**Акжалова А.Ж., Атсуши Иное, Байгунчечков Ж.Ж., Бекмухаметова З.А.,  
Буркитбаев М.М., Gavin Kretzschmar, Джанг Ванг Ли, Джумадилдаев А.С.,  
Ергожин Е.Е., Еремин Н.А., Журинов М.Ж., Йозеф Монтаг,  
Коробкин В.В., Masakazu Yoshikawa, Мынбаев К.Т., Рамеш Кини,  
Сатубалдин С.С., Скакова А.А., Сулейменов Э.Н., Танекенов А.,  
Умаров Ф.Ф., Харин С.А., Шакуликова Г.Т., Шейх Али Д.М.**

Издание зарегистрировано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на учет  
СМИ № 9757 - Ж от 03.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий  
ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция)

Подписной индекс - 74206

Издается с 2004 года. Выходит 4 раза в год.

**УЧРЕДИТЕЛЬ**  
Казахстанско-Британский технический университет

ISSN 1998-6688

© Казахстанско-Британский  
технический университет, 2020

## CONTENTS

### OIL AND GAS ENGINEERING

|                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Adilbekova A.O., Orazgali D.T., Ertayeva A.B.</b><br>MICROWAVE TREATMENT FOR DEWATERING OF CRUDE OIL EMULSIONS .....                     | 10 |
| <b>Ivakhnenko A.P., Yessentayeva A.A., Nifontov Yu.A., Nadirov K.S.</b><br>SELECTION OF FILLERS FOR EXTERNAL COATING OF OIL PIPELINES ..... | 17 |
| <b>Satiev N.B., Tikebaev T.A.</b><br>THE FIRST DEVIATED WELLBORE UNDERREAMING WHILE CLOSED HOLE<br>CIRCULATION DRILLING .....               | 25 |

### CHEMICAL, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

|                                                                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ahat G., Tleuov A.S., Tleuova S.T., Pazylova D.T.</b><br>THERMODYNAMIC MODELING OF AGGLOMERATION OF MANGANESE-<br>CONTAINING RAW MATERIALS USING OIL AND BITUMINOUS ROCKS .....                                         | 39 |
| <b>Bektenov N.A., Nurzhigitova A.T., Sadiyeva K.R., Masalimova B.K., Nurlybayeva A.N.</b><br>OBTAINING AMBER BY REACTING MOLTEN SULFUR-CONTAINING WASTE<br>FROM THE SULFURIC ACID PRODUCTION PLANT WITH ORGANIC ACIDS..... | 48 |
| <b>Brzhanov R.T.</b><br>TIME FACTOR FOR SET OF CRITICAL STRENGTH OF WINTER CONCRETE .....                                                                                                                                  | 55 |
| <b>Yessimova O.A., Kazizkhanova B.K., Kumargaliyeva S.Sh., Mussabekov K.B.,<br/>Kerimkulova M.Zh.</b><br>THE EFFECT OF COMPOSITIONS OF ANIONIC AND NONIONIC SURFACTANTS ON<br>THE STABILITY OF EMULSIONS .....             | 60 |
| <b>Kydyralieva A., Besterekov U., Petropavlovskiy I., Bolysbek A.</b><br>DIFFICULT-MIXED NPK-FERTILIZERS BASED ON AMMONIUM NITRATE,<br>PHOSPHOROUS FLOUR AND POTASSIUM CHLORIDE .....                                      | 66 |
| <b>Makanova L.K.</b><br>RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CONCENTRATION OF PHOSPHORIC AND<br>SULFURIC ACIDS DECOMPOSITION OF PHOSPHATE RAW MATERIAL .....                                                                       | 79 |
| <b>Nurlybayeva A.N., Darmenbayeva A.S., Sholak A.A., Kulazhanova A.S.,<br/>Nazarbekova A.N., Kemelbekova M.I.</b><br>TECHNOLOGY FOR MODIFYING ACTIVE COAL WITH COPPER CHLORIDE HAS<br>BEEN DEVELOPED.....                  | 88 |
| <b>Sainova G.A., Akbasova A.D., Nurdillayeva R.N., Zhumabay B.Zh., Baikhamurova M.O.</b><br>THE NATURE OF HUMIC ACIDS IN VERMICOMPOST .....                                                                                | 93 |

### PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES

|                                                                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abdigalykova G.A., Dzhumagaliyeva A.M., Toleshev A.T.</b><br>FUNDAMENTALS OF DESIGNING AN AUTOMATED MANAGEMENT DECISION-<br>MAKING SYSTEM FOR PERSONNEL ISSUES IN MODERN ENTERPRISES ..... | 99 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

|                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Amirkhanov B.S., Zholmagambetova B.R., Dzhomartova Sh.A., Shormanov T.S.</b><br>BIOPYTHON ALGORITHMS .....                                                                                                                                   | 103 |
| <b>Altybay A., Tokmagambetov N.</b><br>MPI PARALLEL IMPLEMENT OF A WAVE EQUATION USING AN IMPLICIT<br>FINITE DIFFERENCE SCHEME .....                                                                                                            | 110 |
| <b>Gagarina L.G., Petrozhitsky D.V., Slyusar V.V., Atanov S.K., Brimzhanova S.S.</b><br>RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MODELS OF EXPERT ANALYSIS OF RISK<br>INDICATORS IN THE IMPLEMENTATION OF PROGRAMS FOR THE CREATION<br>OF SPACE ASSETS ..... | 118 |
| <b>Zhanys A. B., Ramazanov N.S., Tursynbay N. F.</b><br>PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF AUTOMATION OF DISTRIBUTION OF<br>FORAGES ON AGRICULTURAL FARMS .....                                                                                        | 128 |
| <b>Zhussupbekov A.Z., Tleulenova G.T., Omarov A.R., Tanyrbergenova G.K.</b><br>NUMERICAL SIMULATION OF FOUNDATIONS OF FREEZING SOIL.....                                                                                                        | 135 |
| <b>Zueva Ye.</b><br>ANALYSIS OF WORK OF DEVICES WITH BADUSB VULNERABILITY .....                                                                                                                                                                 | 141 |
| <b>Kubayev K., Baisholanova K.</b><br>METHODS OF MANAGEMENT OF TECHNICAL SYSTEMS RELIABILITY BY<br>IMPROVING EFFICIENCY .....                                                                                                                   | 148 |
| <b>Kudaibergenova R.M., Sugurbekova G.K., Nurlybayeva A.N., Kantarbayeva S.M.,<br/>Baybazarova E.A.</b><br>FUNCTIONALIZATION AND MODIFICATION OF CARBON NANOMATERIALS<br>BASED ON GRAPHENE .....                                                | 157 |
| <b>Sagitova G. K., Mukhamedzhanova G. S.</b><br>PROSPECTS AND FEATURES OF THE DEVELOPMENT CHAT-BOT AS A SIMPLE<br>AND CONVENIENT METHOD OF OBTAINING INFORMATION.....                                                                           | 165 |
| <b>Uvalieva I.M., Ismukhamedova A.M.</b><br>IMPLEMENTATION OF INTELLECTUAL ANALYSIS OF THYROID GLAND<br>INDICATORS .....                                                                                                                        | 170 |
| <b>Umarov F.F., Dzhurakhalov A.A., Rasulov A.M., Yadgarov I.D.</b><br>COMPUTER SIMULATION OF PARTICLE- SOLID SURFACE INTERACTIONS .....                                                                                                         | 180 |
| <b>Tsoy D.D., Daineko Y.A. Ipalakova M.T., Daineko R.A.</b><br>VISUALIZATION SYSTEM OF CARDIOVASCULAR PATHOLOGIES WITHIN THE<br>TRAINING APPLICATION OF VIRTUAL REALITY.....                                                                    | 195 |
| <b>Yunicheva N.R., Bostanbekov K.A., Alimova A.N., Vitkovskaya I.S.</b><br>NUMERICAL EXPERIMENTS ON THE SELECTION OF PARAMETRIZATION<br>SCHEMES OF MICROPHYSICAL CLIMATE SYSTEM PROCESSES IN THE<br>CENTRAL ASIA REGION .....                   | 201 |

## **ECONOMICS AND SOCIAL SCIENCES**

|                                                                                                                               |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Omarov T., Taikulakova G.</b><br>PLANNING AND OPTIMIZATION USING PLANNING TOOL.....                                        | 219 |
| <b>Uvaliyeva I., Abylkassymuly B., Vays Yu.</b><br>APPLICATION OF DATA ANALYSIS METHODS IN HUMAN RESOURCE<br>MANAGEMENT ..... | 225 |

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| ANNIVERSARY DATES AND PERSONALITIES ..... | 232 |
| INFORMATION ABOUT AUTHORS.....            | 234 |

## СОДЕРЖАНИЕ

### НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Адилъбекова А.О., Оразгали Д.Т., Ертаева А.Б</b><br>МИКРОВОЛНОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЯНЫХ<br>ЭМУЛЬСИЙ .....      | 9  |
| <b>Ивахненко А.П., Есентаева А.А., Нифонтов Ю.А., Надилов К.С.</b><br>ПОДБОР НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПОКРЫТИЯ НЕФТЕПРОВОДОВ.... | 17 |
| <b>Сатиев Н.Б., Тикетаев Т.А.</b><br>ПЕРВАЯ НАКЛОННАЯ РАСШИРЕНИЯ СТВОЛА СКВАЖИНЫ ПРИ БУРЕНИИ БЕЗ<br>ВЫХОДА ЦИРКУЛЯЦИИ .....        | 25 |

### ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

|                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Ахат Г., Тлеуов А.С., Тлеуова С.Т., Пазылова Д.Т.</b><br>ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГЛОМЕРАЦИИ<br>МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ<br>НЕФТЕБИТУМИНОЗНЫХ ПОРОД.....                                                           | 38 |
| <b>Бектенов Н.А., Нуржигитова А.Т., Садиева Х.Р., Масалимова Б.К., Нурлыбаева А.Н.</b><br>ПОЛУЧЕНИЕ ЯНТАРЯ ПУТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО<br>СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ<br>С ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ ..... | 48 |
| <b>Бржанов Р.Т.</b><br>ФАКТОР ВРЕМЕНИ ДЛЯ НАБОРА КРИТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЗИМНЕГО<br>БЕТОНА.....                                                                                                                                                   | 55 |
| <b>Есимова О.А., Құмарғалиева С.Ш., Қазизханова Б.Қ., Мусабеков К.Б.,<br/>Керімкулова М.Ж.</b><br>ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИЙ АНИОННЫХ И НЕИОННЫХ ПАВ НА<br>УСТОЙЧИВОСТЬ ЭМУЛЬСИЙ.....                                                                   | 59 |
| <b>Кыдыралиева А., Бестерев У., Петропавловский И., Болысбек А.</b><br>СЛОЖНО-СМЕШАННЫЕ НРК-УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ<br>СЕЛИТРЫ, ФОСФОРИТНОЙ МУКИ И ХЛОРИДА КАЛИЯ .....                                                                    | 65 |
| <b>Маканова Л.К.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРНОЙ И СЕРНОЙ<br>КИСЛОТ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ .....                                                                                                                    | 79 |
| <b>Нурлыбаева А.Н., Дарменбаева А.С., Шолақ А.А., Кулажанова А.С.,<br/>Назарбекова А.Н., Кемелбекова М.И.</b><br>РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АКТИВНОГО УГЛЯ<br>ХЛОРИДОМ МЕДИ .....                                                    | 88 |
| <b>Саинова Г.А., Акбасова А.Д., Нурдиллаева Р.Н., Жумабай Б.Ж., Байхамурова М.О.</b><br>ПРИРОДА ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ В ВЕРМИКОМПОСТЕ.....                                                                                                           | 93 |

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Абдыгаликова Г.А., Джумагалиева А.М., Толешев А.Т.</b><br>ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ<br>ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ ПЕРСОНАЛА В<br>СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ .....                      | 99  |
| <b>Амирханов Б.С., Жолмагамбетова Б.Р., Джомартова Ш.А., Шорманов Т.С.</b><br>АЛГОРИТМЫ VIORYTHON.....                                                                                                                          | 103 |
| <b>Алтыбай А., Токмагамбетов Н.</b><br>МРІ ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ<br>С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЯВНОЙ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ.....                                                                     | 110 |
| <b>Гагарина Л.Г., Петрожицкий Д.В., Слюсарь В.В., Атанов С.К., Бримжанова С.С.</b><br>ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА<br>ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ СОЗДАНИЯ<br>КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ..... | 117 |
| <b>Жаныс А.Б., Рамазанов Н.С., Турсынбай Н.Ф.</b><br>ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРМОВ<br>НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ХОЗЯЙСТВАХ.....                                                                         | 127 |
| <b>Жусупбеков А.Ж., Тлеуленова Г.Т., Омаров А.Р., Танырбергенова Г.К.</b><br>ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ В ПРОМЕРЗАЮЩИХ<br>ГРУНТАХ .....                                                                                | 135 |
| <b>Зуева Е.А.</b><br>АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ С УЯЗВИМОСТЬЮ BADUSB.....                                                                                                                                                          | 141 |
| <b>Кубаев К.Е., Байшоланова К.С.</b><br>МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ<br>УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ .....                                                                                       | 147 |
| <b>Кудайбергенова Р.М., Сугурбекова Г.К., Нурлыбаева А.Н., Кантарбаева С.М.,<br/>Байбазарова Э.А.</b><br>ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ<br>НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА .....                                | 156 |
| <b>Сагитова Г.К., Мухамеджанова Г.С.</b><br>ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЧАТ-БОТ КАК ПРОСТОЙ И<br>УДОБНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ .....                                                                             | 164 |
| <b>Увалиева И.М., Исмухамедова А.М.</b><br>РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ .....                                                                                                   | 170 |
| <b>Умаров Ф.Ф., Джурахалов А.А., Расулов А.М., Ядгаров И.Д.</b><br>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦА-<br>ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА.....                                                                         | 180 |
| <b>Цой Д.Д., Дайнеко Е.А., Ипалакова М.Т., Дайнеко Р.А.</b><br>СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ПАТОЛОГИЙ В<br>РАМКАХ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ....                                             | 195 |
| <b>Юничева Н.Р., Бостанбеков К.А., Алимова А.Н., Витковская И.С.</b><br>ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОДБОРУ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ<br>МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РЕГИОНЕ<br>ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ .....            | 201 |

## **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ**

**Омаров Т.Ж., Тайкулакова Г.С.**

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИНСТРУМЕНТА ПЛАНИРОВАНИЯ “PRIMAVERA” ..... 218

**Увалиева И., Абылкасымулы Б., Вайс Ю.**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ  
ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ ..... 225

ЮБИЛЕЙНЫЕ ДАТЫ И ПЕРСОНАЛИИ ..... 232

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ..... 234

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

---

УДК 544.77.052.12

МРНТИ 61.51.13

## МИКРОВОЛНОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ ДЛЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ НЕФТЯНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

АДИЛЬБЕКОВА А.О., ОРАЗҒАЛИ Д.Т., ЕРТАЕВА А.Б.

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

**Аннотация:** В работе исследовано деэмульгирование нефти Жанаозенского месторождения. В качестве деэмульгаторов были выбраны неионогенные поверхностно-активные вещества – блоксополимеры оксида этилена и оксида пропилена различной структуры Basorol P123 и Дисолван. При температуре 60°C степень обезвоживания в присутствии Дисолвана достигла 94,2% через 60 минут термостатирования, в случае Basorol P123 – 54,3% через 100 минут. Показана возможность применения микроволнового воздействия. В зависимости от режима мощности микроволнового воздействия температура нагрева нефти повышается, что приводит к максимальному обезвоживанию нефти. Увеличение мощности микроволнового воздействия от 120 Вт до 700 Вт показало большую эффективность для разрушения стойких эмульсий вода-нефть. Использование микроволнового воздействия на нефтяную эмульсию показало, что степень обезвоживания в присутствии Дисолвана достигает 100% уже после 28 сек.

**Ключевые слова:** нефть, деэмульгирование, эмульсия, деэмульгатор, обезвоживание, микроволновое воздействие

## МҰНАЙ ЭМУЛЬСИЯЛАРЫН СУСЫЗДАНДЫРУ ҮШІН МИКРОТОЛҚЫННЫҢ ӘСЕРІ

**Аңдатпа:** Жұмыста Жаңаөзен кен орнының мұнайын деэмульгирлеуі зерттелген. Деэмульгаторлар ретінде этилен оксиді және пропилен оксидінің блоксополимерлері бейоногенді беттік активті заттар: Basorol P123 және Дисолванға бақылау жүргізілді. 60°C температурада Дисолванның қатысуымен сусыздану дәрежесі 60 минуттан кейін 94,2%-ға, Basorol P123 жағдайында 100 минуттан кейін 54,3% жетті. Микротолқынды сусыздандыруды қолданудың мүмкіндігі айқындалған. Жұмыс режиміне байланысты мұнайдың қыздыру температурасы жоғарылайды, бұл процесс мұнайды максималды сусыздандыруға әкеледі. Микротолқынды сусыздандырудың қуаттылығын 700 Вт-қа дейін жоғарылату тұрақты су-мұнай эмульсиясын бұзу кезінде ең оңтайлы нәтиже мен жоғары тиімділікті байқатты. Дисолванның қатысында микротолқынның мұнай эмульсиясына әсер етуі сусыздану дәрежесінің 28 секундтан кейін 100% - ға жететінін көрсетті.

**Түйінді сөздер:** мұнай, деэмульгирлеу, эмульсия, деэмульгатор, сусыздандыру, микротолқынды әсер

## MICROWAVE TREATMENT FOR DEWATERING OF CRUDE OIL EMULSIONS

**Abstract:** The results of demulsification of oil from the Zhanaozen field have been studied. As demulsifiers, nonionic surfactants of block copolymers of ethylene oxide and propylene oxide of various structure Basorol P123 and Disolvan were selected. At a temperature of 60°C, the degree of dehydration in the presence of Disolvan reached 94.2% after 60 minutes of thermostating, in the case of Basorol P123 – 54.3% after 100 minutes. The opportunity of microwave exposure using has been shown. Depending on the operating mode the increasing of temperature of the oil leads to the maximum dehydration of the oil emulsion. Increasing the microwave exposure power to 700 W showed greater efficiency for breaking down stable water-in-oil emulsions. Using the microwave exposure to the crude oil emulsion showed that the degree of dewatering in the presence of Disolvan reaches 100% after 28 seconds.

**Key words:** oil, demulsification, emulsion, demulsifier, dewatering, microwave exposure

## Введение

Образование водонефтяных эмульсий при добыче нефти усложняет процесс транспортировки из-за коррозионного действия солей, содержащихся в воде, и приводит к увеличению вязкости нефти [1]. Существует несколько способов разрушения водонефтяной эмульсии [2]:

- термические – нагревание, очистка нефти горячей водой;
- механические – отстаивание, очистка (фильтрация), центрифугирование, ультразвуковая обработка и т.д.;
- химические – обработка эмульсий различными реагентами, точнее деэмульгаторами;
- электрические – обработка в электрическом поле переменного или постоянного тока.

Наиболее известным из этих методов считается термохимическое обезвоживание. Метод термохимического разрушения заключается в нагреве эмульсии нефть-вода и влиянии деэмульгатора. В качестве деэмульгаторов обычно используются поверхностно-активные вещества (ПАВ) [3]. Действие деэмульгаторов основано на вытеснении природных эмульгаторов с поверхности капель воды. Природными эмульгаторами нефтяных эмульсий могут быть низко- и высокомолекулярные компоненты нефти с достаточной поверхностной активностью (соли щелочно-земельных нафтенных кислот, асфальтены и смолы), а также твердые эмульгаторы, образуемые высокодисперсными частицами

пород и микрокристаллами парафинов. В природных условиях эмульгаторы всех трех групп часто встречаются одновременно в различных соотношениях в зависимости от содержания смол и нафтенных кислот в нефти. При нагревании снижается вязкость эмульсии, что, в свою очередь, облегчает процесс выделения воды [4].

Микроволновое воздействие в присутствии деэмульгаторов относится к термохимическому обезвоживанию. В настоящее время использование микроволн (СВЧ технологии) широко осваивается и применяется в различных технологических процессах из-за быстрого воздействия микроволн, возможности локального воздействия на материал. Следствием этого являются их энергоэкономичность и во многих случаях экологичность из-за возможного прямого действия СВЧ без применения химических реагентов [5].

При обработке микроволнами температура нефти увеличивается в два раза больше, чем температура воды и в 10-20 раз быстрее температуры твердых пород. При этом скорость протекания процесса теплового воздействия на систему значительно выше, чем при классических методах нагрева. Под влиянием микроволн нефтяная эмульсия за короткое время быстро перегревается и стимулирует быстрое разрушение эмульсии [2, 6].

Этот механизм экономит энергию и время проведения исследования.

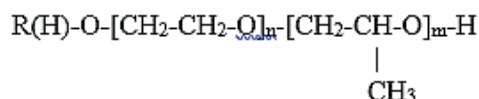
В работе изучены традиционное обезвоживание нефти при нагревании до 50-60°C в термостате и микроволновая обработка эмульсии сырой нефти месторождения Жанаозен.

### Экспериментальная часть

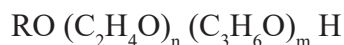
В качестве объекта исследования была взята проба нефти Жанаозенского месторождения (Мангистауская область). Ее плотность составляет 0,859 г/см<sup>3</sup>, вязкость при 40°C 3,4 мПа/с. Также найдено, что в составе нефти имеется парафин - 20,7%; силикагельная смола - 16,6%; асфальтены - 1,0% и сера, которая составляет 0,18% [7, 8, 9].

Содержание воды в нефти было определено с помощью метода Дина-Старк и равно 38,4%.

В качестве деэмульгаторов были выбраны неионогенные поверхностно-активные вещества (НПАВ) – блоксополимеры оксида этилена и оксида пропилена с различным соотношением гидрофильной и гидрофобной частей: Basorol P123 и Дисолван (производства Германия). Деэмульгатор Basorol P123 имеет вязкость 2000 мПа·с. Показатель относительной растворимости RSN блоксополимера Basorol P123 равен 19,6 мл. Структурная формула Basorol P123 представлена ниже:



Деэмульгатор Дисолван жидкость желтого цвета, вязкость равна 400 мПа·с. Дисолван также представляет собой блоксополимер оксида этилена и оксида пропилена:



Для определения деэмульгирующей способности в градуированную пробирку дозировали 40 мл нефти и 1 мл деэмульгатора и перемешивали с помощью гомогенизатора IKA T 10 basic ULTRA-TURAX в течение 5 мин при 8000 об/мин. Затем пробирку устанавливали в термостат при температуре 40-60°C и определяли через каждые 10 мин

объем отделившейся воды (W, %). В результате процент выделения воды (W, %) рассчитывается как отношение исходного объема воды в эмульсии к объему выделенной воды.

Для исследования микроволнового воздействия использовали бытовую микроволновую печь Ava AVM-20XS. Метод основан на разложении нефтяных эмульсий в результате микроволнового термического деэмульгирования [2, 6, 10]. Первоначально в 40 мл нефтяной эмульсии добавлен 1 мл деэмульгатора, перемешивали с помощью гомогенизатора в течение 5 мин и определяли степень обезвоживания нефтяной эмульсии в микроволновой печи при различных режимах мощности: 120, 460 и 700 Вт и через каждые 4 секунды наблюдали объем воды, отделившейся от нефтяной эмульсии.

Анализ ИК-спектра нефти был проведен с помощью ИК-спектрометра Фурье «Specrtum-65».

Микрофотографии нефтяной эмульсии были получены с помощью микроскопа «Leica DM6000M» Национальной нанотехнологической лаборатории КазНУ имени аль-Фараби.

### Результаты и их обсуждения

Как отмечено выше, имеющиеся в нефти компоненты такие как асфальтены, смолы, парафины и нафтеновые кислоты являются природными стабилизаторами нефти [1, 4]. Для характеристики углеводородного состава нефти проведен анализ с помощью ИК-спектрометра Фурье [11] «Specrtum-65».

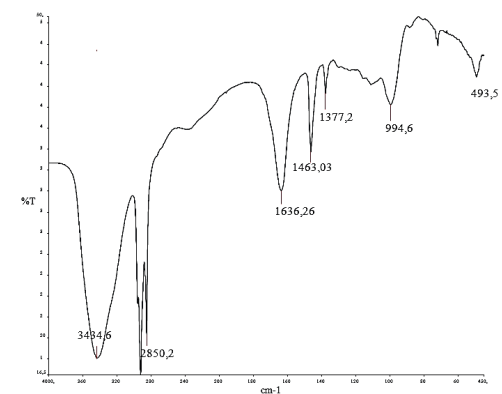
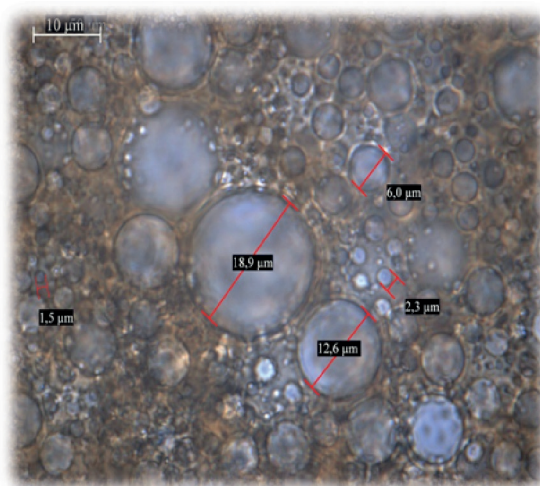


Рис. 1 – ИК-спектральный анализ пробы нефти Жанаозенского месторождения

В ИК-спектре видны характеристические полосы поглощения  $3434,6\text{ см}^{-1}$ , соответствующие гидроксильным группам  $\nu\text{-OH}$  (рисунок 1), что показывает присутствие воды в нефти. По спектральному анализу пробы нефти Жанаозенского месторождения диапазон  $2850,2\text{ см}^{-1}$ ,  $2920,82\text{ см}^{-1}$ , соответствует валентным колебаниям группы  $-\text{CH}_3$ , а  $1636,26\text{ см}^{-1}$  относится к валентным колебаниям  $\text{C}=\text{O}$ , характеризующие двойные связи в цепи или в цикле. Диапазон частот  $1463,03$  и  $1377,2\text{ см}^{-1}$  соответствует антисимметричным колебаниям группы  $-\text{CH}_3$  и деформационным колебаниям групп  $-\text{CH}_3$  и  $-\text{CH}_2$  [12]. По характерным линиям  $1463,03$  и  $1377,2\text{ см}^{-1}$

можно сделать вывод об ароматизированности пробы нефти, то есть эти спектры принадлежат высокомолекулярному компоненту нефти – асфальтенам или смолам. Известно, что молекулы асфальтена представляют собой конденсированные углеводороды, фрагменты гетероциклических, алициклических углеводородов.

Размер водных капель в нефтяной эмульсии был определен при помощи оптического микроскопа. Для пробы нефтяной эмульсии характерны капли сферической формы и полидисперсность, размер капель воды колеблется от  $1,5\text{ мкм}$  до  $18,9\text{ мкм}$  (рисунок 2).



б

Рис. 2 – Микрофотографии нефтяной эмульсии, масштаб: а –  $10\text{ мкм}$ , б –  $50\text{ мкм}$

Далее в работе сравнивали эффективность обезвоживания нефти термохимическим методом с помощью обычного отстаивания нефтяной эмульсии в термостате и микроволнового воздействия на нефть при различных режимах мощности генератора. Сначала нагревали нефтяную эмульсию до  $40^\circ\text{C}$  и  $60^\circ\text{C}$  без добавления химического ре-

агента, но отделения воды не происходило. Термохимическое обезвоживание в присутствии деэмульгатора Basorol P123 при  $40^\circ\text{C}$  и  $50^\circ\text{C}$  также не привело к водоотделению. Увеличение температуры до  $60^\circ\text{C}$  показало отделение воды через 10 минут и достигло постоянного значения через 100 минут наблюдения (таблица 1).

**Таблица 1 – Обезвоживание нефтяной эмульсии в присутствии деэмульгатора**

|        |      |      |      |      |     |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| t, мин | 10   | 20   | 30   | 40   | 50  | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
| V, мл  | 3    | 4,5  | 5,5  | 6    | 6   | 6    | 6    | 6    | 7    | 7,5  | 7,5  | 7,5  |
| W, %   | 21,7 | 32,6 | 39,6 | 43,5 | 4,5 | 43,5 | 43,5 | 43,5 | 50,7 | 54,3 | 54,3 | 54,3 |

Из таблицы 1 видно, что повышение температуры нагревания нефтяной эмульсии до 60оС привело к увеличению степени обезвоживания до W=54,3%.

Нагревание пробы нефтяной эмульсии до 40оС и 50оС в присутствии деэмульгатора

Дисолван также, как и в случае Basorol P123 не способствовало водоотделению. При 600С через 10 минут отстаивания степень обезвоживания была равна 23,2% и достигла до 94,2%, время наблюдения 120 минут (таблица 2).

**Таблица 2 – Обезвоживание нефтяной эмульсии в присутствии деэмульгатора**

|        |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t, мин | 10   | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
| V, мл  | 3,2  | 10   | 12   | 12,5 | 12,5 | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   |
| W, %   | 23,2 | 72,5 | 86,9 | 90,6 | 90,6 | 94,2 | 94,2 | 94,2 | 94,2 | 94,2 | 94,2 | 94,2 |

Увеличение температуры приводит к уменьшению вязкости нефтяной среды, а также к увеличению разности плотности дисперсной фазы и дисперсионной среды, что облегчает коалесценцию глобул воды при их столкновении согласно закону Стокса. Такая обработка приводит к более эффективному разделению нефтяной эмульсии на ее составляющие компоненты, но скорость протекания процесса теплового воздействия ниже.

Поэтому для усиления термического воздействия на пробу нефтяной эмульсии опыт проводили методом микроволнового воздействия в присутствии и без НПАВ. Микроволновая обработка без деэмульгатора не способствовала разрушению эмульсии.

В присутствии деэмульгатора Basorol P123 вода не отделялась при мощности 120 Вт. При мощности 460 Вт через 24 сек наблюдалось выделение 4,5 мл воды (таблица 3).

**Таблица 3 – Обезвоживание нефтяной эмульсии при микроволновой обработке (460 Вт)**

|        |   |   |    |    |    |       |       |       |       |
|--------|---|---|----|----|----|-------|-------|-------|-------|
| t, сек | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 | 24    | 28    | 32    | 36    |
| V, мл  | - | - | -  | -  | -  | 4,5   | 4,5   | 4,5   | 4,5   |
| W, %   | 0 | 0 | 0  | 0  | 0  | 32,61 | 32,61 | 32,61 | 32,61 |

Увеличение мощности до 700 Вт привело к обезвоживанию нефти уже через 4 секунды

и достигло постоянного значения через 32 секунды наблюдения (таблица 4).

**Таблица 4 – Обезвоживание нефтяной эмульсии при микроволновой обработке (700 Вт)**

|        |       |       |       |       |       |      |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| t, сек | 4     | 8     | 12    | 16    | 20    | 24   | 28    | 32    | 36    | 40    |
| V, мл  | 4,5   | 5     | 5     | 5     | 6     | 6,5  | 7     | 7,5   | 7,5   | 7,5   |
| W, %   | 32,61 | 36,23 | 36,23 | 36,23 | 43,48 | 47,1 | 50,72 | 54,35 | 54,35 | 54,35 |

Как видно, степень обезвоживания нефти с деэмульгатором Basorol P123 в термостате в течение двух часов и при микроволновой обработке в течение 40 секунд практически оди-

наково и составило 54,3%. Явное преимущество по времени свидетельствует о высокой эффективности микроволнового воздействия для разрушения нефтяных эмульсий [12-15].

Далее было исследовано микроволновое воздействие мощностью 120 Вт в присутствии деэмульгатора Дисолван, степень обезвоживания нефти показана в таблице 5.

**Таблица 5 – Обезвоживание нефтяной эмульсии при микроволновой обработке (120 Вт)**

|        |   |   |     |      |      |      |      |      |      |
|--------|---|---|-----|------|------|------|------|------|------|
| t, сек | 4 | 8 | 12  | 16   | 20   | 24   | 28   | 32   | 36   |
| V, мл  | - | - | 1   | 1,5  | 1,5  | 2    | 2    | 2    | 2    |
| W, %   | 0 | 0 | 7,2 | 10,9 | 10,9 | 14,5 | 14,5 | 14,5 | 14,5 |

При увеличении мощности до 460 Вт для водонефтяных эмульсий максимальная степень обезвоживания составила 59,97% (таблица 6).

**Таблица 6 – Воздействие микроволновой обработки на устойчивость нефтяных эмульсий (460 Вт)**

|        |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| t, сек | 4    | 8    | 12   | 16   | 20   | 24    | 28    | 32    | 36    |
| V, мл  | 2,5  | 3    | 3,5  | 5    | 6    | 8     | 8     | 8     | 8     |
| W, %   | 18,1 | 21,7 | 25,4 | 36,2 | 43,5 | 57,97 | 57,97 | 57,97 | 57,97 |

Деэмульгатор Дисолван показывает большее деэмульгирующее действие на водонефтяные эмульсии, чем с деэмульгатором Basorol P123. При мощности 700 Вт эффективность деэмульгатора Дисолван была высокой, степень обезвоживания достигла 100% уже при 28 сек (таблица 7).

**Таблица 7 – Воздействие микроволновой обработки на устойчивость нефтяных эмульсий (700 Вт)**

|        |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| t, сек | 4     | 8    | 12   | 16   | 20   | 24   | 28   | 32   | 36   | 40   | 44   |
| V, мл  | 8     | 8,5  | 9    | 10   | 12   | 13   | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 | 13,8 |
| W, %   | 57,97 | 61,7 | 65,2 | 72,5 | 86,9 | 94,2 | 100  | 100  | 100  | 100  | 100  |

В зависимости от режима работы температура нагрева нефти повышается, что приводит к максимальному обезвоживанию нефти (таблица 5-7). Результаты показали, что применение микроволн приводит к динамичному расслоению воды и нефти и применимо для разрушения стойкой эмульсии сырой нефти месторождения Жанаозен. Кроме того, показано что для разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий возможно использование комбинации микроволновой обработки и химического реагента.

### Заключение

В результате экспериментальных исследований количество выделившейся воды из нефти значительно увеличивается с повышением температуры. При температуре 60°C степень обезвоживания в присутствии Дисолвана достигла 94,2% через 60 минут термостатирования, в случае Basorol P123 – 54,3% через 100 минут. Для нефти Жанаозенского месторождения деэмульгатор Дисолван показывает высокую степень обезвоживания по сравнению с Basorol P123 при одинаковых

дозировке реагента и температуре. Большее деэмульгирующее действие Дисолвана может быть объяснено тем, различным соотношением гидрофильных и гидрофобных групп в составе деэмульгатора.

Микроволновое воздействие в дополнение к химическому методу обезвоживания приводит к более глубокому и динамичному отделению воды от нефти при очень малом времени обработки. Использование одинаковых режимов воздействия на нефтяную эмульсию показало, что степень обезвоживания в присутствии Дисолвана достигает 100%

уже после 28 сек. Таким образом, можно отметить, что применение микроволн показало большую эффективность для разрушения стойких эмульсий нефть-вода. Кратковременное воздействие СВЧ в присутствии деэмульгаторов позволяет полностью отделить воду от нефти. Полученные результаты показывают, что для разрушения стойких водонефтяных эмульсий возможно использование комбинации микроволновой обработки и химического реагента, однако на степень обезвоживания влияет режим СВЧ-воздействия.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Елеманов Б.Д., Герштанский О.С. Осложнения при добыче нефти. – М.: Наука, 2007. – 420 с.
2. Гимазова Г.К., Елпидинский А.А. Изучение влияния микроволнового воздействия на деэмульгирующую эффективность реагентов // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №20. – С. 283-285.
3. Малзрыкова Е.В., Хуторянский Ф.М., Капустин В.М., Антоненко Т.А. Разработка высокоэффективного деэмульгатора на основе оксиэтилированных алкилформальдегидных смол для подготовки нефти на ЭЛТК НПЗ // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2011. – №11. – С. 3-11.
4. Reza Zolfaghari, Ahmadun Fakhru'l-Razi, Luqman C. Abdullah, Said S.E.H. Elnashaie, Alireza Pendashteh. Demulsification techniques of water-in-oil and oil-in-water emulsions in petroleum industry // Separation and Purification Technology. – 2016. - V. 170. – P. 377-407.
5. Evdokimov I.N., Losev A.P. Microwave Treatment of Crude Oil Emulsions: Effect of Water Content // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2014. - V.115. – P. 24-30.
6. Садриев А.Р., Миргалиев И.Р., Гречухина А.А., Морозов Г.А. Исследование воздействия микроволновой обработки на устойчивость нефтяных эмульсий // Технологии нефти и газа. – 2009. – №1. – С. 28-31.
7. ГОСТ 11851-2018 Нефть. Методы определения парафинов.
8. ГОСТ 11858-66 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания асфальтено-смолистых веществ.
9. ГОСТ 32139-2013 Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы.
10. Abdulbari H.A., Abdurahman N.H., Rosli Y.M., Mahmood W.K., Azhari H.N. Demulsification of petroleum emulsions using microwave separation method // International journal of the Physical Sciences. - 2011. - Vol. 6(23). - P. 5376-5382.
11. Тарасевич Б.Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. ИК-спектры основных классов органических соединений // Справочные материалы. – Москва. – 2012. – 55 с.
12. Nour A.H., Anisa A.N.I. Demulsification of water-in-oil (W/O) emulsion via microwave irradiation: An optimization, Scientific Research and Essays. – 2012. - Vol. 7(2). – P. 231-243.
13. Rajakovic V., Skala D. Separation of water-in-oil emulsions by freeze/thaw method and microwave radiation // Sep. Purif. Technol. – 2006. – №49. – P. 192-196.

14. Abdurahman H.N., Yunus R.M., Nour A.H. Demulsification of Water-in-Oil Emulsions by Microwave Heating Technology // World Academy of Science, Engineering and Technology. – 2010. – Vol. 4(2). – P. 144-149.
15. Huda S.N., Nour A.H. Microwave Separation of Water-In-Crude Oil Emulsions // International Journal of Chemical and Environmental Engineering. – 2011. – Vol. 2(1). – P. 36-41.

УДК 66.042  
МРНТИ 61.15.13

## ПОДБОР НАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ НАРУЖНОГО ПОКРЫТИЯ НЕФТЕПРОВОДОВ

<sup>1,2</sup>ИВАХНЕНКО А.П., <sup>3</sup>ЕСЕНТАЕВА А.А., <sup>4</sup>НИФОНТОВ Ю.А., <sup>3</sup>НАДИРОВ К.С.

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет;

<sup>2</sup>ИРЕС, Великобритания;

<sup>3</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова;

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский государственный морской технический университет

**Аннотация:** Приведены результаты по подбору минерального наполнителя при разработке состава наружного слоя на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП), растительных и минеральных наполнителей и технического госсипола (ТГ). Показано, что устойчивость полученных композитов является результатом повышения степени сшивки стабилизированного ПЭНП в присутствии ТГ. Структура молекул госсипола и его производных – многофункциональных соединений позволяет предположить, что они являются не только ловушками для радикалов, образующихся в результате термо- и фотоокислительной деструкции ПЭНП, но также изменяют надмолекулярную структуру композита за счет образования ими мостиковых связей между различными макрорадикалами. Это обстоятельство оказывает значительное влияние на основные физико-химические и механические свойства материала, что подтверждают проведенные исследования по определению степени сшивки полимерных композитов. Неорганические усиливающие наполнители обычно жестче матрицы и деформируются меньше ее, что ведет к общему уменьшению деформации матрицы, в особенности, вблизи частицы из-за наличия границы частица/матрица. Для установления причины пластично-хрупкого перехода, были определены функциональные зависимости, описывающие изменения верхнего предела текучести, напряжения вытяжки шейки и прочности при разрыве композитов при увеличении концентрации таурита.

Разработанный состав композиционного покрытия, масс %: растительный наполнитель – гузапая – 25; минеральный наполнитель – таурит (сланцевый) – 10; сэвилен – 5; технический госсипол – 3; ПЭНП – 50-55, полностью отвечает требованиям, предъявляемым ТУ 1390-003-11928001-01 «Трубы стальные с наружным антикоррозионным покрытием на основе экструдированного полиэтилена».

**Ключевые слова:** минеральные наполнители, трехслойное покрытие, нефтепроводы, коррозия, композиционный материал, полиэтилен низкой плотности, технический госсипол, стабилизатор

## SELECTION OF FILLERS FOR EXTERNAL COATING OF OIL PIPELINES

**Abstract:** The results of the selection of mineral filler in the development of the composition of the outer layer based on low-density polyethylene (LDPE), vegetable and mineral fillers and technical gossypol (TG) are presented. It is shown that the stability of the obtained composites is the result of increasing the degree of cross linking of the stabilized LDPE in the presence of TG. The structure of gossypol molecules and its derivatives, such as multifunctional compounds, suggests that they are not only traps for radicals formed as a result of thermal and photo oxidative destruction of LDPE, but

also lead to change of the supramolecular structure of the composite due to formation of bridging bonds between various macroradicals. This fact has a significant impact on the basic physical, chemical and mechanical properties of the material, which is confirmed by the study to determine the degree of crosslinking of polymer composites. Inorganic reinforcing fillers are usually stiffer than the matrix and deform less, which leads to an overall decrease in matrix deformation, especially near the particle due to the presence of the particle/matrix boundary. In order to establish the cause of the ductile-brittle transition, functional relationships were determined to describe changes in the upper yield strength, neck extension stress and tensile strength of composites with increasing taurite concentration.

The developed composition of the composite coating in mass %: vegetable filler-guzapaya-25; mineral filler-taurite (shale) - 10; savilen-5; technical gossypol-3; LDPE-50-55, fully meets the standard requirements 1390-003-11928001-01 "Steel pipes with external anti-corrosion coating based on extruded polyethylene".

**Key words:** mineral fillers, three-layer coating, oil pipelines, corrosion, composite material, low-density polyethylene, technical gossypol; stabilizer

### МҰНАЙ ҚҰБЫРЛАРЫНЫҢ СЫРТҚЫ ЖАБЫНЫ ҮШІН ТОЛТЫРҒЫШТАРДЫ ІРІКТЕУ

**Аңдатпа:** Тығыздылығы төмен полиэтилен негізіндегі сыртқы қабаттың құрамын (ТППЭ), өсімдік және минералдық толтырғыштарды және техникалық госсиполды (ТГ) әзірлеу кезінде минералды толтырғыштарды таңдау бойынша нәтижелер келтірілген. Алынған композиттердің тұрақтылығы ТГ қатысуымен тұрақтандырылған ТППЭ тігу дәрежесін арттыру нәтижесі болып табылатыны көрсетілген. Госсипол молекулаларының құрылымы және оның туындылары – көпфункционалы қосылыстар – олар ТППЭ термо-және фото тотығу деструкциясы нәтижесінде пайда болатын радикалдар үшін тұзақтар ғана емес, сонымен қатар әртүрлі макрорадикалдардың арасындағы көпірлік байланыстардың пайда болуы есебінен композиттің молекулалық үстіндегі құрылымын өзгертеді деп болжауға мүмкіндік береді. Аталған жағдай материалдың негізгі физика-химиялық және механикалық қасиеттеріне айтарлықтай әсер етеді, бұл полимерлік композиттерді тігу дәрежесін анықтау бойынша жүргізілген зерттеулерді растайды. Органикалық емес күшейткіш толтырғыштар, әдетте матрицаның қатты және одан азырақ деформацияланады, бұл матрицаның деформациясының жалпы азаюына әкеледі, әсіресе бөліктердің/матрицаның шектерінің болуына байланысты бөліктерге жақын. Пластикалық – сынғыштығының себептерін анықтау үшін ағымдылық шегінің өзгеруін, мойынның тартылу кернеуін және таурит концентрациясы ұлғайған кезде композиттер үзілген сәтте беріктігін сипаттайтын функционалдық тәуелділіктер анықталды.

Композициялық жабынның әзірленген құрамы, масс %: өсімдік толтырғыш-козапая-25; минералды толтырғыш – таурит (тақтатас) - 10; сәвилен – 5; техникалық госсипол – 3; ТППЭ – 50-55, ТШ 1390-003-11928001-01 “Экструдирленген полиэтилен негізіндегі коррозияға қарсы сыртқы жабыны бар болат құбырлар” қойылатын талаптарға толық жауап береді.

**Түйінді сөздер:** минералды толтырғыштар, үш қабатты жабын, мұнай құбырлары, коррозия, композициялық материал, тығыздығы төмен полиэтилен, техникалық госсипол; тұрақтандырғыш

## Введение

Из известных вариантов антикоррозионных покрытий для защиты нефтепроводов от коррозии большое место занимает изоляция полимерными материалами [1,2]. На сегодняшний день на рынке Казахстана имеется достаточно широкий ассортимент полиолефиновых материалов, в том числе композиционных, но производство большинства из них базируется на импортном сырье. Имеющиеся отечественные (казахстанские) материалы до сих пор не получили сертификационный допуск к ответственным трубопроводам. Однако необходимость успешно конкурировать с зарубежными аналогами и постоянно растущий уровень технических требований на пути к индустриально-инновационному развитию вызывает необходимость совершенствования и расширения ассортимента композиций, применяемых в заводской и трассовой антикоррозионной изоляции стальных нефтепроводов. Один из путей решения этой задачи – разработка новых современных материалов на базе отечественного сырья [3]. Достижение оптимального соотношения между стоимостью и эффективными характеристиками полимерного композиционного материала достигается за счет применения доступных и недорогих наполнителей, в том числе отходов масложирового производства, использование которых

позволяет снизить не только себестоимость продукции [4].

Целью данной работы является выбор минерального наполнителя для состава наружного слоя трехслойного покрытия, который предлагается использовать для защиты нефтепроводов от коррозии.

Материалы. В качестве минерального и растительного наполнителя для состава наружного слоя трехслойного покрытия, предлагается использовать для защиты нефтепроводов от коррозии растительного сырья технический госсипол, таурит.

В качестве объектов исследования использованы ПЭНП в соответствии с ГОСТ 16337-77, технический госсипол – побочный продукт масложировой промышленности, таурит (кокусский шунгит) – природный наноструктурированный композит, состоящий в основном из углеродистого вещества, близкого к графиту, и микрокристаллического кремнезёма, сэвилен – сополимер этилена с винилацетатом (сэвилен 11104-030) [5,6].

## Результаты и их обсуждение

Добавление к композиционным материалам минеральных наполнителей оказывает разное действие на термостабильность композита (таблица 1).

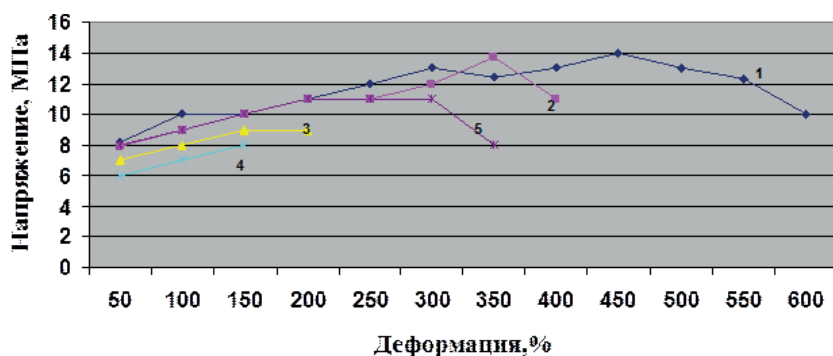
**Таблица 1 – Влияние природы минерального наполнителя на термостойкость композитов состава «ПЭНП+ стабилизатор + гузапая»**

| Минеральный наполнитель    | Изменение поглощения кислорода, % от композита полиэтилен + стабилизатор (0,5 масс.%) + растительный наполнитель (20%). |             |                      |                      |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------------|----------------------|
|                            | Фенил-β-нафтил-амин                                                                                                     | Дифениламин | Тетраметил-пиперидин | Технический госсипол |
| Сульфат бария              | -3                                                                                                                      | -6          | -7                   | -3                   |
| Асбестовые волокна         | -10                                                                                                                     | +2          | -20                  | -2                   |
| Полевой шпат               | +4                                                                                                                      | +3          | +5                   | -12                  |
| Барит                      | +3                                                                                                                      | -5          | -6                   | -13                  |
| Оксид алюминия             | -2                                                                                                                      | +21         | +21                  | +46                  |
| Таурит сланцевый           | +26                                                                                                                     | +22         | +15                  | +48                  |
| Технический углерод (сажа) | -12                                                                                                                     | +24         | +20                  | +51                  |

Минеральные наполнители добавлялись к композициям в присутствии стабилизаторов полимеризации: фенил-β-нафтил-амин; Проведенные нами исследования показывают, что в присутствии технического госсипола такие наполнители, как сульфат бария и асбестовые волокна практически не влияют на изменение стабильности композита. Минеральные наполнители – полевой шпат и барит ухудшают термостойкость полимера и только добавки порошка оксида алюминия  $Al_2O_3$ , таурита и технического углерода, повышают стабильность композита на 46, 49% и 51-52% соответственно по сравнению с составом «ПЭНП + ТГ + растительный наполнитель», причем в данном составе композита действие ТГ на 50-70% превышает действие остальных исследованных стабилизаторов, что может быть следствием возникновения синергетического

эффекта за счет образования новых прочных связей и изменения структуры материала в целом: молекулы госсипола и его производных, занимая свободные объемы аморфной фазы полимера, приводят к изменению надмолекулярной структуры полимерной матрицы. Эти функции, достигаемые замещением или модификацией существующих наполнителей, расширяют диапазон их применения.

При исследовании свойства композитов состава «ПЭНП + ТГ (0,5 масс. %) + гузапая (10 масс. %)» показано, что при введении в него различных минеральных наполнителей с диаметром частиц порядка 10-90 мкм, исходный композит деформируется с образованием слабо выраженной шейки, и его разрыв происходит на стадии ориентационного упрочнения (рисунок 1, кривая 1).



Состав композита:  
ПЭНП + ТГ (1,5 масс. %) + гузапая (10 масс. %). Концентрация минерального наполнителя, об. долей: 1 – 0, 2 – 0,1, 3 – 0,2, 4 – 0,3, 2-4 – таурит сланцевый, 5 – барит

Рис. 1 – Кривые растяжения композита в присутствии наполнителей

Согласно теоретическим предпосылкам [7], в композитах на основе этого полимера с увеличением концентрации наполнителя должен реализоваться пластично-пластичный переход. Действительно при введении наполнителя в количестве до 0,2 объемных долей композит сохраняет пластичные свойства (кривые 2, 3), но при содержании наполнителя более 0,3 объемных долей он разрушается в момент формирования шейки, то есть квазихрупко (кривая 4).

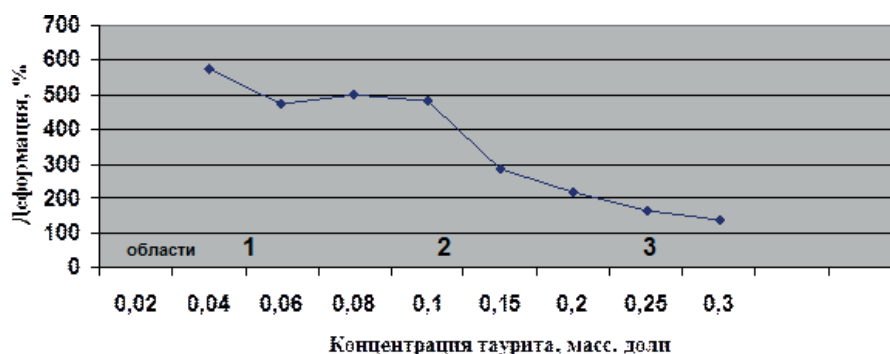
Таким образом, при увеличении концентрации таурита происходит смена деформационного поведения материала от пластичного к квазихрупкому разрыву, несмотря на то, что матричный полимер обладает характеристиками, необходимыми для пластич-

но-пластичного перехода. Аналогичные зависимости получены при использовании других наполнителей. Выявлено влияние природы наполнителя на момент образования шейки – наполнители расположились в следующей последовательности: асбестовые волокна, барит, сульфат бария, полевой шпат, оксид алюминия, таурит, сажа.

Зависимость деформации при разрыве композитов от концентрации таурита представлена на рисунке 2. Ее можно условно разделить на три области. В первом интервале до концентрации наполнителя 0,06 об. долей композиты сохраняют высокую деформируемость, а в материале при растяжении образуется и распространяется шейка. Во втором интервале концентраций от 0,06 до 0,18 об.

долей композиты разрушаются на стадии роста шейки. В третьем диапазоне при концентрациях выше 0,20 об. долей материал разру-

шается при формировании шейки, и значения деформации невелики.



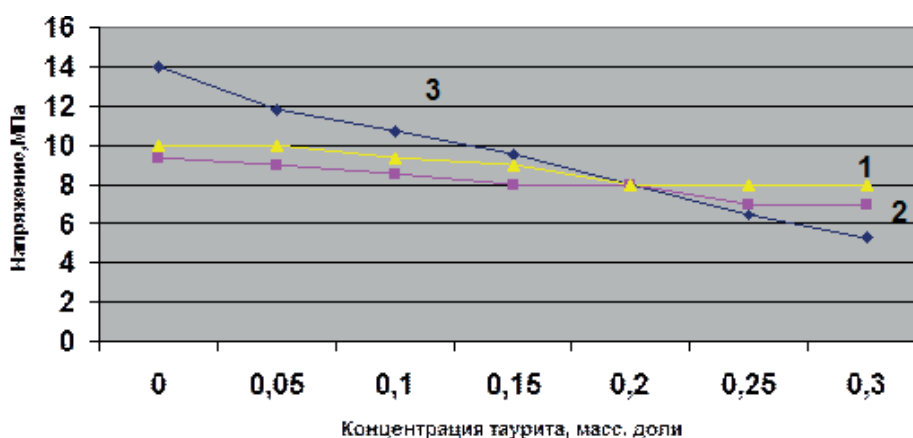
Состав композита, %: ПЭНП -50; ТГ -3; гузапая - 25; сэвилен -5. 1 – область образования и устойчивого роста шейки, 2 – неустойчивый рост шейки, 3 – квазихрупкий разрыв

Рис. 2 – Зависимость деформации при разрыве от концентрации сланцевого таурита в составе композита

Такие же зависимости наблюдаются при использовании других наполнителей, однако, таурит обеспечивает более высокие показатели качества композита. Согласно результатам микроскопического анализа процесса деформирования композита, содержащего 0,03 об. долей таурита, отслоение крупных частиц размером 80-110 мкм от матричного полимера осуществляется при деформации 30% (до начала пластического течения матричного полимера). Образование пор вблизи частиц с меньшим диаметром не наблюдается до 40% деформации. При дальнейшем ее увеличении мелкие частицы также отслаиваются от полимерной матрицы. Следовательно, меньшую скорость снижения верхнего предела теку-

чести при повышении степени наполнения композита можно связать с присутствием до начала пластического течения в материале доли не отслоенных от матричного полимера частиц [7,8].

На рисунке 3 приведены экспериментальные зависимости, описывающие прочность, верхний и нижний пределы текучести композитов от объемной доли таурита. Малое изменение верхнего и нижнего пределов текучести материалов с увеличением концентрации наполнителя приводит к тому, что в системе на основе композита отсутствуют условия для реализации пластично-пластичного перехода, но есть условия для реализации пластично-хрупкого.



Состав композита, %: ПЭНП – 50; ТГ -3; гузапая – 25; сэвилен – 5.

Рис. 3 – Экспериментальные концентрационные зависимости верхнего (1), нижнего пределов текучести (2) и прочности (3) композита с тауритом

Несмотря на несоответствие деформационного поведения композитов на основе полиэтилена с теоретически ожидаемым, оно определяется минимальным параметром растяжения композита. Если минимальным параметром является нижний предел текучести, материал деформируется с образованием шейки, если минимальным параметром является прочность, он разрушается при ее формировании.

При графическом анализе концентрационных зависимостей прочности, верхнего и нижнего пределов текучести материалов было установлено, что, в зависимости от условий, в материале могут осуществляться и пластично-хрупкий и пластично-пластичный переходы вне зависимости от скорости уменьшения нижнего предела текучести. Важным параметром является доля отслоившихся частиц. Вероятность сохранения пла-

стичных свойств или повышение хрупкости композитов будет определяться уровнем адгезионного взаимодействия между матрицей и жесткими частицами.

В таблице 2 приведен сравнительный анализ использования вышеперечисленных наполнителей в составе разрабатываемого композиционного состава, выполненный с целью выбора оптимального варианта.

После сопоставления и анализа полученных данных, в качестве наиболее перспективного минерального наполнителя из числа исследованных был выбран таурит. Использовать таурит в составе антикоррозионной композиции нами считается перспективным. Необходимо отметить, что шунгиты Коксуского месторождения относятся к среднеуглеродистым шунгитистым породам по содержанию углерода (до 20 %) [9,10].

**Таблица 2 – Сравнительный анализ наполнителей композитов состава «ПЭНП – 50-55; ТГ – 3; сэвилен – 5; гузапая – 25»**

| Наполнитель                                                 | Свойства композита, % от композита без наполнителя* |                         |                             |                                                |                              |                 |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------|------------------------------|-----------------|
|                                                             | Модуль упругости                                    | Прочность на растяжение | Повышение вязкости расплава | Каталитическое действие на процесс отверждения | Снижение брака от деформаций | Износостойкость |
| Технический углерод                                         | -                                                   | -                       | +                           | -                                              | б/и                          | +               |
| Оксид алюминия                                              | +                                                   | б/и                     | +                           | -                                              | +                            | +               |
| Таурит карбонатный                                          | +                                                   | +                       | +                           | +                                              | +                            | +               |
| Таурит сланцевый                                            | +                                                   | +                       | +                           | +                                              | +                            | +               |
| + - улучшение свойства, - - ухудшение, б/и – без изменения. |                                                     |                         |                             |                                                |                              |                 |

В настоящее время авторами работ [11,12] проведена научная оценка результативности природоохранных мероприятий, проводимых предприятиями РК, и широко исследована возможность применения таурита в решении задач по устойчивому развитию природно-промышленных комплексов.

Нами в работе был использован таурит сланцевый следующего состава по основным компонентам (из результатов минералого-петрографического анализа), %: С – 5,8; SiO<sub>2</sub> – 68,1; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 12,5; CaO – 0,3; K<sub>2</sub>O – 2,2; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 3,1; Na<sub>2</sub>O – 0,21; MgO – 0,98; TiO<sub>2</sub> – 0,22; Mn

– 0,15 и таурит карбонатный, %: С – 18,0; SiO<sub>2</sub> – 42,6; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9,3; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 4,0; K<sub>2</sub>O – 2,7; CaO – 31,1; Na<sub>2</sub>O – 0,78; MgO – 2,12; TiO<sub>2</sub> – 0,45; Mn – 0,05. Макроскопический анализ обоих видов таурита показал плотную, местами пористую породу черного цвета с серым отливом, в случае карбонатного таурита – со светло-серым отливом, микроскопический анализ обнаружил слоисто-сланцеватые текстуры с многочисленными мерцающими включениями мельчайших чешуек светлой слюды, что характерно также и для шунгитов других месторождений. Уникальность свойств таури-

та и его полная экологическая безопасность делают его незаменимым при производстве строительных материалов, резиновых изделий, автомобильных шин, изделий из пластмасс, красок от серого до черного цвета, для решения экологических проблем при ликвидации экологических катастроф, очистки воды, в сельском хозяйстве в качестве минеральной подкормки и регулятора состава почвы, в металлургии в качестве флюсов и восстановителя, для использования в малогабаритных источниках постоянного тока и т.д.

Из всех описанных эффектов (повышение ударной прочности и жесткости, улучшение

реологических характеристик, увеличение стойкости к воздействию внешней среды, высокая стойкость к перепадам температуры, долговечность, сопротивление износу, придание изделиям эффекта «массивности», улучшение электроизолирующих и диэлектрических характеристик и т.д.) нами исследованы те свойства, которые имеют первостепенное значение для создания внешнего защитного слоя в системах многофункциональных антикоррозионных покрытий для работы трубопроводов и оборудования нефтехимической промышленности. Полученные результаты приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Влияние добавки сланцевого таурита на некоторые эксплуатационные свойства композита**

| Концентрация сланцевого таурита                                                                                                                        | Возрастание параметра, в % от исходного композита %: ПЭНП - 50-55; ТГ -3; сэвилен-5; гузапая -25 |   |    |    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|----|
|                                                                                                                                                        | 1*                                                                                               | 2 | 3  | 4  | 5  |
| 2                                                                                                                                                      | 3                                                                                                | 2 | 7  | 4  | 3  |
| 4                                                                                                                                                      | 9                                                                                                | 4 | 14 | 6  | 8  |
| 6                                                                                                                                                      | 15                                                                                               | 7 | 23 | 12 | 14 |
| 8                                                                                                                                                      | 15                                                                                               | 6 | 22 | 14 | 14 |
| 10                                                                                                                                                     | 10                                                                                               | 3 | 19 | 17 | 18 |
| 12                                                                                                                                                     | 7                                                                                                | - | 10 | 22 | 22 |
| * 1 - ударная прочность, 2 - стойкость к воздействию внешней среды, 3 - стойкость к перепадам температуры, 4 - долговечность, 5 - сопротивление износу |                                                                                                  |   |    |    |    |

Таким образом, из полученных данных видно, что добавка таурита к композициям приводит к улучшению всех показателей, причем такие характеристики, как долговечность, сопротивление износу в исследованном интервале концентраций добавок наполнителя тем выше, чем выше концентрация таурита. Следует отметить, что повышение содержания минерального таурита выше 10% является нецелесообразным, ввиду снижения показателей ударной прочности и стойкости к перепадам температуры. Установлено, что вид таурита существенного влияния на изменение качества композита не оказывает. Комплексные исследования показали, что таурит является синергистом по взаимодействию с некоторыми компонентами разработанной композиции. Использование таурита в определенном сочетании с

техническим госсиполом приводит к повышению прочности, износостойкости, также улучшению термоизоляционных, огнеупорных и других свойств.

### Выводы

Разработанный состав композиционного покрытия, масс %: растительный наполнитель – гузапая - 25; минеральный наполнитель – таурит (сланцевый) - 10; сэвилен – 5; технический госсипол – 3; ПЭНП – 50-55, полностью отвечает требованиям, предъявляемым ТУ 1390-003-11928001-01 «Трубы стальные с наружным антикоррозионным покрытием на основе экструдированного полиэтилена», а по ряду показателей покрытие превосходит нормы по требованиям данных технических условий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мустафин Ф.М. Защита трубопроводов от коррозии / М.Ф. Мустафин, Л.И. Быков, А.Г. Гумеров и др. //Том 2: Учебное пособие. СПб.: ООО «Недра», 2007. – 708 с.
2. Низьев С.Г. О противокоррозионной защите магистральных и промысловых трубопроводов современными полимерными покрытиями. //Коррозия «Территория нефтегаз», 2009. – С.9-10.
3. Научно-техническая программа «Разработка перспективных новых материалов различного назначения на 2006-2008 годы». – Астана, 2006.
4. Мэттьюз Ф., Ролингс Р. Композитные материалы. Механика и технология. – М.: Техносфера. – 2004. – 408 с.
5. Надиров К.С., Жантасов М.К., Бимбетова Г.Ж., Надирова Ж.К., Бажиров Т.С. Выбор метода стабилизации полиэтилена. Проблемы и инновации современного общества. Материалы 7-ой научно-практической конференции с международным участием. – Астрахань, 2015. – С.341-345.
6. Сакибаев Б.А., Бимбетова Г.Ж., Сакибаева С.А. Разработка состава наружного слоя трехслойного покрытия для защиты нефтепроводов от коррозии. Проблемы и инновации современного общества. Материалы 6-ой научно-практической конференции с международным участием. – Астрахань, 2014. – С.305-309.
7. Пономарева Н.Р. Структурно-механические особенности деформационного поведения композиционных материалов на основе полиолефинов и минеральных частиц. Автореферат канд. хим. наук, 02.00.01 – высокомолекулярные соединения. – Москва: МГПИ, 2010. – 20 с.
8. Караева А.А. Условия образования опасных дефектов в дисперсно-наполненных композитах на основе пластичных полимеров. Автореферат канд. физико-мат. наук. – Москва. 2009.
9. Рафиенко В.А. Технология переработки шунгитовых пород. – М.: Гео, 2008. – 214 с.
10. Мусина У.Ш., Самонин В.В. Углерод-минеральный состав шунгитовых пород коксуского месторождения Казахстана. // Известия СПбГТИ(ТУ). – 2013. №19(45). – С. 39-41.
11. Нуркеев С.С., Мусина У.Ш., Казова Р.А. и др. Научная оценка результативности природоохранных мероприятий, проводимых предприятиями республики». Отчет НИР (итоговый за 2011-2012 г.г.) № 9-739. Договор с МООС РК № 05-03-211 от 13.09.2011. Программа 003 «Научные исследования в области охраны окружающей среды». – Астана, 2012. – 401 с.
12. Мусина У.Ш., Щербинин В.П., Шпаков А.Ю., Шамбинов Е.К., Сапаков К.К., Макаров В.И. Коксуский шунгит как природный регулятор баланса геотехнических экосистем. // II Экологический форум «Экология урбанизированных территорий». (18-20 мая 2010 г., г. Усть-Каменогорск). Доклады. Усть-Каменогорск: ВКГТУ. – 2010. – С. 27-31.

УДК 622.063.543  
МРПТИ 52.47.15

## THE FIRST DEVIATED WELLBORE UNDERREAMING WHILE CLOSED HOLE CIRCULATION DRILLING

SATIEV N.B., TIKEBAEV T.A.

**Abstract:** *Drilling in the western part of the Karachaganak field (operator - Karachaganak Petroleum Operating b.v., KPO) presented such additional difficulties to the project as drilling horizontal wells with a low range of permissible changes in the density of the mud, catastrophic mud loss and high fracturing of the rocks. From the experience of drilling neighboring vertical wells in the Soviet era in this area, it became clear that the mud loss cannot be eliminated by conventional methods, such as pumping LCM or cementing.*

*Uncontrolled loss of drilling fluid prompted the use of adaptive drilling methods for further development of the field. The application of the pressure-controlled drilling method, in particular CHCD method, is not new at the Karachaganak field. "Drilling without returns" was successfully introduced, but a rotating preventer (rotating control device - RCD) was used for drilling without monitoring the well trajectory. It was imperative for the Operator to drill a horizontal well to increase the interval of the reservoir, while ensuring a possible increase in flow rate.*

*It was important for the company providing the directional drilling services to make sure that the technologies used would be applicable in a CHCD environment. Particular attention and approach are necessary for well planning using a rotary steerable system (Rotary Steerable System - RSS), telemetry and logging tools, the functionality of which in drilling conditions without returning the drilling fluid is associated with difficulties in transmitting telemetry data, controllability, subsequent maintenance of downhole equipment, and with the analysis of hydraulic calculations.*

*Close cooperation between the Operator and the service contractor has allowed to increase the efficiency of drilling operations and make significant changes to the design of the bottom hole assembly (BHA) and selection of the optimum bit. Using a special software platform, a team of engineers was able to simulate the possible behavior of the bit, underreamer, and BHA as a whole when drilling hard formation.*

*To prevent fatigue stress of BHA elements, at the planning stage special attention was also given to analysis of bending stresses of BHA at the expected dog leg severity of 4-8 ° / 30 m. The world's first enlargement of the wellbore from 6 to 8 inches in the build up section under conditions of CHCD was successfully accomplished thanks to best practices and technologies.*

**Key words:** *Drilling, Oilfield, LCM, CHCD, BHA elements, fluid, Rotary*

## ПЕРВАЯ НАКЛОННАЯ РАСШИРЕНИЯ СТВОЛА СКВАЖИНЫ ПРИ БУРЕНИИ БЕЗ ВЫХОДА ЦИРКУЛЯЦИИ

**Аннотация:** *Бурение в западной части Карачаганакского месторождения (оператор – Karachaganak Petroleum Operation b.v., КРО) представляло такие дополнительные трудности проекту, как бурение горизонтальных скважин с низким диапазоном допустимых изменений плотности бурового раствора, катастрофические потери бурового раствора и высокий разрыв пласта пород. Из опыта бурения соседних вертикальных скважин в советское время в этой области стало ясно, что поглощение бурового раствора не может быть устранено обычными методами, такими как прокачка материала для ликвидации поглощений (LCM) или*

цементирование. Неконтролируемые потери бурового раствора побудили к использованию адаптивных методов бурения для дальнейшего освоения месторождения. Применение управляемого давлением способа бурения, в частности метода бурения без выхода циркуляции, который является не новым на Карачаганакском месторождении. «Бурение без возврата» было успешно введено, но для бурения без наблюдения траектории скважины использовался вращающийся превентор (вращающееся герметизирующее устройство - ВГУ). Оператору необходимо бурить горизонтальную скважину для увеличения интервала пласта, обеспечивая при этом возможное увеличение расхода бурового раствора.

Для компании, предоставляющей услуги направленного бурения было важно убедиться в том, что используемые технологии будут применяться в среде бурения без выхода циркуляции. Особое внимание и подход необходимы для планирования скважин с использованием роторно-управляемая система (РУС), телеметрических и каротажных приборов, функциональность которых в условиях бурения без возврата бурового раствора связана с трудностями передачи телеметрических данных, управляемостью, последующим обслуживанием скважинного оборудования, а также с анализом гидравлических расчетов.

Тесное сотрудничество между Оператором и сервисным подрядчиком позволило повысить эффективность буровых работ и внести существенные изменения в компоновке низа бурильной колонны (КНБК) и выбор оптимального долота. Используя специальную программную платформу, команда инженеров смогла смоделировать возможное поведение долота, недоделок и КНБК в целом при бурении твердого пласта.

Для предотвращения перенапряжения элементов КНБК на этапе планирования, особое внимание было также уделено анализу напряжений в связи с изгибом КНБК при ожидаемой интенсивности искривления ствола на 4-8 °/30 м. Первое в мире расширение ствола скважины с 6 до 8 дюймов в интервале набора кривизны в условиях бурения без выхода циркуляции было успешно выполнено благодаря передовым практикам и технологиям.

В данном исследовательском документе обсуждаются последние результаты направленного бурения без выхода циркуляции с расширением ствола скважины, особый подход к осуществлению аналогичной операции в процессе планирования и обмен опытом.

**Ключевые слова:** бурение, нефтяное месторождение, ликвидации поглощений, РУС, КНБК, флюид, ротор

## АЙНАЛЫМСЫЗ БҰРҒЫЛАУ ТӘСІЛІ БАРЫСЫНДАҒЫ ҰҢҒЫМА ОҚПАНЫН АЛҒАШҚЫ РЕТ КӨЛБЕУ БҰРҒЫЛАУЫ ЖӨНІНДЕГІ ЗЕРТТЕУ ЖҰМЫСЫ

**Аңдатпа:** Қарашығанақ кенорнының батыс бөлігінде ұңғымаларды бұрғылау барысында (оператор – Karachaganak Petroleum Operation B.V., КРО) жуу ерітіндісі тығыздығының рұқсат етілген көрсеткішінің төменгі диапазоны бар кәлденең ұңғымаларды бұрғылау кезінде жуу ерітіндісінің апат әсерінен жоғалуы және тау жыныстары қабатының белсенді жарылуы сияқты факторлар жобаны іске асыруға қосымша қиындықтар тудызды. Кеңес уақытындағы көршілес тік ұңғымаларды бұрғылау тәжірибесіне сүйене отырып, бұрғылау ерітіндісінің жұтылуын жою үшін материалды айдау (LCM) немесе қосымша цементтеу сияқты қарапайым әдістер қиындықтарды жоюға көмектеспейтіндігі анықталды.

Бұрғылау ерітіндісінің бақыланбайтын шығындарының әсері кенорнын одан әрі игеру үшін бұрғылаудың қалыптасқан әдістерін пайдалануға мүмкіндік бермеді. Қысыммен басқарылатын бұрғылау әдісін пайдалану, атап айтқанда, Қарашығанақ кенорнында ерітіндінің айналымынсыз бұрғылау әдісін қолдануға басымдылық беріледі. «Ерітіндінің қайтарымынсыз бұрғылау» әдісі сәтті іске қосылды, бірақ ұңғыма траекториясын қадағалаусыз бұрғылау

үшін айналмалы превентор (айналмалы бітегіш құрылғы – АБҚ) пайдаланылды. Оператор жер қыртысы аралығын арттыру үшін көлденең ұңғыманы бұрғылау қажет, бұл ретте бұрғылау ерітіндісі шығынының ұлғаю ықтималдығы қамтамасыз етіледі.

Бағытталған бұрғылау қызметін ұсынатын компания үшін пайдаланылатын технологиялардың ішінде бұрғылау ерітіндісінің айналымынсыз бұрғылауды қолданудың тиімділігіне көз жеткізу маңызды болды. Роторлы-басқарылатын жүйені (РБЖ) пайдалана отырып ұңғымаларды жоспарлау үшін телеметриялық және каротаждық аспаптарға, ерітіндіні қайтарусыз бұрғылау жағдайында телеметриялық деректердің беру қиындықтары мен олардың қызметіне ұңғыма жабдықтарының одан әрі де қызмет көрсетуіне, сондай-ақ гидравликалық есептерді дұрыс талдауға баса назар аудару көзделді.

Оператор мен сервистік мердігер арасындағы тығыз ынтымақтастық бұрғылау жұмыстарының тиімділігін арттыруға және бұрғылау колоннасының төменгі жинақтауы (БКТЖ) елеулі өзгерістер енгізуге және оңтайлы қашауды таңдауға мүмкіндік берді. Арнайы бағдарламалық платформаны пайдалана отырып, инженерлер командасы қатты қабатты бұрғылау кезінде қашаудың мүмкіндігін БҚЖТ кемшіліктерін модельдей алды.

Жоспарлау кезеңінде БКТЖ элементтерінің асқан кернеуін болдырмау үшін, оқпанның 4-8 %/30 м қисаюы кезінде күтілетін БКТЖ иілуіне байланысты кернеуді талдауға айрықша көңіл бөлінеді.

Осы мақалада ұңғыманың оқпанын кеңейте отырып, айналыстан шықпастан бағытталған бұрғылаудың соңғы нәтижелері, жоспарлау және тәжірибе алмасу процесінде ұқсас операцияларды жүзеге асырудың ерекше тәсілі талқыланады.

**Түйінді сөздер:** бұрғылау, мұнай кенорны, жұтылуды жою, РБЖ, БҚЖТ, сұйықтық, ротор



Figure 1 – Location of the Karachaganak field

## Introduction

The Karachaganak field is located on the territory of Kazakhstan in the northern part of the Caspian basin (Fig. 1). The field was discovered in 1979 and was put into development in 1984. Today, the Karachaganak field is one of the largest natural gas and condensate fields in the world.

The deposit of the Karachaganak field is a carbonate rock, characterized by fracturing, high caving. As a result of this, mud loss is often observed during drilling.

In some cases, it is possible to eliminate the drilling fluid loss, however, in other cases, the mud loss becomes catastrophic up to full mud loss.

Standard practice for dealing with mud loss is to attempt to isolate problem areas before

resuming drilling by injecting plugging material (LCM's) and / or setting cement plugs.

However, these methods are often ineffective and lead to difficulties due to the size of caverns, problematic zones with a heterogeneous rock structure, located next to each other or simply because of unjustified costs. Catastrophic drilling fluid loss / loss of circulation leads to significant costs (due to downtime of the rig and the loss of a large amount of drilling fluid).

In such a situation, a closed hole circulation drilling (CHCD) has proven to be more efficient and allows drilling in productive formations. The method of closed hole circulation drilling allows to drill in the zone of loss of circulation of the drilling fluid by controlling the pressure in the annulus and pumping a special mud to fill the loss zones (Fig. 2).

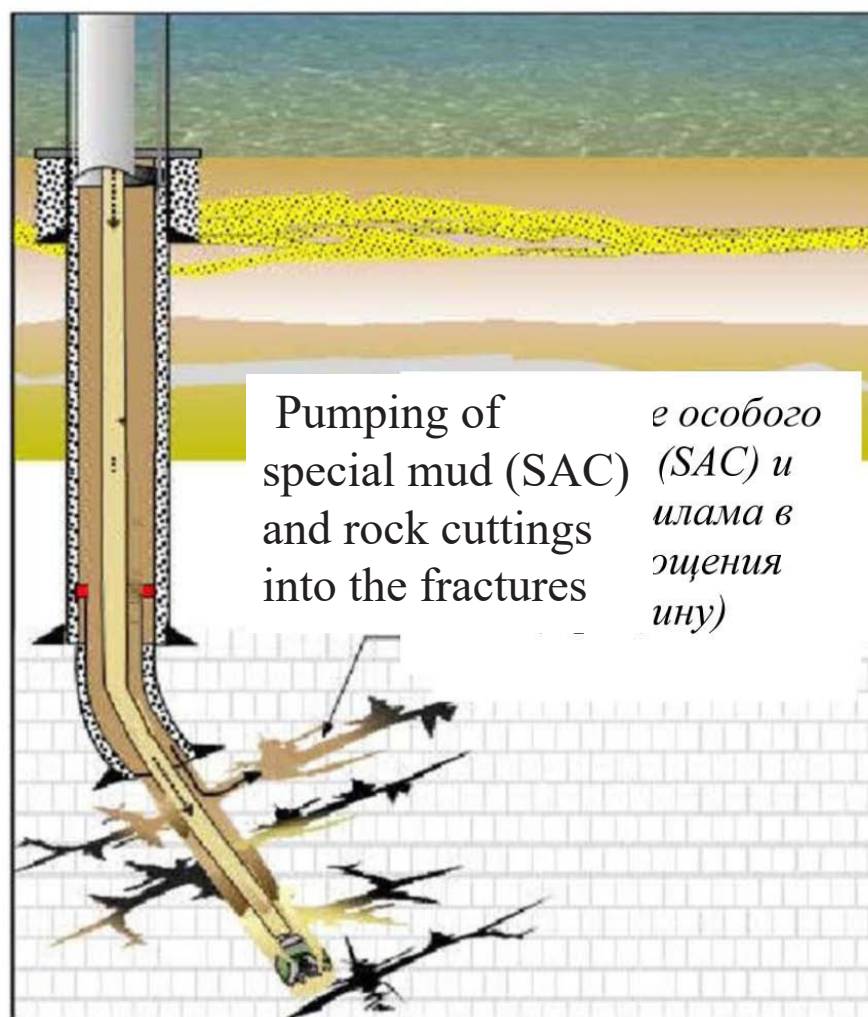


Figure 2 — Closed hole circulation drilling process

The closed mud circulation system includes a rotary circulating device (RCD), which is installed on the BOP stack. RCD provides sealing of the wellhead during drilling while rotating and drill string reciprocation, while sealing the annular between the wellhead and the drill string.

When drilling using this system, a special fluid for filling the loss zones (water treated with a chemical agent) is pumped through the drill string to the bottom of the well as drilling mud, which ensures the removal of drill cuttings and injection into the loss zones. The annulus is sealed at the wellhead, and the drilling fluid is continuously pumped down through the drill string to the drill bit to clean the bottom of the drill cuttings and pump it into the fractured rock. The fluid density in the annular space (LAM), added to the wellhead pressure in the annulus, is equal to the reservoir pressure in the upper part of the mud loss zone. The density of fluid should only be slightly lower than the equivalent density of the drilling fluid to maintain the correct balanced reservoir pressure.

In the event that the loss zone is located below the top of the formation, a reduced hydrostatic pressure is created on the top of formation, which is recorded as positive overpressure at the surface. Positive overpressure serves as an indicator and increases with gas migration.

Gas migration is controlled by injection from the surface into the well. The rate of injection depends on the type of injected drilling fluid - based on water or oil, permeability of the formation and pressure drop.

CHCD is used in the event of a successful injectivity test. If the fluid is not able to penetrate into the fractured-pore spaces, then in case of catastrophic loss, to complete the drilling of the well section, alternative options should be used (lining with casing strings, sidetrack drilling, pumping plugging materials). It should be noted that before planning CHCD as an alternative, it is necessary to analyze the construction of a geological model of the formation in order to ensure successful completion of the operation.

### Reservoir description and circulation loss history

Due to the complex geological structure of the Karachaganak field, there are numerous risks when drilling wells. By risks is meant a reservoir composed of carbonate rocks and three salt domes, lithology subject to high overburden stress. In general, the geological structure of the field can be divided into two separate geological regions: in the west - the western elevation and in the east – main elevation, separated by a saddle-shaped. The formation is characterized by lithological heterogeneity. The reservoir consists of carbon-early Permian carbonates, characterized by natural fractures, mainly in the western part of the field. (Borromeo et al, 2010). The maximum height of the hydrocarbon formation is 1750 m. The reservoir consists of three development objects, based on the component composition of the hydrocarbon and the stratigraphic section of the field (Fig. 3).

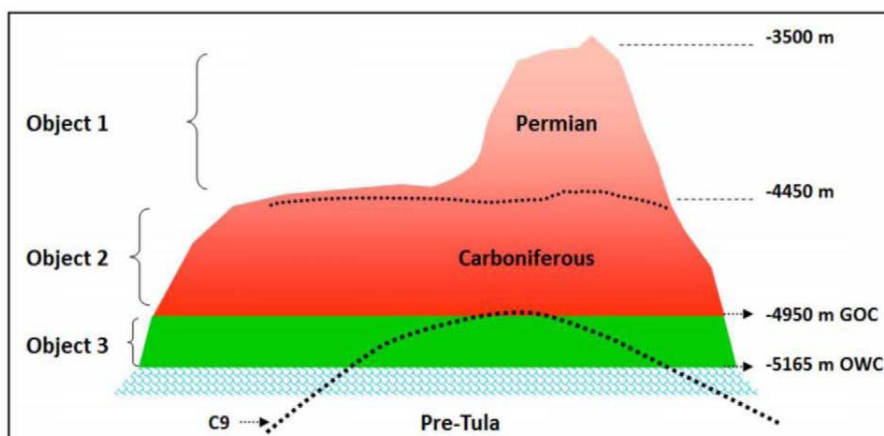


Figure 3 — Development of Karachaganak field Objects

The reservoir contains multiphase multicomponent mixtures, where Production Object 1 is a reef peak which deposition age refers to the Upper Permian period and is located under the anhydrite overburden. This area contains gas-depleted condensate. Production Object 2 consists of an upper portion of the coal-bearing structure, which contains gas with condensate. Production Object 3 is a part of the reservoir between a depth of 4950 m below sea level (estimated gas-oil contact) and a water-oil contact at a depth of 5150 m below sea level.

Part of the deposit at the Karachaganak field on the western side of the coal-bearing geological structure has a high coefficient permeability at low porosity. This is confirmed by the cases of loss of circulation in the wells in the second operational facility of the western elevation, where the presence of high permeability was observed within this area. Also, according to core samples taken from wells previously drilled in this region, a large number of stromatolite limestones of biological origin and sedimentary rocks with a high content of carbonate sedimentary grains indicated the presence of a sedimentation system in the Production Object 2.

The main reason of the significant loss of fluid circulation in the western part of the field is the inability of the carbonate formation to maintain the hydrostatic pressure of the mud column, the density of which is calculated based on the pressure at the upper point in the open hole. In highly fractured carbonate rocks, catastrophic mud losses occur due to the fact that the hydrostatic pressure of the mud column prevails over the reservoir pressure with increasing vertical depth. Since the pressure in the formation increases due to the gas-oil gradient, and in the wellbore due to the gradient of the drilling fluid, the uniform porous pressure of the formation has a maximum value with high fracturing. As far as the rate of penetration progresses, the pore pressure decreases, which leads to a steady increase in the weight of the liquid column, the pressure of which at the bottom of the formation becomes higher than the pore pressure. As the vertical depth increases, the drilling fluid goes into the formation, and fluids from the upper zone of the

formation near the well may enter the well. When sufficient vertical depth is drilled to create significant differential pressure within the reservoir, the drilling fluid loss becomes unmanageable and an effective method of dealing with fluid loss is required. Further well drilling showed that standard well control methods are ineffective. The well was temporarily abandoned using two cement plugs. Based on the lessons learned from past experience after temporary abandonment, new methods of drilling were successfully applied to other wells, wherein large losses of drilling fluid were observed. During catastrophic drilling fluid loss, the well was put into CHCD. The well was drilled vertically without controlling the wellbore trajectory.

The following drilling experience with a closed hole drilling in the same area was successfully implemented already in the horizontal part of the wellbore using an arrangement consisting of RSS and a downhole telemetry system for directional drilling. This made it possible to test the possibility of the operation of directional drilling equipment in CHCD in the same way as when drilling by the traditional method (signals from sensors to the surface and receiving telemetry data).

### **Planning directional CHCD**

The next stage in the development of the Karachaganak field is the drilling of horizontal wells in western part. The design of these wells is slightly different from the standard design of wells in the field (Fig. 4).

The upper sections of wellbore for 26 “× 20” and 16 “× 13 3/8” casing stays unchanged. The 16 “section of the wellbore will be drilled and simultaneously expanded to 17 1/2” inches using a reamer in order to reduce the time to pull out of the tool and run in the 13 3/8 “string. The 12 1/4” section of the wellbore will be drilled and underreamed to 13 “in order to provide running 10 3/4 “CSG to the top of the productive horizons.

After running 10 3/4 of the casing string before drilling, equipment is installed to prepare the well for CHCD, and the fluid filling the well will be displaced with a water-based drilling fluid. Further, below 10 3/4 “of the casing string, an

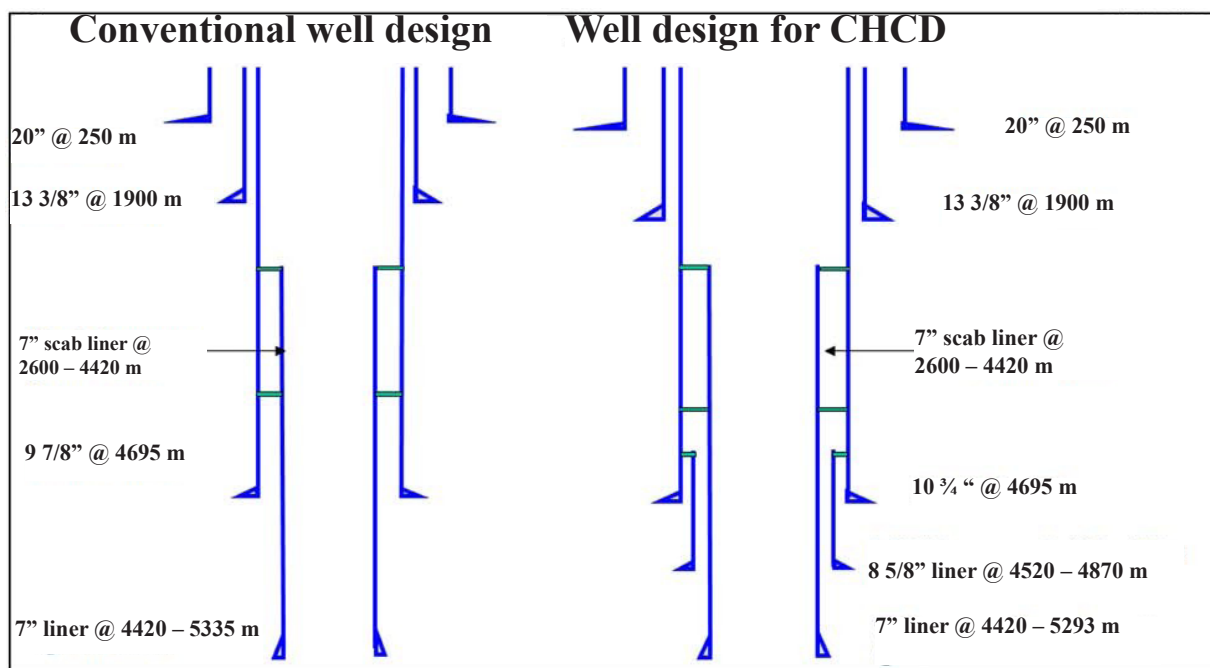


Figure 4 — Well design scheme for the Karachaganak field

inclined section of the wellbore with a diameter of 9 1/2" will be drilled using a rotary steerable system with dog leg severity of 4.5 degrees / 30 m (Fig. 5).

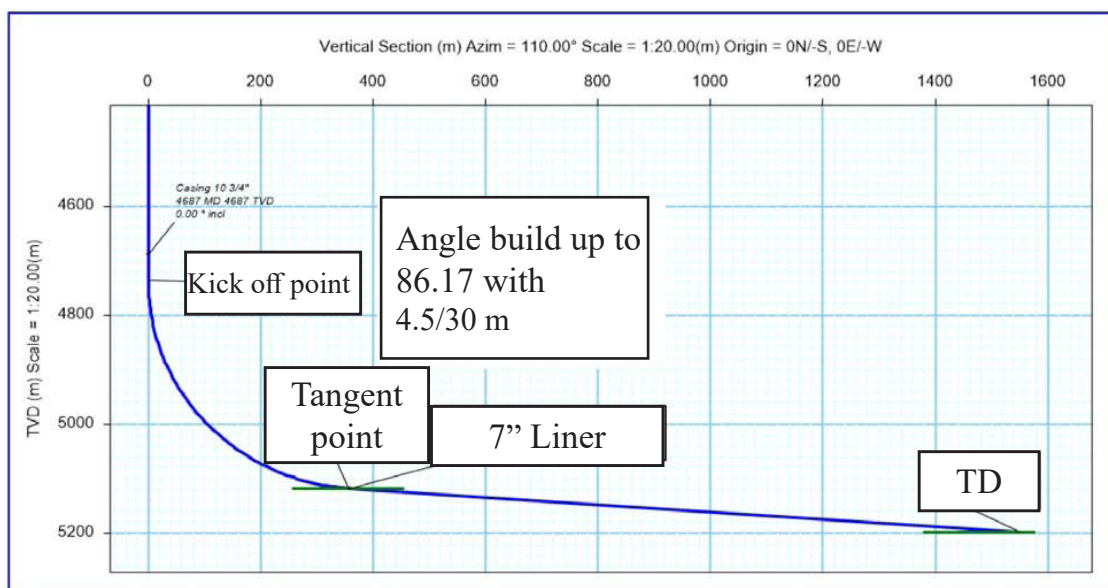


Fig. 5 — Scheme of the wellbore trajectory in a westerly direction

When drilling through a productive reservoir, it is possible to put the well into CHCD in case of complete loss of circulation.

The design of the well allows to run the backup liner 8 5/8 "if it is impossible to set the zenith angle of the bore to the design depth in one trip during uncontrolled fluid loss or if it is impossible to switch to CHCD. Then, the remaining

section of the well bore will be drilled with 6 3/4 "a bit, after which it is necessary to make a logging while caliper (drifting) the walls of the wellbore under the condition of controlled fluid loss, to allow logging.

The intended trip operation to further enlarge the borehole up to 8 inches before running and installing a 7" production liner in

Production Object 3 depends on the running and installation of 8 5/8" liner. Decision on drilling and underreaming of 6 3/4 "× 8" section of the wellbore for one trip was due to the condition of the wellbore and the requirement for the collected

of geological data. All parties involved in the operation were instructed to be prepared for any possible scenario in accordance with the drilling strategy for the productive reservoir (Fig. 6).

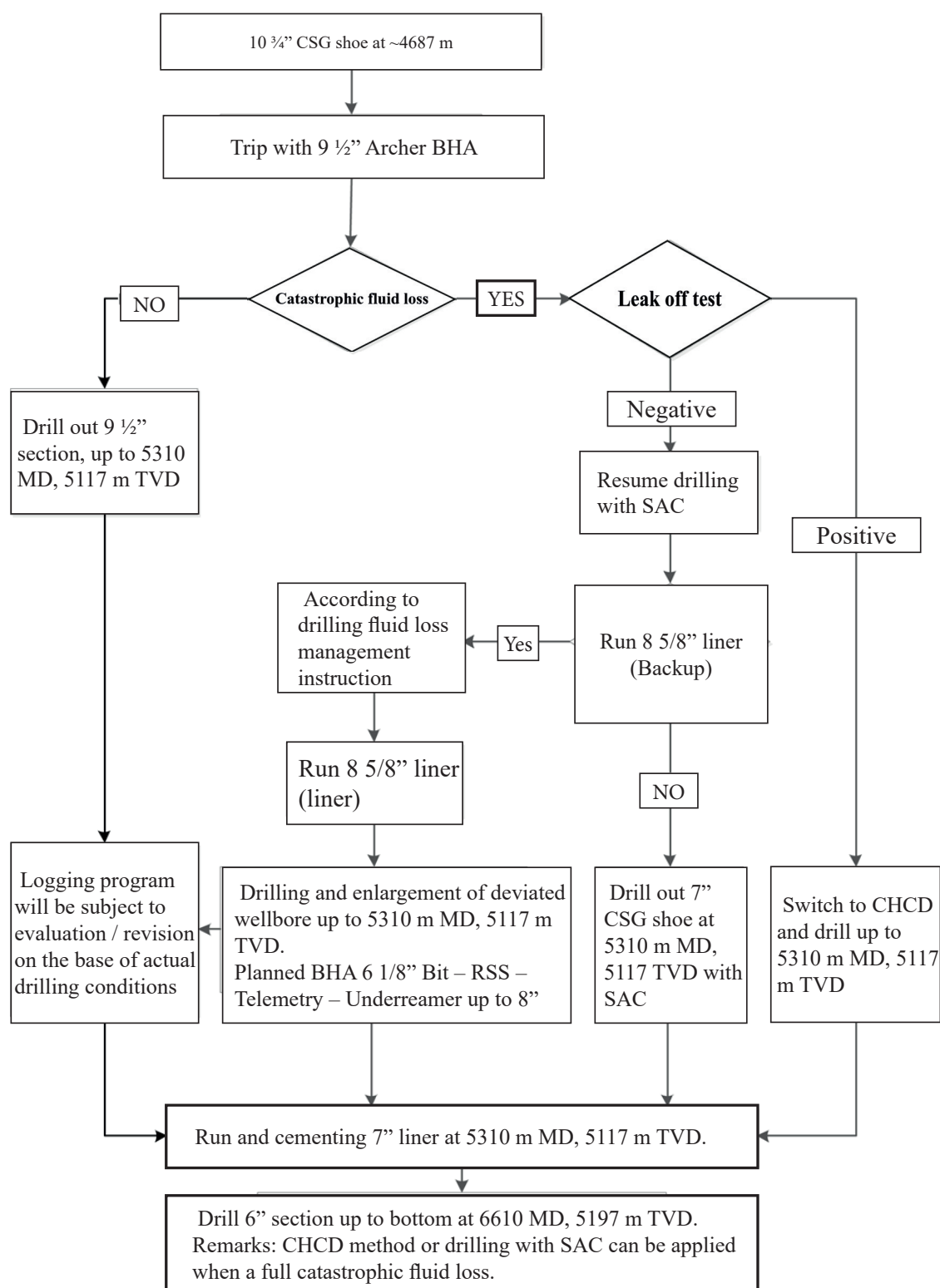


Figure 6 — Productive reservoir drilling strategy

An important part of the project was the selection of the optimum BHA design to achieve the goal.

For proper planning of operation for directional drilling, the following factors should be considered when working in CHCD.

Rotary Steerable System RSS.

Based on the basics of the controlled-pressure drilling process, the main task under these conditions is to maintain a constant pressure in the well (bottomhole pressure).

To solve the upcoming problem, it is necessary to prevent regular fluctuations in the flow rate. For RSS and some logging tools,

it is necessary to use telemetry systems in the drilling process, which allow to obtain current measurements of downhole parameters at the surface in real time. Typically, this is achieved by changing the flow rate of the drilling fluid in a predetermined sequence by a certain percentage (15-20%). These changes in flow velocity can cause bottomhole pressure fluctuations.

To prevent this situation, an alternative method of signal transmission during drilling is considered. Recent changes to the rotary steerable system made it possible to transfer data by changing the number of revolutions of the BHA (Fig. 7).

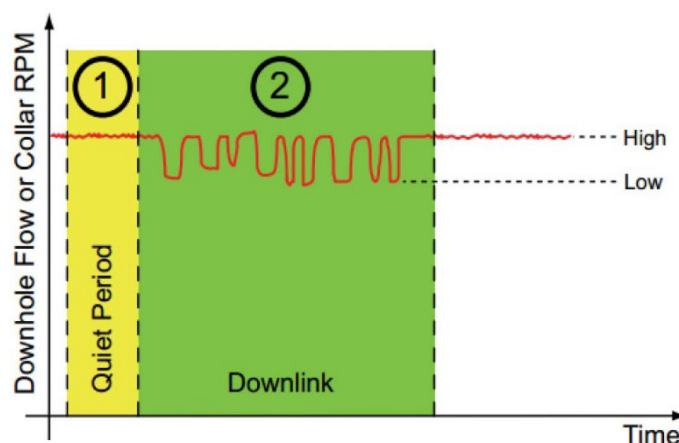


Figure 7 — Change in BHA flow / rotation when a signal command is sent to the RSS

These changes have been successfully introduced into the technology of drilling standard wells in the field and have become standard practice for wells where there is a risk of high levels of drilling fluid loss. This is especially important in wells with a narrow range of drilling fluid density, in which a slight increase or decrease in bottomhole pressure can lead to the fluid loss or rise of the drilling fluid level in the well.

### Measurements while drilling

When measuring downhole parameters during drilling, telemetry with a hydraulic communication channel is used to transmit information (zenith angle, azimuth, shock data, etc.) to the surface.

Each probe for measurement during drilling activities in a certain range of fluid flow rates. If

the flow of the drilling fluid is pumped through the devices, the signal is received. If this condition is achieved when drilling with a sealed wellhead, the tool will send data to the surface.

The most difficult part is the measurement of inclinometry parameters. It may take a considerable amount of time to align the flow after the pumps are turned on following making up the drill pipes, making it difficult to determine the signal. To solve this problem, we used the automatic measurement and data sending function with a delay function, in which the data transfer is delayed for a certain period after the pumps are turned on, and also use the BHA rotation as a signal for taking measurements without turning off the mud supply (Fig. 8). To obtain a clear signal on the surface if necessary, reduce the transmission frequency and change the data transfer rate

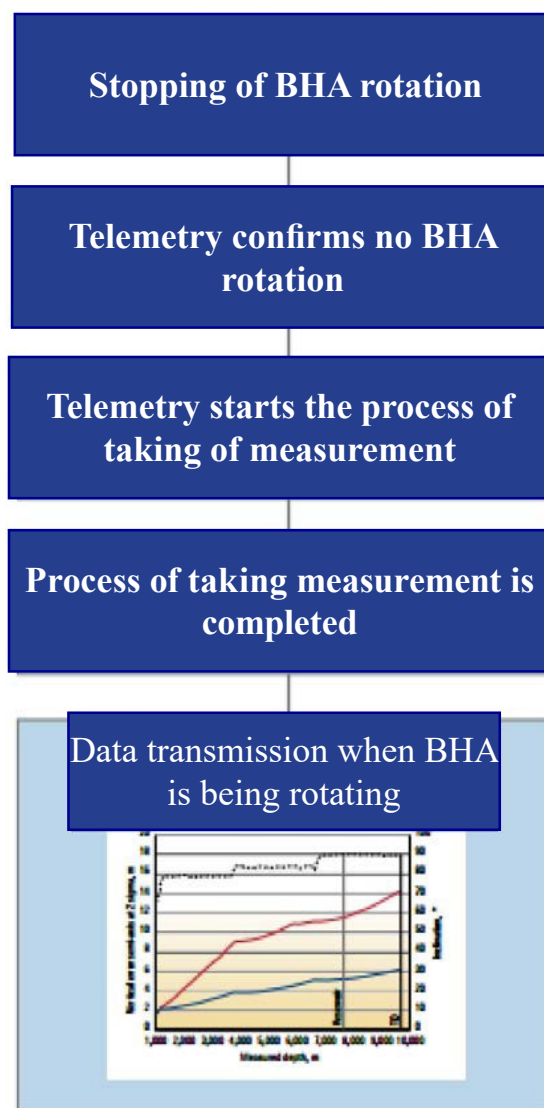


Figure 8 — Measurement process without stopping circulation

### Check valves

Signal distortion can occur due to too many check valves located above the logging probes. It was proposed to use two non-return valves between the logging probe and the RSS tools.

Another was used at the top of the underreamer, which is hydraulically activated by means of nozzles installed in it. The third check valve is of great importance for the removal of pressure during pipe make-up and well control, which is very important when CHCD.

### Pressure sensor in the annulus during drilling

The pressure sensor in the annulus during the drilling process allows to control the

bottomhole pressure, providing timely control of the potential inflow entering the well. As a rule, there are two sensors for measuring pressure in devices - internal and external. An internal sensor measures pressure inside the drill string and an external sensor measures pressure in the annulus. The interpretation of internal and external pressure is due to the effect of increasing and decreasing the velocity of the flowing out the surface.

The measurement of pressure data in the annulus during drilling can be evaluated after run drill string in hole to understand the profile of pressure equalization after stopping the pumps when making up the pipes. The measurement

of ECD (equivalent circulation density) is also important in CHCD, since this gives some idea of the condition of the wellbore in terms of transferring drill cuttings to the rocks to fill the fractures. Since drilling is carried out without returns, particles of drill cuttings formed during crushing and mechanical abrasion of rocks by two BHA elements (bit and underreamer) are transferred from the bottom to the fractures and pores of the bottom hole.

### Shock and vibration

After drilling out a productive zone with fractured rock using BHA, as a rule, strong shock loads and vibration are observed. Strong shock loads and vibration negatively affect the BHA characteristics, data quality, and tool performance. Before lowering the BHA during CHCD into a highly fractured zone, particular attention should be paid to measuring drilling parameters. Since the drilling technology with closed hole circulation drilling already implies an increase in costs, additional tripping operation and tool breakage will further affect the total construction time of the well. Analysis of the BHA vibration is crucial for the proper stabilization of the BHA and the selection of the bit.

### Enlargement of the wellbore during drilling

To adapt the alternative to the 6 3/4 "x 8" section of the wellbore, an important part of well planning is selecting the tool to enlarge the wellbore. It is necessary to determine the compatibility of the type of arming of both the drill bit and the reamer; otherwise the stability of the BHA may be impaired. Various combinations of types of arming of drilling tools must be compared for axial, lateral and torsional stresses regard to software for analyzing the dynamic characteristics of BHA. In addition, dynamic loads in the drill string were simulated while drilling as a whole to prevent an intense level of BHA vibrations or loads that cause stress above the permissible level for certain elements that could cause them to break. This led to the need to create a model that will consider the set of tasks for a high degree of setting angle of inclination of the wellbore in directional drilling using RSS. This analysis also provides critical information regarding the definition of a plan for drilling parameters while drilling this section of the wellbore (Figure 9).

## Parameter selection for BHA

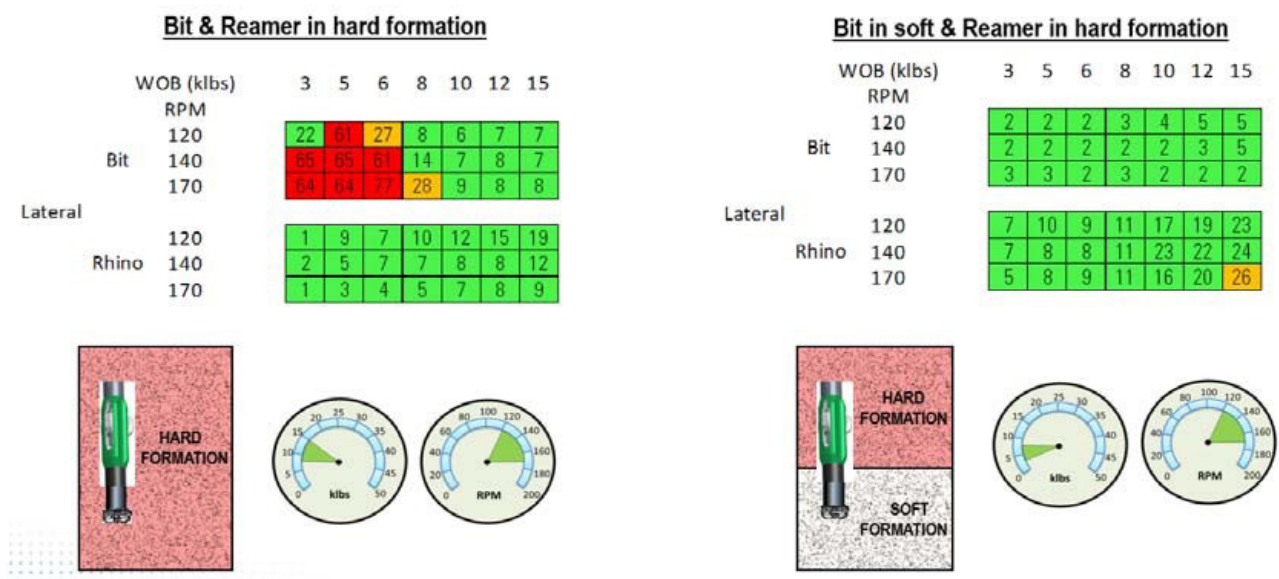


Figure 9 — Selection of drilling mode parameters based on simulation results of BHA dynamic characteristics

Bending stresses were also analyzed using an integrated drill bit design platform. We studied various combinations of drilling unit components, surface parameters, overbalance pressure, and various configurations of multiple compressive stresses.

This helped to effectively evaluate the effect at various values of the borehole dog leg intensity in the range of zenith angle and borehole inclination and to understand the risks associated with

planning and deviation from the plan. Starting from the planning stage, the simulation results have helped to achieve threshold values of BHA bending elements and bending stress levels lower than recommended to prevent possible damage or fatigue of BHA elements. This is especially important when CHCD, as additional tripping operations are expensive and can lead to a serious accident if the drill string is damaged above the upper check valve.

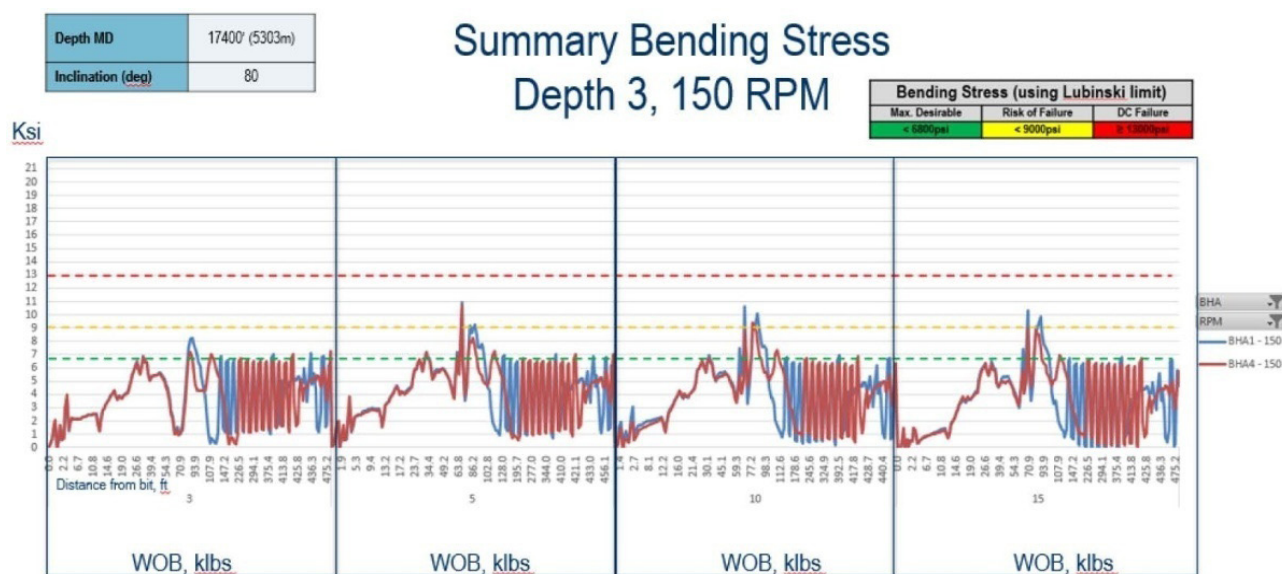


Figure 10 — Example of bending moment simulation results

## Results and Conclusion

For the first time around the world, the enlargement of the diameter of the wellbore was successfully performed during the drilling process from 6% to 8 inches in the interval of angle build section and in the CHCD due to the adjustments made in drilling practice and technology. Well drilling in the western part of the Karachaganak field, the reservoir of which consists of hard rock-reservoirs, was characterized by difficult drilling conditions with closed hole circulation in the interval of angle build section of the wellbore.

- The first drilling of the directional well was performed at the Karachaganak field in CHCD mode. Drilling completed at bend radius from

0 to 80 degrees with 4.5 degrees / 30 m with extreme intensity of the angle build.

- The use of RSS technology with a high build up angle rate along with the underreamer was effective at a new stage of development in the western part of the field in
- CHCD conditions.
- The underreaming of the wellbore during drilling from 6.75 to 8 inches was successfully completed in one trip (569 m).
- Conducted studies using a caliper confirmed that the running of the 7-inch liner in the section of the wellbore with a diameter of 8 inches was successful without any complications.

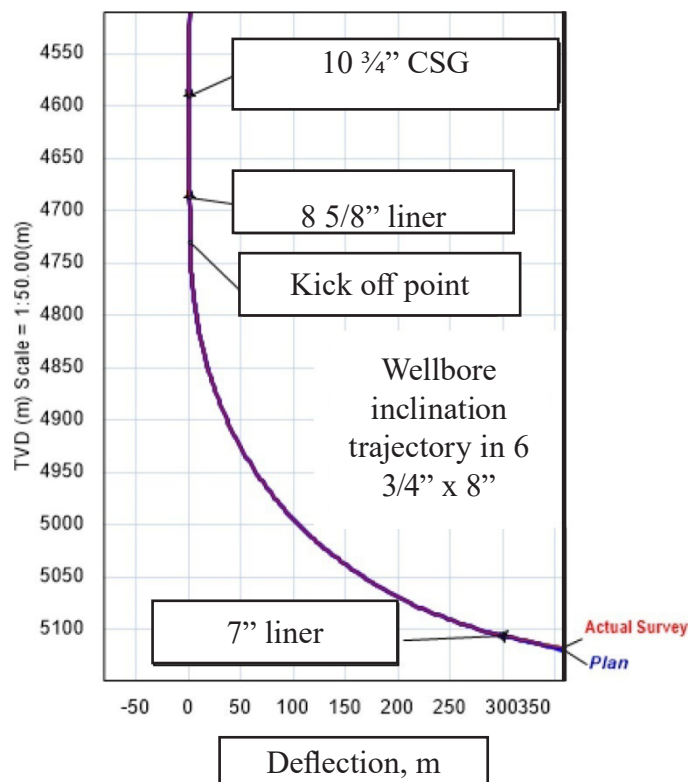


Figure 11 — Planning relative to the actual directional drilling schedule

### Acknowledgment

The authors are grateful to the management of Karachaganak Petroleum Operating b.v. for supporting drilling technology and the possibility of presenting this article, as well as to all parties involved in the planning, operation, and implementation, for their valuable contributions.

### REFERENCES

1. Borromeo O., Luoni F., Bigoni F., Camocino D. and Francesconi A. 2010. Stratigraphic Architecture of the Early Carboniferous Reservoir in Karachaganak Field, Pri-Caspian Basin (Kazakhstan). SPE-139887.Society of Petroleum Engineers. SPE Caspian Carbonates Technology Conference, 8-10 November 2010, Atyrau,Kazakhstan.
2. Hussain, S., Huelvan, Y., & Adams, W. (2014, April 2). Measurement While Drilling, Logging While Drilling and Rotary Steerable Systems Performance, Benefits, and Challenges in Managed Pressure Drilling and Underbalanced Drilling. Society of Petroleum Engineers.doi:10.2118/169220-MS
3. KPO-WO-DRL-SCH-00280-E -Well Construction Program (Western Build Up Well)
4. Masi, S., Molaschi, C., Zausa, F., &Michelez, J. (2011, June 1). Managing Circulation Losses in a Harsh Drilling Environment: Conventional Solution vs. CHCD Through a Risk Assessment. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/128225-PA
5. Naurzgaliyev T., &Mutaliyev, G. (2017, October 16). Impact of Drain Length on Well Performance in Karachaganak Field (Russian). Society of Petroleum Engineers.doi:10.2118/187869-RU
6. Sweep,M.N.,Bailey,J.M.,&Stone,C.R.(2003,January1).Closed Hole Circulation Drilling: Case Study of Drilling a High-Pressure Fractured Reservoir-Tengiz Field, Tengiz, Republic of Kazakhstan. Society of Petroleum Engineers. doi:10.2118/79850-MS

# ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

---

УДК 669.2

МРНТИ 53.03.05

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АГЛОМЕРАЦИИ МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕФТЕБИТУМИНОЗНЫХ ПОРОД

АХАТ Г., ТЛЕУОВ А.С., ТЛЕУОВА С.Т., ПАЗЫЛОВА Д.Т.

Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова,  
Шымкент, Казахстан

**Аннотация:** В Казахстане марганец является одним из наиболее широко применяемых легирующих элементов стали, повышающий ее прокаливаемость, твердость, предел прочности и текучести. Марганец в составе ферромарганца и силикомарганца является раскислителем и легирующей добавкой к стали и сплавам. Развитие ферросплавного производства требует увеличения выпуска продукции до 100 тысяч тонн в год, для обеспечения потребности металлургических заводов внутри государства и за его пределами. Причем основная цель в получении марганцевого агломерата для дальнейшего передела, позволяет получать более качественные ферросплавы, в том числе металлический марганец. Методами химического и физико-химического анализа установлены характеристики и состав марганецсодержащего сырья и нефтебитуминозных пород. Девинатограмма марганцевой руды и смеси для агломерации с использованием нефтебитуминозной породы характеризуется двумя заметными эффектами. Первый экзотермический эффект в области 500-520К характерен для процесса дегидратации гидратов марганца. Эндотермический эффект в области 950-1010К свидетельствует о значительном поглощении тепла при декарбонизации карбонатов марганца, а также карбонатных соединений кальция, характерных для минеральной части руды. Девинатограммы смеси марганцевой руды с коксом при соотношении кокса к нефтебитуминозной породе, равной 1:1, 1:2, характеризуется двухступенчатым экзотермическим эффектом в области 280-320 и 480-520К, свидетельствующий об удалении кристаллогидратной влаги в первом случае соединений – нефтебитуминозной породы. С применением программного комплекса «Астра» проведено термодинамическое моделирование систем  $2\text{MnO}_2 - \text{C}_2\text{H}_2 - 3\text{O}_2$ ;  $3\text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ ;  $\text{Mn}_3\text{O}_4 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ , характерные рабочим составам агломерации марганецсодержащего сырья в присутствии нефтебитуминозных пород.

**Ключевые слова:** термодинамическое моделирование, марганецсодержащее сырье, нефтебитуминозные породы, агломерация

## МҰНАЙБИТУМДЫ ЖЫНЫСТАРДЫ ҚОЛДАНУЫМЕН МАРГАНЕЦҚҰРАМДЫ ШИКІЗАТ АГЛОМЕРАЦИЯСЫН ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа:** Қазақстанда марганец кенінің өнімдері қолданылатын болаттың легирлеуші элементтері ретінде және оның беріктігін, қаттылығын, созылу беріктігі мен аққыштығын арттырады. Ферромарганец пен силикомарганец құрамындағы марганец болат пен қорытпа-

ларға қышқылсыздандыру және легирлеуші қоспа болып табылады. Ферроқорытпа өндірісін дамыту мемлекет ішіндегі және одан тыс жерлердегі металлургиялық зауыттардың қажеттіліктерін қанағаттандыру үшін өндірісті жылына 100 мың тоннаға дейін арттыруды көздейді. Сонымен қатар, басты мақсат сапалы ферроқорытпалар, соның ішінде металл марганец алуға мүмкіндік беретін қайта өңдеуге арналған марганец агрегаттарын алу. Химиялық және физика-химиялық талдау әдістерін қолданып, марганецқұрамды және мұнайбитумды жыныстардың сипаттамалары мен құрамы анықталды. Мұнайбитумды жыныстарды қосып марганец кенінің агрегациялаудың дериватограммасы екі эффектпен көрсетеді. 500-520K аймағындағы алғашқы экзоэффект марганец гидраттарын сусыздандыру процесіне тән. 950-1010K аймағындағы эндоэффект марганец карбонаттары мен кеннің минералды бөлігіне тән кальцийдің карбонаты қосылыстарының декарбонизациясы кезінде жылудың едәуір жұтылуын көрсетеді. 1:1, 1:2 тең кокстың мұнайбитумды жынысқа қатынасы кезінде марганец кенінің кокспен қоспасының дериватограммасы 280-320 және 480-520K аймағында екісатылы экзоэффекттен құрылады. Бұл мұнайбитумды жыныстың қосылыстарының бірінші жағдайында кристаллогидратты ылғалдың жойылғандығын айқындайды.

«Астра» бағдарламалық кешені арқылы мұнайбитумды жыныстарды марганецқұрамды шикізат агрегациясының жұмыс құрамдарына тән  $2\text{MnO}_2 - \text{C}_2\text{H}_2 - 3\text{O}_2$ ;  $3\text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ ;  $\text{Mn}_3\text{O}_4 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ , жүйелері термодинамикалық модельдеу жүргізілді.

**Түйінді сөздер:** термодинамикалық модельдеу, марганецқұрамды шикізат, мұнайбитумды жыныстар, агрегация

## THERMODYNAMIC MODELING OF AGGLOMERATION OF MANGANESE-CONTAINING RAW MATERIALS USING OIL AND BITUMINOUS ROCKS

**Abstract:** In Kazakhstan, manganese is one of the most widely used alloying elements of steel, increasing its hardenability, hardness, tensile strength and yield strength. Manganese in ferromanganese and silicomanganese is a deoxidizer and alloying agent for steel and alloys. The development of ferroalloy production requires an increase in output up to 100 thousand tons per year to meet the needs of metallurgical plants within the state and beyond. Moreover, the main goal is to obtain manganese sinter for further redistribution, allowing to obtain better ferroalloys, including metallic manganese. Methods of chemical and physico-chemical analysis establish the characteristics and composition of manganese-containing raw materials and oil tar rocks. Derivatogram of manganese ore and a mixture for agglomeration using oil bituminous rock is characterized by two noticeable effects. The first exoeffect in the range of 500–520K is characteristic of the process of dehydration of manganese hydrates. The endoeffect in the region of 950-1010K indicates a significant absorption of heat during the decarbonization of manganese carbonates, as well as calcium carbonate compounds characteristic of the mineral part of the ore. Derivatives of a mixture of manganese ore with coke with a coke to oil bituminous rock ratio of 1:1, 1:2 are characterized by a two-stage exoeffect in the range of 280-320 and 480-520K, indicating the removal of crystalline hydrate in the first case of oil bituminous rock compounds.

Using the Astra software package, thermodynamic modeling of  $2\text{MnO}_2 - \text{C}_2\text{H}_2 - 3\text{O}_2$ ;  $3\text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ ;  $\text{Mn}_3\text{O}_4 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$  systems was carried out, which is typical for the working compositions of agglomeration of manganese-containing raw materials in the presence of oil bituminous rocks.

**Key words:** thermodynamic modeling, manganese-containing raw materials, oil bituminous rocks, agglomeration

В связи с ограниченностью запасов высококачественных руд и непрерывно растущей потребностью металлургии в марганце, все большее значение приобретает использование бедных руд и их подготовка к плавке. В последние годы широко используются комплексные методы обогащения, дефосфорации и обескремнивания руд. Для окускования пылеватых руд и тонко измельченных и флотационных концентратов разрабатываются методы агломерации, брикетирования и окатывания, что позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели производства сплавов марганца.

Бедные, высокожелезистые и фосфористые марганцевые руды подвергают пирометаллургическому обогащению: переплаву на богатый бесфосфористый марганцевый шлак и фосфористый чугуно. Во всех случаях при подготовке руд к плавке необходимо обеспечивать постоянство состава шихты [1].

В Казахстане марганец является одним из наиболее широко применяемых легирующих элементов стали, повышающий ее прокаливаемость, твердость, предел прочности и текучести. Марганец в составе ферромарганца и силикомарганца используется как раскислитель и легирующая добавка к стали и сплавам. Около половины добываемой в Казахстане руды перерабатывается на Жездинской обогатительной фабрике, выпускающей концентрат с содержанием 33-39% марганца. При этом руда с низким содержанием железа (не более 5% железа) перерабатывается для получения марганцевого концентрата, из которого производят металлический марганец, чистый низкоуглеродистый ферромарганец. В Таразский металлургический завод для получения ферромарганца поступает руда Жайремского месторождения, именуемый сложный смешанный состав с высоким содержанием железистых соединений [2,3].

Для исследования физико-химических закономерностей агломерации марганецсодержащего сырья с использованием нефтебитуминозных пород были отобраны пробы марганцевых руд Жайремского месторождения фракций проба 1 – 3-5 мм, проба 2 – 5-10

мм, которые требуют последующего окомкования. Химическими методами анализа установлены содержания в пробах нерастворимого осадка при нагревании 10000 С и продолжительности 30 мин: проба 1 содержит – 12,8% п.п.п, проба 2 – 20,75% п.п.п. Содержание железа в пересчете на  $Fe_2O_3$  составляет в пробе №1 – 10,8%, в пробе №2 – 13,5%. Содержание основного компонента – марганца в пробе №1 соответствует 42,6%, в пробе №2 – 54,35%.

Для изучения физико-химических характеристик, химического и минералогического составов исходных компонентов шихты и продуктов агломерационного обжига применялись химический и микроскопический анализы.

Дериватографические исследования проводились с записью изменения температуры нагревания образца, разницы температур между образцом и эталоном (прокаленный при  $T = 1373K$   $Al_2O_3$ ), изменения массы образца. Скорость нагрева образца составляла 20 град/мин. Простая и дифференциальная термодинамика были выполнены из платино-платинородия. Нагрев образца проводили от 25 до 1273K без создания специальной атмосферы.

Минералогический состав и характеристики фазовых структур исходных компонентов – марганец содержащей руды и нефтебитуминозной породы изучали на растровом электронном микроскопе фирмы JEOLJSM-6490LV. Многоцелевой растровый микроскоп серии JSM-6490LV, исключительно надежный прибор с компьютерным контролем и превосходными техническими характеристиками.

Дифференциально-термический анализ марганцевой руды и смеси марганцевой руды с коксом и нефтебитуминозной породы при соотношении кокса и НБП 1:1 и 1:2 проведен на дериватографе системы Паулик-Паулик-Эрдей при следующих условиях: скорость нагрева 50 град/мин; эталон – прокаленный анод алюминия; тигли – корундовые; интервал 20-10000С; навески – 450 и 500 мг.

С целью исследования характера дегидратации и декарбонизации марганецсодержащего сырья и смесей проб руды с коксом при различных соотношениях с нефтебитуминозной породой был использован метод дифференциально-термического анализа. Результаты дифференциально-термического анализа вышеуказанных смесей представлены на рисунках 1-3.

Дериватограмма марганцевой руды характеризуется двумя заметными эффектами. Первый экзоэффект в области 500-520К характерен для процесса дегидратации гидратов марганца. Эндоэффект в области 950-1010К свидетельствует о значительном поглощении тепла при декарбонизации карбонатов марганца, а также карбонатных со-

единений кальция, характерных для минеральной части руды. Дериватограммы смеси марганцевой руды с коксом при соотношении кокса к нефтебитуминозной породе, равной 1:1, 1:2, характеризуется двухступенчатым экзоэффектом в области 280-320 и 480-520К, свидетельствующий об удалении кристаллогидратной влаги в первом случае соединений нефтебитуминозной породы. Вторым эндоэффектом характерен для дегидратации гидратных соединений марганца. Эндоэффект характерный для декарбонизации карбоната марганца находится в области 810-1015К. Причем при соотношении кокса к нефтебитуминозной породе, равной 1:2, эндоэффект перемещается в высокотемпературную область.

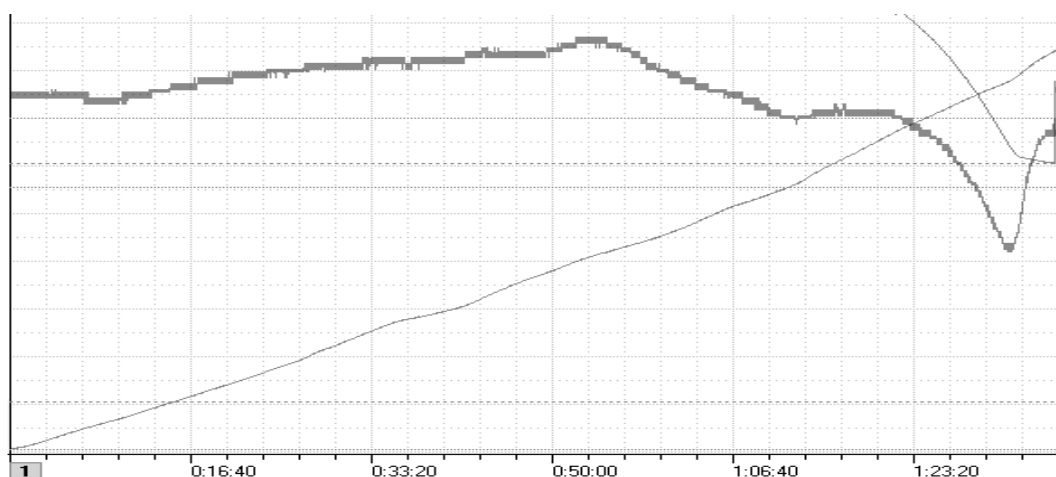


Рис. 1 – ДТА марганцевой руды

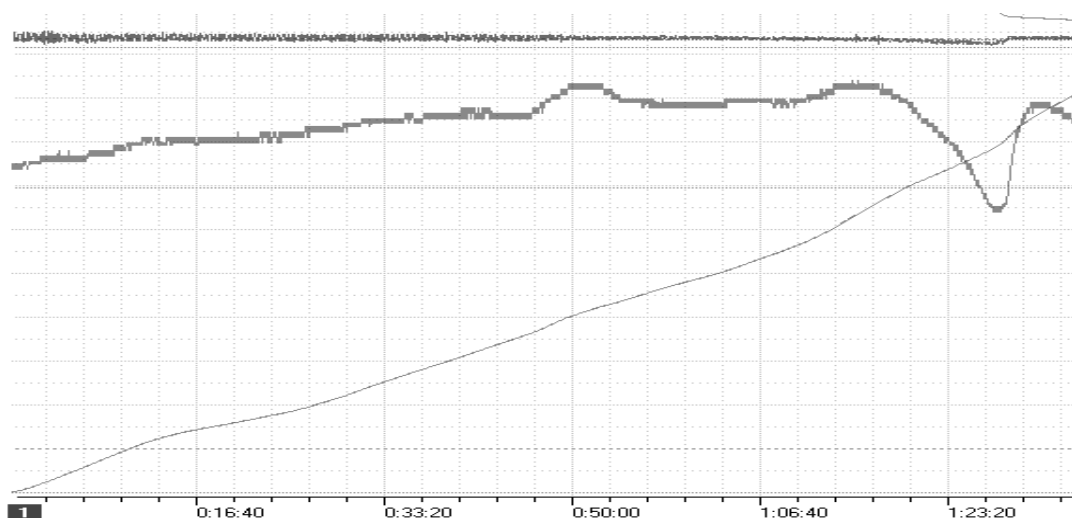


Рис. 2 – ДТА марганцевой руды при соотношении кокса: нефтебитуминозной породы, равной 1:1

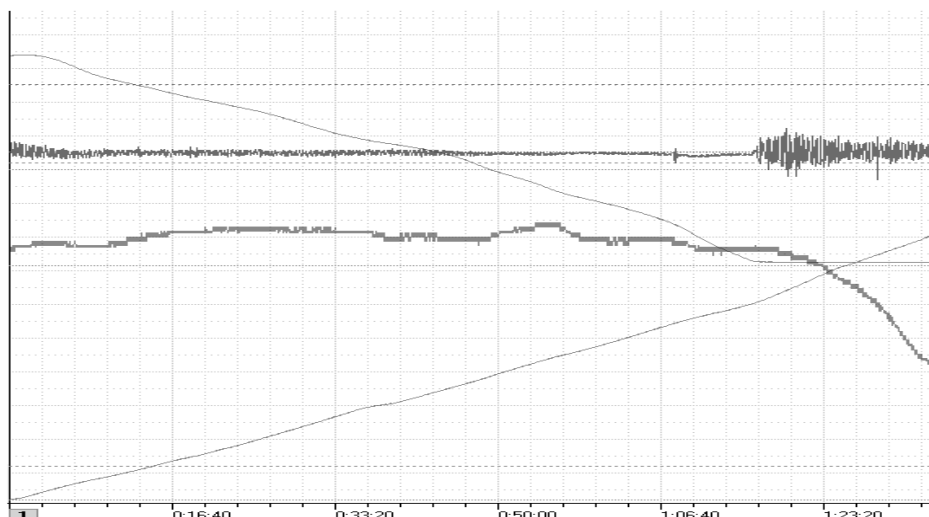


Рис. 3 – ДТА марганцевой руды при соотношении кокса:  
нефтебитуминозной породы равной 1:2

| Элемент | Весовой % | Атомный% |
|---------|-----------|----------|
| Na      | 0.63      | 0.55     |
| Mg      | 7.46      | 6.14     |
| Al      | 9.69      | 7.19     |
| Si      | 22        | 16       |
| S       | 1.41      | 0.88     |
| Cl      | 0.70      | 0.40     |
| Ca      | 13.09     | 6.53     |
| Ti      | 0.21      | 0.09     |
| Mn      | 41        | 28       |
| Fe      | 0.95      | 0.34     |
| Ba      | 0.39      | 0.02     |

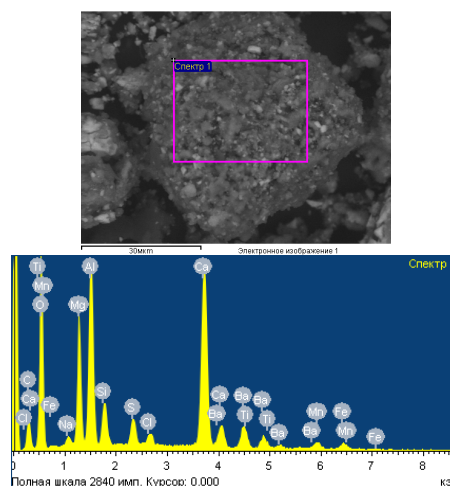


Рис. 4 – Поэлементный состав и микроструктура марганцевой руды Жайремского месторождения

Термодинамическое моделирование марганецсодержащих систем с использованием углеводородных соединений проведено с использованием современного программного комплекса «Астра-4». Изучение физико-химических основ агломерации направлено на комплексное использование марганецсодержащих природных ресурсов, НБП и кокса для дальнейшей переработки в ферромарганец и ферросиликомарганец [4].

Исследования равновесного распределения водорода, углерода, кислорода и марганца в температурной области 300-1800K при давлении 0,1 МПа в системах:  $2 \text{MnO}_2 - \text{C}_2\text{H}_2 - 3\text{O}_2$ ;  $3\text{Mn}_2\text{O}_3 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}_2$ ;  $\text{Mn}_3\text{O}_4 - \text{C}_2\text{H}_6 - 3\text{O}$  выполнены для базовых (прогнозных) реакций,

имеющих вид:



Полученные результаты термодинамического моделирования показали, что во всех рассмотренных системах формируются конденсированные  $\text{C}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{MnO}_2\text{H}_2$ . Затем, при увеличении температуры формируются газобразные фазы:  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{MnH}$ ,  $\text{Mn}$ ,  $\text{OH}$  [5,6].

Во всех рассмотренных системах

основной фазой результата обжига является MnO, степень образования которой зависит от соотношения суммы молей водорода и углерода к кислороду в системе  $K=(C+H)/O$ .

В расчете на одну моль марганца соотношение  $K=(C+H)/O$  при  $P=0,1$  МПа для рассмотренных реакций степень образования MnO изменялось следующим образом:

|              |                     |                                  |
|--------------|---------------------|----------------------------------|
| Система (11) | $(C+H)/O = 0,18774$ | $[MnO] = 0,5 \cdot T - 166,03$   |
| Система (12) | $(C+H)/O = 0,04859$ | $[MnO] = 0,317 \cdot T - 30,0$   |
| Система (13) | $(C+H)/O = 0,11018$ | $[MnO] = 0,1667 \cdot T + 11,43$ |

Найдено регрессионное уравнение зависимости образования MnO при  $P = 0,1$  МПа и соотношения суммы молей водорода и углерода к кислороду в системе в расчете на одну моль марганца:

$$[MnO] = 48,43 \cdot [(C+H)/O]^2 \cdot T - 10,13 \cdot [(C+H)/O] \cdot T - 0,6951 \cdot T - 21277 \cdot [(C+H)/O]^2 + 4051,1 \cdot [(C+H)/O] - 176,62$$

Анализ термодинамического моделирования периода высших оксидов в присутствии углеводородных соединений, присущих нефтебитуминозным породам, при атмосферном давлении показал, что системы характеризуются образованием гидроксида марганца в виде  $MnO_2 \cdot H_2O$  во всех трех системах до 99% при 300К и до 50-60% при 400-500К. В высокотемпературной области водород выделяется в виде  $H_2$  до 98% в системе  $Mn_3O_4 - C_2H_6 - 3O_2$ ; при  $T = 120 - 1500$ К. Общей закономерностью исследуемых систем по равновесному распределению водорода является то, что в области 300-900К углеводороды переходят в  $CH_4$  до 37-60%, а при дальнейшем повышении температуры располагаются с образованием  $H_2$  и  $H_2O$ . Переход высших оксидов марганца в двухвалентный оксид с максимальным выходом до 97-98% обеспечивается при температурах 500-1500К в системе  $Mn_3O_4 - C_2H_6 - 3O_2$ .

Равновесное распределение кислорода в этой системе характеризуется образованием  $H_2O$  до 20-21% в области 500-600К и образованием CO до 22-25% в области 1200 - 1500К.

Общей закономерностью по распределению углерода во всех исследуемых системах является образование свободного углерода до 40-60% в области 300-500К. При дальнейшем повышении температуры наблюдается увеличение содержания  $CO_2$ , которое уменьшается до 15% при  $T = 1500$ К, а переход углерода в CO адекватно достигает 91-92%.

В целом анализ термодинамических моделей рабочих систем  $2MnO_2 - C_2H_6 - 3O_2$ ;  $3Mn_2O_3 - C_2H_6 - 3O_2$ ;  $Mn_3O_4 - C_2H_6 - 3O_2$  в температурной области 300-1800К и давлении 0,1 МПа свидетельствует о возможности максимального перехода высших оксидов марганца в низшие MnO до 97-98% в присутствии  $C_2H_6$  в области 600-1500К (рис. 5-7).

На основании проведенных исследований физико-химических закономерностей агломерации марганецсодержащего сырья с использованием нефтебитуминозных пород установлены: химические и физико-химические особенности исходных материалов – нефтебитуминозные породы имеют следующий элементный состав, в %: С 82,19; Н 8,80; N 3,43%; О 4,06; S 1,61. Химический состав неорганической части НБП следующий, %:  $SiO_2$  81,0;  $TiO_2$  0,3;  $Al_2O_3$  7,4;  $(Fe_2O_3 + FeO)$  5,7; CaO 1,3; MgO 0,6;  $Na_2O$  1,2;  $K_2O$  2,3;  $SO_3$  0,2.

Во всех исследуемых системах общей закономерностью по распределению углерода является образование свободного углерода до 40-60% в области 300-500К. Анализ термодинамических моделей рабочих систем  $22MnO_2 - C_2H_6 - 3O_2$ ;  $3Mn_2O_3 - C_2H_6 - 3O_2$ ;  $Mn_3O_4 - C_2H_6 - 3O_2$  в температурной области 300-1800К и давлении 0,1 МПа свидетельствует о возможности максимального перехода высших оксидов марганца в низшие MnO до 97-98%.

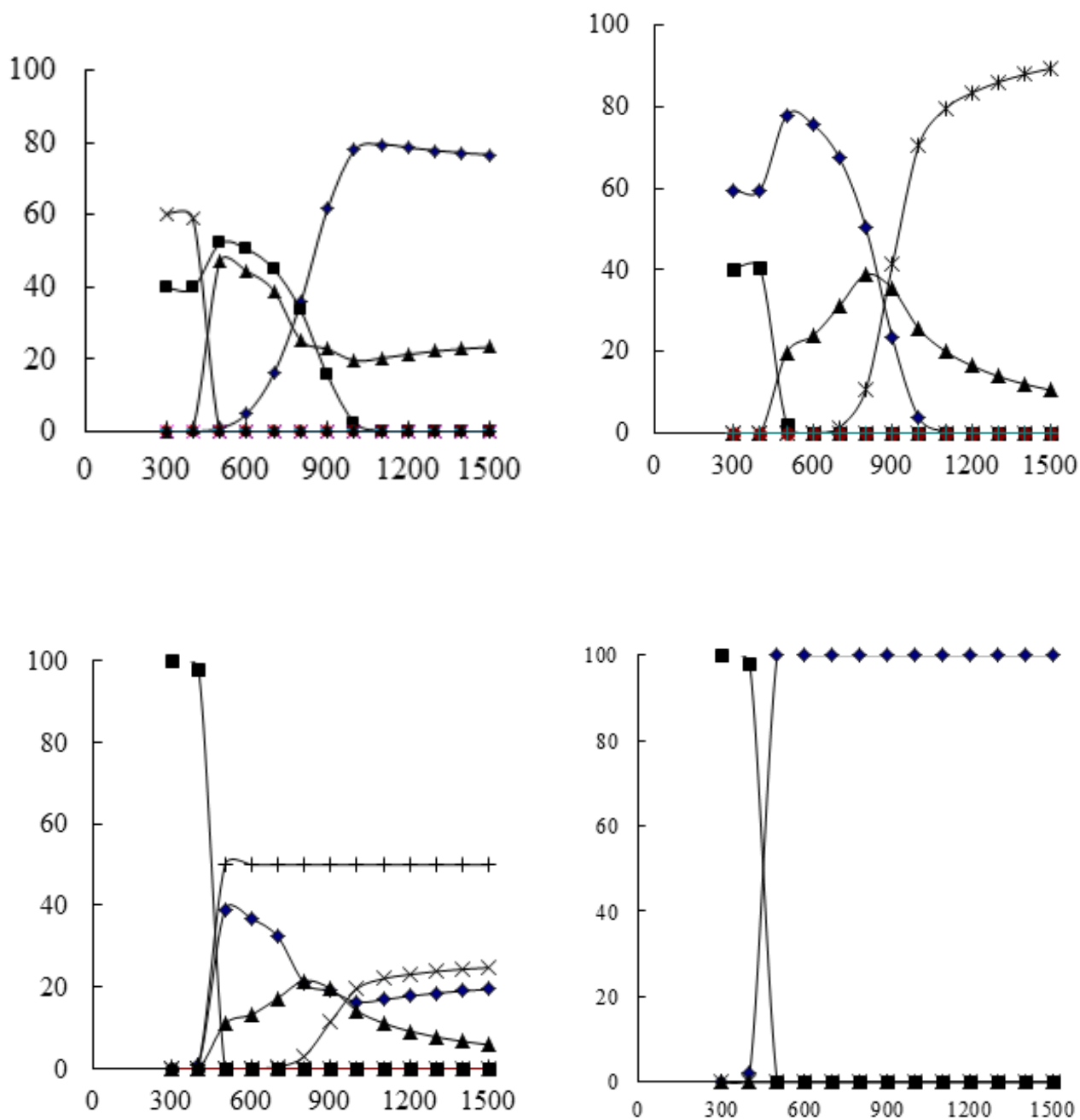
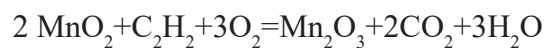


Рис. 5 – Влияние температуры на степень распределения H, C, O, Mn в процессе течения реакции  $2\text{MnO}_2 + \text{C}_2\text{H}_2 + 3\text{O}_2 = \text{Mn}_2\text{O}_3 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$ ,  $P=0, 1\text{мПа}$

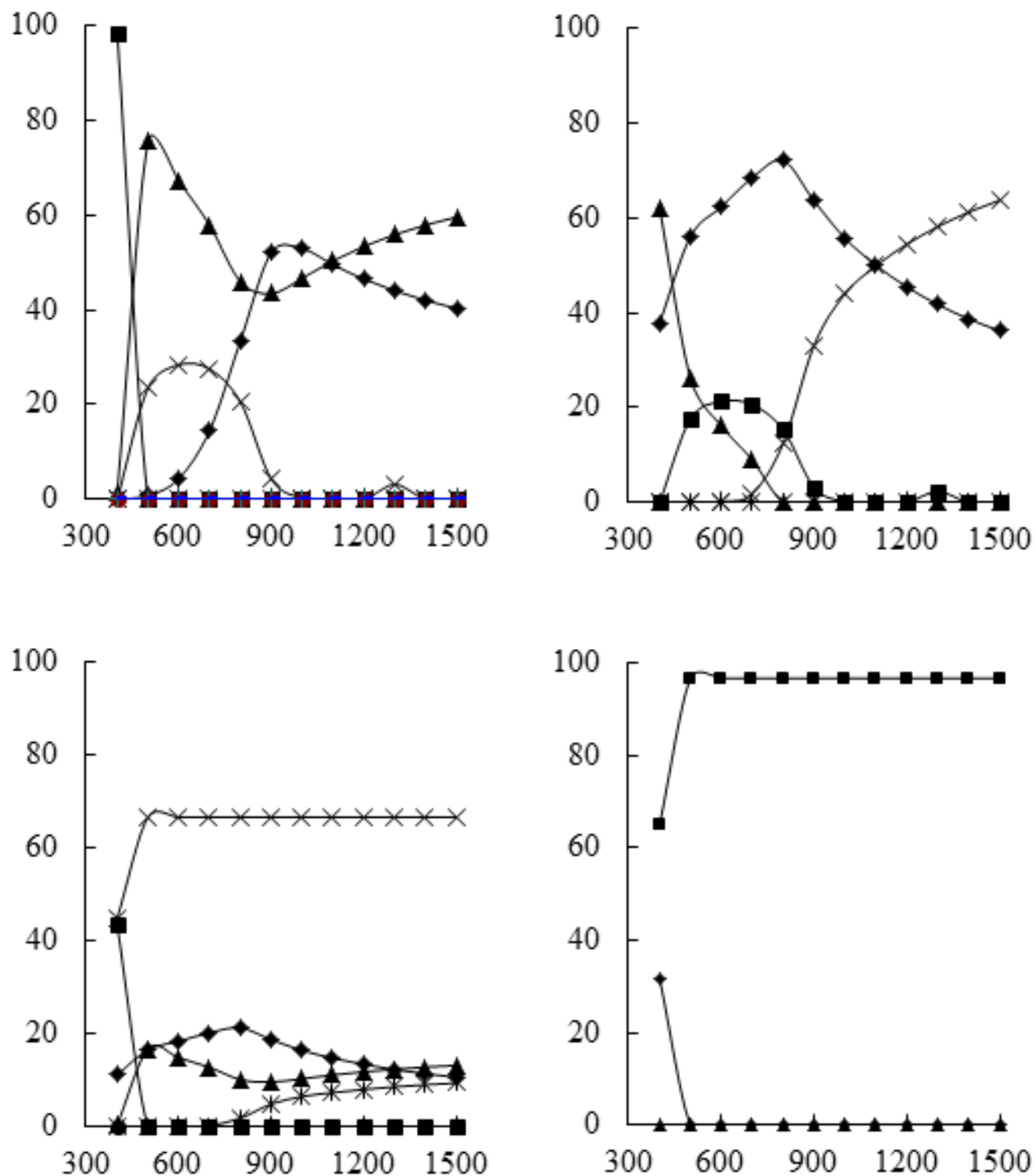
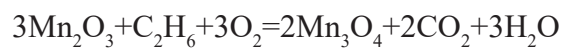
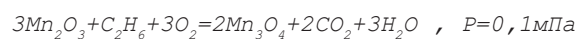


Рис. 6 – Влияние температуры на степень распределения H, C, O, Mn в процессе течения реакции



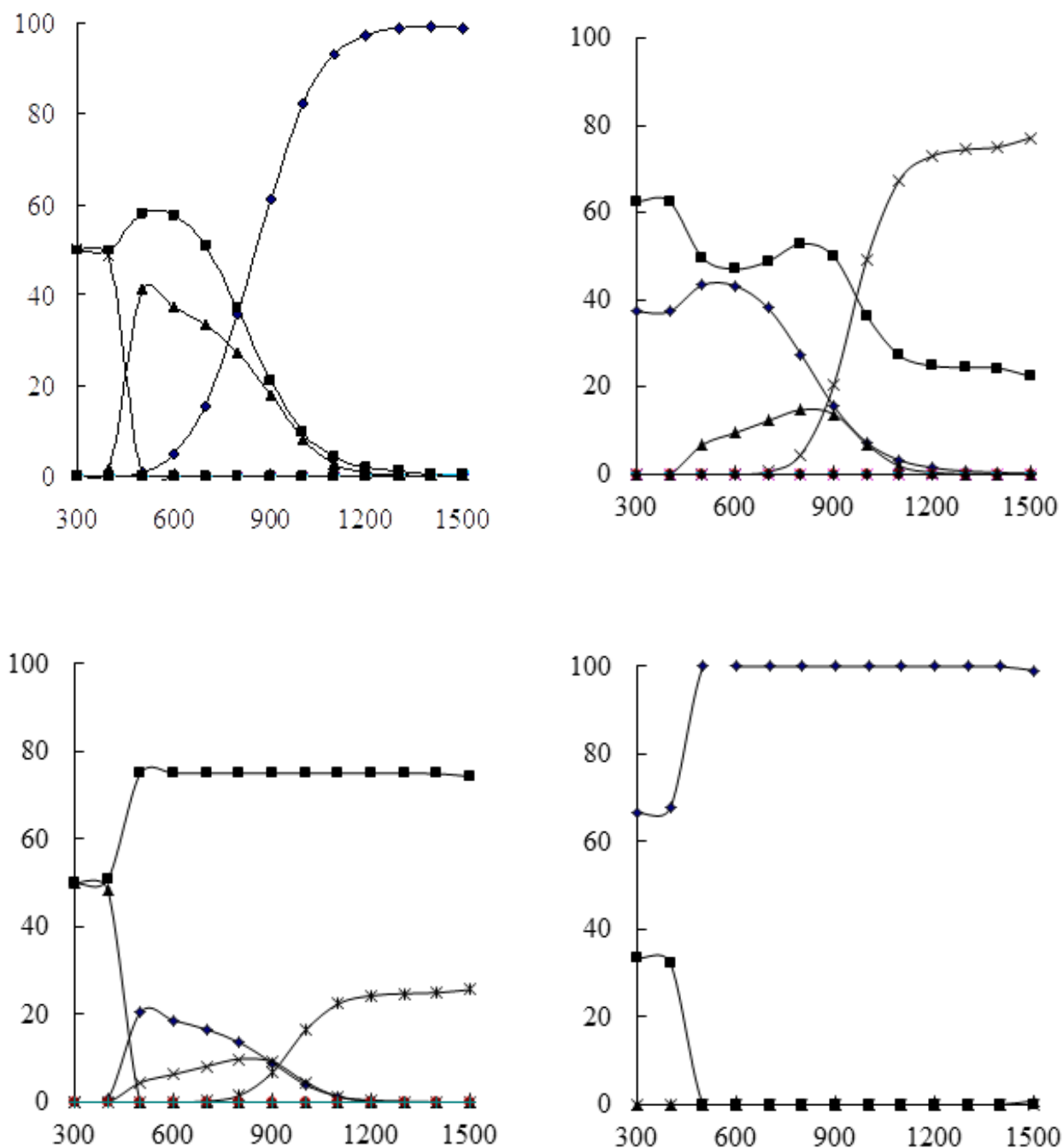
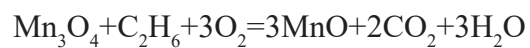


Рис. 7 – Влияние температуры на степень распределения H, C, O в процессе течения

## REFERENCES

1. Baysanov S.O., Tolymbekov M.ZH., Gabdullin S.T. Perspektivy razvitiya margantsevoy otrasli Kazakhstana // Sovremennyye problemy metallurgii// Sb.nauch.trudov. Dnepropetrovsk. Dnepr. «Sistemní tekhnologii»,2001. –T.2.S.55-58.
2. Svyatov B.A., Tolymbekov M.ZH., Baysanov S.O. Stanovleniye i razvitiye margantsevoy otrasli Kazakhstana.-Almaty. «Iskander», 2002.–146s.
3. Buketov Ye.A., Gabdullin T.G., Takenov T.D. Metallurgicheskaya pererabotka margantsevykh rud Tsentral'nogo Kazakhstana. Alma-Ata: Nauka KazSSR, 1979. –184s.
4. Tleuova S.T., Kapsalyamov B.A., Shevko V.M., Tleuov A.S., Karakhodzhayev T.R. Izucheniye protsessa aglomeratsionnogo obzhiga marganetsoderzhashchego syr'ya s ispol'zovaniyem neftebituminoznykh porod. Tr.MNPK, «Auyezovskiye chteniya - 8» Shymkent, 2009g.
5. Gurevich L.V., Veyts I.V., Medvedev V.A. Termodinamicheskiye svoystva individual'nykh veshchestv.-M:Nauka,1982. –S.125-130.
6. Sinyarev G.B., Vatolin N.A. Primeneniye EVM dlya termodinamicheskikh raschetov metallurgicheskikh protsessov. –M.:Metallurgiya, 1982.–264s.

ӘОЖ 661.2.+678.01:544.23  
МРНТИ 61.31.29

## КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛЫН ӨНДІРУ ЦЕХЫНЫҢ БАЛҚЫҒАН КҮКІРТҚҰРАМДЫ ҚАЛДЫҒЫН ОРГАНИКАЛЫҚ ҚЫШҚЫЛМЕН ӘРЕКЕТТЕСТІРІП КӘРІПТАС (ЯНТАРЬ) АЛУ

БЕКТЕНОВ Н.А., НУРЖИГИТОВА А.Т., САДИЕВА Х.Р.,  
МАСАЛИМОВА Б.К., НУРЛЫБАЕВА А.Н.

*М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті*

**Аңдатпа:** Теңіз мұнай-газ кенішіндегі мұнайдан бөлінген күкірттен Тараз қаласындағы ЖШС «Қазфосфат» Минералды тыңайтқыштар зауытында күкірт қышқылын алады. Күкірт қышқылын алу кезінде күкірттің құрамындағы органикалық заттар балқып қатты қалдық есебінде қалып қояды. Бұл мақалада күкірторганикалық қалдықтарды қайта өңдеу қарастырылған.

**Түйінді сөздер:** күкірт қышқылы, күкірторганикалық заттар, шайыр, кәріптас

## ПОЛУЧЕНИЕ ЯНТАРЯ ПУТЕМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАСПЛАВЛЕННОГО СЕРОСОДЕРЖАЩЕГО ОТХОДА ЦЕХА ПО ПРОИЗВОДСТВУ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ С ОРГАНИЧЕСКИМИ КИСЛОТАМИ

**Аннотация:** ТОО «Казфосфат» на заводе минеральных удобрений получают серную кислоту из гранулированной нефтяной серы Тенгизского месторождения. При получении серной кислоты органическое вещество, содержащееся в сере, остается расплавленным. В данной статье рассматривается переработка сероорганических отходов.

**Ключевые слова:** серная кислота, сероорганическое вещество, смола, янтарь

## OBTAINING AMBER BY REACTING MOLTEN SULFUR-CONTAINING WASTE FROM THE SULFURIC ACID PRODUCTION PLANT WITH ORGANIC ACIDS

**Abstract:** Kazphosphate LLP at a mineral fertilizer plant receive sulfuric acid from granulated petroleum sulfur of the Tengiz field. Upon receipt of sulfuric acid, the organic substance contained in sulfur remains molten. This article discusses the processing of organosulfur waste.

**Key words:** sulfuric acid, organosulfur, resin, amber

«Теңіз» мұнай-газ кеніші республикамыздағы ең ірі көмірсутек өндіретін ошақтың бірі. «Теңіз» мұнайы жеңіл, жоғары сапалы өнім. Оның құрамы жоғары күкіртті. Күкіртсутек мөлшері 20-30%, ал жалпы күкірттің үлесі – меркаптандар, сульфидтер, дисульфидтер 1-10%. Мұнайды күкіртсіздендіру кезінде күкірт органикалық қосылыстар ыдырап, күкіртсутек түзіледі,

одан күкірт өндіріледі. Бір жылда 3 млн. тонна мұнай шикізаты өндірілсе, соған сәйкес 1000 тонна күкірт өндіріледі. Теңіз кенішінде күкірт сақтайтын қоймада 8-10 млн. тонна күкірттің қоры жиналған. Бұл сақталған күкірт пен күкіртсутек қоршаған ортаға зиянын тигізуде. Күкірторганикалық және бейорганикалық қосылыстарды алуда таптырмайтын шикізат. Сол себепті жыл

сайын күкіртқұрамды заттарды тұтыну көбейіп отыр.

Теңіз кенішіндегі мұнай-газ өнімінен бөлінген күкіртқұрамды заттардың химиялық құрамын зерттегенде, оның құрамында төмендегі бейорганикалық қоспалар бар екендігі анықталды. Олар: S (78,61%), C (8,22%), H (1,95%), N (0,69%), O(10,51%), Cr (0,05%), Si (0,01%), Mg (0,001%), Cu (0,0005%), Fe (0,0005%). Химиялық сараптамадан көрініп тұрғандай «теңіз күкіртінің» күкірт элементінен айырмашылығы – органикалық қосылыстардың болуында. «Теңіз күкірті» сулы-спиртті ерітіндіде экстракциялап, оған

хроматографиялық сараптама жасалынған. Газды-сұйықты хроматография әдісімен химиялық сараптама нәтижесінде күкірт құрамындағы органикалық заттардың компоненттері анықталды. Күкірт өнімін сулы-спиртті ерітіндіде Сокслет аппаратында экстракция жасап, газ-сұйық хроматография әдісі бойынша масспектроскопиялы детектирленген хроматомасспектрметрде Hewlett & Packard 5890/5972 анықталған спектрлер бойынша органикалық қосылыстардың түрлері көрсетілген. Хроматомасспектрметрде түсірілген күкіртқұрамды заттардың органикалық қосылыстары 1 кестеде – көрсетілген [1].

**1 кесте – «Теңіз күкірті» экстракциялау кезіндегі органикалық фракциялардың салыстырмалы көрсеткіштері:**

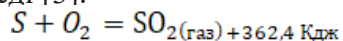
| № п/п | Қосылыстар                     | Салыстырмалы құрамы, % |
|-------|--------------------------------|------------------------|
| 1     | Октанды қышқыл                 | 0,16                   |
| 2     | Нонанды қышқыл                 | 0,24                   |
| 3     | Деканды қышқыл                 | 0,19                   |
| 4     | 3,3,5-три метилциклогексанол   | 0,04                   |
| 5     | Пентадекан                     | 0,03                   |
| 6     | Додеканды қышқыл               | 0,24                   |
| 7     | Альфа 3-циклогексено 1-метанол | 0,06                   |
| 8     | 2,6,10,14-тетраметилпентадекан | 0,30                   |
| 9     | Тетрадеканды қышқыл            | 0,54                   |
| 10    | Октадекан                      | 0,45                   |
| 11    | 3-гексадецен                   | 0,40                   |
| 12    | Нонадекан                      | 1,49                   |
| 13    | 2,6,11-триметилгептадекан      | 0,87                   |
| 14    | 9-гексадеценді қышқыл          | 1,33                   |
| 15    | 1,2-бензиндикарбонды қышқыл    | 3,59                   |
| 16    | Эйкозан                        | 1,47                   |
| 17    | 7-циклогексилтридекан          | 1,23                   |
| 18    | 3-метилэйкозан                 | 1,60                   |
| 19    | 10-метилэйкозан                | 3,35                   |
| 20    | Генэйкозан                     | 1,59                   |
| 21    | 11-трикозен                    | 1,32                   |
| 22    | Олеинді қышқыл                 | 2,84                   |
| 23    | Октадеканды қышқыл             | 3,38                   |
| 24    | Докозан                        | 2,12                   |
| 25    | 2,6,10,15-тетраметилнонадекан  | 1,98                   |
| 26    | 2-метилдокозан                 | 2,80                   |
| 27    | Трикозан                       | 2,10                   |
| 28    | 2-метилэйкозан                 | 1,44                   |
| 29    | 3-метилтрикозан                | 3,72                   |
| 30    | Тетракозан                     | 1,92                   |
| 31    | 2,6,11-триметилгенэйкозан      | 2,14                   |
| 32    | Пентакозан                     | 2,71                   |
| 33    | Гексакозан                     | 2,25                   |
| 34    | Октакозан                      | 0,61                   |
| 35    | Нонакозан                      | 0,84                   |

Теңіз кенішінен өңделген жоғары күкіртті мұнай шикізатын күкіртсіздендіру кезінде бөлінген күкірт өнімінің құрамында 30-дан аса органикалық қосылыстар мен қоспалар анықталған. Ондағы негізгі компоненттің бірі – парафиндер ( $C_8-C_{22}$ ), көміртек атомдарының сандары 8-ден 19-ға дейінгі қаныққан және қанықпаған карбон қышқылдары. Сонымен қатар, алкилді ауыстыра алатын құрылымы қалыпты циклді қосылыстардың бар екендігі анықталған [2].

«Теңіз күкіртінің» құрамындағы кездесетін органикалық қосылыстардың көпшілігі мұнай компоненттерінде болатын қосылыстар. Олар – мұнайды күкіртсіздендіру үрдісі кезінде өзгермей қалған алкендер, алкандар, циклоалкандар, арендер және карбон қышқылдары. Бұл қосылыстардың «теңіз күкіртінен» кездесуі – мұнай шикізатының құрамындағы күкіртті күкіртсіздендіру үрдісінен кейін күкіртсутектің қышқылдануынан, атмосферадағы оттегінің әсерінен және ашық ауада көп уақыт бойы сақтау кезіндегі ылғалдың әсерінен де байқалады.

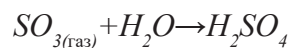
«Теңіз күкіртінің» айырмашылығы мынада: ол мұнай шикізатынан бөлінгендіктен, құрамындағы органикалық қосылыстар тек қоспа түрінде ғана емес, оның беттік қабатына сіңірілген немесе адсорбирленген ковалентті байланыстың, донорлы-акцепторлы механизмнің түзілуінен хемосорбирленген жағдайда болуы мүмкін. Мысалы, донор ретінде карбокислат – карбон қышқылдарының аниондары, ал акцептор ретінде күкірт қолданылады. Күкірт өзінің бос d-орбитасында орналасады. Күкіртқұрамды заттардың құрамындағы барлық органикалық қосылыстардың суда жақсы еритіні – карбон қышқылдары. Олар сілтілік ерітінділермен әрекеттескенде, карбон қышқылдарының тұздарын түзеді. Мысалы, беттік-активті заттар (БАЗ) ретінде белгілі натрий тұздарын алуға болады.

Күкірт қышқылын алу кезінде күкіртті жағып өртейді, бұл жерде күкірт диоксиді –  $SO_2$  бөлінеді [3].



Табиғи күкірттен күкірт қышқылын өндіру кезінде газды тазалаудың, жуудың қажеті болмайды. Балқытылған және сүзілген күкіртті пеште құрғақ ауамен жаққанда пайда болған күкіртті газдарды пеш утилизаторда салқындату арқылы жоғары қысымдағы су буын алады. Салқындатылған ( $390-450^\circ C$ ) газды ДК-жүйесінде тотықтырады және  $SO_2$  газын абсорбциялайды.

Газдарды тазалағанда алынатын  $H_2S$  шоғыры 90%-ке дейін кездеседі, ондай газды жаққанда көп мөлшерде жылу бөлінеді. Сондықтан қосымша су буын өндіру мүмкіндігі бар. Контакт массасы қабатынан шыққан ыстық газды ауаны қосу арқылы салқындатады. Газды салқындатқан кезде реакция бойынша күкірт қышқылы пайда болады:

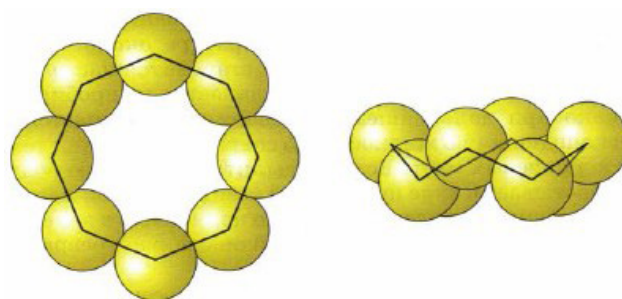


Бұл күкірттің құрамындағы басқа да бейорганикалық және органикалық заттар балқыған күкіртпен бірге балқып, жанады да сағыз тәрізді шайыр немесе резина тәрізді созылатын сукцинит жасалады, олар аппараттың немесе трубалардың ішкі қабырғаларына жабысып тұрып қалады. Мұндай кезде міндетті түрде аппараттарды тазалау керек. Енді сол күкіртті балқытып, оны баяу салқындатып, шала қата бастаған кезде төгіп тастаса, ыдыстың ішкі қабырғасына жабысып қатқан, толып жатқан қошқыл сары түсті ине тәрізді кристалдар көрінеді. Бірақ күкірттің аллотропиялық түрі  $96^\circ C$  жоғары жағдайда ғана тұрақты, одан төмен температурада ұзақ шыдамай, біртіндеп ромбалық күкіртке ауа бастайды. Осы екі модификацияның бірінің-біріне ауысу температурасы  $96^\circ C$  болады. Бұл жағдайда күкірт молекуласындағы атомдар саны өзгеріп полимерленеді.

Кәдімгі күкіртті баяу қыздырып, бақыласа біраз қызық құбылыстар көрінеді. Әуелі  $112,8^\circ C$ -та балқып, сары түсті су сияқты сылдыраған сұйыққа айналады, одан әрі  $160^\circ C$  шамасында түсі қошқыл тартып күңгірттене бастайды, ал  $250^\circ C$  маңында қойылып төңкергенде, ыдыстан төгілмейтінін

көреміз. Қыздыра берсе,  $300^{\circ}\text{C}$ -тан асқан кезде сұйылып, бірақ түсі қоңыр қалпында қалады,  $444,6^{\circ}\text{C}$ -та қайнайды. Салқындатқанда жаңағы құбылыстар кері қайталаынады. Мұнда болған құбылысты түсіну үшін мынаны ескеру керек.

Кәдімгі жағдайда күкірттің молекуласы сегіз атомнан тұрады –  $\text{S}_8$ . Қыздырғанда  $160^{\circ}\text{C}$ -тан бастап  $\text{S}_6$  айналып,  $900^{\circ}\text{C}$ -қа дейін  $\text{S}_8 \rightarrow \text{S}_6 \rightarrow \text{S}_4 \rightarrow \text{S}_2$  айнала береді, ал  $1500 - 2000^{\circ}\text{C}$ -та жеке атомдарға айналады. Салқындатқанда, полимерзация құбылысы жүреді. Әрине, осы полимерия құбылыстарына байланысты күкірттің қасиеттері өзгереді [4].



1 сурет – Ромбалық күкірт молекуласының моделі

**Тәжірибелік бөлім:** Теңіз кенішіндегі мұнайдан бөлінген күкірттен күкірт қышқылын өндіру кезінде игерілмей қалған күкірт түрін өзгертіп пластикалық күкіртке ауысады және оның бастапқы кездегі құрамындағы  $\text{C}(8,22\%)$ ,  $\text{H}(1,95\%)$ ,  $\text{N}(0,69\%)$ ,  $\text{O}(10,51\%)$ ,  $\text{Cr}(0,05\%)$ ,  $\text{Si}(0,01\%)$ ,  $\text{Mg}(0,001\%)$ ,  $\text{Cu}(0,0005\%)$ ,  $\text{Fe}(0,0005\%)$ , т.б. минералды заттар мен органикалық заттар бірге балқып, құрамы күрделі шайыр (смола) немесе құрамында көміртегі, сутегі, оттегі,

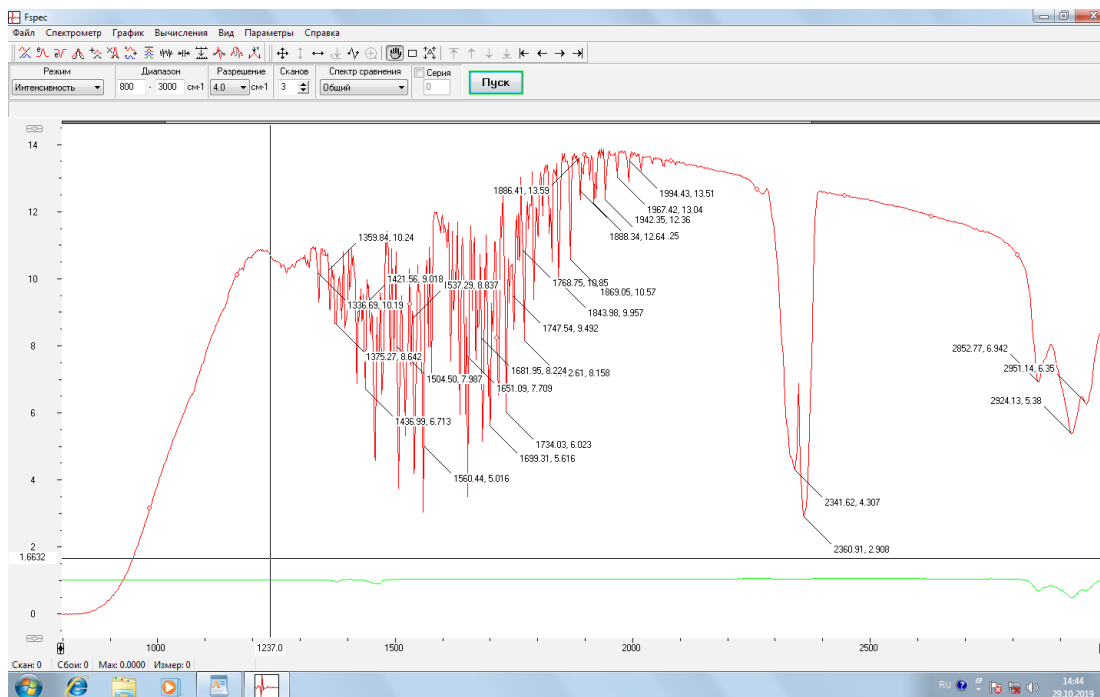
күкірт бар органикалық қышқылдардың жоғары молекулалы қосылысы түзіледі. Осы қатты қалдықты екінші рет өңдеу мақсатында майдалап үгітіп, оған янтарь қышқылының құрғақ тұзын (1:2 және 1:3) қатынасындай етіп өлшеп алып, жақсылып араластырып керамикалық табақшаға салып, электр плиткасында  $95^{\circ}\text{C}$  қыздырып балқытқанда, түрі ерекше өзгерді, біртіндеп араластыру кезінде сағыз тәрізді созылатын сукцинитке айналғаны байқалды.



2 сурет – Пластикалық күкірт пен янтарь қышқылы тұзын араластырып балқыту процесі, түзілген өнім органикалық қышқылдардың жоғары молекулалы қосылысы



3 сурет – Түзілген өнім янтарь кристалы (кәріптас)  
Түзілген кристалл Фурье – ИК-спектроскопиялық әдіспен зерттелінді



4 сурет – Түзілген өнім янтарь кристалы (кәріптас) Фурье – ИК-спектроскопиялық әдістің талдауы

Бұл 4-суретте көрініп тұрғандай әлсіз сызықтар  $1375\text{ см}^{-1}$ ,  $1432\text{ см}^{-1}$ , орташа сызықтар  $1504\text{ см}^{-1}$ ,  $1734\text{ см}^{-1}$  пластикалық күкіртке сәйкес келеді, сонымен қатар орташа сызықтар  $1537\text{ см}^{-1}$ ,  $1560\text{ см}^{-1}$ , қарқынды сызықтар  $1747\text{ см}^{-1}$ ,  $1768\text{ см}^{-1}$ , әлсіз сызықтар  $1843\text{ см}^{-1}$  және  $1869\text{ см}^{-1}$  янтарь қышқылына сәйкес келеді, сондай-ақ әлсіз сызықтар  $1942\text{ см}^{-1}$ ,  $1994\text{ см}^{-1}$  минералды заттарға,  $2652\text{ см}^{-1}$ ,  $2924\text{ см}^{-1}$  органикалық қышқылдарға сәйкес келеді.

Кәдімгі табиғи янтарь (кәріптас) суда ерімейді. Кейбір органикалық қосылыстарда – алкогольде (20-25%), эфирде (18-23%), хлороформда (20% дейін), зығыр майында ішінара ериді. Ол ыстық концентрацияланған азот қышқылында толық ыдырайды. [6] Қайнаған суда ( $100^{\circ}\text{C}$  температурада) жұмсарады. Янтарь (Кәріптас) – орташа молекулалық 79% көміртегі, 10,5% сутегі, 10,5% оттегі бар органикалық қышқылдардың жоғары молекулалы қосылысы. Оның формуласы  $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_4$ . 100 г янтарь (кәріптас) құрамында 81 г көміртек, 7,3 г сутегі, 6,34 г оттегі, аздап күкірт, азот және минералдар бар. Янтарь (кәріптас) құрамындағы жекелеген элементтер арасындағы сандық қатынастар әртүрлі болып тұрады. Бұл серияның басты өкілі – сукци-

нит. Сукцин қышқылы –  $\text{HOOC} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{COOH}$  органикалық қышқылы. Құрамында көптеген өсімдіктер, янтарь (кәріптас) бар. Бұл өсімдікті өсуге бейімдейді және өсімдіктердің өнімділігін арттырады, жүгерінің дамуын тездетеді. Сукцин қышқылы пластмасса алу үшін, шайырлардан есірткі алу үшін; синтетикалық мақсаттар үшін қоспа есебінде аналитикалық химияда қолданылады.

Л. Шмид пен Л. Эрдеһтің [6], сукцин қышқылының химиялық құрамын зерттеу кезінде сукциниттің спиртпен еритін бөлігінен суксокси-диет қышқылы, сукцино-абиетинол қышқылы, борнеол және бірқатар жақын анықталмайтын қосылыстардан алынатындығы айқын. Сукциннен құрамында 10% натрий гидроксиді және 22% шайыры бар сукцин қышқылы алынады. Осы заттарды селенмен дегидрлеу кезінде келесі құрамды екі көмірсутек алынады.  $\text{C}_{13}\text{H}_{14}$  -1,2,5-триметилнафтален (агаталин) және  $\text{C}_{16}\text{H}_{14}$  -1,7-диметилфенантрен (димантрена).

Янтарь (кәріптас) жағып өртесе күл қалады. Балтика сукцинитінің күл мөлшері аз – 0,2% тең. Украиналық (Клесовский) янтарьдың күл мөлшері 8,7% жетеді. Янтарь (Кәріптас) құрамындағы күлдің едәуір мөл-

шері олардағы минералды заттардың механикалық қоспасының айтарлықтай анық болғанын көрсетті. Қоспаның өзара араласу процесінде оттегі көп, ал қалған компоненттердің мөлшері азаяды. Янтарьдағы (кәріптас) қоспалар (химиялық элементтердің іздерінен бастап, 3% дейін) 24 химиялық элемент табылған (Y, V, Mn, Cu, Ti, Zr, Al, Si, Mg, Ca, Fe, Nb, P, Pb, Zn, Cr, Ba, Co, Na, Sr, Si, Sn, Mo, Yb). Олардың ішінде 17 - элемент Клесовский кен орнының өзгертілмеген янтарынан, 12 - Приморский кен орнының жағажай учаскесіндегі янтарынан, 11 және 13 – сәйкесінше Курондық және ПреКарпаттың янтарынан табылған. Химиялық элементтердің ең аз мөлшері түсі мөлдір янтарь болады. Аталған элементтердің ішінен Al, Si, Ti, Ca, Fe, Mg, Cu өзгеріссіз үнемі янтарьда кездеседі, ал ауада тотығып кеткен янтарьда алғашқы бес элементі ғана қалады. Кәдімгі янтарь сирек ұшырасады. Ол мөлдір, сарғыштығымен немесе жасылдау, теңіз жағасындағы толқын тәрізді, күн батуы қызыл немесе көкшіл, бұлттың ашық тұманындағы аспан сияқты түсте болады. Сонымен, сары түстің сипаттамасына янтарь (кәріптас) молекуласында белгілі бір позицияны иемденетін C = O тобы себеп екен. Янтарь (кәріптас) электр тогын нашар өткізеді, [7], бірақ жүн матамен ысқылаған кезде, ол электрленеді және ұзақ уақыт теріс электр зарядтарын сақтайды. Сонымен қатар, янтарь (кәріптас) қағаз бөліктерін, сабанды, шашты тартады. Бұл қасиет барлық шайырларға тән, бірақ олардың ешқайсысында (кәріптас) сияқты тартымды күш жоқ. Янтарь

(кәріптас) диэлектрлік тұрақтысы – 2,863 тең. Янтарь (кәріптас) тығыздығы – теңіз суының тығыздығына тең. Кәріптас тұщы суға батып, тұзды суда жүзеді. Сондықтан кәріптас бөліктері толқындарға оңай түседі, түбіне батып кетпейді. Ауыр сұйықтықтардағы гидростатикалық салмақпен анықталатын өзгермеген кәріптастың тығыздығы 1 ден 1,18 г см<sup>3</sup> аралығында болады.

Янтарь (кәріптас) – кеуекті, ол оны сұйық және газ тәрізді заттарға өткізгіш етеді. Суда және кейбір органикалық заттарда ісінеді. Сұйықтыққа қаныққан кезде оның көлемі 8%-ға артады. Құбырды толтырудың ең үлкен дәрежесі эвакуация және қанықтыруға мәжбүрлеу арқылы жүзеге асырылады.

Кәріптас – жұмсақ органикалық зат. Оның қаттылығы Мох шкаласы бойынша 2-2,5 баллды құрайды. Микрохардометрде 100 г жүктеме кезінде өлшенгенде, 16,3-тен 38,7 кг/м<sup>3</sup>-ге дейін кездеседі. Кәріптастың қаттылығы, мөлдір түстен сары мөлдір түске дейін біртіндеп артады. Ең қиыны мөлдір кәріптас. Қаттылығы көптеген себептерге байланысты болады. Олардың негізгілері кәріптас құрамы, қоспаның қасиеттері жағынан ұқсас.

### Қорытынды

Жасалынған ғылыми-зерттеу жұмысын қорытындылай келе, ЖШС «Қазфосфат» Минералды тыңайтқыштар зауытындағы күкірт қышқылын алу цехында туындаған пластикалық күкіртті қайта өңдеу мәселесі қарастырылды.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Х.Р. Садиева, Г.К. Бишимбаева, Ш.М. Умбетова, С.З. Матеева, Г.Б. Джумабекова, А.М. Сейсебаев, Е.И. Атенев// Производство сульфида и полисульфида щелочных и щелочно-земельных металлов на основе переработки нефтяной серы Тенгизского месторождения. Журнал Инновации для бизнеса России и Казахстана материалы форума иннов-х бизнес-лидеров – Российской Федерации и РК, 2016 г. – С. 75-82.
2. Г.К. Бишимбаева, Ш.М. Умбетова, Х.Р. Садиева, Д.Т. Сартаев, Е.А. Джахметов, Ж. Беркинова//Тенгизская сера, как сырье для получения инновационных материалов на основе модифицированной полимерной серы. – ИХН, Серия Химическая. – № 2. – 2015 г. – С.18-22.

3. У.К. Бишимбаев, Ш. Молдабеков, К.Т. Жантасов, Ә.Ә. Анарбаев//Бейорганикалық заттардың химиялық технологиясы. – 1 том. Күкірт қышқылының технологиясы. – Алматы: Кітап баспасы, 2006 ж. – 41-56 б.
4. Вертушков Г.Н., Авдонин В.Н. Физические и химические свойства минералов и определитель минералов по внешним признакам. – М.: Издание С.Г.И. им. В.В. Вахрушева, 1970.
5. Кленов А.С. Занимательная минералогическая энциклопедия. – М.: Педагогика-Пресс, 2000.
6. Николаев С.М. Камни и легенды. – Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007.
7. Сребродольский Б.И. Янтарь. – М.: Наука, 1987.

УДК 693.547.3  
МРНТИ 67.15.35

## TIME FACTOR FOR SET OF CRITICAL STRENGTH OF WINTER CONCRETE

BRZHANOV R.T.

*Caspian state university of technology and engineering  
named after Sh. Yessenov, Aktau, Kazakhstan*

**Abstract:** *This paper assesses the technological features of winter concreting. In order to predict the cooling time to the set of critical strength, the following are taken into consideration: surfacing module, initial and final temperature of concrete, specific heat capacity of concrete, outdoor temperature, type of concrete formwork. The additional costs of thermal insulation of concrete are considered by taking into account its heat release, thermal conductivity of heat of various formwork.*

**Key words:** *winter concreting, concrete cooling time, critical strength, winter concreting methods*

## ҚЫСҚЫ БЕТОННЫҢ КРИТИКАЛЫҚ БЕРІКТІГІН АЛУҒА ҚАТУ МЕРЗІМІНІҢ ӘСЕРІ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада қысқы бетонның технологиялық ерекшеліктері анықталады. Бетон сыни беріктікке жеткенге дейін салқындату уақытын болжау үшін мыналар назарға алынады: бетонның модулі, бетонның бастапқы және соңғы температурасы, бетонның нақты жылуы, сыртқы температура, бетонды өңдеу түрі. Бетонның жылу оқшаулауының қосымша шығындары оның жылуды шығаруын, әртүрлі пішіндердің жылу өткізгіштігін ескере отырып қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** қысқы бетондау, бетонның салқындату уақыты, сыни беріктігі, қысқы бетондау әдістері

## ФАКТОР ВРЕМЕНИ ДЛЯ НАБОРА КРИТИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ЗИМНЕГО БЕТОНА

**Аннотация:** В данной статье рассматриваются технологические особенности зимнего бетонирования. Для прогнозирования времени остывания до набора бетоном критической прочности принимаются во внимание: модуль поверхности, начальная и конечная температура бетона, удельная теплоемкость бетона, температуру наружного воздуха, тип опалубки бетона. Рассмотрены дополнительные расходы на теплоизоляцию бетона с учетом его тепловыделений, теплопроводимость тепла различных опалубок.

**Ключевые слова:** зимнее бетонирование, время охлаждения бетона, критическая прочность, методы зимнего бетонирования

The urgency of the problem is the need to increase the durability of materials and products, formed of multicomponent chemical compounds. Concrete and reinforced concrete, in fact, are the products of chemical transformation of dry, loose components into the hard stone, after a large number of interactions with each other in the presence of water. In what way the reaction will go between the concrete components and whether it goes, depends, among other things, on external influences.

Particularly it refers to the construction of buildings from solid concrete. This technology improves the efficiency of construction, there is an opportunity of diversity architectural expression and volume planned solutions.

However, these and other advantages of the concrete is not completely implemented, since the peculiarity of interaction patterns are not sufficiently investigated, constituting of these systems based on deformability, durability of characteristics. The properties of materials are caused by temperature, humidity impacts, and

also the interaction time of hydration products with each other and with the environment. This provision is particularly important for the majority of regions of Russia and Kazakhstan, where the winter period lasts for more than 6 months a year. Moreover, a substantial impact on the qualitative and quantitative indicators of these patterns exert all sorts of additives and technological products (ash, slag). [1]

For winter concreting a variety of technological methods are used, which can be divided into two major groups - heating methods and no heating methods. The main parameters of choice of winter concreting production technology are the massiveness of concreted structures; critical strength of concrete; presence of a developed infrastructure for ensuring the construction of energy resources and equipment. The module of surface characterizes the massiveness of construction and equal to the ratio of the cooling surface structure  $F$ ,  $m^2$  to its volume  $V$ ,  $m^3$ .

| Type of construction                                                                                        | Minimal air temperature, ° C, until | The method of concreting                                                                  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Massive concrete and reinforced concrete foundations, blocks and slabs with $M_n \leq 3$                    | -15                                 | thermos                                                                                   |
|                                                                                                             | -20                                 | an accelerated thermos                                                                    |
| Foundations under the construction of buildings and equipment, massive walls, etc. with $M_n = 3 - 6$       | -15                                 | thermos, an accelerated thermos                                                           |
| Columns, beams, purlins, elements of frame structures, piled grillages, walls, overlaps with $M_n = 6 - 10$ | -15                                 | an accelerated thermos, an accelerated thermos with electro warming or electrical heating |

Economically the most expedient is the method of «thermos» (table 1). During the application of any method of winter concreting is necessary to provide so-called critical strength, i.e., the strength by the complete freezing time of the concrete. In practice, standing the construction by the method of thermos is more often necessary to determine the cooling time of the concrete, as well as the amount collected during this strength time. Depending upon the specific conditions of production work, this task can be solved by the calculation method of B.G.

Skramtaev or by the method of V.S. Lukyanov. Besides these methods, there are different methods for calculating of cooling concrete and reinforced concrete structures - analytical, divisional integration, approximate solutions, analogies (hydraulic and electric), experimental.

The simplest and sufficiently reliable for practical purposes is the calculation method of B.G. Skramtaev with changes in the calculation formula brought by S.A. Mironov. By this method the cooling of the construction is calculated by the formula:

$$\tau = \frac{c \cdot \nu (t_{b.n.} - t_{b.k.}) + E C}{K \cdot M_n (t_{ber} - t_v)}, \quad (1)$$

where:  $\tau$ - positivity of concrete cooling, hour;  
 $c$ - specific heat capacity of concrete kJ / (kg. °C);  
 $\gamma$  – volume weight of concrete kg / m<sup>3</sup>;

$t_{b.n.}$ - the initial temperature of the concrete mix before laying into the construction °C;

$t_{b.k.}$  – the final temperature of concrete, to which the continuance of the concrete cooling is calculated, °C;

$E$  - heat generation of 1 kg cement during the cooling time, KJ;

$C$  - cement consumption for 1m<sup>3</sup> of concrete, kg;  
 $K$ - the heat transfer coefficient of formwork, W / (m<sup>2</sup>. °C);

$M_n$  - the module of a surface cooling construction, m-1;

$t_{b.sr.}$  - the average value of the concrete temperature during the cooling time, °C;

$t_{b.}$  - the external air temperature, °C.

Accelerated thermos extends the area of thermos application, due to introduction of antifreeze additives into the concrete. Such concrete, having accumulated the critical strength in the cold, after thawing and hardening (28 days) under normal conditions acquires the strength not less than 100% of the grade. In order to conduct the calculation time of cooling the concrete, the following data is needed: the size of construction, type and grade of concrete, consumption and activity of cement, the external air temperature, wind speed, steel consumption to 1m<sup>3</sup> of concrete, the initial temperature of concrete, formwork material. The sequence of calculation.

Determine the volume of concrete in the construction

$$V = h B \quad (2)$$

Complete surface of cooling the construction

$$F = 2(hB + BL + hL) \quad (3)$$

where:  $h, B, L$ . – is subsequently the thickness, width, length of concreted structure.

The module of surface structure

$$M_n = \frac{F}{V} \quad (4)$$

$$t'_{6K} = \frac{c\gamma t_{6K} + C_1 P_1 t_z}{C\gamma + C_1 P_1} \quad (5)$$

where:  $C_1$  and  $C$  – is a specific heat of concrete and fittings (kJ / kg)  $P_1$ - is a consumption of fittings kg \ m<sup>3</sup>. $\tau$

From the tables and handbooks [2] the average temperature of concrete hardening is defined ( $\kappa.cp$ ) which can achieve the required strength at specified time ( $\tau$ ). For this specific material and formwork construction its coefficient of heat transfer is calculated by the formula:

$$K = \frac{C\gamma}{M_n \tau} \left[ 1,5 - \sqrt{\frac{6(t_{6cp} - t_z)}{t'_{6K} - t_z}} - 3,75 \right] \quad (6)$$

The application range of this formula:

$$\frac{t_{6cp} - t_z}{t'_{6K} - t_z} \geq 0,625 \quad (7)$$

A specific heat flux through the formwork

$$g = K(t_{bn} - t_v) \quad (8)$$

For the selected type of formwork the temperature at its outer surface is specified

$$t_{on}^K = t_z + q \frac{1}{\alpha_n + \alpha_k} \quad (9)$$

The value  $t_{op}^H$  must satisfy the requirement:

$$\frac{t_{on}^K - t'_{on}}{t_{on}} \times 100\% \leq \pm 5\% \quad (10)$$

Determine the average temperature of formwork heating at the beginning of cooling:

$$t_{on}^P = \frac{t'_{6K} + t_{on}^K}{2} \quad (11)$$

Calculate the heat, consumed for formwork heating :

$$Q_{on} = (t_{on}^P - t_z) \sum_{i=1}^n C_i F_i \delta_i \gamma_i \quad (12)$$

where:  $C_i, F_i, \gamma_i$  – is a specific heat capacity, area, thickness and volume weight of formwork.

We specify the temperature of concrete to the beginning of cooling taking into account heat losses on the heating of the fittings and formwork.

The coefficient value of formwork heat transport:

$$K' = \frac{C_{\gamma}}{M_{\pi} \tau} \left[ 1,5 - \sqrt{\frac{6(t_{\text{ср.}} - t_z)}{t_{\text{ср.}} - t_z}} - 3,75 \right] \quad (13)$$

If this calculation does not confirm the necessary heat protection of formwork., it is necessary to enter additional thermal insulation of formwork. and re-count the heat transfer coefficient [3]. Considering that, with rising temperature the thermal conductivity of the materials change, according to the empirical formula of O.V.Vlasov the thermal conductivity material of formwork  $\lambda_t$  is calculated by the formula:

$$\lambda_t = \lambda_0 (1 + 0,0025 t_{\text{он}}^p) \quad (14)$$

where:  $\lambda_0$  – coefficient of thermal conductivity of formwork material at 0° C

$t_{\text{оп}}^r$  - heating temperature of formwork materials . The thickness of thermal protection of formwork is determined by the formula:

$$\delta_{\text{те}} = \lambda_{\text{те}} \left[ \frac{1}{K'} - \left( \frac{1}{\alpha_{\pi} + \alpha_x} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} \right) \right] \quad (15)$$

which:  $\lambda_1, \lambda_{\text{ис}}$  – coefficient of thermal conductivity, according to insulation and components of formwork materials at  $t_{\text{он}}^r$

The specific heat flux is specified through the formwork:

$$q^1 = K^1 (t_{\text{bn}} - t_v) \quad (16)$$

The final temperature of outer surface of formwork is specified :

$$t_{\text{он}}^{\text{ок}} = t_z + \frac{q'}{\alpha_{\pi} + \alpha_x} \quad (17)$$

We specify the percentage of error given by the  $t_{\text{он}}^1$  and rated temperature of  $t_{\text{он}}^{\text{ок}}$  on the outer surface of formwork

$$\frac{t_{\text{он}}^{\text{ок}} - t_{\text{он}}^1}{t_{\text{он}}^1} \times 100\% \leq \pm 5\% \quad (18)$$

Determine the concrete temperature at the end of a specified period of cooling:

$$t_6^x = (t_{\text{ср.}}'' - t_z) e^{\frac{-k' M_{\text{ср.}} \tau}{C_{\gamma}}} + t_z \quad (19)$$

heck the continuation of concrete cooling to  $t_{\text{bn}}^d$

$$\tau = \frac{C_{\gamma} (t_{\text{ср.}}'' - t_{\text{ср.}})}{k' M_{\pi} (t_{\text{ср.}} - t_6)} \quad (20)$$

In the given formula the heat from exotherm of cement is not considered, because it is already considered during the calculation of the average temperature of concrete hardening, as well as the calculation of the heat transfer coefficient of formwork.[4]. By these formulas the cooling time of concreted structures for specific climatic and other conditions can be calculated, and also diagrams of cooling for these conditions can be constructed, necessary thermal insulation of formwork can be select [5].

## REFERENCES

1. R.T. Brzhanov. Problems of selecting the methods of winter concreting. Messenger of PGU №2, 2009., p.14-33.
2. Bagheri-Zadeh S. H. et al. Field study of concrete maturity methodology in cold weather //Journal of Construction Engineering and Management. – 2007. – T. 133. – №. 11. – P. 827-835.
3. Giancoli D. C., Giancoli D. C. Physics for scientists and engineers with modern physics. – Upper Saddle River, NJ : Prentice hall, 2000. – T. 130215171.
4. Yang K. H., Mun J. S., Cho M. S. Effect of curing temperature histories on the compressive strength development of high-strength concrete //Advances in Materials Science and Engineering. – 2015. – T. 2015.
5. Brzhanov R. T., Pikus G. A., Traykova M. Methods of increasing the initial strength of winter concrete //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – T. 451. – №. 1. – P. 012083.

ӘОЖ 544.773.33  
МРНТИ 31.25.19

## АНИОНДЫ ЖӘНЕ БЕЙИОНДЫ БАЗ КОМПОЗИЦИЯЛАРЫНЫҢ ЭМУЛЬСИЯЛАР ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНА ӘСЕРІ

ЕСИМОВА О.А., ҚҰМАРҒАЛИЕВА С.Ш., ҚАЗИЗХАНОВА Б.Қ.  
МУСАБЕКОВ К.Б., КЕРІМКУЛОВА М.Ж.

әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті,  
Алматы, Қазақстан

**Аңдатпа:** Өсімдік майы /су эмульсиялары алынды және тұрақтылығына беттік активті заттар және композицияларының әсері зерттелді. Беттік-активті заттар ретінде анионды натрий олеаты  $C_{12}H_{33}COONa$  және ионсыз Tween-80 алынды. Аталған эмульсияларға беттік-активті заттардың тұрақтандырғыш қасиеттерін болжау үшін жеке беттік активті заттар мен олардың композицияларының сулы ерітінділерінің беттік керілуі өлшенді. Твин-80 және олардың комплекстерінің сулы ерітінділерінің беттік керілуі изотерма қисықтары жеке компоненттерге қарағанда, олардың композицияларының беттік активтілігі жоғары екенін көрсетті. Май /су эмульсияларының «өмір сүру уақыты» фазалардың әртүрлі қатынасында анықталады – 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9 және ең тұрақты эмульсия 6:4 қатынасында екенін оны әрі қарай зерттеу үшін қолданылады. Таңдалған эмульсия тұрақтылығына жеке БАЗ-дардың және олардың композицияларының әсері зерттелді. Жеке БАЗ-ды енгізгенде, эмульсиялардың өмір сүру уақыты 45-50 мин-қа ұзарса, композиция енгізгенде 60-65 мин-қа дейін артты. Өсімдік майы /су эмульсиясына оң тұрақтандырғыш әсерін Tween-80 және 1:1 қатынастағы Tween-80 және натрий олеатының композициясы көрсетті.

**Түйінді сөздер:** беттік керілу, эмульсия тұрақтылығы, беттік активті заттар (БАЗ)

## ВЛИЯНИЕ КОМПОЗИЦИЙ АНИОННЫХ И НЕИОННЫХ ПАВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ЭМУЛЬСИЙ

**Аннотация:** Были получены эмульсии растительное масло/вода и изучено влияние индивидуальных и композиционных поверхностно-активных веществ на их стабильность. В качестве ПАВ использованы анионный олеат натрия  $C_{12}H_{33}COONa$  и неионногенный Твин-80. Для прогнозирования стабилизирующих свойств ПАВ относительно получаемых эмульсий измерено поверхностное натяжение водных растворов отдельных поверхностно-активных веществ и их композиций. Изотермы поверхностного натяжения исследуемых водных растворов олеата натрия, Твин-80 и их композиций показали, что поверхностная активность композиционных ПАВ выше, чем отдельных компонентов. Определено «время жизни» эмульсий масло/вода при различных соотношениях фаз – 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9 и выявлено, что наиболее устойчивой является эмульсия при соотношении 6:4, которая использована для дальнейшего исследования. Изучено влияние отдельных ПАВ и их композиций на устойчивость выбранной эмульсии. Показано, что при введении отдельных ПАВ продолжительность жизни эмульсий увеличивается на 45-50 мин, при введении композиции – до 60-65 мин. Хорошее стабилизирующее действие на эмульсии растительное масло/вода показали Твин-80 и композиции Твин-80 и олеата натрия при соотношении компонентов 1:1.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, устойчивость эмульсии, поверхностно-активные вещества (ПАВ)

## THE EFFECT OF COMPOSITIONS OF ANIONIC AND NONIONIC SURFACTANTS ON THE STABILITY OF EMULSIONS

**Abstract:** Emulsions of vegetable oil/water were obtained and the effect of individual and composite surfactants on their stability was studied. Anionic sodium oleate  $C_{12}H_{33}COONa$  and nonionic Tween-80 were used as surfactants. To predict the stabilizing properties of surfactants relative to the resulting emulsions, the surface tension of aqueous solutions of individual surfactants and their compositions was measured. The surface tension isotherms of the studied aqueous solutions of sodium oleate, Tween-80 and their compositions showed that the surface activity of composite surfactants is higher than that of the individual components. The "lifetime" of oil/water emulsions was determined at various phase ratios such as 9:1, 8:2, 7:3, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9, and it was revealed that the most stable emulsion is at a ratio of 6:4, which was used for further research. The effect of individual surfactants and their compositions on the stability of the selected emulsion was studied. It is shown that with the injection of individual surfactants, the life expectancy of emulsions increases by 45-50 minutes, and with the injection of the composition it increases up to 60-65 minutes. A good stabilizing effect on the emulsion of vegetable oil/water was shown by Tween-80 and the composition of Tween-80 and sodium oleate with a component ratio of 1:1.

**Key words:** surface tension, emulsion stability, surfactants

### Кіріспе

Табиғи және синтетикалық беттік-активті заттар (БАЗ) косметика саласындағы негізгі компоненттерінің бірі. Олар өнімдердің көбіктенуін, жұғуы, эмульсиялануын, дисперсиялануын, гомогенденуін, тұрақтануын қамтамасыз ететін өте маңызды косметикалық ингредиенттер. Беттік-активті заттар қоспаларының қасиеттерін зерттеу ғылыми-зерттеу жұмыстардың перспективті бағыты болып табылады [1-3].

Косметикалық өндірістегі коллоидтық үрдістердің алатын орны ерекше, маңызы зор. Себебі косметикалық зат құрамына бірнеше химиялық қосылыстар кіретін күрделі композиция болып келеді. Косметикалық заттардың көбі дисперстік жүйелерге жатады, ал дисперсті жүйелердің негізгі ерекшелігі – беттік қабаттағы бос энергияның артық мөлшерінің болуынан олардың тұрақсыздығы. Сондықтан коллоидтық химияның маңызды мәселелерінің бірі – дисперсті жүйелерді тұрақтандыру. Косметикалық заттар өндірісінде кең қолданылатын дисперсті жүйелердің бірі эмульсиялар болғандықтан,

оларды тұрақтандыру мен тұрақсыздандыру мәселесі коллоидтық химияның тапсырмалар қатарында негізгі орын алады [4-5].

Практикада қолданылатын эмульгаторлар қажетті физикалық-химиялық қасиеттерінің комплексін қамтамасыз ететін бірнеше компоненттердің қоспасы болып табылады. Бірақ мұндай қоспалардың құрамын таңдау әдетте эмпирикалық жолмен жүзеге асады. Осыған байланысты беттік-активті заттар мен полимер композицияларының перспективті қолданылуы көрсетілген. Себебі бұл фазалардың бөліну шекарасында түзілген ассоциаттардың беттік активті және физикалық-химиялық қасиеттерін басқаруға мүмкіндік береді. Білетініміздей, біреуі екіншісінде дисперсияланған екі араласпайтын сұйықтықтан тұратын эмульсиялардың пайда болуы тұрақтандырғыш қоспайынша мүмкін емес. БАЗ-дармен полимерлердің композицияларында синтетикалық полиэлектролиттермен мицелла түзгіш БАЗ-дар арасында гидрофобтық әрекеттесулер тұрақтандырылған электр-статикалық байланыстар арқылы комплекстер

түзілетіні көрсетілген. Бұл кезде түзілетін поликомплексстер жеке компоненттерге қарағанда ерекше қасиеттер көрсетіп, оларды жаңа жоғары молекулалы беттік-активті заттар ретінде қарастыруға болады [6-7].

Эмульсиялардың негізгі компоненттері су, май және тұрақтандырғыштар. Тұрақтандырғыштар ретінде беттік-активті заттар, полимерлер, табиғи қосылыстар пайдаланылады.

Жұмыстың мақсаты – әртүрлі қатынаста су/май эмульсияларын алып, олардың тұрақтылығына БАЗ композицияларының әсерін зерттеу.

### Зерттеу бөлімі

Эмульсиялардың тұрақтылығына композициялық БАЗ әсерін зерттеу мақсатында бейионды (Твин-80 – ангидросорбиттің оксиэтиленген моноолеаты) және анионды (натрий олеаты –  $C_{13}H_{27}SONa$ ) беттік-активті заттар мен олардың композициялары алынды. Беттік керілу изотермаларында ауытқулар болмағандықтан, қолданылған заттар қосымша тазартуды талап етпеді. Судағы ерітінділер 10-1–10-5 моль/л концентрация аралығында дайындалды.

Жеке және композициялық БАЗ-дардың тұрақтандырғыш әсері туралы болжам жасау үшін алдымен ерітінділердің беттік керілуі өлшенді, себебі беттік керілу дисперсті жүйе тұрақтылығының маңызды термодинамикалық көрсеткіші. Беттік керілу Ребиндер қондырғысының көмегімен айқындалды.

Бұл композициялардың және жеке БАЗ-дардың тұрақтандырғыш әсерін анықтау үшін өсімдік майы/су эмульсиялары гомогенизатор қондырғысы арқылы алынды. Эмульсиялар су мен өсімдік майының әртүрлі қатынасында алынып, олардың ішінен ең тұрақтысы ары қарай зерттеулер үшін таңдалды.

### Нәтижелер және оларды талқылау

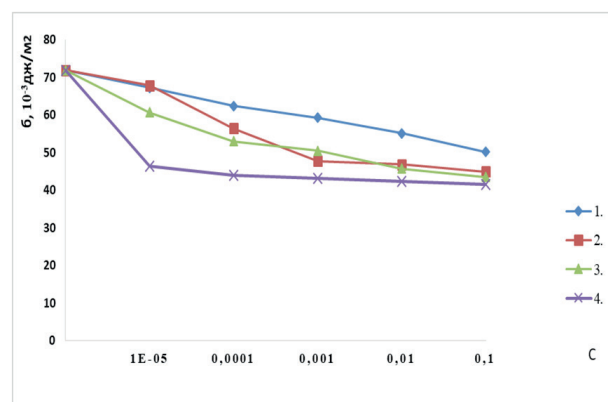
Эмульсиялар – микрогетерогенді жүйелердің өкілі, олар косметикада, технологияда, техникада кеңінен қолданып, табиғатта кең таралған. Сонымен қатар, жаңа бактерицид-

тік қасиеттері бар БАЗ-дармен эмульсияларды тұрақтандырудың практикалық маңызы зор. Эмульсияларды тұрақтандыру үшін беттік-активті заттар және олардың ассоциаттары қолданылады.

Жұмыстың мақсатына сәйкес өсімдік майы/су эмульсиялары зерттелінді. Ол үшін май фазасы ретінде өсімдік майы алынды. Косметикада өсімдік майы негізгі шикізат көзі ретінде пайдаланады және өсімдік майы өзінің қолжетімділігімен, арзандылығымен тиімді. Осыған байланысты сұйық май/су эмульсияларын алып, олардың қасиеттерін зерттеу қолға алынды.

Зерттеуге алынған анион-активті натрий олеаты және бейионды Твин-80 БАЗ қоспалары ерітінділерінің беттік қасиеттері зерттелді. Композициялық БАЗ-дарды өндірістің көптеген саласында қолдануына байланысты олардың әртүрлі фазааралық шекарадағы қасиеттерін зерттеу қажеттігі туындайды. Себебі беттік керілу беттік активтілікті бағалайтын шама.

БАЗ-дар мен олардың композицияларының беттік керілу изотермалары арқылы БАЗ беттік активтілігі мен тұрақтандырғыш әсері туралы қорытындылайды. Беттік активті заттар мен олардың комплекстерінің беттік керілу изотермалары 1-суретте берілген.

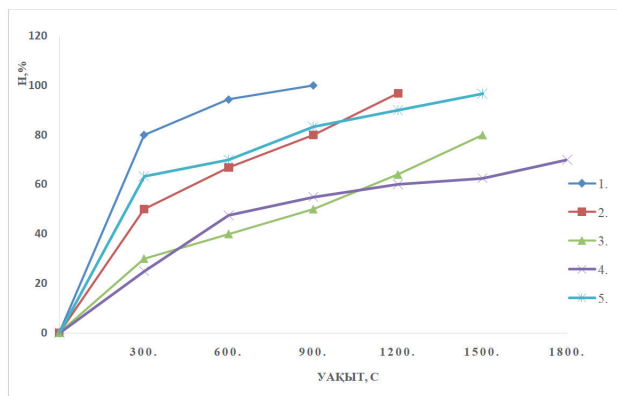


1 – сурет. Жеке және композициялық БАЗ-дар ерітінділерінің беттік керілу изотермалары

1 - Натрий олеаты; 2-Твин-80; 3-Натрий олеаты (0,1 моль/л) + Твин-80;  
4 -Твин-80 (0,1 моль/л) +Натрий олеаты композициялары

Зерттеу нәтижесінде алынған изотермаларынан жеке компоненттерге қарағанда беттік керілу олардың комплекстерінде төмендейтіндігі, бұдан олардың беттік активтілігі жоғары екені көрінеді. Алайда, коспа ерітіндісі ауа шекарасындағы адсорбциялық қабаттың қанығуы жеке компоненттерге қарағанда, тезірек жүреді және алынған композициялар ерітінділерін эмульсияларды тұрақтандыру үшін қолдануға болады.

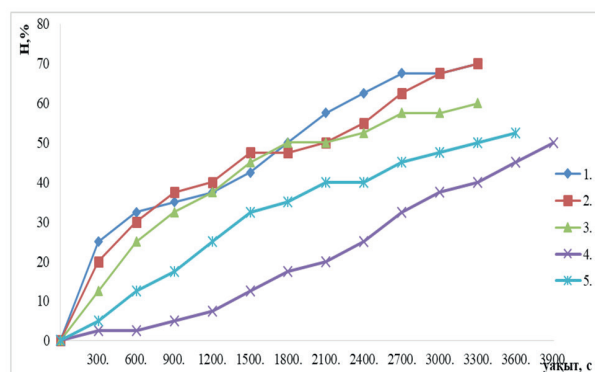
Тұрақты эмульсиялар алу үшін өсімдік майы/су эмульсияларындағы фазалардың тиімді қатынасын анықтап алу керек. Сондықтан алдымен фазалардың әртүрлі – 9:1, 8:2, 7:3, 6:4, 5:5, 4:6, 3:7, 2:8, 1:9 көлемдік қатынасында өсімдік майы/су эмульсиялары алынып, олардың тұрақтылығы анықталды. Енді осы нәтижелер бойынша (2-сурет) тұрақтылығы біршама жоғары эмульсия 6:4 қатынасында болды.



2 – сурет. Әртүрлі қатынастағы өсімдік майы/су эмульсиялары бұзылуының кинетикалық қисықтары  
1-7:3; 2-6:4; 3-5:5; 4-4:6; 5-3:7

Фазалардың 4:6 көлемдік қатынасында күнбағыс майы/су эмульсияларының өмір сүру уақыты басқаларына қарағанда үлкен, бірақ практикада қолдану үшін жеткіліксіз. Сондықтан эмульсияның тұрақтылығын арттыру мақсатында оларға ионды және бейионды БАЗ таңдап алынды және олардың композицияларының әсері зерттелді. Натрий олеаты мен Твин-80 сулы ерітінділері (10-5-10-1 моль/л) дайындалды. Әр БАЗ-дың әсерін бағалау үшін олар алдымен жеке-жеке зерттелді. Нәтижелер көрсеткендей, натрий олеатының

10-1 моль/л концентрациясы эмульсия тұрақтылығын біршама арттырды және өмір сүру уақыты 45 мин-қа жетті. Бейионды БАЗ Твин-80-нің эмульсия тұрақтылығына әсерін зерттеу үшін 10-5-10-1 моль/л концентрациялары дайындалып, әрқайсысына жеке-жеке зерттеу жүргізілді. 10-1 және 10-2 моль/л концентрациялары ең тиімді нәтиже көрсетті – эмульсиялардың өмір сүру уақыты 45-тан 60 дейін өсті.



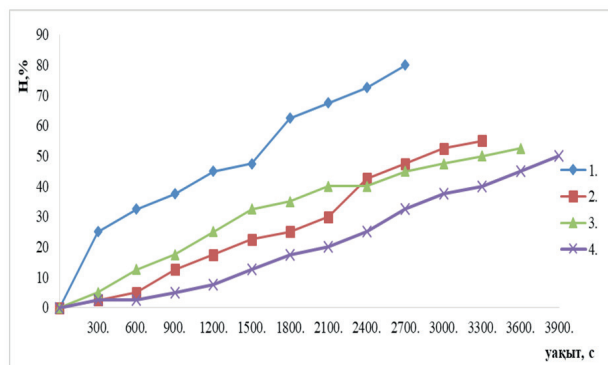
3 – сурет. Твин-80 (0,1 моль/л) + натрий олеаты композициялары қатысындағы эмульсиялардың бұзылуының кинетикалық қисықтары

Натрий олеатының концентрациялары:  
1-10-5 моль/л; 2-10-4 моль/л; 3-10-3 моль/л;  
4-10-2 моль/л; 5-10-1 моль/л

Эмульсияның тұрақтылығын одан ары қарай арттырып, нақты нәтижеге қол жеткізу үшін натрий олеаты мен Твин-80-нің композициялары дайындалды. Бірінші композиция натрий олеаты 0,1 моль/л және Твин-80-нің әртүрлі концентрациясынан, ал екінші композиция керісінше Твин-80 0,1 моль/л және натрий олеатының әрқилы концентрациясынан тұрады.

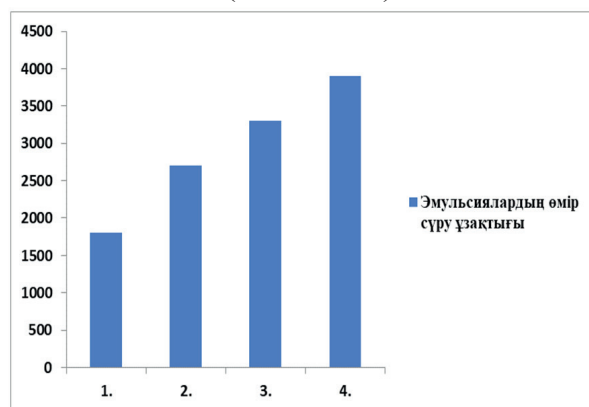
Алынған мәндер бойынша нәтижелерді салыстыратын болсақ, екінші композиция айтарлықтай айқын тиімді нәтиже берді. Егер жеке БАЗ-ды енгізгенде, эмульсиялардың өмір сүру уақыты 45-50 мин-қа ұзарса, композиция енгізгенде 60-65 мин-қа дейін артты.

Салыстырмалы түрде 4-суретте жеке БАЗ-дардың және оң нәтиже көрсеткен композициялардың эмульсияның тұрақтылығына әсері көрсетілген.



4 – сурет. Өсімдік майы/су эмульсиялары бұзылуының кинетикалық қисықтары

1-натрий олеаты; 2-Твин-80; 3-Натрий олеаты (0,1моль/л) + Твин-80 (0,1моль/л); 4-Твин-80 (0,1моль/л) + натрий олеаты (0,01моль/л)



5 – сурет. Эмulsionların өмір сүру уақыты  
1- 6:4, 2 - Натрий олеаты, 3 - Твин-80, 4 - Натрий олеаты+Твин-80

Алынған нәтижелері бойынша өмір сүру уақыты есептелді. Нәтижелер диаграммада көрсетілген (5-сурет). Ең өнімді нәтижені композициялар көрсетті. Эмульсия тұрақтылығы бойынша оларды келесі қатарға қоюға болады: Натрий олеаты < Твин-80 < натрий олеаты (0,1 моль/л) +Твин-80 < Твин-80+натрий олеаты (0,1 моль/л).

## Қорытынды

Зерттеу нәтижесінде өсімдік/майы су эмульсиялары алынып, олардың тұрақтылығына анионды БАЗ және бейионсыз беттік-активті заттар мен олардың композицияларының әсері, сондай-ақ олардың өмір сүру уақыты зерттелді. Табиғаты әртүрлі БАЗ қоспаларымен тұрақтандырылған май-су эмульсияларының негізгі коллоидты- химиялық заңдылықтары анықталды. Таңдалған эмульсия тұрақтылығына жеке БАЗ-дардың және олардың композицияларының әсері зерттелді. Жеке БАЗ-ды енгізгенде, эмульсиялардың өмір сүру уақыты 45-50 мин-қа ұзарса, композиция енгізгенде 60-65 мин-қа дейін артты. Өсімдік майы / су эмульсиясына жақсы тұрақтандырғыш әсер Tween-80 және 1:1 қатынастағы Tween-80 және натрий олеатының композициясы көрсетті.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Санова Л.А., Дрони́кова Т.В. Поверхностно-активные вещества в пеномоющих косметических средствах/ Л.А.Санова, Т.В. Дрони́кова// Вестник ВНИИЖ. – 2010. – Т. 1. – №1. – С.36.
2. Поверхностно-активные вещества и композиции. Справочник. /Под ред. М.Ю. Плетнева. – М.: ООО «ФирмаКлавель», 2002. – 768 с.
3. Иванова Н.И. Мицеллообразование и поверхностные свойства водных растворов бинарных смесей твин-80 и бромида цетилтриметиламмония. //Вестник Моск. ун-та. Сер.2. Химия. – 2012. Т. 53. – №1.
4. Коини Т. Пенообразование некоторых диметиконсополиолов/ Т. Коини, В. Эстермайер, А. Хебер // SOFW-Journal. – 2003. – №1. – С.4-10.
5. Богданова Ю.Г., Должикова В.Д., Сумм Б.Д. Смачивание твердых тел водными растворами бинарных смесей ПАВ. //Коллоидн. журнал. – 2003. – Т. 65. – №3. – С.316-322.

6. Омарова К.И. Адсорбционное модифицирование поверхности твердых тел синтетическими полиэлектролитами и поликомплексами: дисс. докт. хим. наук.: 02.00.11. – Алматы, 2005. – С.267.
7. Юнусов А.А., Хафмзов Н.Н. Влияние анионных поверхностно-активных веществ на электрическую проводимость обратной эмульсии в диэлектрическом гидрофобном капилляре. //Коллоидной журнал. – 2007. – Т.69. – №4. – С.563-566.

УДК 661.152.33  
МРНТИ 61.33.35

## СЛОЖНО-СМЕШАННЫЕ NPK-УДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ, ФОСФОРИТНОЙ МУКИ И ХЛОРИДА КАЛИЯ

КЫДЫРАЛИЕВА А.<sup>1</sup>, БЕСТЕРЕКОВ У.<sup>1</sup>, ПЕТРОПАВЛОВСКИЙ И.<sup>2</sup>,  
БОЛЫСБЕК А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет имени М. Ауэзова

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева

**Аннотация:** Приведены результаты исследований по получению сложно-смешанных NPK-удобрений. Задачи исследований решены с использованием раствора аммиачной селитры, состав и свойства которого идентичны характеристикам технологического раствора, прошедшего первую ступень выпарки действующего производства. Научно-прикладная значимость работы заключается в том, что целевые задачи исследований достигаются при соблюдении нормативных технологических режимов стадий первичного упаривания, последующих – сушки и грануляции производства аммиачной селитры. Исходная суспензионная смесь требуемого качества и состава готовилась на основе раствора аммиачной селитры производства АО «КазАзот» путем добавления в него расчетных масс фосфоритной муки производства ТОО «Темир Сервис», калиевой соли – хлорида калия и дополнительных минеральных добавок – сульфатов аммония и железа. В результате упаривания, сушки, грануляции и охлаждения суспензионной смеси получали целевые продукты с требуемым соотношением питательных веществ в их составе. Полученные образцы продуктов подвергались химическим и физико-химическим анализам. Изучено влияние удельных расходов аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия на соотношения питательных элементов методом ротатбельного планирования-моделирования с получением адекватного уравнения регрессии. Установлено, что новые NPK-составы представляют собой стабилизированные комплексные удобрительные композиции, с общим содержанием азота, пятиоксида фосфора и окиси калия от 28% до 30%. В их составе содержатся также сера, кальций, магний, железо, новые продукты ценной удобрительной значимости. Выяснено, что полученные новые NPK-составы по основным физико-химическим показателям и потребительским свойствам отвечают современным нормативным требованиям, предъявляемым к удобрительной продукции. Практическая реализация результатов работы позволит упростить традиционную технологию производства аммиачной селитры, перевести ее на выпуск сложно-смешанных комплексных NPK-удобрений с улучшенными агрохимическими и потребительскими свойствами.

**Ключевые слова:** аммиачная селитра, фосфоритная мука, хлорид калия, NPK-удобрения, потребительские свойства

## АММІАК СЕЛІТРАСЫ, ФОСФОРІТТІ ҰН ЖӘНЕ КАЛІЙ ХЛОРИДІ НЕГІЗІНДЕГІ КҮРДЕЛІ-АРАЛАС NPK-ТЫҢАЙТҚЫШТАР

**Аңдатпа:** Күрделі аралас NPK-тыңайтқыштарды алу бойынша зерттеу нәтижелері келтірілген. Зерттеу міндеттері құрамы мен қасиеттері жұмыс істеп тұрған өндірістің бірінші булану сатысынан өткен технологиялық ерітіндінің сипаттамаларына сәйкес аммиак селитрасы ерітіндісін пайдалана отырып шешілді. Жұмыстың ғылыми-қолданбалы

маңыздылығы зерттеудің мақсатты міндеттерінің аммиак селитрасы өндірісіндегі бірінші буландыру, одан ары – кептіру және түйіршіктеу сатыларының нормативтік технологиялық тәртіптерін сақтай отырып шешілуінде. Қажетті сапалы және құрамды бастапқы суспензиялық қоспа «ҚазАзот» АҚ өндірісінің аммиак селитрасы ерітіндісінің негізінде, оған «Темір Сервис» ЖШС өндірісінің фосфорит ұнының, калий хлориді мен қосымша минералды қоспалар – аммоний мен темір сульфаттарының есептік массаларын қосу арқылы дайындалды. Суспензиялық қоспаны буландыру, кептіру, түйіршіктеу және салқындату нәтижелерінде олардың құрамындағы қоректік заттардың арақатынасы талапқа сәйкес мақсатты өнімдер алынды. Енді осы өнім үлгілеріне химиялық және физикалық-химиялық талдау жүргізілді. Аммиакты селитраның, фосфорит ұнының және калий хлоридінің меншікті шығындарының өнімдердегі қоректік элементтердің арақатынасына әсері рототабельді жоспарлау – модельдеу әдісімен зерттеліп, регрессияның барабар теңдеуі алынды. Жаңа NPK өнімдері құрамында жалпы азот, фосфордың бес тотығы және калий тотығы мөлшерлері 28%-дан 30%-ға жететін тұрақтандырылған кешенді тыңайтқыштық құрамдас-тықтар екені анықталды. Сонымен қатар олардың құрамында күкірт, кальций, магний, темір және құнды тыңайтқыштық маңызды жаңа өнімдер бар. Аталған NPK құрамды өнімдердің негізгі физика-химиялық және тұтынушылық қасиеттері бойынша тыңайтқыштық өнімдерге қосылатын заманауи талаптарға сәйкес келетіні айқындалды. Жұмыс нәтижелерін іс-тәжірибеге енгізу аммиак селитрасын өндірудің дәстүрлі технологиясын жеңілдетуге, оны агрохимиялық және тұтынушылық қасиеттері жақсартылған күрделі аралас типті кешенді NPK тыңайтқыштарын өндіруге ауыстыруға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** аммиак селитрасы, фосфорит ұны, калий хлориді, NPK-тыңайтқыштар, тұтынушылық қасиеттері

#### DIFFICULT-MIXED NPK-FERTILIZERS BASED ON AMMONIUM NITRATE, PHOSPHOROUS FLOUR AND POTASSIUM CHLORIDE

**Abstract:** The results of studies on obtaining difficult-mixed NPK-fertilizers. The research tasks were solved with the use of ammonium nitrate solution, the composition and properties of which are identical to the characteristics of the process solution, which passed the first stage of residue of the current production. The scientific and applied significance of the work lies in the fact that the research objectives are achieved in compliance with the regulatory technological regimes of the stages of primary evaporation, subsequent drying and granulation of ammonium nitrate production. The initial suspension mixture of the required quality and composition was prepared on the basis of a solution of ammonium nitrate produced by JSC «KazAzot», by adding to it the calculated masses of phosphorus flour produced by LLP «Temir Service», potassium salt-potassium chloride and additional mineral additives-ammonium and iron sulfates. As a result of evaporation, drying, granulation and cooling of the suspension mixture, the target products with the required ratio of nutrients in their composition were obtained. The obtained product samples were subjected to chemical and physico-chemical analyses. The influence of specific consumption of ammonium nitrate, phosphorous flour and potassium chloride on the ratio of nutrients by rotatable planning-modeling to obtain an adequate regression equation was studied. It was found that the new NPK compositions are stabilized complex fertilizer compositions, with a total content of nitrogen, phosphorus pentoxide and potassium oxide from 28% to 30%. They also contain sulfur, calcium, magnesium, iron, new products of valuable fertilizing significance. It was found out that the received new NPK compositions on the basic physical and chemical indicators and consumer properties meet the modern normative requirements to fertilizing production. The practical implementation of the results of the work will

*simplify the traditional technology of production of ammonium nitrate, translate it into the production of difficult-mixed complex fertilizers with improved agrochemical and consumer properties.*

**Key words:** *ammonium nitrate, Phosphorus flour, Potassium chloride, NPK-fertilizers, Consumer properties*

### Введение

Широкое применение аммиачной селитры в сельском хозяйстве обусловлено ее универсальностью. Вместе с тем аммиачная селитра (АС) представляет собой окислитель, способный поддерживать горение. Под воздействием некоторых внешних факторов она может детонировать [1,2]. Обусловленные этим свойствам аммиачной селитры имели место взрывы на складах химических предприятий Франции, состоялась серия террористических актов в Юго-Восточной Азии и России. Вследствие этого были ужесточены требования, как к качеству, так и к условиям её хранения [3]. Перед производителями ее были поставлены задачи по обеспечению перевода их на выпуск на базе АС стабилизированных удобрений, одним из наиболее агрохимической важной значимости которых являются NPK-удобрения.

На сегодня уже имеется достаточный опыт практической реализации подобных задач. Разработан ряд технологических решений по получению NPK удобрительных составов на основе азот-, фосфор-, калий-содержащих твердофазных, жидкофазных и смешанных исходных веществ, представляющих собой целевые продукты или сырьевые материалы отраслевых предприятий химической промышленности. В значительной части подобных разработок, минеральное фосфатное сырье подвергается кислотной обработке одним из минеральных кислот или их смесью с образованием суспензионной вытяжки, в которую в дальнейшем добавляется хлорид калия. В последствии полученная смесь в присутствии ретурта подвергается грануляции и сушке с получением готового комплексного удобрения [4-6]. Также известно достаточно большое множество новых решений по получению NPK-удобрений на основе аммонизационитратно-фосфатного раствора, представ-

ляющего собой продукт азотно-кислотного разложения фосфатного сырья, путем выпаривания которого получают однородный сплав. В результате дальнейшей грануляции его в присутствии калийной составляющей получают NPK-удобрение [7-9]. Известен ряд разработок, отличительная особенность которых от вышеописанных заключается в том, что из продукта азотно-кислотного разложения фосфатного сырья отделяются нерастворимые примеси и нитрат кальция. Оставшийся нитратно-фосфатный раствор подпитывается фосфорной кислотой или аммиаком, смешивается с раствором калийной составляющей, подвергается выпариванию с последующим гранулированием [10-21]. В ряде работ [22] указывают на реальную возможность получения NPK-удобрений путем нейтрализации смеси фосфорной и азотной кислот аммиаком, последующим получением сплава выпариванием, дальнейшим смешением его с солями калия и грануляцией. В отдельных работах [23-30] установлено, что NPK-удобрения могут быть получены на основе аммофоса, карбамида, аммиачной селитры, сульфат аммония, фосфатного сырья, экстракционной фосфорной кислоты [31,32] диаммофоса [33] и калийной составляющей, где азотные составляющие могут быть использованы в виде растворов, сплава или тукосмесей. Вместе с тем следует отметить, что известные на сегодня разработки по способам и методам получения NPK-удобрений на данном этапе в основном представлены как предмет изобретений или результаты лабораторных, и лишь в отдельных случаях – производственных опытно-промышленных испытаний. Немногочисленные сведения о внедренных в практику производственной деятельности отраслевых предприятий России [34-36], Узбекистана [37,38] и ряда других стран технологиях про-

изводства NPK-удобрений свидетельствуют о том, что они работают нерентабельно из-за сложности, многостадийности, громоздкости технологий, дороговизны используемых композиционных составляющих, образования отходов производства и т.п.

Таким образом, на сегодня, практически повсеместно, перед производителями важнейшей удобрительной продукции – аммиачной селитры все еще стоят актуальнейшие вопросы, требующие своевременного и должного практического решения, которые обусловлены острой необходимостью повышения ее потребительских и агрохимических свойств за счет исключения ее взрыво и огнеопасности при сохранении ее основных физико-химических свойств на уровне действующих нормативных требований к удобрительного назначения продукции.

В Республике Казахстан АО «КазАзот» является единственным предприятием, который осуществляет выпуск и поставку на рынок аммиачной селитры – важного удобрительного продукта. Применительно к решению выше отмеченной особо актуальной для данного производства задачи по улучшению агрохимической ценности и повышению потребительских качеств аммиачной селитры успешно могут быть использованы собственные сырьевые запасы фосфатных руд Республики Казахстан. Как известно, Республика Казахстан по запасам фосфатного сырья является крупнейшей сырьевой базой Евразии [39,40]. Значительная часть фосфатного сырья РК перерабатывается на фосфоритную муку. Выпуск фосфоритной муки в объеме 200 тыс. т. в год налажен на ТОО «Темир Сервис» в г. Актюбинске, работающем на Чилисайском фосфорите [41]. Республика Казахстан располагает также достаточным запасом калиевых минералов в виде природного хлорида калия, сильвинита и карналлита в Актюбинской области (Жилиндское, Челкар и Сатимола), а также свыше 2500 озер высокоминерализованных соленых вод [42,43].

Согласно практическим данным работы действующего производства аммиачной сели-

тры АО «КазАзот», раствор аммиачной селитры, получаемый в аммонизаторе типа САИ, в результате нейтрализации азотной кислоты аммиаком под вакуумом, имеет рН не более 2, и концентрацию порядка 62-64%. Данный раствор в последующем направляется на первичную выпарку в условиях вакуума 0.2-0.3 атм., и при температуре порядка 110°C его концентрация повышается до 71% [44,45]. Здесь, в силу частичного разложения аммиачной селитры на исходные компоненты и преимущественного уноса, образовавшегося при этом аммиака с отходящими газами, упаренный раствор сохраняет кислотные свойства. На сегодня в литературных источниках отсутствуют сведения по использованию данного подкисленного раствора аммиачной селитры в качестве исходного состава для получения NPK-удобрений на основе аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия, отличительная особенность которых от аммиачной селитры заключается в их повышенной агрохимической ценности, а также в полной безопасности их условий хранения, транспортировки и потребления. Поэтому постановка лабораторных исследований по получению NPK-удобрений на основе раствора аммиачной селитры, по составу и свойствам идентичного характеристикам технологического раствора, получаемого после первой ступени выпарки действующего производства аммиачной селитры, фосфоритной муки и наиболее доступной на рынке калиевой соли – хлорида калия, последующая опытно-промышленная отработка их результатов на производстве аммиачной селитры АО «КазАзот» представляет собой актуальную задачу.

### Методика эксперимента

В экспериментальных условиях исследований, выполненных в ЮКГУ имени М. Ауэзова, исходные составы – водно-аммиачно-селитровые растворы готовились на основе продукционной аммиачной селитры производства АО «КазАзот», концентрации и температурные параметры которых соответствовали показателям технологических

растворов действующего производства аммиачной селитры, получаемых после первой ступени выпарки. В целевых исследованиях в качестве фосфорсодержащей стабилизирующей минеральной добавки использована фосфоритная мука производства ТОО «Темир Сервис», выпускаемая в соответствии с нормативными требованиями СТ. ТОО 930640000252-01-2011, и калийсодержащей солевой добавки - наиболее доступный на рынке калийный продукт – хлорид калия, по качеству отвечающий требованиям ТУ 2184-048-00203944-2014. В качестве дополнительных минеральных добавок – антислеживателей применены сульфаты аммония и железа ГОСТов 9097-82, 6981-94, с усредненным расходом на тонну целевого продукта в пределах 0,3%-1,0%. При реализации целевых задач экспериментальных исследований каждый раз из расчетной массы аммиачной селитры и воды готовился исходный раствор концентраций 64%-71% и температуры 110°C-130°C. В приготовленный исходный раствор аммиачной селитры вводились расчетные массы фосфоритной муки, хлорида калия и минеральных модифицирующих добавок с получением суспензионной смеси температуры 120°C-130°C, концентрации 83%-88%. Полученная суспензионная смесь при интенсивном перемешивании в течение времени 20-40 минут, достаточной для получения целевого продукта требуемого качества, подвергалась упариванию. Полученный продукт после охлаждения и сушки до конечной постоянной влажности подвергался химическим и физико-химическим исследованиям. Расходные нормы аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия, необходимые для получения НРК-удобрений требуемого соотношения устанавливались расчетным путем по выражениям видов,  $M_{прод} = \frac{ax}{c}; b = \frac{M_{прод}d}{y}; e = \frac{M_{прод}f}{z}; m_d = M_{прод} - (a+b+e)$  где:  $M_{прод}$  – масса получаемого НРК-удобрения;  $c, d$  и  $f$  – ожидаемые содержания N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  в нем, в %;  $a, b, e$  и  $x, y, z$  соответственно, массы аммиачной селитры в ее исходном растворе концентрации 64-71%, фосфоритной муки хлорида калия

добавляемой в него; содержания азота в аммиачной селитре ГОСТ 2-2013 и  $P_2O_5$ , в фосфоритной муке СТ. ТОО 930640000252-01-2011 и в хлориде калия по ТУ 2184-048-00203944-2014, в %.

В лабораторных условиях получены 4 образца целевых продуктов НРК-составов. Результаты лабораторных исследований прошли испытания на опытном участке действующего производства аммиачной селитры АО «КазАзот», где на действующей модельной установке, состоящей из узла приготовления исходного раствора аммиачной селитры, суспензионной смеси, а также узла сушки и грануляции. Приготовленная в соответствии с указанными выше режимными параметрами по концентрации и температуре суспензионная смесь в реакторе узла приготовления исходной смеси интенсивно перемешивалась, в реактор подавалась расчетная масса модифицирующих добавок. Концентрированная таким образом суспензионная смесь далее подавалась на форсунки барабана гранулятора-сушилки предварительно загруженного ретуром. В барабане гранулятора-сушилки при температуре 160°C-170°C в прямоточном потоке сушильного агента образовались гранулы целевого продукта, которые впоследствии, по выходу из барабана, подвергались разделению по фракциям на грохотах и охлаждению. Продукционная часть гранул с размерами 2-4 мм собиралась в сборнике готовой продукции и подвергалась фасовке. Гранулы с размерами менее 2 мм и более 5 мм, соответственно, возвращались в барабан гранулятора-сушилки напрямую или после предварительного дробления в дробилке. В результате опытно-производственных испытаний получены 2 образца целевых НРК-удобрений с общей товарной массой 500 кг, где соотношения питательных элементов  $N:P_2O_{5общ}:K_2O$ , также как на лабораторных образцах составили 10:9:9; 16:7:7.

Анализ состава и свойств полученных удобрений проводился по методикам, приведенным в нормативной документации на удобрения:

- содержание азота общего – по ГОСТ 30181.6-94;
- содержания  $P_2O_{5\text{общ}}$ ;  $P_2O_{5\text{усв}}$ ;  $P_2O_{5\text{в/р}}$  – по ГОСТ 20851.2-75;
- содержание  $K_2O$  – по ГОСТ 20851.3-93;
- содержание влаги – по ГОСТ 20851.4;
- статическая прочность гранул – по ГОСТ 21560.2-82;
- pH – по ГОСТ 26423-85.

Для этих целей также были использованы физико-химические методы исследований: микроструктурный анализ на растровом электронном микроскопе JEOL, марки JSM6490 LV, ИК-спектроскопический анализ на спек-

трофотометре ShimadzuIRPrestige-21, марки SPECORD 75 IR с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) Miracle фирмы PikeTechnologies, работающем в области диапазона частот 600-4000  $\text{см}^{-1}$ .

### Результаты и их обсуждение

Результаты изучения и содержаний питательных элементов в составе полученных образцов целевых продуктов, а также их ожидаемые расчетные значения приведены в таблице 1. Из данных таблицы 1 следует, что здесь наблюдается достаточно удовлетворительная сходимость.

**Таблица 1 – Расчетные ожидаемые и экспериментальные значения содержаний питательных элементов в целевых продуктах и их соотношения**

| № п/п | Содержание питательных веществ, в NPK продуктах по расчету, масс. % |                      |        | Содержание питательных веществ, в NPK продуктах по эксперименту, масс. % |                      |        | Расхождение расчетных и экспериментальных результатов, в % |                      |        |
|-------|---------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------|--------|------------------------------------------------------------|----------------------|--------|
|       | N,                                                                  | $P_2O_{5\text{общ}}$ | $K_2O$ | N,                                                                       | $P_2O_{5\text{общ}}$ | $K_2O$ | N,                                                         | $P_2O_{5\text{общ}}$ | $K_2O$ |
| 1     | 10,0                                                                | 9,0                  | 9,0    | 9,57                                                                     | 9,74                 | 8,65   | -0,43                                                      | +0,74                | -0,35  |
| 2     | 15,0                                                                | 7,5                  | 7,5    | 14,68                                                                    | 8,00                 | 7,20   | -0,32                                                      | +0,50                | -0,30  |
| 3     | 16,0                                                                | 7,0                  | 7,0    | 15,96                                                                    | 6,75                 | 6,65   | -0,04                                                      | -0,25                | -0,35  |
| 4     | 18,0                                                                | 6,0                  | 6,0    | 17,82                                                                    | 5,98                 | 5,75   | -0,18                                                      | -0,02                | -0,25  |

Результаты химических исследований состава и свойств, образцов NPK-удобрений приведены в таблице 2. Как видно из данных таблицы 2, полученные удобрения, в отличие от аммиачной селитры не проявляют ярко выраженные кислотные свойства, а общее

содержание питательных элементов в них составит 28%-30%. Установлено, что в составе полученных удобрительных образцов высока доля  $P_2O_5$  усвояемой формы – более 85.71%.

**Таблица 2 – Состав и свойства производственных образцов NPK-удобрений**

| № п/п | Массовое соотношение питательных веществ в продуктах, $N:P_2O_5:K_2O$ | Содержания питательных веществ в продуктах, в % |                      |                      |        | Влажность продуктов в % | Прочность гранул продуктов, Н/гр | pH 10% раствора | Гранулометрический состав целевых продуктов, масс. % |        |
|-------|-----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------|----------------------|--------|-------------------------|----------------------------------|-----------------|------------------------------------------------------|--------|
|       |                                                                       | N                                               | $P_2O_{5\text{общ}}$ | $P_2O_{5\text{усв}}$ | $K_2O$ |                         |                                  |                 | 1-4мм                                                | 2-4 мм |
|       |                                                                       |                                                 |                      |                      |        |                         |                                  |                 |                                                      |        |
| 1     | 2                                                                     | 3                                               | 4                    | 5                    | 6      | 7                       | 8                                | 9               | 10                                                   | 11     |
| 1     | 1,1:1:1                                                               | 10                                              | 9,0                  | 7,25                 | 9,0    | 0,17                    | 66,15                            | 6,65            | 89-91                                                | 78-80  |
| 2     | 2:1:1                                                                 | 15                                              | 7,5                  | 6,43                 | 7,5    | 0,16                    | 62,47                            | 6,55            | 92-98                                                | 81-88  |
| 3     | 2,28:1:1                                                              | 16                                              | 7,0                  | 6,00                 | 7,0    | 0,15                    | 60,65                            | 6,50            | 93-98                                                | 83-89  |
| 4     | 3:1:1                                                                 | 18                                              | 6,0                  | 5,14                 | 6,0    | 0,17                    | 58,68                            | 6,47            | 93-98                                                | 84-89  |

Полученные удобрительные NPK-составы подвергались комплексным физико-химическим исследованиям - ИК, РЭМ. На рисунке 1 и в таблице 3 по данным РЭМ анализа образца 3 полученных удобрений приведены микроструктура, элементное содержание и элементно-весовые составы, наблюдаемые при 40-кратном увеличении. Аналогичные результаты получены и на других образцах целевых продуктов. Из данных рисунка 1 и таблицы 3, следует, что исследуемый образец

целевого продукта является поликомпонентным, в его составе в общей сложности присутствуют 12 химических элементов – N, O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Fe. Сравнительный анализ данных таблиц 2 и 3 показывает, что химические и физико-химические исследования по содержанию основных питательных компонентов – по азоту, пятиокиси фосфора и окиси калия дают близкие по значению результаты.

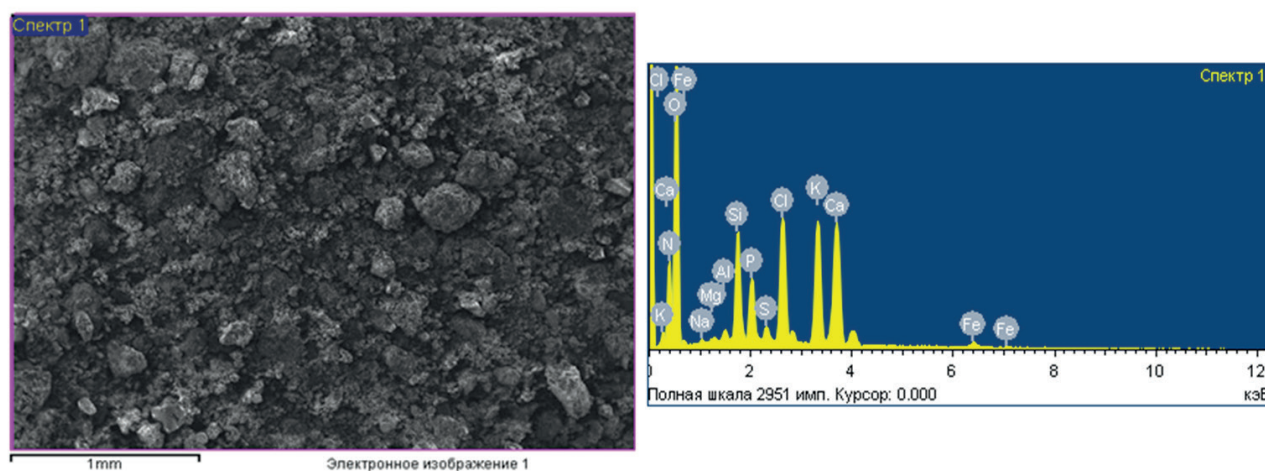


Рис. 1 – Микроструктура и элементное содержание образца 3 NPK-удобрения

Таблица 3 – Элементно-весовой состав образца 3 NPK-удобрения

| Элементы                      | N     | O     | Na   | Mg   | Al   | Si   | P    | S    | K    | Cl   | Ca   | Fe   |
|-------------------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Элементно-весовой состав, в % | 17.94 | 49.46 | 0.26 | 0.19 | 0.34 | 2.28 | 3.18 | 0.48 | 5.85 | 4.82 | 6.56 | 0.64 |
| В пересчете на оксиды, в %    | -     | -     | 0.35 | 0.32 | 0.64 | 5.22 | 6.80 | 1.20 | 7.05 |      | 9.18 | 0.92 |

Результат ИК-анализа исследуемого образца 3 NPK-удобрения приведен на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, ИК-спектрам исследуемого образца целевого продукта характерны интенсивные полосы поглощения  $1288\text{ см}^{-1}$ ,  $825\text{ см}^{-1}$ ,  $1755\text{ см}^{-1}$ ,  $2334\text{ см}^{-1}$ , что свидетельствует о наличии функциональной группы типа  $\text{NO}_3$ . Здесь также присутствуют

интенсивные полосы поглощения  $3000\text{ см}^{-1}$ ,  $3450\text{ см}^{-1}$ ,  $1650\text{ см}^{-1}$ , что характерно для группы  $\text{OH}$ . Менее интенсивные спектры поглощения  $1423\text{ см}^{-1}$ - $1458\text{ см}^{-1}$  характерны для соединений фосфора с группой  $\text{P=O}$ .

Во всех случаях проведения целевых исследований осуществлялся контроль за изменением pH суспензионной смеси (рисунок 4).

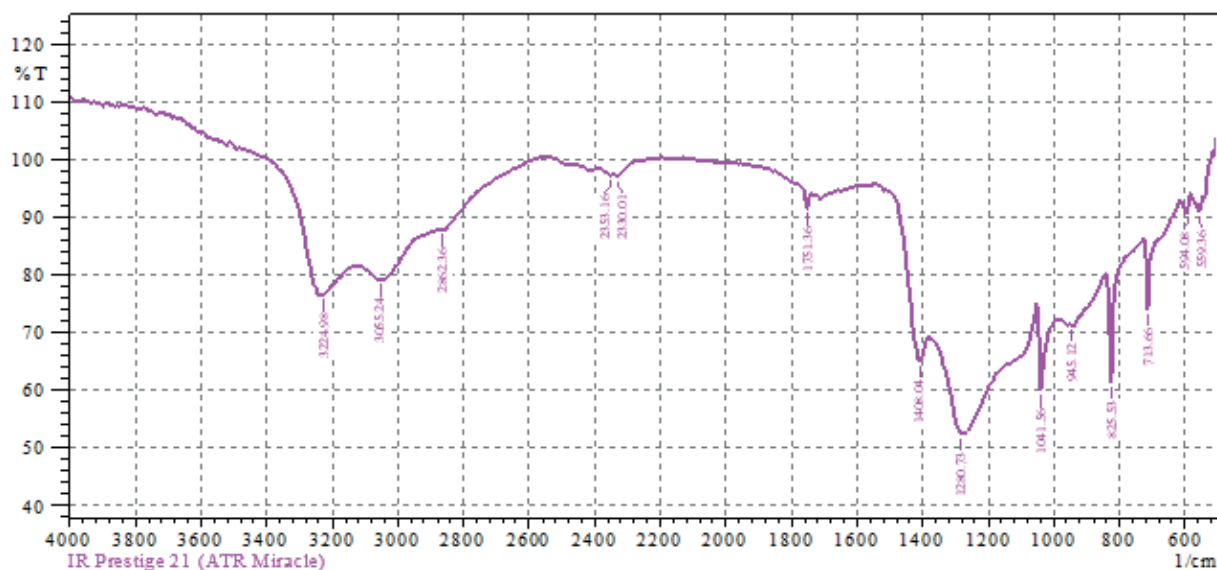


Рис. 3 – ИК-спектроскопические данные образца 3 NPK-удобрения

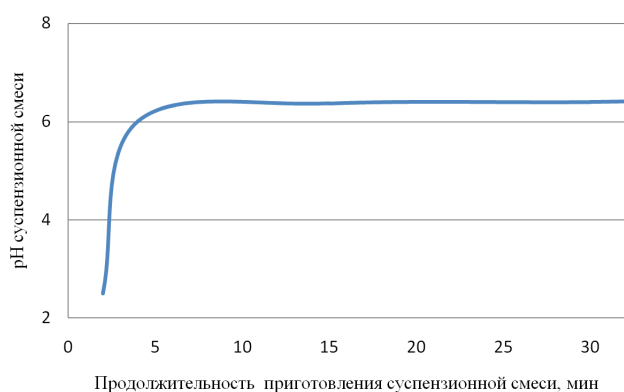
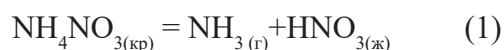


Рис. 4 – Изменение pH суспензионной смеси NPK-составов в зависимости от продолжительности процесса ее приготовления

Из данных рисунка 4 следует, что получаемые суспензионные смеси не проявляют ярко выраженные кислотные свойства. По нашему убеждению эти результаты свидетельствует о том, что в условиях проведения настоящих целевых исследований имеют место нижеследующие физико-химические превращения:

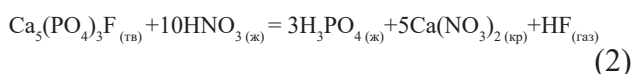
– как известно [46], при температурах 110°C-130°C. Аммиачная селитра в растворе подвергается частичному термическому разложению по реакции:



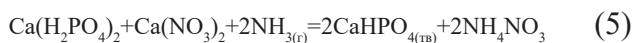
В силу этого технологический раствор

действующего производства аммиачной селитры после первой ступени упарки имеет  $\text{pH} \leq 2$ :

– в дальнейшем продукты реакции (1)  $\text{NH}_3(\text{г})$ ,  $\text{HNO}_3(\text{ж})$  инициируют протекание нижеследующих реакций:



– полученные по реакциям (2) и (3) вторичные и третичные продукты далее взаимодействуют между собой, химизм которых представляется нижеследующим образом:



Таким образом, как следствие реакций (2)-(5), в результате которых продукты реакции (1) нейтрализуются, образуя конечные новые солевые продукты – моно- и дикальцийфосфаты, pH получаемой суспензионной смеси повышается до 6,47-6,65, и тем самым, в последующем, продуцируя целевой продукт практически с нейтральными свойствами. При этом, в силу того, что продуктов реакции (1) в составе суспензионной смеси

образуется в количествах, достаточных лишь для протекания реакций (2) и (3), калийная композиционная составляющая – хлорид калия в суспензионной смеси не претерпевает какие-либо физико-химические изменения, и тем самым проявляет себя в качестве неиз-

менной составляющей получаемого целевого NPK-состава.

Результаты термодинамических исследований подтвердили вероятность протекания реакций 2-5 (таблица 4).

**Таблица 4 – Результаты термодинамических исследований реакций 2-5**

| Номера реакций | Температурные значения $\Delta G$ , КДж/моль |          |          |          |
|----------------|----------------------------------------------|----------|----------|----------|
|                | 373К                                         | 383К     | 393К     | 403К     |
| 2              | -2606,56                                     | -2597,90 | -2586,67 | -2575,53 |
| 3              | -186,22                                      | -184,25  | -182,24  | -180,18  |
| 4              | -156,86                                      | -182,29  | -208,68  | -241,32  |
| 5              | -447,25                                      | -472,38  | -500,08  | -530,38  |

Результаты лабораторно-опытно-производственных исследований использованы для оптимизации влияния удельных расходных показателей аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия на ожидаемые соотношения питательных элементов – азота, пятиокси фосфора и окиси калия в целевых продуктах. Найдено, что при известных расходных показателях аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия, ожидаемые соотношения питательных элементов в целевых продуктах могут быть вычислены уравнением регрессии натурального вида:  $N/(P_2O_5 + K_2O)_{\text{нат}} = 1,462 + 1,362 \cdot AC - 0,722 \cdot FM - 7,214 \cdot KCl + 4,449 \cdot AC^2 - 2,189 \cdot FM^2 + 47,803 \cdot KCl^2 - 0,3251 \cdot AC \cdot FM - 26,631 \cdot AC \cdot KCl + 8,07 \cdot FM \cdot KCl$ , полученного методом рототабельного планирования – моделирования второго порядка Бокса-Хантера.

Таким образом, на основе результатов, полученных при практической реализации целевых задач исследований в лабораторно-опытно-производственных условиях можно заключить:

– на основе водного раствора продукционной аммиачной селитры АО «КазАзот» концентрации 64%-71%, концентрационные и температурные параметры которого соответствуют показателям технологического раствора действующего производства

аммиачной селитры, получаемой после первой ступени выпарки, фосфоритной муки Чилисайского месторождения и продукционного хлорида калия, удастся получить достаточно широкий ассортимент NPK-удобрений. При этом, влияние независимых переменных – удельных расходов аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия на соотношения питательных элементов в них адекватно описывается уравнением регрессии;

– полученные целевые продукты NPK-составов представляют собой стабилизированные комплексные удобрительные композиции с общим содержанием азота, пятиокси фосфора и окиси калия от 28% в минимуме и до 30% в максимуме. Отсюда следует, что они численно значительно превышают содержания отдельного фосфора, в расчете на  $P_2O_{5\text{сув}}$ , в суперфосфате простом (20-21%), в аммонизированном суперфосфате (15%); отдельного азота – в сульфате аммония (21%), натриевой селитре (16,4%), аммиачной воде (20,5%), практически совпадают с содержанием азота жидких азотных удобрений (30%);

– в составе полученных удобрений наряду с основными удобрительными элементами – азотом и фосфором в значительных количествах содержится большое многообразие новых удобрительных элементов – калий, сера, кальций, магний, железо и новые ми-

неральные продукты – моноаммонийфосфат и монокальцийфосфат, химизм образования которых был выяснен и обоснован термодинамически. Все это достаточно убедительно свидетельствует в пользу того, что вновь полученные NPK-удобрения представляют собой сложно-смешанный тип комплексных удобрений, которые обладают улучшенными агрохимическими и удобрительными свойствами.

Выяснено, что полученные образцы удобрительных композиций представляют собой хорошо растворимые в воде мелкодисперсные, рассыпчатые порошки от светло-серого до белого цвета, с влажностью в пределах 0,15%-0,17% и рН 6,47-6,65. За время хранения в открытом воздухе в течение нескольких месяцев не проявляют склонность к слеживанию и комкованию, сохраняя без изменений, как цвет, так и все первоначально установленные физико-химические свойства.

Установлено, что все образцы вновь синтезированных азот-фосфор-калийных удобрений легко гранулируются, образуя гранулы со средней статической прочностью порядка 58,65 Н/гр-66,15 Н/гр и со средним выходом продукционных фракций с размерами гранул 2-4 мм порядка 78%-89%. Все это свидетельствует об их достаточно удовлетворительном товарном качестве.

### Выводы

Результаты целевых исследований, выполненных в лабораторных условиях ЮКГУ имени М. Ауезова, по установлению возможностей получения новых разновидностей стабилизированных комплексных NPK-удобрений на основе раствора аммиачной селитры, состав и свойства которого соответствуют показателям технологического раствора действующего производства аммиачной селитры, получаемого после первой ступени выпарки, фосфоритной муки месторождения Чилисай и хлорида калия, достаточно полноценно подтверждаются данными натурных испытаний,

полученных на опытной базе производства аммиачной селитры АО «КазАзот».

Установлено, что в составе получаемого ассортимента NPK-удобрений соотношения основных питательных элементов – азота к пятиокиси фосфора к окиси калия в % можно изменить в достаточно широком интервале от 10/9/9 до 18/6/6. В целях оптимизации результатов исследований изучено влияние независимых переменных – удельных расходов аммиачной селитры, фосфоритной муки и хлорида калия на соотношения питательных элементов методом рототабельного планирования-моделирования второго порядка Бокса-Хантера с получением адекватного уравнения регрессии натурального вида.

В составе полученных NPK-удобрений общее суммарное содержание только лишь основных видов питательных элементов сравнимо и превышает содержания питательных элементов в наиболее практичных видах общеизвестных минеральных удобрений как простой суперфосфат, аммонизированный суперфосфат, сульфат аммония, натриевая селитра, аммиачная вода, жидкие азотные удобрения. Полученные продукты представляют собой поликомпонентные составы, где наряду с основными питательными элементами – азотом, пятиокисью фосфора и оксидом калия присутствует 4 полезных элемента в микро- и макроколичествах, а также новые продукты удобрительного качества, химизм образования которых выяснен и термодинамически обоснован. Все это свидетельствует о том, что полученные целевые продукты представляют собой сложно-смешанный тип комплексных удобрений, обладают улучшенными агрохимическими и удобрительными свойствами.

Выяснено, что полученные NPK-составы по основным физико-химическим показателям и потребительским свойствам отвечают современным нормативным требованиям, предъявляемым к удобрительной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лавров В.В., Шведов К.К. О взрывоопасности аммиачной селитры и удобрений на её основе. Научно-технические новости: ЗАО «ИНФОХИМ», 2004. Спец выпуск. 4. – С.44-49.
2. Левин Б.В., Соколов А.Н. Проблемы и технические решения в производстве комплексных удобрений на основе аммиачной селитры. Мир серы, N, Р и К. 2:13–21. 2004.
3. Дмитриева О.А., Овчинников В.М. Новые технологии в производство удобрений на основе аммиачной селитры на МХК “ЕвроХим” ОАО “Невинномысский Азот”. – СевКавГТУ, 2007. – С.62-64.
4. Получение фосфорно-калийных и азотно-фосфорно-калийных удобрений на основе простого суперфосфата, хлорида калия и аммиачной селитры. Турдалиев У.М., Сейтназаров А.Р., Намазов Ш.С., Беглов Б.М. Докл. Акад. Наук Респуб. Узбекистан. – 2011. – № 4. – С.49-53. библи. 6. Рус.; рез. узб., англ.
5. Получение НРК-удобрения из мытого сушеного фосфоритового концентрата // Universum: Технические науки: электрон. научн. журн. Назирова Р.М. [и др.]. 2016. № 10(31) . URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3774> (дата обращения: 09.01.2020).
6. Патент № 2107055, Российская Федерация, МПК C05G1/06 (2006.01)/ Способ получения сложных удобрений/Дмитревский Б.А., Треущенко Н.Н., Филимонов А.А., Дремов А.В., Юрьева В.И., Нифонтова Т.К/ Закрытое акционерное общество «Эковита», Заявл. 1997-02-25; Оpubл 20.03.1998.
7. Патент № 2202523; Российская Федерация, МПК C05B 11/06, C05G1/00/ Способ получения сложного удобрения/ Абрамов О.Б., Афанасен Е.В., Дедов А.С/ ОАО КЧХК (RU), № 2001123518/12, Заявл. 22.08.2001; Оpubл. 20.04.2003.
8. Патент № 218818182, Российская Федерация, МПК C05B 11/06, C05G1/00, C05C 1/02, C05D19/00/ Способ получения сложного удобрения/ Коряков В.В., Кузнецов А.Г., Богунов С.И., Полякова О.А/ ОАО «Минудобрения» (RU), № 2000125031/12, Заявл. 03.10.2000; Оpubл. 27.08.2002.
9. Патент № 2336250; Российская Федерация, МПК C05B 11/00(2006.01), C05B 11/06(2006.01)/ Способ получения сложного удобрения / Генкин М.В., Киселевич П.В. / Закрытое акционерное общество «Национальная газовая компания» (RU), №2006111047/15, Заявл. 2006.04.06; Оpubл. 2008.10.20.
10. Патент № 2216526, Российская Федерация, МПК C05B 11/06, C05B 11/04, C05G1/00/ Способ получения сложного НРК-удобрения с регулируемым соотношением питательных веществ/ Абрамов О.Б., Афанасен Е.В., Вандышев С.А., Захарова О.М/ ОАО КЧХК (RU), № 2002125154/12, Заявл. 19.09.2002; Оpubл. 20.11.2003.
11. Патент № 2439039, Российская Федерация, МПК C05B 11/06(2006.01)/Получение азотно-фосфорно-калийных или азотно-фосфорных материалов, содержащих полифосфаты/ Обрестад Т., Оксвик А/Яра ИнтернейшнлАСА(NO) №2009124418/13; Заявл. 28.11.2007; Оpubл. 10.01.2012 Бюл. №1.
12. Патент № 2223933, Российская Федерация, МПК C05B 11/06(2006.01)/ Способполучения сложного удобрения/Дринеvский С.А., Киселевич П.В., Наумов А.А., Крупин Г.А., Абрамов О.Б., Терещенко О.Л., Медянцева Д.Г./ Закрытое акционерное общество «Завод минеральных удобрений Кирово-Чепецкого химического комбината» (ЗАО «ЗМУ КЧХК») (RU),Заявл. 22.09.2008; Оpubл. 20.03.2010.
13. Патент № 218818182, Российская Федерация, МПК C05B 11/06, C05G1/00, C05C 1/02, C05D19/00/ Способ получения сложного удобрения/ Коряков В.В., Кузнецов А.Г., Богунов

- С.И., Полякова О.А./ОАО «Минудобрения» (RU), №2000125031/12, Заявл. 03.10.2000; Опу-  
бл. 27.08.2002.
14. В.В. Бабкин, А.А. Бродский. Фосфорные удобрения России. – М.:Маргус, 1995. – С.255-  
263.
15. Патент, Индия, №168731, МПК C05D 11/00, 16.12.1986
16. Патент № 2141462, Российская Федерация, МПК C05B11/06, C05B7/00/Способ получения  
сложных удобрений/ Абрамов О.Б., Дедов А.С., Дрождин Б.И., Зуб В.В., Логинов Н.Д., Ма-  
чехин Г.Н., Селиванов В.Н., Сеземин В.А., Уткин В.В./Заявл. 1999. -05-31; Опубл.20.11.1999
17. Патент № 2230050, Российская Федерация, МПК C05B11/06, C05B7/00/ Способ получения  
бесхлорного NPK-удобрения/Орлова М.А. (RU), Грошева Л.П., Горшкова Н.В., Самсонов  
Ю.К., Лысенко Е.В./Заявл. 2003-07-07; Опубл. 10.06.2004.
18. Патент № 2294908, Российская Федерация, МПК C05B 11/06(2006.01), C05D 5/00(2006.01)/  
Способ получения сложного удобрения/ Абрамов О.Б., Байбаков П.Я., Дедов А.С., Заха-  
рова О.М./ ОАО «Кирово-Чепецкий химический комбинат им. Б.П. Константинова» (RU),  
№2005124225/15, Заявл. 29.07.2005; Опубл. 10.03.2007 Бюл. № 7.
19. Соколовский А.А., Унанянц Т.П. Краткий справочник по минеральным удобрениям. – М.:  
Химия, 1997. – С.297-299.
20. Патент №2233 819, Российская Федерация, МПК C05B 11/06(2006.01), C05D 5/00(2006.01),  
C05D 11/00(2006.01)/ Способ получения сложного удобрения/Богунов С.И., Кузнецов А.Г.,  
Полякова О.А., Соловьев Б.А., Козырев А.Б., Лебедева Н.Н./ ОАО «Минудобрения» (RU)  
(RU), №2003125834/15, Заявл. 2003.08.21; Опубл. 2004.08.10.
21. Патент №2407721, Российская Федерация, МПК C05C1/00, C05G1/00, C05C9/00(2006.01)/  
Способ получения гранулированного сложного минерального удобрения/ Таран А.Л., Та-  
ран А.В., Таран Ю.А./RU), №2009125604/21; Заявл. 2009-07-06; Опубл. 27.12.2010.
22. В.Ф. Кармышов. Химическая переработка фосфоритов. – М.: Химия, 1983. – С.167.
23. Патент №2355668; Российская Федерация, МПК C05C 1/00 (2005.01), C05G 1/00 (2006.01)/  
Способ получения сложного удобрения на основе нитрата аммония/Киселевич П.В., Жу-  
равлев В.Н., Наумов А.А., Нечаев В.Н./ЗАО «Завод мин-х удобрений Кирово-Чепецкого хи-  
мического комбината» (RU), № 2007130567/15; Заявл. 09.08. 2007; Опубл. 20.05.2009 Бюл.  
№14.
24. Патент №2355668, Российская Федерация, МПК C05C 1/00 (2005.01), C05G1/00(2006.01)/  
Способ получения сложного удобрения на основе нитрата аммония/Киселевич П.В., Жу-  
равлев В.Н., Наумов А.А., Нечаев В.Н./ЗАО «Завод мин-х удобрений Кирово-Чепецкого  
химического комбината» (RU), №2007130567/15; Заявл. 09.08.2007; Опубл. 20.05.2009 Бюл.  
№14.
25. Исследование процесса получения азотно-фосфорно-калийного удобрения на основе ам-  
мофосной пульпы, аммиачной селитры и хлорида калия. Ибрагимов Г.И., Исаев Р.Д., Сады-  
ков Б.Б., Намазов Ш.С., Беглов Б.М. Хим. технол. – Контроль и упр. – 2010. – № 4. – С.5-9.  
Библ. 13. Рус.; рез. узб., англ.
26. Пак Д.Г., Маматалиев А.А., Намазов Ш.С. и др. (2017) Азотфосфоркалийсодержащие удо-  
брения на основе аммиачной селитры, фосмуки центральных Кызылкумов, местного хло-  
рида калия и их физико-химические и товарные свойства. Узб. Хим. ж. 1:59-66.
27. Сложно-смешанные удобрения типа NPK. Коррозионная активность сред. Сообщ. 1 Ми-  
тронова Н.И., Гру Б.А., Бондаренко Т.И., Иващенко И.Г. (Украина. ГП «Институт азотной  
промышленности и продуктов органического синтеза» г. Северодонецк) Хім. пром-сть  
України. – 2007.– №3. – С.20-21. Библ. 5. Рус.; рез. укр.
28. Физико-химические свойства азотно-фосфорно-калийных удобрений, полученных на  
основе упаренной аммофосной пульпы, аммиачной селитры и хлорида калия. Исаев Р.Д.,

- Садыков Б.Б., Намазов Ш.С., Беглов Б.М. Узб. хим. ж. – 2011. – №4. – С.27-31 Библ. 4. Рус., рез. узб., англ.
29. Получение минеральных удобрений в скоростном барабанном грануляторе. Котова Н.Н. Хим.техн. – 2013. – №8. – С.34-37. Библ. 2. Рус.
  30. Пути совершенствования технологии нитрат/карбамид-содержащих НРК-удобрений. Пагалешкин Д.А., Норов А.М., Малявин А.С. Труды НИУИФ 1919-2014: Сборник научных трудов. – М. 2014. – С.98-101. Библ. 3. Рус.
  31. Патент №2452717, Российская Федерация, МПКС05D11/0(2006.01)/Способ получения комплексного удобрения / Абызов С. М/(RU), №2009133414/13; Заявл. 08.09.2009; Оpubл. 10.06.2012. Бюл. №16.
  32. Получение и физико-химические свойства азотнофосфорнокалийных удобрений, полученных на основе экстракционной фосфорной, азотной кислот и хлорида калия. Исаев Р.Д., Садыков Б.Б., Намазов Ш.С., Закиров Б.С. Хим. технол. контроль и упр. – 2011. – № 5. – С.5-11. Библ. 6. Рус.; рез. узб., англ.
  33. Физико-химические основы и оптимальные параметры процесса гранулирования НРК-удобрений на основе сульфата аммония. Чудинова О.А., Пойлов В.З., Сидельникова Э.Г. Журнал прикл. химии. – 2010. – № 6. – С.881-888. Библ. 11. Рус.
  34. Патент № 2412140, Российская Федерация, МПК C05G1/06(2006.01)/Способ получения сложного удобрения/ Ракчеева Л.В., Кладос Д.К., Кочеткова В.В./ОАО «Воскресенск. минер. удобрения» (RU), № 2009116465/05; Заявл. 30.04.2009; Оpubл. 20.02.2011. Бюл. №5.
  35. Патент №2626947, Российская Федерация, МПК C01C 1/00 (2006.01), C05C 1/00 (2006.01), A01P 21/00 (2006.01)/ Фосфор калий азот содержащее НРК-удобрение и способ получения гранулированного фосфоркалийазотсодержащего НРК-удобрения/ Туголуков А.В., Вальшев Д.В., Елин О.Л./ АО «Минерально-химическая компания «ЕвроХим» (RU), № 2016107776; Заявл. 03.03.2016; Оpubл. 02.08.2017. Бюл. №20.
  36. Патент № 2409536, Российская Федерация, МПКС05В 7/00 (2006.01)/Способ получения бесхлорных сложных НРК-удобрений/Кошечев В.А., Наумов А.А., Шевелев А.Н., Журавлев В.Н., Киселевич П.В./ЗАО «Завод минеральных удобрений Кирово-Чепецкого химического комбината»(ОАО «ЗМУ КЧХК») (RU), №2009126348/05; Заявл. 08.07.2009; Оpubл. 20.01.2011 Бюл. №2.
  37. Патент №2541641, Российская Федерация, МПК C05G 1/00(2006.01)/ Способ получения комплексного удобрения/ Левин Б.В., Норов А.М., Пагалешкин Д.А., Малявин А.С., Горбовский К.Г., Колпаков В.М., Михайличенко А.И., Калеев И.А., Глаголев О.Л., Шибнев А.В. Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский институт по удобрениям и инсектофунгицидам имени профессора Я.В. Самойлова» (ОАО «НИУИФ») (RU), №2013145468/13, Заявл. 2013.10.11; Оpubл. 2015.02.20.
  38. Патент №2007125564, Российская Федерация, МПК C05G 1/00(2006.01)/Способ получения гранулированного минерального удобрения/Таран А.Л., Таран А.В., Таран Ю.А. (RU), №2007125564/15, Заявл.2007.07.06; Оpubл. 2009.01.20.
  39. Kipermana YuA (2006) Phosphates in XXI century. Almaty-Naraz-Zhanatas, monography.
  40. Reference book of Kazakhstan deposits. Official site of Ministry on investments and development of the Republic of Kazakhstan. [geology.mid.gov.kz/ru/pages/spravochnik-mestorozhdeniy-kazakhstan](http://geology.mid.gov.kz/ru/pages/spravochnik-mestorozhdeniy-kazakhstan)
  41. Mining company LP “Temir Service” <https://temir-servis.satu.kz/>
  42. Коноплев А.В., Ибламинов Р.Г., Копылов И.С. (2014) Инженерно-геологические условия жилиндского калийного месторождения (Казахстан). Современные проблемы науки и образования. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=15023> (дата обращения: 22.11.2019).

43. Диаров М.Д., Тухфатов К.Т., Утарбаев Г.С., Морозов Л.Н. Калийные соли Казахстана. – Алма-Ата: Наука, 1983. – С.216.
44. Технологический регламент производства аммиачной селитры (2012) ТР «КазАзот» 10.53.1011.004-12.
45. Official site of LP «Kazazot» <http://kazazot.kz>.
46. Simulin N.A., Melynikov E.Ya., Furman M.S., Krichevskii I.R., Samarin B.P., Alekseev A.M., Tveretskii S.A., Kreisberg Ya.A. (1969) Reference book of a nitrogen specialist. 2:444, Khimiya, Moscow.

УДК 546.87  
МРНТИ 31.17.15

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ФОСФОРНОЙ И СЕРНОЙ КИСЛОТ ПРИ РАЗЛОЖЕНИИ ФОСФАТНОГО СЫРЬЯ

МАКАНОВА Л.К.

*Инновационный Евразийский университет, Павлодар, Казахстан*

**Аннотация:** В статье описано влияние концентрации фосфорной и серной кислот на разложение фосфатного сырья. В ходе исследования было установлено, что эффективное разложение апатита протекает при концентрации фосфорной кислоты до 29%  $P_2O_5$ . С повышением концентрации серной кислоты эффективность разложения фосфорита увеличивается и достигает максимального значения при концентрации  $H_2SO_4$  в растворе 2,5%.

**Ключевые слова:** фосфорное сырье, концентрация, температура, термический способ, экстракционный способ

## ФОСФАТТЫ ШИКІЗАТТЫҢ ҮДЫРАУЫНА ФОСФОР ЖӘНЕ КҮКІРТ ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ КОНЦЕНТРАЦИЯЛАРЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Мақалада фосфор және күкірт қышқылдарының концентрациясының фосфат шикізатының ыдырауына әсері сипатталған. Зерттеу нәтижесінде апатиттің тиімді ыдырауы фосфор қышқылының  $P_2O_5$  29% дейін концентрациясында болатындығы анықталды. Күкірт қышқылының концентрациясының жоғарылауымен фосфориттің ыдырау тиімділігі артады және 2,5% ерітіндідегі  $H_2SO_4$  концентрациясында максималды мәнге жетеді.

**Түйінді сөздер:** фосфор шикізаты, концентрация, температура, термиялық әдіс, экстракциялық әдіс

## RESEARCH OF THE INFLUENCE OF CONCENTRATION OF PHOSPHORIC AND SULFURIC ACIDS DECOMPOSITION OF PHOSPHATE RAW MATERIAL

**Abstract:** The article describes the effect of the concentration of phosphoric and sulfuric acids on the decomposition of phosphate raw materials. During the study, it was found that the effective decomposition of apatite occurs at a concentration of phosphoric acid up to 29%  $P_2O_5$ . With an increase in the concentration of sulfuric acid, the efficiency of the decomposition of phosphorite increases and reaches its maximum value at a concentration of  $H_2SO_4$  in solution of 2.5%.

**Key words:** phosphorus raw materials, concentration, temperature, thermal method, extraction method

### Введение

Известны два способа промышленной переработки фосфатного сырья в фосфорную кислоту – экстракционный и электротерми-

ческий. Электротермический способ основан на высокотемпературном восстановлении природных фосфатов до элементарного фосфора с

последующим его окислением и гидратацией полученного фосфорного ангидрида в фосфорную кислоту. Термический способ по сравнению с экстракционным способом позволяет перерабатывать любые виды сырья, в том числе и низкокачественные фосфориты, с получением концентрированной фосфорной кислоты высокой степени чистоты. Однако при термической переработке фосфатного сырья расходуются большие количества электроэнергии. Термическая фосфорная кислота дороже экстракционной в два-три раза. Относительно высокая стоимость ограничивает развитие производства фосфорной кислоты термическим способом.

Экстракционный способ основан на разложении природных фосфатов серной кислотой. Этим способом производят основную массу фосфорной кислоты, перерабатываемой на удобрения [1].

В зависимости от условий получения неупаренная экстракционная фосфорная кислота содержит 19-42%  $P_2O_5$  и обычно содержит примеси, количество и состав которых определяются качеством фосфатного сырья и технологическими режимами производства.

Экстракционный способ производства фосфорной кислоты [2-3] заключается в разложении фосфата серной кислотой в присутствии раствора разбавления (оборотной фосфорной кислоты) и выделении сульфата кальция, разделении получаемой пульпы на вакуум-фильтрах и отмывке фосфорной кислоты от осадка.

Для эффективного разделения образующейся суспензии необходимо, чтобы в процессе экстракции сульфат кальция выделялся в виде хорошо отфильтровывающихся и легко промываемых кристаллов.

Экстракция фосфорной кислоты из природных фосфатов и кристаллизация сульфата кальция – это единый гетерофазный физико-химический процесс. Нарушение условий какого-либо одного из этих процессов приводит к ухудшению показателей другого процесса [4-5]. Их взаимосвязь проявляется не только при изменении технологических параметров, но также зависит от условий конструктивного оформления каждого конкретного технологического процесса.

### Экспериментальная часть

Предварительно серную кислоту (75%; 93%) и раствор разбавления ( $P_2O_5$  от 0 до 21%) готовят в отдельных химических стаканах. Навеска фосфата с известным химическим и гранулометрическим составом взвешивается на аналитических весах.

Серную кислоту для разложения 100 ч. (масс.) апатита, берут 95-100% от стехиометрического количества. Для фосфорита в пределах 105-110% от стехиометрического количества [6].

Расход серной кислоты –  $S[cm^3]$  определяют по содержанию в фосфате CaO:

$$S = (a \cdot 98 / 56 \cdot 75p) \cdot 100,$$

где  $a$  – содержание CaO в фосфате, %;  $p$  – плотность 75%  $H_2SO_4$  при фактической комнатной температуре, г/см.

В качестве раствора разбавления применяют фосфорную кислоту с концентрацией  $P_2O_5$  в пределах 0-21%. Количество раствора разбавления –  $W$  на 100г фосфата определяют по уравнению:

$$W = F - (100 + S - G),$$

где  $F$  – выход продукционной пульпы, г/100 г фосфата;  $S$  – расход серной кислоты, г/100 г фосфата;  $G$  – количество потерь (воды, двуокиси углерода и фтора), г.

Выход пульпы определяют по уравнению:

$$F = 100 \cdot \Gamma \cdot (n + 1),$$

где  $\Gamma$  – гипсовое число (выход сухого фосфогипса из единицы фосфата), (расчет по содержанию CaO в фосфате).  $\Gamma = 1,3$  для фосфорита  $\Gamma = 1,6$  для апатита;  $n$  – отношение Ж: Т в пульпе (задается в пределах 40:1-1,5:1).

Количество раствора серной и фосфорной кислоты готовят с небольшим избытком по отношению к рассчитанному количеству. Плотность раствора разбавления определяют ареометром. Затем расчетный объем раствора разбавления отмеряют мерным цилиндром. Наливают его в реактор, снабженный мешалкой, включают перемешивание и подогрев.

При температуре 50°C в реактор, при перемешивании раствора, дозируют фосфат. После этого дозируют отмеренное расчетное количество серной кислоты. Образующуюся пульпу перемешивают при заданной температуре в диапазоне 70-120°C.

Эксперимент проводят в условиях, моделирующих непрерывную экстракцию при постепенной или порционной подаче серной и разбавленной фосфорной кислот. Или в условиях периодического процесса экстракции, когда в реактор одновременно загружают все реагенты и перемешивают их в течение заданного времени. Продукционную пульпу по окончании процесса отфильтровывают.

Процесс проводят в течение 2-7 часов, отбирая каждую минуту на начальном участке, а затем каждые пять-десять минут на конечном участке по 0,5-5,0 см<sup>3</sup> пульпы. Отбор проб из реакционной пульпы проводится для анализа концентрации фосфорной кислоты в реакционном объеме и анализа размеров полученных при этом кристаллов. Каждую отбираемую пробу отфильтровывают. Осадок промывают до нейтральной реакции водой. Промывную воду и фильтрат собирают в мерную колбу объемом 250 см<sup>3</sup>. Затем разбавляют водой (до метки). Из мерной колбы отбирают 25 см<sup>3</sup> раствора титруют 0,1н. раствором NaOH вначале в присутствии индикатора метилоранж, затем в присутствии фенолфталеина. По результатам

титрования определяют избыток или недостаток серной кислоты и содержание свободной фосфорной кислоты в пульпе по ниже приведенной методике. По полученным значениям текущей концентрации фосфорной кислоты проводят расчет основных показателей процесса и строят кинетические кривые процесса экстракции. Средний размер частиц определяют микроскопическим методом с помощью шкалы микроскопа.

## Результаты и обсуждение

Эффективность процесса разложения в зависимости от различной концентрации фосфорной кислоты представлена в виде кинетических кривых на рисунке 1. Размеры получаемых кристаллов представлены в таблице 1.

Опыты проводились отдельно как с фосфоритом, так и с апатитом, поскольку совместное дозирование апатита и фосфорита приводит к тому, что фосфорит, как более быстро разлагающийся компонент реакционной смеси, вызывает отложение образующихся кристаллов гипса на ещё не растворенной части кристаллов апатита.

Все это приводит к дополнительному снижению скорости разложения апатита и соответственно увеличению необходимого времени проведения процесса для достижения необходимой степени извлечения.

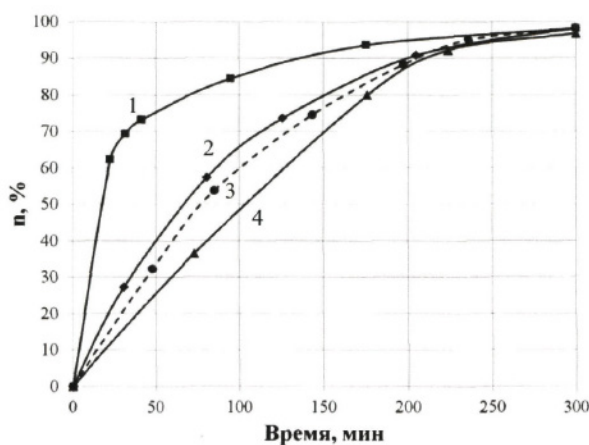


Рис. 1 – Зависимость эффективности процесса разложения фосфатного сырья от времени в аппарате периодического действия при различной концентрации  $H_3PO_4$  в растворе

1 – фосфорит в воде в присутствии  $H_2SO_4$  с концентрацией 2,5% при 84°C; 2 – фосфорит в 14%  $P_2O_5$  при 70°C; 70°C;  
3 – апатит в 21%  $P_2O_5$  при 70°C; 4 – фосфорит в 21%  $P_2O_5$  при 70°C

Исследования показали [7], что апатит более склонен к разложению в более крепких растворах фосфорной кислоты при пониженной концентрации серной кислоты, а фосфорит – в более разбавленных растворах фосфорной кислоты при повышенной концентрации серной кислоты.

Последнее обуславливает необходимость проведения процессов разложения апатита и фосфорита раздельно с последующим смешением пульпы для совместной кристаллизации фосфогипса.

Анализ кинетических кривых (рис. 1) показал, что вначале в водном растворе при начальной концентрации  $H_2SO_4$  2,5%,  $H_3PO_4 = 0$  процесс разложения фосфорита протекает быстрее, чем в растворе содержащем фосфорную кислоту.

Однако во всех вариантах исследования процесс разложения завершается практически полностью за 4,5 часа.

Результаты исследования формы и размеров кристаллов представлены в таблице 1 и на рисунках 2, 3.

**Таблица 1 – Значения размеров кристаллов фосфогипса в зависимости от условий проведения процесса разложения**

| Время наблюдения, мин | Средний размер кристаллов, мкм |                                  |                                |                                  |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                       | Фосфорит в воде при 84°C       | Фосфорит в 21% $P_2O_5$ при 70°C | Апатит в 21% $P_2O_5$ при 70°C | Фосфорит в 14% $P_2O_5$ при 70°C |
| 20                    | 140                            | -                                | -                              | -                                |
| 40                    | 180                            | -                                | -                              | 180                              |
| 60                    | 220                            | 200                              | 120                            | -                                |
| 120                   | 260                            | -                                | -                              | 230                              |
| 180                   | -                              | 450                              | 140                            | -                                |
| 240                   | -                              | -                                | 200                            | -                                |
| 300                   | 320                            | 550                              | 210                            | 300                              |

При разложении фосфорита серной кислотой при начальной концентрации  $H_3PO_4 = 0$  через 20 минут наблюдается практически полное исчезновение частиц исходного фосфатного сырья. При этом образуются кристаллы фосфогипса со средним размером по длине 140 мкм. Некоторые кристаллы достигают длины 300-400 мкм и толщины 16 мкм. Доля крупных кристаллов составляет до 10% от общего числа кристаллов. Основная масса кристаллов имеет толщину порядка 2 мкм и длину 100-200 мкм.

Через 40 минут реакции толщина мелких кристаллов увеличивается от 2 до 4 мкм, а крупных кристаллов от 16 до 20 мкм. Происходит увеличение доли крупных кристаллов в общей массе и при этом средний размер составляет порядка 180 мкм. Увеличение среднего размера кристаллов происходит как за счет роста мелких, так и за счет роста крупных.

При 60-минутной пробе наблюдается

дальнейшее увеличение толщины мелких кристаллов с 4 до 8 мкм и увеличение толщины крупных кристаллов от 20 до 24 мкм. Средний размер длины кристаллов составил 220 мкм.

Отбор двухчасовой пробы показал, что крупные кристаллы перестали расти как в ширину, так и в длину. Кроме того уменьшилось количество мелких кристаллов. Средний размер длины кристаллов составил 260 мкм.

По окончании проведения процесса, соответствующего степени разложения 98,6%, получены следующие данные микроскопического анализа: средний размер длины кристаллов составил 300-320 мкм при толщине 20-28 мкм. Доля мелочи размером 50-100 мкм составляет менее 15%. Кристаллическая масса в целом получилась однородная, состоящая из прозрачных, хорошо ограненных кристаллов.

При разложении фосфорита в 14%  $P_2O_5$  по истечении 20 минут наблюдается небольшое содержание исходного сырья в реакционной

смеси остается 5-10%. Образовавшиеся кристаллы имеют более однородную структуру, чем при разложении фосфорита в воде, что вероятно объясняется меньшим пересыщением ионов  $\text{Ca}^{2+}$ , средняя длина кристаллов 80-240 мкм.

По истечении 40 минут исходного сырья не наблюдается. При этом наблюдается две группы кристаллов: мелкие, образовавшиеся в результате разложения остатков исходного сырья и крупные длиной до 300 мкм и шириной порядка 22-26 мкм.

Анализ отбора пробы после одного часа показал, что мелкие кристаллы продолжают расти, а крупные увеличиваются по толщине максимально до 30-36 мкм и лишь незначительно по длине.

Отбор двухчасовой пробы показал, что общее количество мелких кристаллов значительно уменьшилось, их размеры увеличились с 50-100 мкм до 80-180 мкм. Длина у крупных кристаллов остается неизменной, увеличивается лишь толщина до 40 мкм. Трех и четырехчасовая проба показывает, что все образовавшиеся кристаллы фосфогипса увеличиваются только по толщине (20-44 мкм).

По окончании процесса наблюдается появление небольшого количества кристаллов мелких размеров, чем при отборе предыдущей пробы. Это происходит за счет начала процесса перекристаллизации.

При разложении фосфорита в 21%  $\text{P}_2\text{O}_5$  в течение 20 минут кристаллов не наблюдается, характерно только появление зародышей. При этом количество разложившегося исходного сырья не более 60-62%.

По истечении 40 минут количество исходного сырья в реакционной массе составляет около 20%. При этом наблюдается образование геля монокальций фосфата и образование небольшого количества мелких кристаллов.

При 60-минутной пробе наблюдается образование отдельных кристаллов длиной 140-260 мкм и толщиной 8-24 мкм, а также большое количество мелких кристаллов. Также наблюдаются остатки исходного сырья (до 10%). При двухчасовой пробе наблюдается не-большое количество геля монокальций-фос-

фата, исходного сырья не наблюдается. Средний размер кристаллов увеличился в два раза максимально по длине до 450-600 мкм и толщине до 16-44 мкм. Количество мелких кристаллов очень мало. Четырехчасовая проба показала, что крупные кристаллы перестали расти и заметно увеличились в размере мелкие кристаллы. Длина кристаллов фосфогипса составляет 250-800 мкм, толщина максимум до 60 мкм. Также наблюдаются отдельные гелиевые частицы.

По истечении пяти часов кристаллы имеют однородную структуру, очень крупные. Средний размер кристаллов 300-800x30-70 мкм. Гель монокальций фосфата полностью отсутствует. При разложении апатита в 21%  $\text{P}_2\text{O}_5$  при 70°C в течении 20 минут наблюдается большое количество мелких кристаллов длиной до 100 мкм, а также около 40% геля монокальций фосфата. По истечении сорока минут роста кристаллов не наблюдается. Происходит только разложение оставшегося геля монокальций фосфата. Отбор 60-минутной пробы показал, что количество геля монокальций фосфата уменьшилось до 10%. При этом кристаллы фосфогипса увеличились в размере до 140x10 мкм. Анализ двух- и трехчасовой проб показал, что средний размер кристаллов увеличился в полтора раза максимум до 160 мкм в длину, ширина кристаллов не меняется. Имеются следы неразложившегося геля.

Отбор четырехчасовой пробы показал, что увеличились размеры кристаллов до (80-200) x(12-20) мкм. Кристаллы тонкие и имеют однородную структуру. По истечении шести часов видно, что кристаллы фосфогипса увеличились только по толщине на 2-4 мкм.

По окончании процесса разложения апатита (семичасовая проба) происходит только незначительное увеличение кристаллов в толщину. Максимальный размер кристаллов достигает 220 мкм. Из полученных экспериментальных данных видно, что размеры кристаллов, полученных при разложении фосфорита значительно превосходят размеры кристаллов, полученных в аналогичных условиях из апатита.

Особенность процесса кристаллизации сульфата кальция из фосфорита, содержащего карбонаты, объясняется тем, что кроме основной реакции разложения фосфорита – по урав-



При низких концентрациях веществ и относительно невысокой температуры скорость разложения карбонатов и фосфатов приблизительно одинакова. Однако с повышением температуры до 80°C скорость разложения карбонатов увеличивается быстрее. Поэтому как в начальной стадии процесса разложения, так до полного разложения карбонатов реакция (2) протекает быстрее реакции (1). В результате

нению реакции (1), протекает реакция взаимодействия карбонатов с серной кислотой – по уравнению реакции (2).

этого в начальный момент вся серная кислота взаимодействует с карбонатной составляющей фосфорита с выделением диоксида углерода и образованием в слое пены кристаллов гипса. При высокой скорости осаждения дигидрата сульфата кальция образуется много центров кристаллизации. Последнее приводит к образованию мелкокристаллического осадка и возрастанию неоднородности частиц осадка.

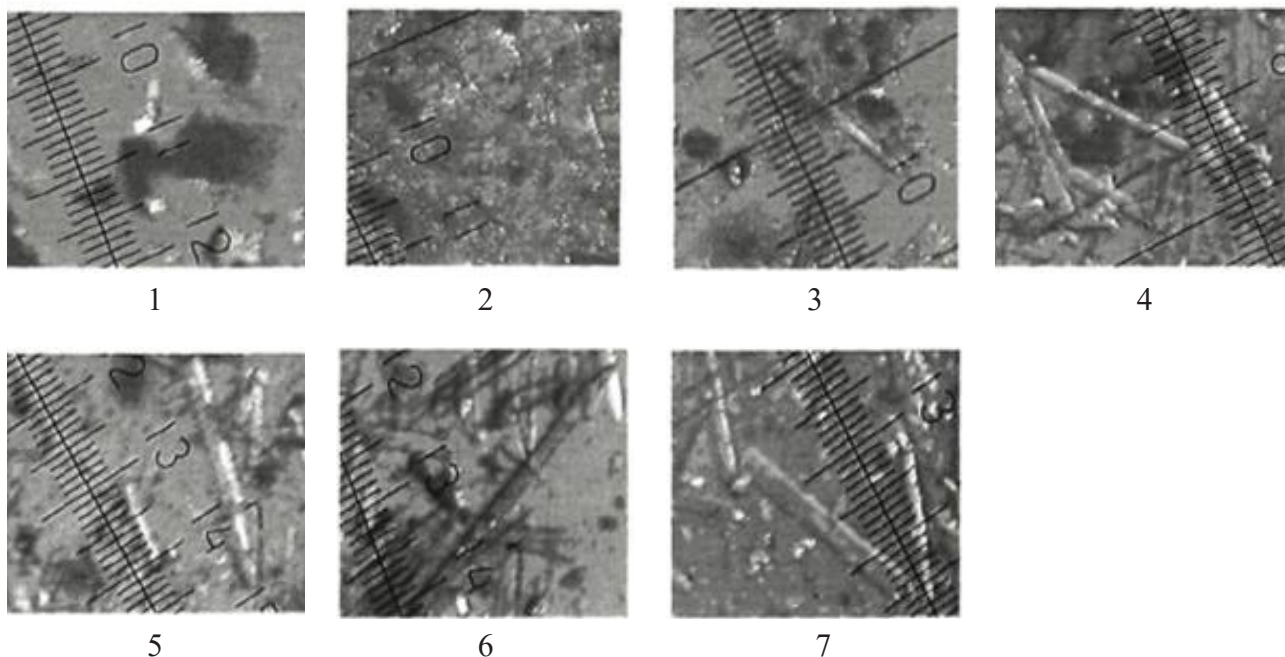


Рис. 2 – Фотографии процесса кристаллизации фосфогипса при разложении фосфатного сырья при 84°C  
1-20 минут; 2-40 минут; 3-1 час; 4-2 часа; 5-3 часа; 6-4 часа; 7-5 часов  
(цена деления шкалы микроскопа 20 мкм)

В действующих в промышленности технологиях проводится совместная дозировка апатита, фосфорита и раствора разбавления, имеющего повышенную концентрацию фосфорной кислоты. Указанные факторы приводят к обильному пенообразованию и как следствие к получению мелких трудно фильтруемых кристаллов. Это в свою очередь де-

лает технологию низко производительной по причине уменьшения производительности стадии фильтрации и отжима пульпы. Выполненное исследование показало, что проведение процесса раздельного разложения апатита и фосфорита с разложением фосфорита в разбавленных растворах фосфорной кислоты при концентрации свободной серной кислоты 0,6-

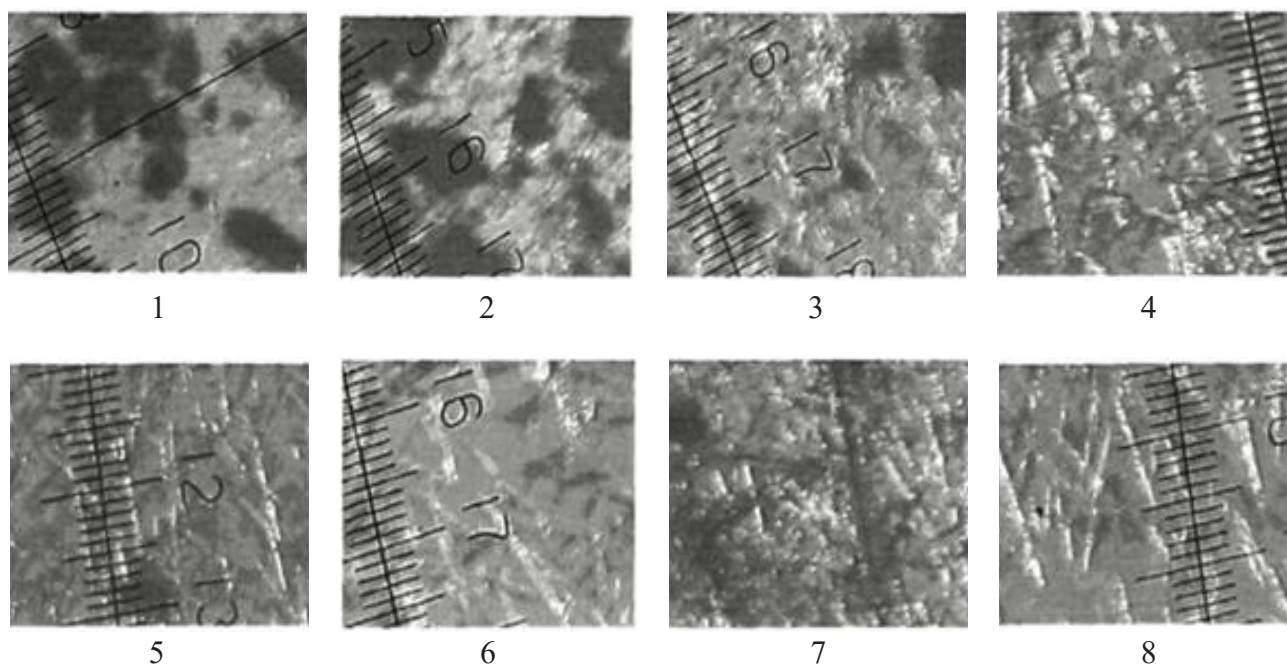


Рис. 3 – Фотографии процесса кристаллизации фосфогипса при разложении фосфатного сырья при 70°C

1-20 минут; 2-40 минут; 3-1 час; 4-2 часа; 5-3 часа; 6-4 часа; 7-6 часов; 8-7 часов (цена деления шкалы микроскопа 20 мкм)

1,0%, позволяет получать хорошо ограненные крупные кристаллы фосфогипса, которые легко отжимаются и фильтруются.

На рисунке 4 показана зависимость степени разложения фосфорита от концентрации серной кислоты (экспериментальные данные).

С увеличением концентрации серной кислоты эффективность разложения фосфорита увеличивается и достигает максимального значения при концентрации  $H_2SO_4$  в растворе 2,5%.

Затем при дальнейшем увеличении концентрации  $H_2SO_4$  в пределах – 2,5-25% степень разложения фосфорита практически не зависит от концентрации серной кислоты, что позволяет эффективно проводить процесс разложения фосфорита при начальной концентрации серной кислоты в указанном диапазоне.

При  $[H_2SO_4]$  более 25% эффективность процесса разложения резко уменьшается. Последнее объясняется тем, что наступает пере-сыщение раствора сульфатом кальция.

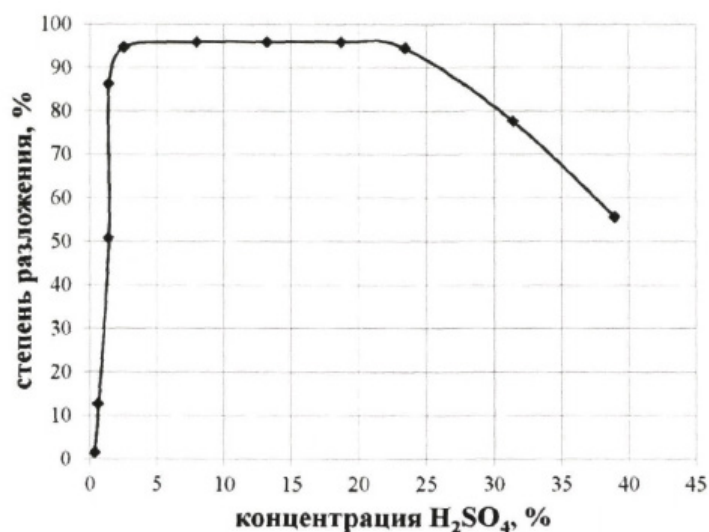


Рис. 4 – Зависимость степени разложения фосфорита за 15 минут от концентрации серной кислоты при соотношении Ж : Т = 2,5 : 1

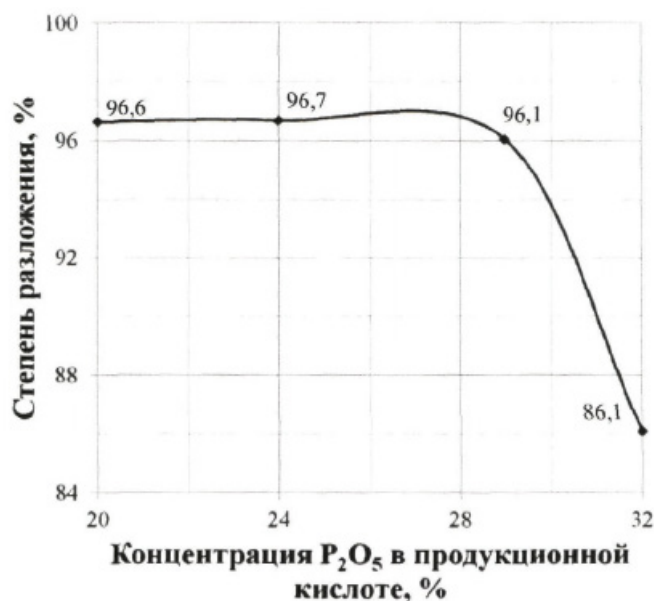


Рис. 5 – Зависимость степени разложения апатитового концентрата от концентрации  $P_2O_5$  в кислоте при температуре  $80^\circ C$  и времени разложения 3 часа  $SO_3 = 1,6\%$

На рисунке 5 показана зависимость степени разложения апатита от концентрации фосфорной кислоты (данные опытно-промышленных испытаний).

Видно, что эффективное разложение апатита протекает при концентрации фосфорной кислоты до  $29\% P_2O_5$ . При этой концентрации производственной кислоты степень разложения апатитового концентрата достигает  $96,1\%$ .

### Заключение

Макромеханизм процесса разложения апатита протекает через стадию образования растворимого промежуточного продукта – монокальцийфосфата. Данный факт обусловлен с одной стороны ускорением разложения апа-

тита за счет большего модуля и присутствия серной кислоты, и с другой стороны за счет увеличения наблюдающегося индукционного периода выделения гипса при увеличении соотношения Ж:Т. Таким образом увеличение соотношения Ж:Т позволяет проводить процесс в принципиально новых условиях и кинетически полностью разделить стадии разложения апатита и кристаллизации гипса. Микроскопические исследования процесса разложения фосфатного сырья подтверждают, что разложение фосфорита и разложение апатита при соотношении Ж:Т = 2,5, которое характерно для производственных условий, протекает без видимого образования корочки фосфогипса на разлагающихся кристаллах.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Позин М.Е. Технология минеральных удобрений / М.Е. Позин. – Л.: Химия, 1989. – 352 с.
2. Копылев Б.А. Технология экстракционной фосфорной кислоты / Б.А. Копылев. – Л.: Химия, 1981. – 224 с.
3. Akhmetov I.K., Bobir N.M., Fert M.I., Tyurekhodzhaeva T.Sh. Issues of complete use of Karatau basin phosphate rock materials // Compr. Use Mineral Raw Mater. – 1981. – P. 59-62. Соколовский А.А. Технология минеральных удобрений и кислот / А.А. Соколовский, Е.В. Яшке. – М.: Химия, 1979. – 384 с.
4. Елкондиева Г.Б. Каратауский бассейн – крупнейшая фосфатная сырьевая база Евразии //

Фосфатное сырье: производство и переработка: Материалы Международной научно-практической конференции, 17 мая 2012 г. / Сост. В.И. Суходолова. – М., 2012. – С. 21-30.

5. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных и комплексных удобрений, кормовых фосфатов/ Под ред. И.К. Кротовой. – М.: Химия, 1975. – 218 с.
6. Сахаров Ю.Н. Механизм и кинетика разложения фосфатного сырья. / Ю.Н. Сахаров А.Ф. Махоткин И.А. Махоткин А.И. Ситкин // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №11. – С.18-22.

УДК 544.473-039.63  
МРНТИ 31.15.28

### БЕЛСЕНДІ КӨМІРДІ МЫС ХЛОРИДІМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАУ ТЕХНОЛОГИЯСЫН ЖАСАУ

НУРЛЫБАЕВА А.Н., ДАРМЕНБАЕВА А.С., ШОЛАҚ А.А., КУЛАЖАНОВА А.С.,  
НАЗАРБЕКОВА А.Н., КЕМЕЛБЕКОВА М.И.

*Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан*

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста белсенді көмірді мыс хлоридімен модификациялау технологиясы жасалған және модификатор құрамының аммиак бойынша көмірдің адсорбциялық сыйымдылығының әсері зерттелген. Мыстың концентрациясы 4,7 ден 188,2 мг/г аралығында қолданылған. Осындай модификациялары бар адсорбциялық қабілеттілік 35,2 мен 140,2 мг/г аралығында жатады. Таңдалған тақырыптың өзектілігі және мыс (II) хлоридімен белсенді көмірді модификациялау бойынша жұмыстың дұрыстығы расталды.

**Түйінді сөздер:** модификация, белсенді көмірді, адсорбент, дрексель, адсорбция, модификатор

### РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ АКТИВНОГО УГЛЯ ХЛОРИДОМ МЕДИ

**Аннотация:** В данной работе была разработана технология модифицирования активного угля хлоридом меди и исследовано влияние адсорбционной способности аммиака на состав модификатора. Концентрация меди использовалась в интервале от 4,7 до 188,2 мг/г. Адсорбционная емкость при таких модификациях находится в пределах от 35,2 до 140,2 мг/г. Подтверждена актуальность выбранной темы и целесообразность проведения работы по модификации активного угля хлоридом меди (II).

**Ключевые слова:** модификация, активный уголь, адсорбент, дрекселя, адсорбция, модификатор

### TECHNOLOGY FOR MODIFYING ACTIVE COAL WITH COPPER CHLORIDE HAS BEEN DEVELOPED

**Abstract:** In this work, a technology for modifying activated carbon with copper chloride was developed and the effect of the adsorption capacity of ammonia on the composition of the modifier was investigated. The copper concentration was used in the range from 4.7 to 188.2 mg / g. The adsorption capacity with such modifications is in the range from 35.2 to 140.2 mg / g. The relevance of the chosen topic and the feasibility of carrying out work on the modification of activated carbon with copper (II) chloride were confirmed.

**Key words:** modification, activated carbon, adsorbent, drexel, adsorption, modifier

Аммиактың ауа ортасына түсу көздерінің бірі аммиакты суды сақтау үшін пайдаланылатын сыйымдылықтардан ауа арқылы булануымен сипатталады. Осы көздер салыстырмалы түрде аз тоннажды, аумақтық шашыраңқы, сондықтан азот өнеркәсібі кәсіпорындарында игерілген абсорбциялық, конденсациялық және каталитикалық әдістерді [1] аммиактан тазарту үшін қолдану ұтымды емес, өйткені оларды пайдалану арнайы қондырғыларды салуды қажет етеді.

Адсорбент жұмыс істеген жағдайда адсорбциялық әдіс аммиактың бетінде және жұтқыштың кеуектерінде шоғырландыру режимінде өте қолайлы болып саналады. Аммиакты синтездеу цехтарында қолданылатын силикагель гидрофильділігіне байланысты үрлеу газдарын тазалау үшін ылғалды газдардан аммиакты сіңіру үшін жарамсыз. Бұл жағдайда аммиактың белсенді көмірмен адсорбциясы қызығушылық тудырады [2]. Гидрофобтық, селективтілік, өте жоғары адсорбциялық сыйымдылық, регенерация қабілеті оның артықшылығы екені белгілі.

Адсорбенттің регенерациясыз ұзақ жұмыс істеуін қамтамасыз ететін жағдайларды жасау үшін, аммиак бойынша ең жоғары сыйымдылыққа ие көмір үлгілерін пайдаланған жөн, бұған сорбентті тұрақты аммиактар түзетін металл тұздарымен модификациялаумен қол жеткізуге болады.

Жұмыстың мақсаты белсенді көмірді мыс хлоридімен модификациялау технологиясын жасау және модификатор құрамының аммиак бойынша көмірдің адсорбциялық сыйымдылығына әсерін зерттеу.

Тәжірибелік бөлім. Көмірді модификациялау араластырғышы бар колбада мыс (II) хлоридінің ерітіндісімен сіңдіру жолымен жүргізілді. Экспериментте көмірді импрегнирлеу үшін пайдаланылған ерітіндінің көлемін ( $V_1$ , л), колбаға орналастырылған көмір массасын ( $m_1$ , г), тәжірибенің басындағы ( $C_1$ , моль/л) және тәжірибенің соңындағы ( $C_2$ , моль/л) ерітіндідегі мыстың концентрациясын, тәжірибенің басында ( $\rho_1$ , г/л) және соңында ( $\rho_2$ , г/л) ерітінділердің тығыздығын өлшеді.  $V_1$  және  $m_1$  шамаларын тиісін-

ше өлшеу цилиндрімен және 0,1 г дейінгі дәлдікпен өлшенді; мыс концентрациясы йодометриялау жолымен табылды; ерітіндінің тығыздығы пикнометрлік әдіспен анықталды [3]. Көмір мен ерітіндінің ( $\tau$ ) жанасу уақытының ұлғаюына қарай мыстың концентрациясы кемиді, сондықтан  $dc/d\tau$  нөлге ұмтылады. Қанықтыру тоқталды және мыс тұздарының ерітіндісіндегі көмірдің суспензиясы  $dc/d\tau=0$  теңдігі анықталғаннан кейін сүзілді. Адсорбциялық мыстың салмағы  $m_{cu}$ , ммоль / г теңдіктен есептелді.

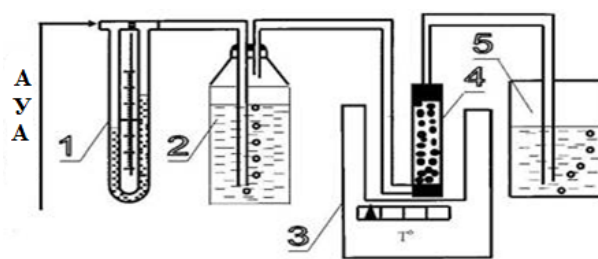
$$m_{cu} = V_1 C_1 - V_2 C_2 \cdot m_1^{-1} \quad (1)$$

Бұл (1) теңдеуінде  $V_2$  – ерітіндінің соңғы көлемі. Оны тікелей анықтау «белсенді көмір – мыс тұздарының сулы ерітіндісі» жүйесінің бөлінуінің толық еместігінен және мұндай бөліністе су шығынының болуы салдарынан қиын болады.  $V_2$  мәні жанама жолмен анықталды: көмір мысты қанықтырғаннан кейін, көмірдің массасын  $m_2$  анықтай отырып, ауада кептірілді және өлшенді, көмірдің салмағы  $m_2 - m_1$  көмірмен сорбцияланған ерітінді компоненттерінің (мыс тұздары мен су) массасына тең; ерітіндінің массасы тәжірибеге дейін  $V_1 \rho_1$  туындысына тең екенін ескере отырып:

$$V_2 = [V_1 \rho_1 - (m_2 - m_1)] \rho_2^{-1} \quad (2)$$

Аммиак бойынша көмірдің тепе-тең сыйымдылығын нақтылау бойынша эксперимент 1-суретте көрсетілген қондырғыда динамикалық әдіспен жүргізілді.

1 сурет – Аммиакты сіңіру бойынша тәжірибелік қондырғының нұсқасы:



1 – су манометрі; 2 – дренажды шынысы; 3 – термостат; 4 – адсорбентпен түтікше; 5 – су тығыздағышы

Аммиак-ауа қоспасы АГ-3 белсенді көмірімен толтырылған реакторға жіберілді. Реакторға дейінгі және одан кейінгі газдағы аммиактың құрамын (тиісінше  $C_{\text{аммиак}}(1)$  және  $C_{\text{аммиак}}(2)$ ) белгілі көлемдегі газ сынамасын 200 мл 0,5 н  $H_2SO_4$  толтырылған дрексель арқылы өткізіп анықтады. Газ сынамасын өткізгенге дейін және өткізгеннен кейін дрексельдегі

қышқылдың концентрациясын рН 210 маркалы рН метр ұяшығында NaOH ерітіндісімен 0,5 н қышқылды титрлеу арқылы табамыз.

### Тәжірибе нәтижелері

Көмірдің тепе-тең сыйымдылығының түрлендіргіш ерітіндінің концентрациясына тәуелділігі 1-кестеде көрсетілген.

### 1-кесте. Модифицирленген көміртегі мыстың мөлшері 293 К температурада сіңдіру ерітіндісінің концентрациясына тәуелділігі

| Модификацияланған көмірдің ішіндегі мыстың құрамы, моль /г | Сіңдіру ерітіндісіндегі мыстың құрамы, моль/л |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 0                                                          | 0                                             |
| 0,001                                                      | 0,045                                         |
| 0,002                                                      | 0,112                                         |
| 0,0026                                                     | 0,161                                         |
| 0,004                                                      | 0,203                                         |
| 0,006                                                      | 0,27                                          |
| 0,0079                                                     | 0,35                                          |
| 0,008                                                      | 0,41                                          |

Зерттеулер құрамында 0,5 моль/л кем мыс (II) бар ерітінділерді пайдалана отырып жүргізілді. Кестеден көріп тұрғанымыздай, 0,08 моль/л реттегі ерітіндінің концентрациясына дейін мыс бойынша көмірдің тепе-теңдік сыйымдылығы ерітіндідегі мыс концентрациясының артуымен сызықтың бойы өседі. Мыс концентрациясының одан әрі жоғарылауымен көмірдің сыйымдылығы кейбір шектерге асимптотикалық жақындап өсуін жалғастырады.

Көмірді мыс тұздарымен қанықтыру ерітіндінің аз концентрациясында да жоғары селективті [4]. Осылайша, мысалы,  $\approx 10$  г/л (0,16 моль/л) түрлендіргіш ерітіндідегі мыстың концентрациясы үшін, осы ерітіндімен көмірдің абсорциялық көлемінің кеуектерін (шамамен 1 см<sup>3</sup>/г) қарапайым толтыру көмірде 0,01 г/г мыстың болуына сәйкес келеді; 0,2 г/г эксперименттік шама 20 есе көп. Мыстың (II) модификациялаушы ерітіндіде 0,2 моль/л жуық концентрациясы кезінде көмірде мыстың адсорбциясы изотермасын көрсететін кестеде «сатылы түрде» орын алады, ол адсорбциядан мономолекулярлық қа-

батта полимолекулярлық адсорбцияға ауысуы көрсете алады.

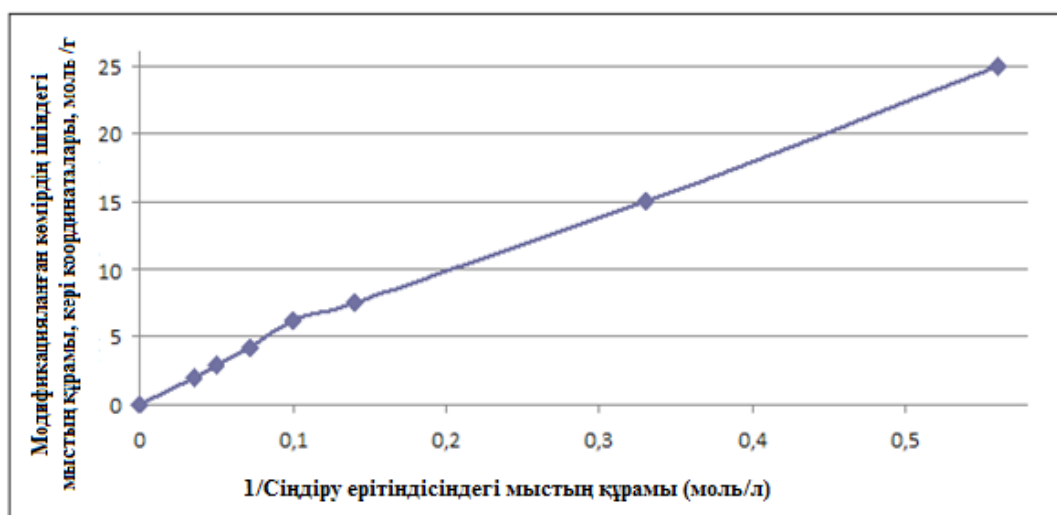
Тұрғызу үшін 1-кестенің деректері қолданылған графиктің анаморфозы 2-суретте кері координаттарда берілген, бұл  $CuCl_2$  ерітіндісінің гипотетикалық шексіз үлкен концентрациясы кезінде мыс (II) хлориді бойынша белсенді көмірдің сыйымдылығын анықтауға мүмкіндік береді ( $CuCl_2$  мольдік үлесі 1-ге тең). Әрине, « $CuCl_2-H_2O$ » жүйесінің күйі орын ала алмайды, бірақ бірқатар технохимиялық есептеулер үшін кейбір шекті жағдай ретінде есептелуі мүмкін. Сызықтық графиктің ординат осімен қиылысу нүктесі мыс (II) бойынша көмірдің шекті сыйымдылығы 0,25 г/г сәйкес, ал осы  $CuCl_2$  0,56 г/г құрамына жауап береді.

Мыс (II) хлоридінің тығыздығы 3,1 г/см<sup>3</sup> кезінде көмір күйіндегі сорбтивтің шекті көлем 0,17 см<sup>3</sup> құрайды, бұл белсенді көмірдің нанокеуегінің көлемімен өлшенеді [1].

Белсенді көмірді мыс хлоридінің ерітіндісімен импрегнациялау бойынша тәжірибелердің материалдық балансы, ерітіндінің массасының азаюына сәйкес келетін  $V_1\rho_1 - V_2\rho_2$

айырмасы (1) теңдеуі бойынша есептелетін  $m_{Cu}$  қарағанда әрқашан көп екенін көрсетеді. Осыған орай, ерітінді массасының кемуінің абсорбцияланған мыстың салмағынан асып кетуін  $1,68 \div 2,25$  г/г құрайды. Бұл көмірдегі оның хлориді түріндегі емес мыстың (II) байланысуына (осы жағдайда мыс көмірімен байланысты массадан сорбцияланған заттың

жалпы массасының артуы  $1,12$  г/г артық болмауы тиіс), ал гидраттары түрінде  $CuCl_2 \cdot (2 \div 4) H_2O$  сәйкес келеді. Егер көмірдің құрамында  $65-79\%$   $CuCl_2$  бар беттік ерітінді түзілетіндігін куәландыратын болса, онда көлемдік ерітінді үшін мүлдем қол жеткізіліксіз, ал  $CuCl_2$  ерігіштігі  $20^\circ C$  кезінде  $4,5$  моль/л аспайды немесе  $42\%$ .



2 сурет – Өзгертілген көмірдегі мыс құрамының кері координаттардағы сіңдіру ерітіндісінің концентрациясына тәуелділігі

Ерітіндідегі мыстың (II) тепе-тең мөлшеріне көміртегі ерітіндідегі мыстың (II) құрамының тәуелділігі теңдеуге сәйкес келеді:

$$m_{cu}^{-1} = m_{cu(0)}^{-1} + kC_{cu}^{-1} \quad (3)$$

мұндағы  $20^\circ C$   $m_{cu(0)}^{-1} = 0,4$ ;  $k = 0,375$ .

**2-кесте. Аммиактың парциалды қысымы  $37,3$  кПа және  $293$  к температура кезінде  $NH_3$  бойынша АГ-3 маркалы көмірдің тепе-тең адсорбциялық сыйымдылығына модификатор концентрациясының әсері**

| Мыстың құрамы мг / г көмір | Көмірдің тепе-теңдік адсорбциялық сыйымдылығы мг/г |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| 0                          | 28,6                                               |
| 4,7                        | 35,2                                               |
| 9,4                        | 41,3                                               |
| 18,8                       | 49,5                                               |
| 28,2                       | 67,2                                               |
| 27,6                       | 78,1                                               |
| 47,0                       | 80,1                                               |
| 94,1                       | 104,1                                              |
| 141,1                      | 123,4                                              |
| 188,2                      | 140,2                                              |

Кестені талдай отырып, тепе-тең адсорбциялық сыйымдылықтың жоғарылауының біркелкі еместігіне назар аударуға болады. Оның 28,6-дан 80,1 мг/г-ға дейін күрт көтерілуі модификатор концентрациясының 47 мг/г-ға дейін артуы кезінде байқалады. Содан кейін тепе-тең адсорбциялық сыйымдылық 188,2 мг/г көмірдің модификаторы болған кезде 140,2 мг/г көмірдің мәніне жетеді. Адсорбенттегі мыс хлоридінің мөлшерін одан әрі арттыру орынсыз, өйткені модификатордың үлкен шығыны адсорбциялық сыйымдылықтың едәуір артуына алып келмейді [5]. Мұны адсорбенттің кеуекті құрылымындағы модификатор тұзының кристалдануы есебінен модификацияланған көмірдің меншікті бетінің азаюымен түсіндіруге болады. Нәтижелері бойынша 2,29-ға тең, түзілгені кешендердегі мысқа сәйкес келетін координациялық сан анықталды.

### Қорытынды

1. Аммиак бойынша көмірдің адсорбциялық сыйымдылығына мыс хлоридінің модификаторы концентрациясының әсері бойынша эксперименттік зерттеулер нәтижелері алынды.

2. Түрлендірілген көмірдегі мыстың құрамының кері координаттарда сіңдіру ерітіндісінің концентрациясына тәуелділігі анықталды.

3.  $\text{NH}_3$  бойынша 37,3 кПа қысымда және 293 К температурада АГ-3 маркалы көмірдің тепе-тең адсорбциялық сыйымдылығына модификатор концентрациясының әсері зерттелді.

4. Аммиакты сіңіру үшін қолданылатын белсенді көмір негізіндегі сорбенттердің сыйымдылығын арттыру үшін модификацияланған көмірді мыс хлориді ерітіндісімен пайдаланудың дұрыстығы расталды.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Мухин В.М. Активные угли России / В.М. Мухин, А.В. Тарасов, В.Н. Клушин; под общ. ред. А.В. Тарасова. – М.: Металлургия, 2000. – 352 с.
2. Строение и свойства адсорбентов и катализаторов / Под ред. Б.Г. Линеев. – М.: Мир, 1973. – 654 с.
3. Беляев Е.Ю. Получение и применение древесных активных углей в экологических целях / Е.Ю. Беляев // Химия растительного сырья. – 2000. – № 2. – С.5-15.
4. Сурикова С.И. Адсорбция аммиака на модифицированном углеродном адсорбенте / С.И. Сурикова, М.А. Костомарова, В.В. Вордомская, Т.С. Головина // Переработка углей для получения синтетического топлива. – М., 1991. – С.105-110.
5. Шапиро С.А. Аналитическая химия / С.А. Шапиро, М.А. Шапиро – М.: Высшая школа, 1971. – 261 с.

УДК 631.4  
МРНТИ 62.01.99

## ПРИРОДА ГУМУСОВЫХ КИСЛОТ В ВЕРМИКОМПОСТЕ

<sup>1</sup>САИНОВА Г.А., <sup>1</sup>АКБАСОВА А.Д., <sup>1</sup>НУРДИЛЛАЕВА Р.Н., <sup>1</sup>ЖУМАБАЙ Б.Ж.,  
<sup>2</sup>БАЙХАМУРОВА М.О.

<sup>1</sup>Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмета Ясави

<sup>2</sup>Казахский Национальный аграрный университет

**Аннотация:** В статье приведены результаты экспериментальных исследований, полученных при изучении состава и оптических свойств гумусовых кислот, извлеченных из вермикомпоста, полученного при разной продолжительности протекания процесса вермикомпостирования. На основе изучения оптических свойств гумусовых кислот установлена зависимость степени гумификации от срока вермикомпостирования. Активность каталазы в образцах вермикомпостов, как и доля ароматизированных молекул гумусовых кислот растет с ростом продолжительности процесса.

**Ключевые слова:** вермикомпост, гумусовые кислоты, почва, фульвокислоты, дождевые черви

## THE NATURE OF HUMIC ACIDS IN VERMICOMPOST

**Abstract:** The article presents the results of experimental studies obtained by studying the composition and optical properties of humic acids isolated from vermicompost derived from different durations of the vermicomposting process. Based on the study of the optical properties of humic acids, the dependence of the degree of humification on the term of vermicomposting is established. The activity of catalase in biohumus samples, as well as the proportion of aromatic molecules of humic acids increases with increasing duration of the process

**Key words:** vermicompost, humic acids, soil, fulvic acids, earthworms

## ВЕРМИКОМПОСТАҒЫ ГУМУС ҚЫШҚЫЛДАРЫНЫҢ ТАБИҒАТЫ

**Аңдатпа:** Мақалада вермикомпостау процесін әртүрлі уақыт ұзақтығында жүргізгенде шыққан вермикомпосттан бөлініп алынған гумус қышқылдарының құрамы мен оптикалық қасиеттерін зерттегендегі тәжірибелік нәтижелер келтірілген. Гумус қышқылдарының оптикалық қасиеттерін зерттеу негізінде гумификация дәрежесі мен вермикомпостау үрдісін жүргізу ұзақтылығы арасында байланыс бар екені айқындалды. Вермикомпост үлгілеріндегі каталазаның белсенділігі де гумин қышқылдары молекулаларының ароматтылығы сияқты, үдерістің жүру ұзақтығы өскен сайын артып отырады.

**Түйінді сөздер:** вермикомпост, гумин қышқылы, топырақ, фульвоқышқылдары, жауын құрттар

## Введение

Согласно научному определению ученого В.В. Докучаева и по учению В.И. Вернадского почва является природным телом, представляющим собой целостный комплекс минеральных и органических веществ, включая живые организмы [1]. Она находится в постоянном взаимодействии с другими составляющими биосферы (атмосферы, гидросферы) и выполняет ряд глобальных функций [2]. В образовании почвы значительная роль принадлежит микроорганизмам и другим живым организмам, обитающим в почвенной системе. Именно они являются синтезаторами гумусовых веществ. От результата деятельности живой части зависит главное свойство почвы, так называемое плодородие [3-5]. Среди них, как выяснил Ч. Дарвин [6], в определенной степени роль почвообразователя выполняют дождевые черви, которые в совокупности с другими представителями почвенного животного мира (термиты, жесткокрылые, пресмыкающиеся и др.) принимают участие в образовании перегноя. Дождевые черви, пронизывая почвенные слои, рыхлят, создают условия для аэрации и увлажнения, перемешивают и, перерабатывая растительные остатки, образуют гранулированные экскременты в виде биогумуса (вермикомпоста), насыщая почву питательными веществами [7-8].

На основе результатов многочисленных экспериментальных исследований ранее нами было показано, что при использовании в качестве удобрения вермикомпоста улучшается структура и повышается плодородие сероземных почв, соответственно, повышается урожайность многих сельскохозяйственных культур [9-11]. Как известно, в сероземах содержится очень большое количество микроорганизмов, особенно они богаты нитрифицирующими бактериями, представителями всех классов protozoa [12]. В сероземах также интенсивно развиваются водоросли.

Отмеченное в наших работах положительное влияние вермикомпоста связано с образованием наиболее ценных форм гумуса, приводящие к увеличению водопро-

сти, водоемкости, образованию гидрофильных структур и центров микробиологической активности [13-14]. Однако, формирование свойств гумусовых веществ, от которого зависит не только почвенное плодородие, но и процессы детоксикации, позволяющие создать условия для получения экологически чистой продукции, изучены в недостаточном уровне. Практически также отсутствуют работы, посвященные исследованию зависимости свойств гумусовых кислот в биогумусе от состава субстратов, подвергающихся вермикомпостированию. Проведение исследований в этих направлениях особенно важны, так как от содержания, состава гумусовых веществ в почве зависят все ее агрономические ценные свойства.

Данная работа посвящена исследованию оптических свойств гуминовых (ГК) и фульвокислот (ФК), извлеченных из вермикомпоста и компоста, а также определению активности фермента каталазы в этих образцах. Гумусовые кислоты синтезируются в кишечнике красных калифорнийских червей в результате полимеризации низкомолекулярных соединений в более усложненные и зрелые формы.

## Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются образцы компоста, вермикомпостов, произведенных в результате жизнедеятельности красных калифорнийских червей *Eisenia foetida* – вид малощетинковых червей из семейства Lumbricidae. Выращивание червей проведено на субстратах без и с внесением пероксида кальция в конский навоз. Для исследования получены образцы вермикомпостов разного периода созревания (1 месяц, 2 месяца, 3 месяца, 5 месяцев).

Экстрагирование гумусовых кислот из компоста, вермикомпоста проведено разбавленной 0,07-0,2 N щелочью перешиванием до полного извлечения гумусовых кислот. Затем щелочной экстракт фильтруют через фильтровальную ткань. К отфильтрованному раствору добавляют минеральную кислоту до

pH=5,0-1,0. Флокулят отделяют, промывают и сушат. Выпариванием фильтрата выделяют фульвокислоту [15].

Исследование оптических свойств гумусовых кислот проведено в диапазоне 465-726 нм на универсальном фотометре КФК-3-01-«ЗОМЗ» с использованием толщины слоя жидкости равной 1 см. Для определения степени конденсированности ароматического ядра молекул гумусовых кислот были вычислены отношения значений оптической плотности при длинах волн 465 ( $E_4$ ) и 665 ( $E_6$ ) нм. Определение активности фермента каталазы проводилось по методу А.Ш. Галстяна, описанному Ф.Х. Хазиевым [16].

### Результаты исследования и их обсуждение

В состав вермикомпоста входят ряд органических соединений, включая гуминовые и фульвокислоты, содержащее питательные вещества (N, P, K), которые в результате жизнедеятельности почвенных микроорганизмов разлагаются с образованием доступных растениям минеральных соединений N, P, K, Ca, S и других элементов. В таблице 1 приведен состав вермикомпостов, полученных в различных периодах созревания.

Результаты экспериментальных исследований показали отсутствие в образцах вер-

микомпоста патогенной микрофлоры и яиц гельминтов. Массовая доля тяжелых металлов Pb, Zn, Cd, Cu, As как в компосте, так и в вермикомпосте ниже значений ПДК для почв. Содержание кальция от 4,0 до 6,2 %, магния – 0,5-2,0 %, железа - 0,4-2,5%, марганца – 63,4-77,6 мг/. Вермикомпост по своим микробиологическим, химическим и другим свойствам, а также по составу резко отличается от компоста, в нем имеется полный баланс питательных веществ и микроэлементов. Агрегаты вермикомпоста имеют размеры от 0,25 до 5 мм, обладают повышенной устойчивостью к размыву водой, содержание органического вещества в нем колеблется в пределах 57,4-65,1% при высоком содержании азота.

Вермикомпост содержит большое количество гумусовых веществ (таблица 1) и сообщество микроорганизмов, выделяющих фитогормоны, антибиотики, фунгицидные и бактерицидные соединения, которые способствуют повышению биологической активности, оздоровлению и повышению плодородия почвы, устраняют многие широко распространенные болезни растений.

Для сравнительной характеристики гумусовых веществ различного происхождения и изучения особенностей свойств, строения гуминовых кислот и фульвокислот фотоколориметрическим методом исследованы спектры

**Таблица 1 – Составы конского компоста и продукта его утилизации вермикомпостов**

| Вид удобрения и продолжительность процесса вермикомпостирования | Среднее содержание компонентов, % |         |                       |                    |               |      |                               |                  |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------|-----------------------|--------------------|---------------|------|-------------------------------|------------------|
|                                                                 | Влажность                         | pH      | Органические вещества | Гумусовые вещества | Азот общий, N | Зола | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O |
| Компост                                                         | 40,4                              | 6,8     | 55,9                  | 16,8               | 1,34          | 38,1 | 1,49                          | 1,80             |
| Вермикомпост (2 месяца)                                         | 45,0-47,2                         | 7,2     | 58,5                  | 27,2               | 2,13          | 37,2 | 1,98                          | 2,72             |
| Вермикомпост (3 месяца)                                         | 45,0-50,0                         | 7,9     | 57,4                  | 27,0               | 2,12          | 39,8 | 2,20                          | 3,19             |
| Вермикомпост (5 месяцев)                                        | 45,0- 49,4                        | 7,8     | 65,1                  | 26,9               | 2,17          | 36,0 | 2,02                          | 3,93             |
| Международный стандарт                                          | -                                 | 6,5-7,5 | 20-30                 | 6,5-7,5            | 1,0           | 57,7 | 1,5                           | 1,0              |

поглощения гумусовых веществ в видимой части спектра. На рисунке 1 представлены экспериментально полученные оптические свойства гумусовых кислот, выделенных из конского навоза и вермикомпостов, полученных в разные периоды протекания процесса.

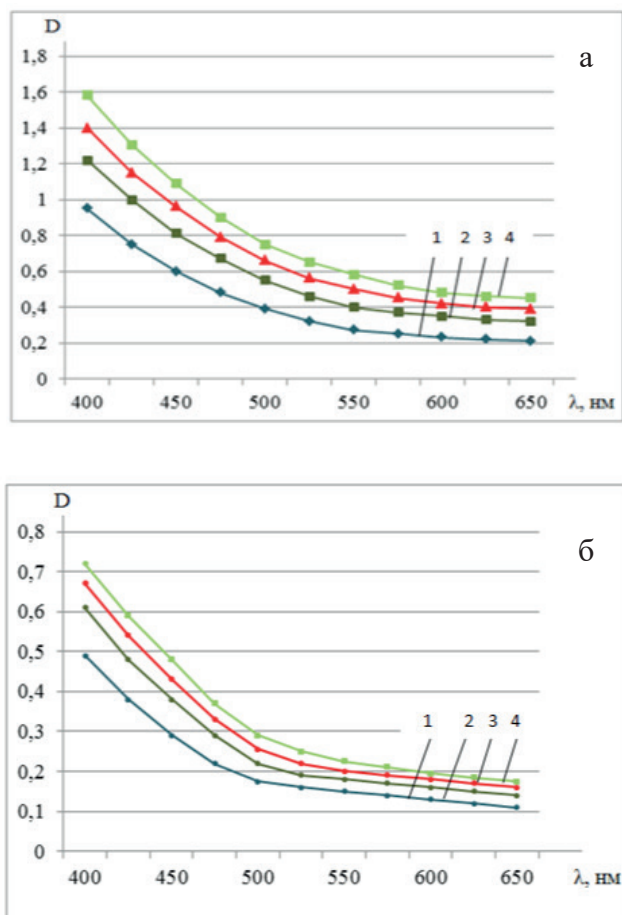


Рис. 1 – Оптические свойства гуминовых (а) и фульвокислот (б), выделенных из навоза и из вермикомпостов при продолжительности вермикомпостирования: 2 – через месяц; 3 – через 2 месяца; 4 – через 3 месяца; 5 – через 5 месяцев

На основе замера оптических свойств ГК и ФК установлены различия в электронных спектрах в зависимости от времени вермикомпостирования.

По современным представлениям окраска гумусовых кислот и соответственно характер их электронных спектров обусловлены развитой системой сопряженных двойных углерод-углеродных связей. Наиболее интенсивно окрашены гуминовые кислоты по сравнению с фульвокислотами. Интенсивность окраски и характер спектров гумусовых кислот зависят

от продолжительности процесса вермикомпостирования (рисунок 1).

Экспериментальные данные, полученные при исследовании активности фермента каталазы в образцах компоста и вермикомпостов представлены на рисунке 2.

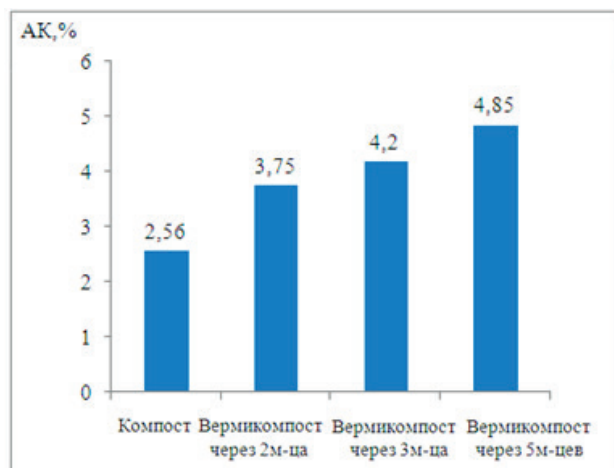


Рис. 2 – Активность каталазы (АК) в образцах компоста и вермикомпостов, полученных при вермикомпостировании через 2, 3, 5 месяцев

Как видно из рисунка 2, активность каталазы в образцах вермикомпостов выше чем в компосте. Причем с ростом продолжительности ведения процесса вермикомпостирования наблюдается рост значений активности каталазы. Согласно результатам определения активности каталазы в вермикомпосте наибольшее значение, равное 4,85, получено при проведении процесса вермикомпостирования в течение 5 месяцев, что почти в 2 раза выше, чем в компосте.

Сопоставление результатов замера оптических плотностей гумусовых кислот и активности каталазы свидетельствуют о существовании определенной взаимосвязи между этими величинами. Как показывают результаты, активность фермента каталазы возрастает по мере созревания вермикомпоста. Таким образом, фермент каталаза играет важную роль в процессе образования вермикомпоста, соответственно, в образовании гумусовых кислот.

Значения  $E_4/E_6$  для ГК в зависимости от продолжительности процесса вермикомпостирования изменяется от 2,89 до 3,02, для

ФК от 3,11 до 3,33. Для извлеченных из компоста ГК и ФК значения  $E_4/E_6$ , соответственно, имеют значения равные 3,63 и 3,14. Анализируя полученные данные, можно сделать заключение об образовании более ароматизированных молекул гуминовых кислот и менее ароматизированных фульвокислот при вермикомпостировании.

### Заключение

На основе результатов экспериментальных исследований установлена зависимость

качественного и количественного состава гумусовых кислот в вермикомпосте от состава субстрата, условий и характера протекаемых в нем процессов. Выявлено, что чем больше величина отношения  $E_4/E_6$ , тем более развита периферическая часть молекулы гумусовых кислот и тем меньшую долю составляет ароматическое ядро.  $E_4/E_6$  у гуминовых кислот изменялось в пределах 2,89-3,63, а у фульвокислот от 3,11-3,33 в зависимости от состава субстрата и продолжительности опытов вермикомпостирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Марчик Т.П., Ефремов А.Л. Почвоведение с основами растениеводства: учеб. пос. Т.П. Марчик, А.Л. Ефремов. – Гродно: ГрГУ им. Янки Купалы, 2006. – 217 с.
2. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружение. – М., 1987. – 348 с.
3. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации/ Л.Н. Александрова – Л.:Наука, 1980. – 288 с.
4. Есаулко А.Н. Агрохимическое обследование и мониторинг почвенного плодородия: учебное пособие / А.Н. Есаулко, В.В. Агеев, Л.С. Горбатко и др. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 352 с.
5. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. – 325 с.
6. Дарвин Ч. Образование растительного слоя деятельностью дождевых червей и наблюдения над образом жизни последних. – С-Пб. 1882. – 204 с.
7. Sun Zhen Jun. Pharmaceutical Value and Use of Earthworms in China // Материалы II Международной научно-практической конференции «Дождевые черви и плодородие почв». – Владимир: ПИКЪ, 2004. – С.49.
8. Попкович Л.В., Просяников Е.В., Бовкун Г.Ф. Влияние различных способов подготовки субстрата для вермикультуры и его переработки компостными червями на экологическое качество копролита // Материалы II Международной научно-практической конференции «Дождевые черви и плодородие почвы». – Владимир, 2004. – С.84-85.
9. A.D. Akbasova, G.A. Sainova, O. Aimbetova, M.M.Akeshova, D.K.Sunakbaeva. Impact of Vermicompost on the Productivity of Agricultural Crops // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2015. – Vol. 6. – Iss. 4.– P. 2084-2088.
10. Акбасова А.Д., Исаков О.А., Саинова Г. Экологизация сельского хозяйства путем рационального использования вермипродукций и биопрепаратов на их основе. – Алматы: Нұрлы Әлем, 2015. – 176 с.
11. Akbasova A.D, Sainova G.A, Aimbetova I.O. and Baiseitova B.A. Influence of Mixture Vermicompost and Sulfur Per Liter Containing Waste On the Growth and Development of Potato. // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. September-October 2016. – Vol.7. – Iss. 5. – P.2064-2069.
12. Звягинцев А.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во Моск. ун-та., 2001. – 449 с.

13. Акбасов А.Ж., Саинова Г.А., Акбасова А.Д. Почвоведение: учебное пособие. – Алматы, 2006. – 170 с.
14. Акбасова А.Д., Саинова Г.А., Дуамбеков М.С. Охрана почв: учебное пособие. – Астана: Фолиант, 2008. – 230 с.
15. ГОСТ 26213 - 91. Почвы. Определение органического вещества по методу Тюрина в модификации ЦИНАО.
16. Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии / Ф.Х. Хазиев; Ин-т биологии Уфим. НЦ. – М.: Наука, 2005. – 252 с.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 007.681.5  
МРНТИ 68.15.21

## ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВОПРОСАМ ПЕРСОНАЛА В СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

АБДЫГАЛИКОВА Г.А., ДЖУМАГАЛИЕВА А.М., ТОЛЕШЕВ А.Т.

*Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрены аспекты автоматизации системы принятия управленческих решений по вопросам персонала в современных предприятиях. Приведены основные проблемы, которые присвоены компаниям, не имеющим автоматизированной системы принятия решения.

Сделан сравнительный анализ нескольких популярных HR-решений для автоматизации управления персоналом, выявлены их достоинства и недостатки.

Поставлена задача разработки модели системы принятия управленческих решений, на базе современных технологий как Vert.x, которая позволит обрабатывать запросы в неблокирующем режиме для проектирования интерфейса – Angular; для реализации клиент-серверной архитектуры стандарт ReST.

**Ключевые слова:** персонал, управление, автоматизация, информационные системы, эффективность, ресурс

## ЗАМАНАУИ КӘСІПОРЫНДАРДА КАДРЛЫҚ МӘСЕЛЕЛЕРДІ БАСҚАРУДЫҢ АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕСІН ҚҰРУ НЕГІЗДЕРІ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада заманауи кәсіпорындардағы кадр мәселелері бойынша басқару шешімдерін қабылдау жүйесін автоматтандыру аспектілері қарастырылады. Шешімдер қабылдаудың автоматтандырылған жүйесін пайдаланатын компаниялардың негізгі міндеттері келтірілген. Қызметкерлерді басқаруды автоматтандыруға арналған бірнеше танымал HR-шешімдерге салыстырмалы талдау жасалды, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды.

Зерттеу төңірегінде – басқарушылық шешімдер қабылдау жүйесінің моделін құру сияқты міндет қойылып, оны Vert.x сияқты заманауи технологияға негізінде іске асыру сұраныстарды блоктан тыс режимде оңдеуге мүмкіндік береді. Интерфейсті жобалау үшін Angular; ал клиент-сервер архитектурасын жүзеге асыру үшін ReST стандартын қолдану тиімді.

**Түйінді сөздер:** персонал, басқару, автоматика, ақпараттық жүйелер, тиімділік, ресурс

## FUNDAMENTALS OF DESIGNING AN AUTOMATED MANAGEMENT DECISION-MAKING SYSTEM FOR PERSONNEL ISSUES IN MODERN ENTERPRISES

**Abstract:** *This article discusses aspects of automation of the management decision-making system on personnel issues in modern enterprises. The main problems that are assigned to companies numbing an automated decision-making system are given. A comparative analysis of several popular HR-solutions for the automation of personnel management is made, identified from the advantages and disadvantages.*

*The task is to develop a model of a management decision-making system based on modern technology like Vert.x, which will allow you to process queries in non-blocking mode, to design an interface – Angular, to implement the client-server architecture with the ReST standard.*

**Key words:** *personnel, management, automation, information systems, efficiency, resource*

### Введение

Социально-экономические преобразования, происходящие в современном обществе приводят к качественным и количественным изменениям во всех структурах производства.

В условиях рыночной экономики снижено финансирование с внешних источников, каждая компания вынуждена пересмотреть свои стратегические планы и найти оптимальные решения в строении современного предприятия.

Таким образом для современного предприятия особое значение имеет обеспечение производства автоматизированной информационной системой для всех своих производственных структур, в том числе для принятия управленческих решений по вопросам персонала [1].

Управление человеческими ресурсами – это процесс найма, отбора, привлечения сотрудников, обеспечения ориентации, обучения и развития, оценки работы сотрудников, определения вознаграждения и предоставления льгот, мотивации сотрудников, поддержания надлежащих отношений с сотрудниками и их профсоюзами, обеспечения безопасности сотрудников, благосостояния и здоровья.

Автоматизация работы с персоналом – это процесс повышения эффективности работы отдела кадров, освобождая сотрудников от утомительных ручных задач и позволяя им сосредоточиться на сложных задачах, таких как принятие решений и разработка стратегий.

Автоматизируя стандартные и повторяющиеся операции с персоналом, организации могут сократить затраты и время, затрачиваемое на планирование и обработку персонала вручную.

### Основная часть

Приведем несколько проблем, которые присвоены компаниям, не имеющим автоматизированной системы принятия решения:

- потерянная эффективность. Персонал будет уделять время монотонным и непродуктивным задачам;

- допускаются ошибки. Такие задачи, как проверка расписаний, расчет заработной платы и проверка отпусков могут быть легко выполнены машиной. Но их выполнение людьми может проложить путь к ошибкам;

- новые кандидаты могут не иметь достаточный опыт работы. С помощью автоматизации управления персоналом организации могут быстро проектировать, оптимизировать, интегрировать и развертывать необходимые службы при значительно более низких затратах.

При правильной реализации автоматизация управления персоналом может принести незаменимые преимущества. Вот восемь ключевых преимуществ автоматизации HR[2]:

- повышение производительности благодаря быстрой обработке и обмену данными;

- снижение текучести кадров благодаря повышенной вовлеченности сотрудников;

- сокращение расходов на хранение и печать, связанных с бумажной обработкой;
- оставаться свободными от риска соответствия или нарушений политики;
- повышение организационного роста за счет эффективного найма при оптимальных эксплуатационных расходах;
- удаление ошибок ввода данных и потерянных документов.

Опишем некоторые из популярных HR-решений для автоматизации управления персоналом.

**Synergy HRM.** Система по управлению человеческими ресурсами – комплексный инструмент для создания базы для эффективного управления человеческими ресурсами и повышения уровня производительности сотрудников. Система позволяет оптимизировать процесс принятия сотрудников на работу.

**HR Scanner.** Hrscanner – сервис онлайн-оценки персонала, для предпринимателей и HR. Система позволяет экономить свое время, сразу отсеивая неадекватных или случайных кандидатов, увеличить до 95% количе-

ство состоявшихся собеседований, поскольку кандидат вложил свое время в прохождение тестов. Анализируя тесты действующих и будущих сотрудников, можно выявить их сильные и слабые стороны.

Предоставляет разные виды тестирования:

- тест «Резалт»;
- тест «Тулс»;
- тест «Сейлс»;
- тест «Регард»;
- видеоинтервью.

Дополнительные функции:

- единая база кандидатов со статусами и возможностью перемещения между вакансиями;
- оповещение кандидатов с возможностью быстрого прохождения тестов с телефона;
- многопользовательский режим с возможностью создания папок.

В таблице 1 приведен сравнительный анализ данных систем.

**Таблица 1 – Сравнительный анализ систем управления человеческими ресурсами**

| № | Название систем управления человеческими ресурсами | Достоинства                                                                                            | Недостатки                                                |
|---|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1 | 1С: Зарплата и Кадры                               | Интеграция с 1С бухгалтерия                                                                            | высокая цена                                              |
| 2 | Корс-Кадры                                         | Поддержка сетевой версии. Есть бесплатная версия                                                       | Ограниченный функционал. Нет возможности добавлять отчеты |
| 3 | БухСофт: Зарплата и Кадры                          | Поддержка мобильной версии                                                                             |                                                           |
| 4 | Сотрудники предприятия                             | Возможность вести сразу несколько организаций. Разграниченные возможности пользователей системы        | Высокие требования к характеристикам ПК                   |
| 5 | Кадры Плюс                                         | Многофункциональная программа с поддержкой большого количества отчетов в коробочной версии             | высокая цена                                              |
| 6 | Отдел кадров                                       | Импорт/Экспорт данных из 1С                                                                            | Каждый пользователь лицензируется отдельно                |
| 7 | Персонал Бизнес                                    | Возможность создавать запросы, чтобы извлечь любую информацию из базы. Возможность резервирования базы | высокая цена                                              |

Совершенствование процесса принятия объективных обоснованных решений по вопросам персонала в ситуациях высокой сложности достигается путем использования научного подхода к данному процессу, разработкой моделей, методов и систем принятия решений.

### **Заключение**

На основе анализа теоретических материалов и изучения структур готовых систем, и

выявляя все положительные и отрицательные стороны данных систем поставлена задача разработки модели системы принятия управленческих решений на базе современных технологий как Vert.x, которая позволит обрабатывать запросы в неблокирующем режиме, для проектирования интерфейса – Angular, для реализации клиент-серверной архитектуры стандарт ReST.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Karlyn Borysenko What Was Management Thinking? The High Cost of Employee Turnover// Исследования American Management Association [Электронный ресурс].
2. <https://www.tlnt.com/what-was-leadership-thinking-the-shockingly-high-cost-of-employee-turnover/> (дата обращения 5.12.2017 г.)
3. Википедия. Свободная энциклопедия. [Электронный ресурс]. - [https:// ru.wikipedia.org/wiki/ Автоматизация управления персоналом](https://ru.wikipedia.org/wiki/Автоматизация_управления_персоналом) (дата обращения 15.03.2018 г.)
4. Rantanen, P. REST API example generation using Java doc //Computer Science and Information Systems. Volume 14, Issue 2. June 2017. Pages 447-466
5. Алексей Цыганов. Учет кадров и кадровая документация, 2009. – 160 с.
6. Lucy Adams HR Disrupted: It's time for something different, 2017 г.
7. Linda Holbeche Aligning Human Resources and Business Strategy, 2009 г.
8. Zorlu Senyucel Managing the Human Resource in the 21st Century, 2009 г.

УДК 004.94-57.090  
МРНТИ 76.13.23

## АЛГОРИТМЫ BIOPYTHON

АМИРХАНОВ Б.С.<sup>1</sup>, ЖОЛМАГАМБЕТОВА Б.Р.<sup>3</sup>, ДЖОМАРТОВА Ш.А.<sup>1,2</sup>,  
ШОРМАНОВ Т.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

<sup>3</sup>Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева

**Аннотация:** Проведен обзор по алгоритмам биоинформатики на BioPython. Рассмотрены основные задачи биоинформатики и алгоритмы с примерами на Python: алгоритм по обработке последовательностей ДНК, поиск паттернов, алгоритм множественного выравнивания последовательностей, алгоритмы филогенетического анализа граф де Брёйна. Показана основная обработка биологических последовательностей в качестве реализации процессов, связанных с экспрессией генов, включая транскрипцию, трансляцию и идентификацию открытых рамок считывания. А также рассмотрена возможность вычислять частоту различных символов в последовательностях. Определена потенциальная сложность некоторых алгоритмов, что показывает важность этих алгоритмов и потенциал проблем. Рассмотрены скрытые марковские модели, графы и биологические сети.

**Ключевые слова:** BioPython, биоинформатика, паттерны, графы, марковские модели, алгоритмы, ДНК, РНК

## BIOPYTHON ALGORITHMS

**Abstract:** A review of bioinformatics algorithms on BioPython. The main tasks of bioinformatics and algorithms, with examples in Python, are considered: an algorithm for processing DNA sequences, searching for patterns, a multiple sequence alignment algorithm, phylogenetic analysis algorithms, Count de Bruyne. The main processing of biological sequences is shown as the implementation of processes associated with gene expression, including transcription, translation and identification of open reading frames. And also considered the ability to calculate the frequency of various characters in the sequences. The potential complexity of some algorithms is determined, which shows the importance of these algorithms and the potential problems. Hidden Markov models, graphs, and biological networks are considered.

**Key words:** BioPython, bioinformatics, patterns, graphs, Markov models, algorithms, DNA, RNA

## BIOPYTHON АЛГОРИТМДЕРІ

**Аңдатпа:** BioPython-дағы биоинформатика алгоритмдеріне шолу жасалды. Python-да мысалдары бар биоинформатика мен алгоритмдердің негізгі міндеттері қарастырылады: ДНК тізбегін өңдеу алгоритмі, заңдылықтарды іздеу, бірнеше тізбекті реттеу алгоритмі, филогенетикалық талдау алгоритмдері, де Брёйна графигі. Биологиялық тізбектің негізгі өңдеуі генді экспрессиялаумен байланысты процестерді, соның ішінде транскрипцияны, аударманы және ашық оқу шеңберлерін сәйкестендіруді көрсетеді. Сонымен қатар

сан түрлі таңбалардың жиілігін есептеу мүмкіндігі зерттелді. Кейбір алгоритмдердің ықтимал күрделілігі анықталады, бұл осы алгоритмдердің маңыздылығын және ықтимал проблемаларды айқындайды. Сонымен қатар Марковтың жасырын модельдері, графикасы және биологиялық желілері қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** BioPython, биоинформатика, паттерндер, графтар, Марков модельдері, алгоритмдер, ДНК, РНК

## Введение

Научное сообщество использует несколько языков программирования для решения задач биоинформатики. Основным для исследователей является язык программирования Python. Python используется многими компаниями – от небольших и неизвестных магазинов до крупных игроков в своих областях, таких как Google, National Geographic, Disney, NASA, NYSE и многие другие. Это один из четырех “официальных языков” Google среди Java, C++ и Go. У них есть веб-сайты, сделанные на Python, автономные программы и даже хостинг-решения. В качестве подтверждения того, что Google серьезно относится к Python, в декабре 2005 года они наняли Гвидо ван Россума, создателя Python. Возможно, это не основной язык Google, но это показывает, что Google является его решительным сторонником. Даже Microsoft разработала версию Python для своей платформы «.Net» (IronPython), а также разработала Python Tools for Visual Studio 21, бесплатный плагин с открытым исходным кодом, который превращает Visual Studio в среду разработки Python. Многие известные дистрибутивы Linux уже используют Python в своих ключевых инструментах. Ubuntu Linux «предпочитает, чтобы сообщество вносило вклад в работу с Python». Python настолько тесно интегрирован в Linux, что некоторые дистрибутивы не будут работать без рабочей копии Python [1].

BioPython – это очень полезный пакет модулей для разработки приложений биоинформатики. Хотя каждая задача биоинформатики уникальна, все же есть некоторые задачи, которые повторяются, у которых возникает необходимость обмена между отдельными программами и стандартными форматами файлов. Такая ситуация говорит о необхо-

димости разработки пакета мер по решению таких задач, основанных на биологических проблемах. Для решения таких задач используется Biopython [2-6].

## Методы исследования

Основная обработка биологических последовательностей. Здесь мы рассмотрим реализацию процессов, связанных с экспрессией генов, включая транскрипцию, трансляцию и идентификацию открытых рамок считывания. Так как последовательность ДНК является строкой, начнем с функции, в которой подсчитываются действительные символы, а их сумма сравнивается с длиной строки чтобы проверить правильность всех символов. Подобные функции могут быть легко построены для последовательностей РНК или белка.

Другим полезным примером является возможность вычислять частоту различных символов в последовательностях. Результатом функции будет словарь, где ключи – это символы, а соответствующие значения – частоты. Обратите внимание, что это может быть применено к любому из типов последовательностей, определенных выше (ДНК, РНК и белки).

Также можно запрограммировать функции, которые:

- возвращают частоту аминокислот от самых частых до наименее частых;
- возвращают процентное содержание G и C нуклеотидов в последовательности ДНК;
- возвращают содержимое GC непересекающихся подпоследовательностей размера k;
- вычисляют РНК, соответствующую транскрипции предоставленной последователь-

ности ДНК; вычисляют обратный комплемент последовательности ДНК; переводят кодон в аминокислоту, используя внутренний словарь со стандартным генетическим кодом; переводят последовательность ДНК в аминокислотную последовательность.

Поиск конкретных паттернов в биологических последовательностях является одной из наиболее распространенных задач, с которыми биоинформатики сталкиваются ежедневно. Поскольку соответствующая биологическая информация хранится в последовательностях, анализ локальных закономерностей в этих последовательностях является весьма актуальным. Алгоритмы данного направления – это алгоритмы, относящиеся к поиску подстроки в строке. Наиболее распространенные это примитивный поиск, алгоритм Бойера-Мура, использование детерминированного конечного автомата, алгоритм Кнута-Морриса-Пракса и многие другие. Очень часто для поиска паттернов используют регулярные выражения. Регулярные выражения – это концепция программирования, существующая во всех современных языках программирования, которая позволяет гибко определять шаблоны для поиска в строках, что позволяет находить паттерны, используя гибкие шаблоны.

### Сравнение и выравнивание последовательностей

Одним из основных вкладов, которые биоинформатика вносит в биологические исследования, является помощь в выяснении функции данных генов или белков, которые они кодируют. Общий подход к решению этих задач состоит в том, чтобы генерировать гипотезы относительно их биологической функции на основе сходства их последовательностей с другими, которые имеют определенную функцию, предпочтительно с экспериментальной проверкой. На самом деле мы пытаемся достичь гомологии, то есть существования общей родословной, основанной на сходстве последовательностей. Важно подчеркнуть, что эти понятия не эквивалентны. Однако на практике последовательности,

которые демонстрируют высокую степень сходства, имеют высокую вероятность того, что они будут гомологичны и имеют схожие функции. Эта вероятность возрастает с увеличением степени подобия. Когда сходство достигает высоких уровней (определение правильного порога, к сожалению, не очевидно), мы можем вывести функцию с некоторой достоверностью, хотя идеалом всегда является экспериментальное подтверждение. Целевую функцию для задачи оптимизации (проблемы парного выравнивания последовательности) можно определить следующим образом.

Ввод: две последовательности с четко определенным алфавитом; целевая функция для оценки каждого решения выравнивания.

Вывод: оптимальное сочетание символов в каждой последовательности, расставляя пробелы в соответствующих позициях, чтобы максимизировать целевую функцию.

Прежде чем смотреть более подробно на особенности целевой функции, необходимо понять потенциальную сложность этой проблемы, оценив число возможных решений. Для этой цели рассмотрим упрощение, согласно которому обе последовательности имеют одинаковый размер  $n$ . Это ограничение будет служить только для упрощения наших выражений и будет достаточным, чтобы дать представление о сложности. Поскольку для нашей задачи решения различаются по способу размещения пробелов в последовательностях, можно легко выяснить, что максимальный размер всего выравнивания будет равен  $2n$ , для случая, когда мы помещаем  $n$  пробелов, поскольку это не имеет смысла иметь разрыв в обеих последовательностях. Таким образом, общее количество решений будет обеспечено возможными комбинациями размера  $n$  из  $2n$  элементов, определяемыми как:

$$\binom{2n}{n} = \frac{(2n)!}{n!^2} \quad (1)$$

Чтобы иметь представление о данном значении, для  $n = 20$  (очень маленькое значение для реальных биологических последовательностей) это составляет около 130 миллиар-

дов решений. Это дает представление о том, что проблема довольно сложна и что ее невозможно решить с помощью метода грубой силы, в котором перебираются все возможные варианты [7].

Выравнивание нескольких последовательностей. Отдельной задачей стоит выравнивание нескольких последовательностей сразу. Если выше рассматривалось попарное выравнивание, то сейчас задача ставится для  $n$  последовательностей сразу. Это имеет особое значение, например, при определении функции белков, где комбинация различных последовательностей с потенциальной гомологией цели из разных организмов может придать дополнительную уверенность в создании гипотез для функционального описания и обеспечивает более надежный способ идентифицировать консервативные области тех белков, которые могут играть соответствующую функциональную роль. Белковые выравнивания могут также очень помочь в определении их вторичных или третичных структур.

### Филогенетический анализ

Филогенетика – это раздел биологии, который изучает эволюционную историю и отношения между людьми или видами. Алгоритмы филогенетического анализа можно в целом разделить на три основных класса, которые в основном различаются по стратегии, используемой для вычисления целевой функции, и в то же время предлагают альтернативные подходы для поиска в огромном пространстве решения этой проблемы. Основными классами являются следующие алгоритмы на основе расстояний: включают в себя методы, основанные на расчете парных расстояний между последовательностями (на основе выравнивания последовательностей), с целью поиска деревьев, в которых расстояния соответствуют значениям во входной матрице;

- максимальная экономия: включает методы, которые ищут деревья, где количество необходимых мутаций (во внутренних узлах дерева) для объяснения изменчивости последовательностей минимизировано;

- статистические/байесовы методы: определяют вероятностные модели для возникновения различных типов мутаций и используют эти модели для оценки деревьев на основе их вероятности (или вероятности), поиска наиболее вероятных деревьев, которые объясняют последовательности в соответствии с предполагаемой моделью.

Алгоритмы обнаружения мотива. В контексте анализа биологической последовательности термин «мотив» относится к нетривиальному последовательному шаблону, который характерен для нескольких последовательностей. Под нетривиальным подразумевается, что мотив имеет минимальную соответствующую длину и захватывает комбинацию символов, которая отличается от базового распределения символов. Однако его главной особенностью является повторение, то есть тот факт, что это происходит в нескольких из проанализированных последовательностей. Проблема обнаружения детерминированных мотивов представляет собой интересную вычислительную задачу, которая привлекала внимание многих биоинформатиков и ученых на протяжении многих лет.

Вероятностные мотивы и стохастические алгоритмы. Вероятностные мотивы, как правило, выражаются через позиционную весовую матрицу (PWM), также называемые шаблонами или профилями. PWM – это матрица взвешенных совпадений каждого из биологических символов (нуклеотидов или аминокислот) в виде строк и каждой позиции мотива в виде столбцов. PWM обеспечивает вероятностное представление мотива путем захвата частоты каждого символа вдоль его положений последовательности. PWM может затем использоваться для поиска новых совпадений мотивов во входных последовательностях и может быть уточнено путем включения других совпадений с высокими показателями. Стохастические алгоритмы, основанные на максимизации ожиданий (ЕМ), могут решить эту проблему эффективного поиска мотива, предоставляя способ обхода пространства поиска и оптимизации мотивов [8].

Скрытые марковские модели (HMM). В

анализе биологической последовательности события, связанные с последовательностью, часто являются вероятностными. Примеры этого включают, например, классификацию субклеточной локализации (например, цитозоль, ядро или мембрана) белка по его последовательности; наличие белковых доменов в последовательности или вероятность связывания транскрипционного фактора с последовательностью области промотора гена. Скрытые марковские модели – стохастические модели, которые фиксируют статистические закономерности из входных последовательностей и позволяют разрабатывать алгоритмы для поиска мотивов и поиска в базе данных [9].

Графы и биологические сети. Граф может быть определен в математике как набор объектов, с которыми связаны некоторые пары объектов в этом наборе. Хотя они могут быть легко определены и имеют простую структуру, они представляют собой мощные и гибкие структуры данных с огромным набором приложений в области компьютерных наук и многих областях науки и техники.

В последние годы различные типы представлений, основанные на концепции графов использовались для характеристики и моделирования различных типов биологических систем, в основном внутри клеток. Эти графы, глобально обозначенные как биологические сети, обычно представляют в своих узлах биологические объекты, такие как гены, белки или химические соединения, в то время как ребра представляют различные типы взаимодействий или отношений между этими объектами с четко определенным биологическим значением (например гены – кодирующие белки, метаболиты – участвующие в реакциях, белки – которые регулируют экспрессию генов или связываются с соединениями). Для анализа биологических сетей используются: степень распределения, поиск кратчайшего пути, коэффициенты кластеризации и много другое, почерпнутое из теории графов.

Сборка генома – процесс объединения большого количества коротких фрагментов

ДНК (ридов) в одну или несколько длинных последовательностей в целях восстановления последовательностей ДНК хромосом, из которых возникли эти фрагменты в процессе секвенирования.

Сложность этой проблемы может быть огромной, что легко понять, если учесть, что размер считываний обычно составляет несколько сотен нуклеотидов, в то время как полные геномы обычно содержат от нескольких до тысяч миллионов нуклеотидов. До 1990-х годов это действительно считалось невыполнимой задачей, и даже сегодня некоторые более крупные геномы все еще недоступны для современных программно-аппаратных комплексов.

Графы перекрытия. Одним из вариантов решения этих проблем является теория графов. Действительно, фрагменты для этой последовательности могут быть организованы в особый тип графа, называемый графом перекрытия, который может привести к другой постановке задачи и альтернативным алгоритмам. Граф перекрытия определяется следующим образом:

- узлы (вершины) соответствуют входным фрагментам, то есть для каждого фрагмента будет одна вершина (рид);
- ребра созданы между двумя узлами  $v$  и  $w$ , если  $\text{suffix}_{k-1}(v) = \text{prefix}_{k-1}(w)$ , т.е. последовательностей узлов  $v$  и  $w$  имеют перекрытие  $K - 1$  нуклеотидов.

Решением задачи восстановления последовательности можно представить в виде пути по этому графу. Чтобы решение было правильным, этот путь должен проходить ровно один раз по каждому узлу графа.

Гамильтонов цикл. В ориентированном графе гамильтонов цикл – это путь, который проходит через все узлы графа ровно один раз. Действительно, из пути, заданного гамильтоновым циклом, можно легко получить «исходную» последовательность. Это делается простым извлечением последовательности из первого узла в пути и конкатенацией последнего символа последовательностей в оставшихся узлах пути в соответствии с его порядком. При увеличении размера после-

довательности алгоритм начинает вести себя все хуже и хуже с точки зрения времени выполнения. Фактически этот алгоритм нельзя использовать для больших последовательностей и соответствующих графиков перекрытия. Действительно, проблема нахождения гамильтоновых графов довольно сложна и относится к классу NP-полных задач оптимизации, что подразумевает отсутствие эффективных алгоритмов при масштабировании задачи, в данном случае, когда граф становится больше.

Графы де Брёйна для сборки генома. В поиске эффективных алгоритмов для сборки генома исследовательское сообщество искало другие пути решения. Решениями этой задачи могут быть пути по графу, содержащие все ребра ровно один раз. В случае графов де Брёйна вершины содержат последовательности, которые соответствуют либо  $\text{prefix}_{k-1}$ , либо  $\text{suffix}_{k-1}$  одного из фрагментов. Таким образом, каждое ребро, соответствующее фрагменту, соединяет узел, представляющий его  $\text{prefix}_{k-1}$ , с узлом, представляющим его  $\text{suffix}_{k-1}$ . В этом случае, в отличие от предыдущих графиков перекрытия, префиксы и суффиксы длины  $k-1$ , которые имеют одинаковую последовательность, представлены в одном узле. Таким образом,

повторяющиеся фрагменты представлены в виде нескольких ребер, соединяющих одну и ту же пару узлов.

### Выводы

В статье исследованы основные алгоритмы биоинформатики: поиск паттернов в цепочке ДНК, сравнение и выравнивание последовательностей, алгоритм множественного выравнивания последовательностей, алгоритмы филогенетического анализа, алгоритмы обнаружения мотива, а также вероятностные мотивы и стохастические алгоритмы. Определена потенциальная сложность некоторых алгоритмов, что показывает важность этих алгоритмов и потенциал проблем, для решения которых используются эти алгоритмы. Рассмотрены скрытые марковские модели, графы и биологические сети. Для решения вопросов сборки генома рассмотрены графы перекрытия, гамильтонов цикл и графы де Брёйна.

Работа выполнена за счет средств грантового финансирования научных исследований на 2018-2020 годы по проекту AP05132044 «Разработка аппаратно-медицинского комплекса оценки психофизиологических параметров человека».

### ЛИТЕРАТУРА

1. S.L. Salzberg, D.B. Searls, S. Kasif. Computational Methods in Molecular Biology. – Elsevier Science, 1998. – 368 с.
2. Cock P.J., Antao T., Chang J.T., Chapman B.A., Cox C.J., Dalke A., Friedberg I., Hamelryck T., Kauff F., Wilczynski B., de Hoon M.J. Biopython: freely available python tools for computational molecular biology and bioinformatics. – Bioinformatics, 2009.
3. Jeff Chang, Brad Chapman, Iddo Friedberg, Thomas Hamelryck, Michiel de Hoon, Peter Cock, Tiago Antao, Eric Talevich, Bartek Wilczyński. Biopython Tutorial and Cookbook. Last Update – 6 November 2019 (Biopython 1.75) <http://biopython.org/DIST/docs/tutorial/Tutorial.html>.
4. Miguel Rocha, Pedro G. Ferreira. Bioinformatics Algorithms. Design and Implementation in Python. – Academic Press is an imprint of Elsevier, 2018. – 400 p.
5. B. Alberts, A. Johnson, J. Lewis, M. Raff, K. Roberts, P. Walter. Molecular Biology of the Cell, 4th edition. – Garland Science, New York, USA, 2002.
6. S. Bassi, Python for bioinformatics, 2nd edition. – CHAPMAN & HALL/CRC, Mathematical and Computational Biology Series, 2017. – 424 p.

7. Stephen F. Altschul, Thomas L. Madden, Alejandro A. Schäffer, Jinghui Zhang, Zheng Zhang, Webb Miller, David J. Lipman. Gapped blast and psi-blast: a new generation of protein database search programs, Nucleic Acids Research, 1997.
8. R. Andersson, et al. An atlas of active enhancers across human cell types and tissues, Nature 507 (Mar 2014).—P.455-461.
9. Lawrence R. Rabiner. A tutorial on hidden Markov models and selected applications in speech recognition // Proceedings of the IEEE, 1989.- P. 257–286.

УДК 519.6  
МРНТИ 27.41.19

## MPI PARALLEL IMPLEMENT OF A WAVE EQUATION USING AN IMPLICIT FINITE DIFFERENCE SCHEME

ALTUBAY A.<sup>1</sup>, TOKMAGAMBETOV N.<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Al-Farabi Kazakh National University

**Abstract:** In this paper we will discuss the parallel implementation of the two-dimensional acoustic wave equation using the implicit difference method. As the programming environment used the distributed memory model of parallel computation and MPI (Message Passing Interface) system. The parallel approach is based on the parallelization of the tridiagonal matrix and uses the Yanenko method. The performance of the parallel algorithm has been studied using distributed computing method, and performed on supercomputer cluster. It has been observed that the parallel implementation provides a significant reduction in the computation time when compared with the serial implementation algorithm.

**Key words:** parallel programming, high-performance computing, numerical simulation, MPI, wave equation, cluster

## ЕКІ ӨЛШЕМДІ ТОЛҚЫН ТЕҢДЕУІН, АЙҚЫН ЕМЕС АЙЫРЫМДЫЛЫҚ СХЕМАСЫН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП MPI ПАРАЛЛЕЛЬДІ ЖҮЗЕГЕ АСЫРУ

**Аңдатпа:** Біз бұл жұмыста, екі өлшемді акустикалық толқын теңдеуін айқын емес айырымдылық схемасын қолдана отырып, параллель орындалуын қарастырамыз. Программалау ортасы ретінде параллельді есептеудің үлестірілген жад моделін және MPI (Message Passing Interface) жүйесі пайдаланды. Параллельдеу әдісі үш диагональды матрицаның параллельдеуге негізделген және Яненко әдісін қолданады. Параллель алгоритмнің өнімділігі үлестірілген есептеу әдісі арқылы зерттелді және суперкомпьютер кластерінде орындалды. Параллельді есептеу, тізбектей есептеу алгоритмімен салыстырғанда, есептеу уақытын едәуір қысқартуды қамтамасыз ететіндігі байқалды.

**Түйінді сөздер:** параллельді программалау, жоғары өнімділікті есептеу, сандық модельдеу, MPI, толқын теңдеуі, кластер

## MPI ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ДВУМЕРНОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЯВНОЙ КОНЕЧНО-РАЗНОСТНОЙ СХЕМЫ

**Аннотация:** В этой статье мы обсудим параллельную реализацию двумерного уравнения акустической волны с использованием метода неявных разностей. В качестве среды программирования использовалась модель распределенной памяти параллельных вычислений и система MPI (Message Passing Interface). Параллельный подход основан на распараллеливании трехдиагональной матрицы и использовании метода Яненко. Производительность параллельного алгоритма была изучена с использованием метода распределенных вычислений и выполнена на кластере суперкомпьютеров. Наблюдалось, что параллельная реализация

обеспечивает значительное сокращение времени вычислений по сравнению с алгоритмом последовательной реализации.

**Ключевые слова:** параллельное программирование, высокопроизводительные вычисления, численное моделирование, MPI, волновое уравнение, кластер

## 1. Introduction

The application of high-performance parallel computing in mathematical modeling opens up new possibilities for studying physical processes in longer time and more extensive spatial domains. Currently, various high-performance parallel computing is used in many areas. One of such applications is acoustics. One of the most important tasks of acoustics is the problem of wave field modeling.

There is a large amount of work devoted to numerical methods developed for the study of wave processes in recent decades. It includes the finite-difference method [7], the finite-volume method [4], the finite-element method [8], the two-level compact ADI method [11], the implicit Finite Difference Time Domain Methods [3], the boundary [integral] element method [9], and spectral methods [21]. A completely non-linear model must be applied to many problems. Most models have been developed for technical applications. These numerical methods provide some of the most natural methods for modeling the propagation and scattering of underlying waves in electromagnetic, acoustic and elastic studies. However, as indicated in [10], the aforementioned methods have several disadvantages if the second-order equations are converted to first-order systems before discretization, especially in the presence of several spatial dimensions. Therefore, recently, much attention has been paid to the development of efficient finite-difference methods that directly discretize second-order differential equations [5, 6].

The two-dimensional approach (as a conformal method) considers a highly idealized wave field, since even monochromatic waves in the presence of side perturbations quickly acquire a two-dimensional structure. The difficulties encountered are not a direct result of the increase in size. The main complication

is that the problem cannot be reduced to a two-dimensional problem, and even for the case of a two-periodic wave field, the problem of solving the Laplace-type equation for the velocity potential arises. Most models designed to study the three-dimensional dynamics of waves are based on simplified equations, such as second-order perturbation methods, in which higher-order terms are ignored. In general, it is unclear what effects are missing in such simplified models. Our current work is motivated by recent interest in the development and application of high-order compact difference methods for solving partial differential equations. Obviously, higher-order compact difference schemes have better resolution on stencils with a compact grid compared to non-compact or low-level methods [1, 12].

For multidimensional problems, the efficiency of an implicit compact difference scheme depends on the computational efficiency of the corresponding matrix solvers. From this point of view, the method of fractional steps [2] is promising because they can decompose a multidimensional problem into a series of one-dimensional problems. It has been shown that schemes acquired are unconditionally stable.

For the proper assignment of large domains of modeling, two- or three-dimensional computational grids with a sufficient number of nodes are used. Calculations on such grids require more CPU time and computer memory resources. To accelerate the computation process, MPI technology was used in this paper, which allows the program to operate on larger grids (up to 1 billion nodes).

Here we consider some issues in the numerical simulation of some problems in the propagation of wave in acoustic on high performance computing systems.

## 2. Wave equation: theoretical part

We consider two-dimensional wave equation

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - c^2 \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = f(x, y, t), (t, (x, y)) \in [0; T] \times [0; l]; \quad (2.1)$$

subject to the initial conditions

$$u(0; x, y) = \varphi_1(x, y); x; y \in [0; l]; \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial u(0, x, y)}{\partial t} = \varphi_2(x, y); x; y \in [0; l]; \quad (2.3)$$

and boundary conditions

$$u(t, x, 0) = 0, u(t, x, l) = 0, t \in [0, T], x \in [0, l]; \quad (2.4)$$

$$u(t, 0, y) = 0, u(t, l, y) = 0, t \in [0, T], y \in [0, l]. \quad (2.5)$$

As it was theoretically outlined in [15, 16, 17] (also, see [13, 14, 18]), we start to analyze our problem by regularizing distribution function  $a(t)$  by a parameter  $\varepsilon$ , that is, we get

$a_\varepsilon(t) := (a * \varphi_\varepsilon)(t)$ , as the convolution with the mollifier

$$\varphi_\varepsilon(t) = \frac{1}{\varepsilon} \varphi(t/\varepsilon),$$

with

$$\varphi(t) = \begin{cases} \frac{1}{c} e^{\frac{1}{t^2+1}}, & |t| \leq 1, \\ 0, & |t| > 1. \end{cases}$$

where  $c \cong 0,443994$  to obtain

Hereinafter, we assume that  $l = 10$ . Then, instead of (2.1) we consider the regularized equation

$$\partial_{tt}^2 u_\varepsilon(t, x, y) - (\partial_{xx}^2 + \partial_{yy}^2) u_\varepsilon(t, x, y) = 0, (t, (x, y)) \in [0, T] \times [0, 10] \quad (2.6)$$

Here, we put

$$u_0(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{e^{((x-5)^4 + (y-5)^4 - 0.5)}}, & (x-5)^2 + (y-5)^2 - 0.5 < 0, \\ 0, & (x-5)^2 + (y-5)^2 - 0.5 > 0. \end{cases}$$

We note that supp

$$u_0 \subset [4; 5; 5; 5] \times [4; 5; 5; 5].$$

## 3. Numerical experiments

We introduce a space-time grid with steps  $h_1, h_2, \tau$  respectively, in the variables  $x, y, t$ :

$$w_{h_1 h_2}^\tau = \{x_i = ih_1, i = \overline{0, N}; y_j = jh_2, j = \overline{0, N}; t_k = k\tau; k = 0, 1, \dots, 2T\} \quad (3.1)$$

and on this grid we will approximate the differential problem (2.6) with the conditions

(2.2)-(2.5) using the finite difference method.

### 3.1. The method of fractional steps

The fractional step method uses only implicit finite difference operators, which makes it absolutely stable in problems that do not contain mixed derivatives. It has a fairly significant stability margin in problems with mixed derivatives[2]. For problem (2.2)-(2.5) the scheme The method of fractional steps has the form

$$\frac{u_{i,j}^{k+1/2} - 2u_{i,j}^k + u_{i,j}^{k-1/2}}{\tau^2} - c^2 \left( \frac{u_{i+1,j}^{k+1/2} - 2u_{i,j}^{k+1/2} + u_{i-1,j}^{k+1/2}}{h_1^2} \right) = f_{i,j}^k \quad (3.2)$$

$$\frac{u_{i,j}^{k+1} - 2u_{i,j}^{k+1/2} + u_{i,j}^k}{\tau^2} - c^2 \left( \frac{u_{i,j+1}^{k+1} - 2u_{i,j}^{k+1} + u_{i,j-1}^{k+1}}{h_2^2} \right) = f_{i,j}^{k+1/2} \quad (3.3)$$

Using the implicit subscheme (3.2), the Thomas method is performed in the  $x$  direction, with the result that we get the grid function  $u_{i,j}^{k+1/2}$ . In the second fractional time step, using the subscheme (3.3), the Thomas method is performed in the direction of the  $y$  axis, with the result that we get the grid function  $u_{i,j}^{k+1}$ . The method of fractional steps has the order  $O(\tau + |h^2|)$ , i.e. the first order in time and the second in  $x$  and  $y$  variables. In the following, we demonstrate numerical simulations. All calculations are made in C++ by using the Thomas method. For all simulations  $\Delta t = 0,5$ ,  $\Delta x = \Delta y = 0,1$ . In all computer simulations, we use Matlab R2018b.

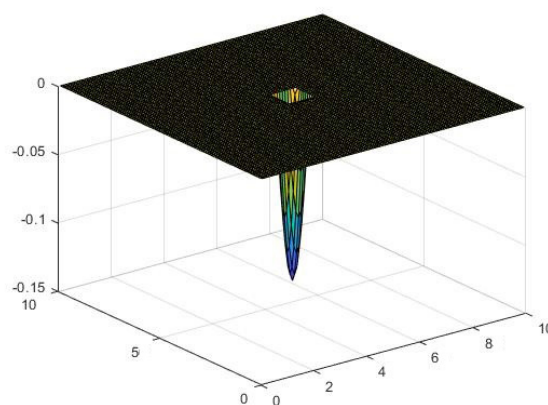


Figure 1. Initial value of  $u$  at  $t = t_0$ .

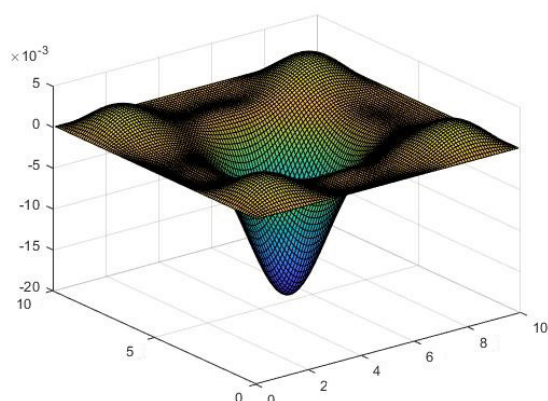


Figure 2: Solution of  $u$  at  $t = t100$ .

#### 4. Parallel Algorithm

On the basis of these methods we wrote the code of parallel modeling for the two-dimensional wave equation with distribution coefficient. The overlapping is based on the way divisions of domains and keeps the implicit nature of the scheme. It corresponds to a completely implicit interpretation of Yanenko [20]. Each processor processes one subdomain. On each temporary step all processors update the internal knots (in parallel), and then exchange the interface knots with the neighbors. Unlike methods of decomposition of areas for elliptic tasks, our procedure is algebraically equivalent to consecutive. Our strategy leads naturally to a message passing im-

plementation. We have chosen to use MPI in order to evaluate its ease of use and expressiveness, and also to benefit from its portability. According to the data decomposition format mentioned above, Fig. 3 demonstrates the pure MPI parallelization which is designed on the basis of serial algorithm by using peer-to-peer mode and standard communication mode. In another word, the parallel program is executed on a multiprocessor cluster by creating one MPI process for each CPU on the system, and each process deals with different data obtained from the matrix. In this case all process interactions will happen via message-passing.

To parallelize problem (1.1) we apply the method proposed by N.N. Yanenko. With co-authors [20]. The method of Yanenko contains three stages:

- 1) finding prejudices,
- 2) finding the boundary-processor solutions,
- 3) restore solution.

The first and third stages are performed independently on each device (universal processor, accelerator or coprocessor). And the second stage requires communication between MPI processes. Thus, the efficiency of the parallelization of the Yanenko method directly depends on the efficiency of the parallelization of this stage.

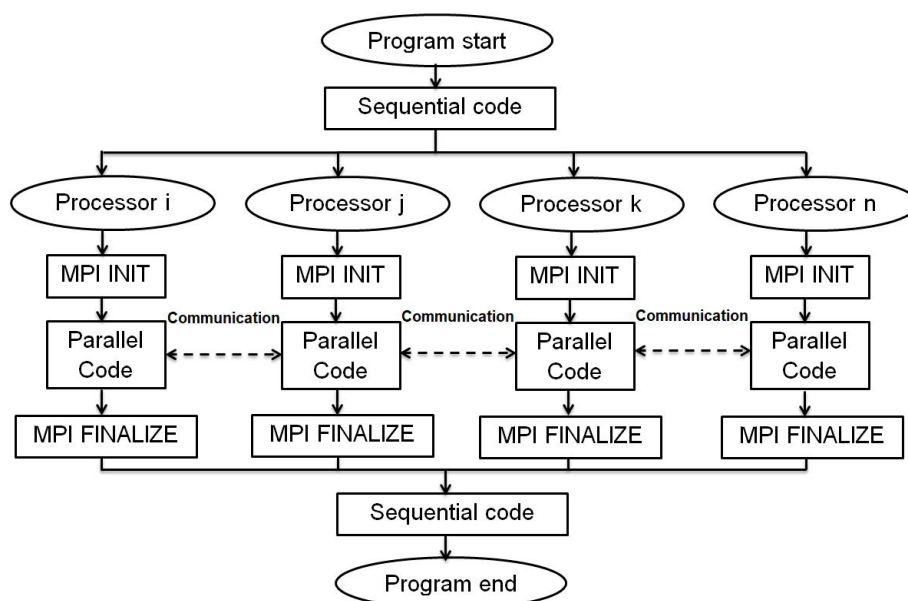


Figure 3. Parallel model of MPI

#### 4.1. Parallel algorithm.

```

1: init parallel environment
2: for all MPI processes do in parallel
3: get the input parameters like N, L, pi,T
4: allocate local memory  $u^0$ ;  $u$ ;  $\alpha$ ;  $\beta$ ;  $U$ ;
 $V$ ;  $W$  and so forth
5: init variables and arrays
6: compute the initial condition  $u^0$  and
boundary condition
7: record time  $t_1$ 
8: while ( $t < T$ ) do
9:  $t \leftarrow t + \tau$ 
10: Compute  $a_p, b_p, c_p, f_i$ 
11:  $a_i, b_i, \leftarrow a\tau^2$ 
12:  $c_i \leftarrow h^2 + 2a\tau^2$ 

13:  $f_i \leftarrow h^2 u_{i,j}^{k-\frac{1}{2}} - 2h^2 u_{i,j}^k$ 
14:  $u_{i,j}^{k+1/2} \leftarrow YanenkoMethod(a_i, b_i, c_i, f_i)$ 

15: Compute  $a_p, b_p, c_p, f_j$ 
16:  $a_j, b_j \leftarrow a\tau^2$ 
17:  $c_j \leftarrow h^2 + a\tau^2$ 

18:  $f_j \leftarrow h^2 u_{i,j}^k - 2h^2 u_{i,j}^{k+1/2}$ 

19:  $u_{i,j}^{k+1} \leftarrow YanenkoMethod(a_j, b_j, c_j, f_j)$ 

20: swap ( $u_{i,j}^{k-1/2}, u_{i,j}^{k+1/2}$ )

21: swap ( $u_{i,j}^k, u_{i,j}^{k+1}$ )

```

22: endwhile

23: record time  $t_2$

24: output  $t_2 - t_1$

25: stop parallel environment

#### 5. Experimental Results

All calculations and tests were carried out on Satbayev universities cluster the cluster consisting of 5 nodes, each node has 12 core connected by a high-speed InfiniBand HCA 40Gb/s, QDR bus. Each node contains two Intel Xeon E5-2620v2 6C / 12T 2.10GHz 15MB processors and 8 GB of RAM. The performance of a parallel algorithm is determined by calculating its speedup. Speedup is defined as the ratio of the worst-case execution time of the fastest known sequential algorithm for a particular problem to the worst-case execution time of the parallel algorithm.

$$S = \frac{T_s}{T_p};$$

where  $T_s$  is the serial run time,  $T_p$  is the parallel run time .

The efficiency is defined as the ratio of speedup to the number of processors. Efficiency measures the fraction of time for which a processor is usefully utilized.

$$E = \frac{S}{p} = \frac{T_s}{pT_p};$$

where  $S$  is the speedup,  $p$  is the number of processors. The test results are presented in table 1 and figure 4.

**Table 1 – Computational domain size is:  $N_x = N_y = 3000$ ;  $N_{timesteps} = 300$ , where  $N_x$  is the number of mesh points in x - direction,  $N_y$  is the number of mesh points in y - direction and  $N_{timesteps}$  is the number of steps in time.**

| Number of cores | Execution time (in seconds) | Speedup | Programs efficiency (%) |
|-----------------|-----------------------------|---------|-------------------------|
| 1               | 465,84                      | 1       | 100                     |
| 2               | 271,32                      | 1.72    | 85.85                   |
| 4               | 128,12                      | 3.64    | 90.90                   |
| 8               | 61,01                       | 7.64    | 95.44                   |
| 10              | 47,45                       | 9.82    | 98.17                   |
| 16              | 42,57                       | 10.94   | 68.39                   |
| 20              | 41,09                       | 11.34   | 56.69                   |
| 32              | 35,11                       | 13.27   | 41.46                   |
| 40              | 34,78                       | 13.39   | 33.48                   |
| 50              | 34,26                       | 13.60   | 27.19                   |

## 6. Conclusion

We have implemented a parallel solver for the 2D wave equation with a distributional coefficient, using the MPI standard. The implementation of the parallelization method of the Thomas algorithm for solving the wave equation arising in the simulation of two-dimensional physical processes on supercomputers has been implemented.

The test results show that the method of Yanenko is much more effective on individual nodes than the several nodes. This means that this method is very effective on personal computers than the cluster this is because it takes a

lot of time to exchange data between nodes. In the future, it is planned to try to apply the method of parallel-cyclic reduction at the second stage of the Yanenko method, to investigate the possibility of increasing the parallelization efficiency, and to use vectorization in order to increase the acceleration from using coprocessors.

This work was supported by the MESRK Grant AP05130994 “Non-Harmonic Analysis and its applications” of the Committee of Science, Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

## REFERENCES

1. G. Cohen. High-Order Numerical Methods for Transient Wave Equations, Springer, New York, 2002.
2. N. N. Yanenko. The Method of Fractional Steps, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1971.
3. H.K. Rouf. 1971, Implicit Finite Difference Time Domain Methods. Theory and Applications/ Hasan Khaled Rouf. -LAP Lambert Academic, 208,2011.
4. D. M. Causon, C. G. Mingham, L. Qian. Developments In Multi-Fluid Finite Volume Free Surface Capturing Methods, Advances in Numerical Simulation of Nonlinear Water Waves, 11, 397-427, 2010.
5. M. Dehghan, A. Mohebbi. The combination of collocation, finite difference, and multigrid methods for solution of the two-dimensional wave equation, Number. Methods Partial Differential Equation, 24, 897-910, 2008.
6. H.F. Ding, Y.X. Zhang. A new fourth-order compact finite difference scheme for the two dimensional second-order hyperbolic equation, J. Comput. Appl. Math., 72, 626-632, 2009.
7. A. P.Engsig-Karup, , B. Harry, , H. B. Bingham, , and O. Lindberg. An efficient exible-order model for 3D nonlinear water waves, J. Comput. Phys., 228:6, 2100-2118, 2009.
8. D. Greaves. Application Of The Finite Volume Method To The Simulation Of Nonlinear Water Waves, Advances in Numerical Simulation of Nonlinear Water Waves, 11, 357-396, 2010.
9. J.Grue, D.Fructus. Model For Fully Nonlinear Ocean Wave Simulations Derived Using Fourier Inversion Of Integral Equations In 3D, Advances in Numerical Simulation of Non-linear Water Waves, 11, 1-42, 2010.
10. H. O. Kreiss, N.A. Petersson, J. Ystrom. Difference approximation for the second-order wave equation, SIAM J. Numer. Anal. 40, 1940-1967, 2002.
11. H. L. Liao and Z. Z. Sun. A two-level compact ADI method for solving second-order wave equations, Int. J. Comput. Math. 90:7, 1471-1488,2013
12. J.M. Liu , K.M. Tang. A new unconditionally stable ADI compact scheme for the two space-dimensional linear hyperbolic equation, Int. J. Comput. Math. 87:10, 2259-2267,2010.
13. J. C. Munoz, M. Ruzhansky, and N. Tokmagambetov. Wave propagation with irregular dissipation and applications to acoustic problems and shallow waters. J. Math. Pures Appl., 123:127-147, – 2019.

14. J. C. Munoz, M. Ruzhansky, and N. Tokmagambetov. Acoustic and shallow water wave propagations with irregular dissipation. *Funct. Anal. Appl.*, to appear.
15. M. Ruzhansky, N. Tokmagambetov. Very weak solutions of wave equation for Landau Hamiltonian with irregular electromagnetic field. *Lett. Math. Phys.*, 107(4):591-618, 2017.
16. M. Ruzhansky, N. Tokmagambetov. Wave equation for operators with discrete spectrum and irregular propagation speed. *Arch. Ration. Mech. Anal.*, 226(3):1161-1207, 2017.
17. M. Ruzhansky, N. Tokmagambetov. On a very weak solution of the wave equation for a Hamiltonian in a singular electromagnetic field. *Math. Notes*, 103(5-6):856-858, 2018.
18. M. Ruzhansky, N. Tokmagambetov. Wave Equation for 2D Landau Hamiltonian. *Appl. Comput. Math.*, 18(1):69-78, 2019.
19. I. S. Sapronov, A. N. Bykov. Parallel'no-konveyernyy algoritm [Pipelined Thomas algorithm]// *Atom.*, 44, 24-25, 2009.
20. N. N. Yanenko, A. N. Konovalov, A. N. Bugrov, G. V. Shustov. Ob organizatsii parallel'nykh vychisleni i "rasparallelivani" progonki [On organization of parallel computations and parallelization of the tridiagonal matrix algorithm]. *Numerical Methods of Continuum Mechanics*. 9(7):139-146, 1978.
21. G. Ducrozet, F. Bonnefoy, D. L. Touze, P. Ferrant. Open-source solver for nonlinear waves in open ocean based on High-Order Spectral method, *Comp. Phys. Comm.*, 203, 245-254, 2016.

УДК 004, 52.  
МРНТИ 28.00.00

# ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ЭКСПЕРТНОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РИСКОВ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОГРАММ СОЗДАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

ГАГАРИНА Л.Г.<sup>1</sup>, ПЕТРОЖИЦКИЙ Д.В.<sup>1</sup>, СЛЮСАРЬ В.В.<sup>1</sup>,  
АТАНОВ С.К.<sup>2</sup>, БРИМЖАНОВА С.С.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Россия

<sup>2</sup>Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева

<sup>3</sup>Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова

**Аннотация:** В статье рассмотрено исследование и разработка моделей экспертного анализа показателей рисков при реализации программ создания космических средств. Особенностью разработки методов экспертного анализа является необходимость их последующего внедрения в автоматизированную систему оценки рисков и интеграции с разработанными ранее алгоритмами оценки и корректировки значений показателей рисков при реализации программ создания космических средств. Целью проводимого экспертного анализа является создание необходимого информационного базиса для расчета показателей рисков. В результате применения представленных моделей и подходов нашло свое развитие в разработке соответствующих алгоритмов для программной обработки результатов экспертных оценок; кроме того, разработана база данных для хранения обработанных результатов по различным проектам и ПСКС. В перспективе предполагается масштабирование полученных решений на другие отрасли промышленности.

**Ключевые слова:** исследование, разработка, показатели рисков, космическая деятельность, средства, экспертная группа, модели экспертного анализа

## ҒАРЫШ ҚҰРАЛДАРЫН ҚҰРУ БАҒДАРЛАМАЛАРЫН ІСКЕ АСЫРУ КЕЗІНДЕГІ ТӘУЕКЕЛДЕР КӨРСЕТКІШТЕРІН САРАПТАМАЛЫҚ ТАЛДАУ ҮЛГІЛЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

**Аңдатпа:** Мақалада модельдерді әзірлеу және зерттеу сараптамалық талдау кезінде тәуекел көрсеткіштерінің бағдарламаларын іске асыру, ғарыш құралдарын құру мәселелері қаралды. Сараптамалық талдау әдістерін әзірлеудің ерекшелігі оларды кейіннен тәуекелдерді бағалаудың автоматтандырылған жүйесіне енгізу және ғарыш құралдарын құру бағдарламаларын іске асыру кезінде тәуекелдер көрсеткіштерінің мәндерін бағалаудың және түзетудің бұрын әзірленген алгоритмдерімен интеграциялау қажеттілігі туындайды. Жүргізілген сараптамалық талдаудың мақсаты тәуекелдер көрсеткіштерін есептеу үшін керекті ақпараттық базис жасау болып табылады. Ұсынылған үлгілер мен тәсілдерді қолдану арқылы сараптамалық бағалау нәтижелерін бағдарламалық өңдеу үшін тиісті алгоритмдерді әзірлеуде дамытылады; бұдан басқа, әртүрлі жобалар мен КТҚС бойынша өңделген нәтижелерді сақтау үшін деректер базасы әзірленді. Болжам бойынша болашақта өнеркәсіптің басқа салаларына алынған шешімдерді масштабтау енгізіледі.

**Түйінді сөздер:** зерттеу, әзірлеу, тәуекел көрсеткіштері, ғарыштық қызмет, құралдар, сараптамалық топ, сараптамалық талдау үлгілері

# RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MODELS OF EXPERT ANALYSIS OF RISK INDICATORS IN THE IMPLEMENTATION OF PROGRAMS FOR THE CREATION OF SPACE ASSETS

GAGARINA L.G., PETROZHITSKY D. V., SLYUSAR V. V., ATANOV S.K.,  
BRIMZHANOVA S.S.

**Abstract:** *The article deals with the study and development of models of expert analysis of risk indicators in the implementation of programs for the creation of space assets. The peculiarity of the development of expert analysis methods is the need for their subsequent introduction into the automated risk assessment system and integration with the previously developed algorithms for assessing and adjusting the values of risk indicators in the implementation of programs for the creation of space assets. The purpose of the expert analysis is to create the necessary information basis for the calculation of risk indicators. As a result of the application of the presented models and approaches, the development of appropriate algorithms for software processing of the results of expert assessments has been developed; in addition, a database has been developed to store the processed results for various projects and PSCS. In the future, it is expected to scale the solutions to other industries.*

**Key words:** *research, development, risk indicators, space activities, means, expert group, models of expert analysis*

## Введение

В настоящее время активной космической деятельностью занимается свыше 60 стран мира. Почти все развитые государства мира успешно используют космические средства и технологии в области связи, вещания и ретрансляции, в дистанционном зондировании поверхности Земли (картография, геодезия и т.д.), в гидрометеорологических наблюдениях, в навигации и научных исследованиях. Достаточно широко используется космическое пространство рядом государств в военных целях.

Космическая деятельность Российской Федерации, являясь основным продуктом научно-технического прогресса, сама стала мощным двигателем этого прогресса, непрерывно передавая другим областям мирового хозяйства неопределимый по значению и беспрецедентный по объему поток новых материалов, технологий и научных разработок, внося значительный вклад в обеспечение устойчивого развития человечества.

На создание космических средств оказывают влияние негативные факторы (факторы риска) различной природы, которые

могут создать угрозу срыва ряда мероприятий долгосрочной программы, поэтому для снижения рисков применяется специфический анализ или экспертное оценивание – комплекс логических и математико-статистических методов и процедур для получения от специалистов информации, необходимой для подготовки и проведения оценки рисков.

Объекты и методы исследований. Целью проводимого экспертного анализа является создание необходимого информационного базиса для расчета показателей рисков.

Особенностью разработки методов экспертного анализа является необходимость их последующего внедрения в автоматизированную систему оценки рисков и интеграции с разработанными ранее алгоритмами оценки и корректировки значений показателей рисков при реализации программ создания космических средств (ПСКС). Автоматизация экспертной оценки проводится в следующих направлениях:

- организация экспертной группы;
- опрос экспертов;
- обработка суждений экспертов;

- анализ полученных результатов;
- подготовка решения.

При этом автоматизация опроса экспертов заключается в обеспечении режима трехстороннего обмена информацией между экспертами, организатором и ЭВМ с помощью технических средств, а автоматизация обработки суждений экспертов заключается в вычислении на ЭВМ количественных характеристик суждений, представленных в виде классификаций, ранжировок, парных сравнений, баллов, экспертных кривых.

Анализ последствий реализации рисков ПСКС позволяет выбрать наиболее эффективный метод экономической защиты для каждой стадии инновационного процесса. Спецификой космической деятельности являются регулярные катастрофы и огромные размеры связанных с ними убытков, которые обусловлены не только утратой дорогостоящей космической техники и средств вывода ее на орбиту, но и возможностью масштаб-

ных разрушений на космодромах. Изучение происшествий, которые за последние пять лет наблюдались в области космической деятельности, дает возможность выявить многие причины аварий и наметить направления экономической защиты инвестиций в космическую деятельность. С этой целью, в частности, используется аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков (рис.1).

Модель основана на двухуровневой декомпозиции риска, когда на нижнем уровне агрегированные оценки групповых рисков строятся аддитивно, поскольку вероятности конкретных видов нежелательных событий – частные риски нижнего уровня – достаточно малы, а на верхнем уровне итоговая оценка риска рассчитывается по групповым рискам по мультипликативной схеме.

С целью снижения означенных рисков предлагается использовать экспертный опрос, при котором оценивание происходит качественно и количественно.

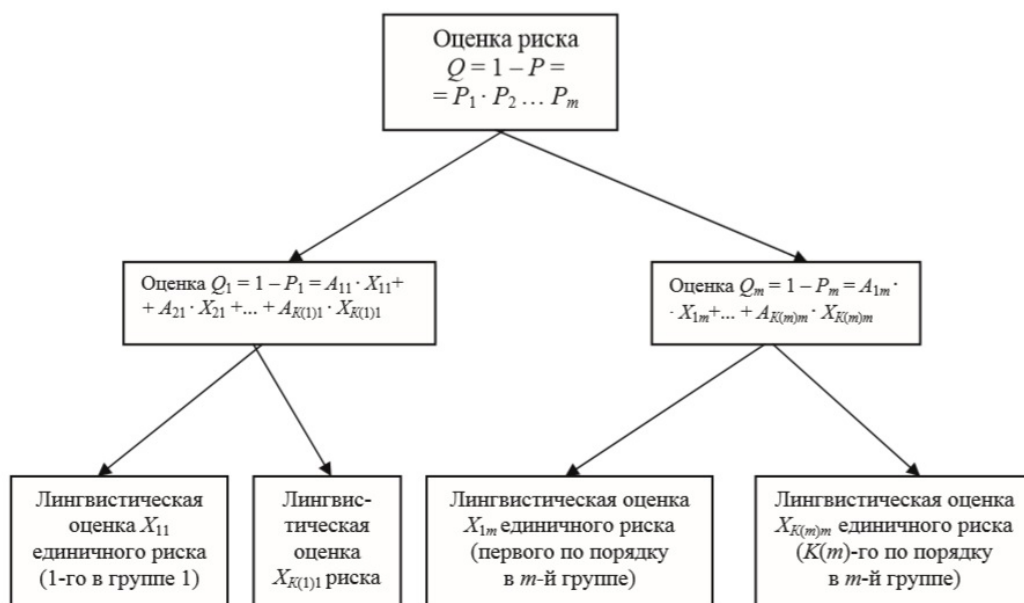


Рис.1 – Аддитивно-мультипликативная модель оценки рисков

При этом необходимо разработать подходы и методики экспертного анализа оценки и корректировки значений показателей рисков реализации ПСКС с учетом потребностей в результатах космической деятельности и космических услугах и различных вариантах сценариев развития программ по видам

рисков. Кроме того, требуется разработка проектных решений для организации баз данных, обеспечивающих проведение экспертного анализа.

При формировании целей и задач экспертного оценивания учитываются следующие факторы:

- надежность и полнота имеющейся информации об особенностях реализации мероприятий программы создания космических средств;
- форма представления конечных результатов (качественная/ количественная);
- возможные области использования результатов экспертизы;
- сроки проведения экспертизы;
- наличие имеющихся ресурсов и возможности привлечения экспертов.

Объектами экспертного анализа являются характеристики факторов, а проводимое экспертное оценивание должно обеспечивать учет неопределенности, связанной с вариативностью обстановки при выполнении мероприятий ПСКС и возможностью реализации различных сценариев развития этих программ. Для практического использования сформирована процедура получения экспертных мнений в ходе оценки рисков с выделением следующих групп задач (рис.2).



Рис.2 – Структура задач экспертного анализа при оценке и корректировке значений показателей рисков ПСКС

Выделим теперь факторы рисков, которые могут непосредственно влиять на реализацию ПСКС. К ним относятся экономические, экологические, научно-технические и технологические, международно-правовые и кадровые.

Тогда в процессе формирования и уточнения таблиц факторов рисков, влияющих на

реализацию ПСКС, следует выделить этапы составления списка компетентных экспертов для участия в разработке перечня негативных факторов и подготовки анкет для заполнения их экспертами. Кроме того, следует распределить решаемые в течение указанного процесса по группам:

1. Задачи подготовки исходных данных для оценивания рисков:

- формирование и уточнение перечня факторов риска;
- формирование вариантов развития условий выполнения ПСКС;
- анализ потребностей в результатах космической деятельности;

2. Задачи экспертной оценки, которые решаются для расчета показателей рисков:

- оценивание вероятностей вариантов развития ПСКС;
- оценивание вероятностей возникновения факторов рисков и неблагоприятных последствий при выполнении мероприятий ПСКС;
- оценивание уровней готовности предприятий-исполнителей к выполнению мероприятий ПСКС;
- оценивание важности различных рисков для формирования обобщенного показателя рисков реализации ПСКС;
- оценивание важности этапов (составных частей/мероприятий/проектов) для обеспечения потребностей в результатах космической деятельности.

Применительно к задаче оценки рисков реализации ПСКС использование вариантов сценариев позволяет проанализировать возможности проявления различных комбинаций факторов, дестабилизирующих производство космической техники, и обеспечить учет их влияния на риски выполнения мероприятий ПСКС. Наиболее распространенный подход к формированию вариантов развития условий выполнения ПСКС включает следующие этапы.

1. Выбор ключевых характеристик и событий.
2. Генерация ключевых детерминированных сценариев – определенных сочетаний событий, уровней значений ключевых характеристик и динамики их изменения (наличие санкций на поставку элементной базы и материалов; курс валюты; объем бюджетных средств и т.п.).
3. Оценка вероятности множества сценариев.
4. Если набор сценариев дискретный, то ис-

пользуется вероятностный ряд, где сумма вероятностей всегда равна единице. Основной задачей данного этапа является определение количественных значений вероятностей в ряду. Для ее решения используют методы теории принятия решений в условиях неопределённости.

5. Если есть система предпочтений одних сценариев другим в группе из  $N$  сценариев, то используется следующая схема последовательного определения точечных значений вероятностей сценариев.

Согласно системе убывающего предпочтения  $N$  альтернатив наилучшим образом отвечает система снижающихся по правилу арифметической прогрессии весов Фишберна:

$$p_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N}, i = 1...N, \quad (1.1)$$

где  $i$  – порядковый номер альтернативы (вариантного сценария);

$p_i$  – вероятность  $i$ -й альтернативы (вариантного сценария).

При этом системе безразличных друг другу  $N$  сценарных альтернатив соответствует набор равных весов Фишберна:

$$p_i = N^{-1}, i = 1...N \quad (1.2)$$

Из (1.1) видно, что веса Фишберна – это рациональные дроби, в знаменателе которых стоит сумма арифметической прогрессии  $N$  членов первых членов натурального ряда с шагом 1, а в числителе – убывающие на 1 элементы натурального ряда, от  $N$  до 1 (например,  $3/6, 2/6, 1/6$ , в сумме единица). Таким образом, предпочтение по Фишберну выражается в убывании на единицу числителя рациональной дроби весового коэффициента более слабой сценарной альтернативы.

Для того, чтобы определить набор весов Фишберна для смешанной системы предпочтений одних сценариев другим, когда наряду с предпочтениями в систему входят отношения безразличия, необходимо определять числители  $r_i$  рациональных дробей (ранги) по рекурсивной схеме:

$$r_{i-1} = \begin{cases} r_i, F_{i-1} \approx F_i \\ r_i + 1, F_{i-1} \succ F_i \end{cases}, r_N = 1, i = N...2, \quad (1.3)$$

где  $F_i$  –  $i$ -я сценарная альтернатива в полной группе несовместных сценариев, а символы « $\succ$ » и « $\approx$ » отражают предпочтение одних сценариев другим и безразличие соответственно.

При этом сумма полученных числителей является общим знаменателем дробей Фишберна:

$$K = \sum_{i=1}^N r_i \quad (1.4)$$

$$p_i = r_i / K \quad (1.5)$$

Следует заметить, что соотношения (1.3) – (1.5) в полной мере соответствуют частным случаям (1.1) и (1.2). Если в систему

входят только отношения предпочтения, то выполняется:

$$r_N = 1, r_{i-1} = r_i + 1, K = 1 + 2 + \dots + N = N(N+1)/2 \quad (1.6)$$

что соответствует (1.1).

В другом случае, если в систему отношений сценариев входят только отношения безразличия, то:

$$r_N = 1, r_{i-1} = r_i, K = 1 + 1 + \dots + 1 = N, \quad (1.7)$$

что одновременно соответствует (1.6) и (1.7).

Для иллюстрации в таблицу 1 сведены дроби Фишберна для всех смешанных систем отношений предпочтения при  $N=2\dots 4$ .

Значения весов Фишберна для всех смешанных систем отношений предпочтения при  $N=2\dots 4$

Таблица 1

| Ф | Ф                                         | $p_1$ | $p_2$ | $p_3$ | $p_4$ |
|---|-------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 2 | $F_1 \approx F_2$                         | 1/2   | 1/2   | -     | -     |
|   | $F_1 \} F_2$                              | 2/3   | 1/3   | -     | -     |
| 3 | $F_1 \approx F_2 \approx F_3$             | 1/3   | 1/3   | 1/3   | -     |
|   | $F_1 \} F_2 \approx F_3$                  | 2/4   | 1/4   | 1/4   | -     |
|   | $F_1 \approx F_2 \} F_3$                  | 2/5   | 2/5   | 1/5   | -     |
|   | $F_1 \} F_2 \} F_3$                       | 3/6   | 2/6   | 1/6   | -     |
| 4 | $F_1 \approx F_2 \approx F_3 \approx F_4$ | 1/4   | 1/4   | 1/4   | 1/4   |
|   | $F_1 \} F_2 \approx F_3 \approx F_4$      | 2/5   | 1/5   | 1/5   | 1/5   |
|   | $F_1 \approx F_2 \} F_3 \approx F_4$      | 2/6   | 2/6   | 1/6   | 1/6   |
|   | $F_1 \approx F_2 \approx F_3 \} F_4$      | 2/7   | 2/7   | 2/7   | 1/7   |
|   | $F_1 \} F_2 \} F_3 \approx F_4$           | 3/7   | 2/7   | 1/7   | 1/7   |
|   | $F_1 \approx F_2 \} F_3 \} F_4$           | 3/8   | 2/8   | 2/8   | 1/8   |
|   | $F_1 \approx F_2 \} F_3 \} F_4$           | 3/9   | 3/9   | 2/9   | 1/9   |
|   | $F_1 \} F_2 \} F_3 \} F_4$                | 4/10  | 3/10  | 2/10  | 1/10  |

Если же набор сценариев непрерывный, то их множество несчётно, и необходимо использовать вероятностные распределения

ключевых характеристик условий выполнения программ создания космических средств.

Основная задача вероятностной оценки

данного рода вариантов сценариев заключается в определении математических ожиданий и дисперсий ключевых характеристик условий выполнения ПСКС. Она может быть решена на основе статистической информации по предшествующим периодам выполнения программы либо на основе экспертного оценивания.

### Результаты и их обсуждение

В свою очередь, структуру достижения потребностей в результатах космической деятельности представить в виде иерархии проектов и индикаторов (рис. 3). Это позволяет для анализа потребностей в результатах космической деятельности и космических услугах применять метод анализа иерархий.

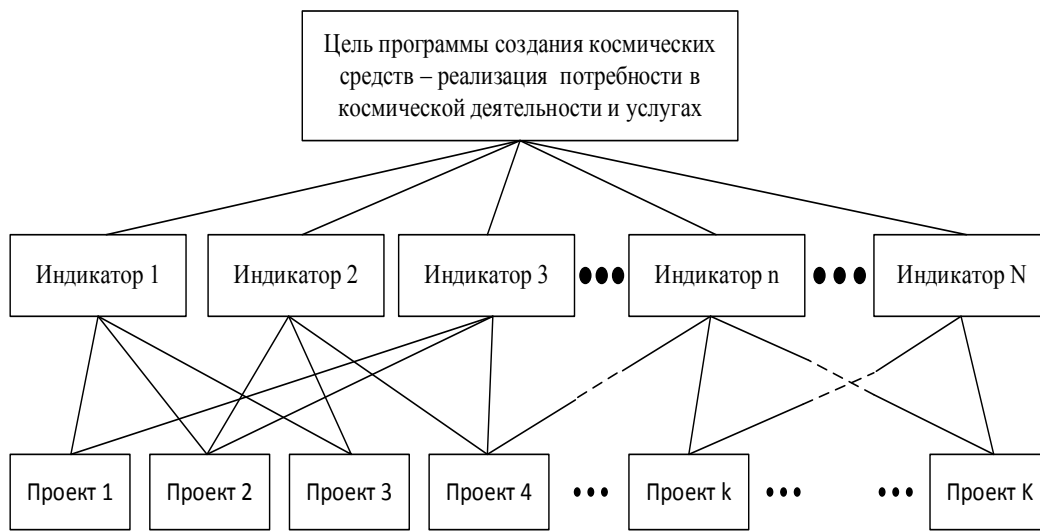


Рис.3 – Иерархическая структура индикаторов и проектов программы создания космических средств

Метод анализа иерархий при анализе потребностей в результатах космической деятельности и космических услугах представляет собой комплексную схему анализа и моделирования многокритериальной задачи состоящей из следующих основных этапов:

- 1) структуризация целевых индикаторов и формализация связей между ними;
- 2) структуризация проектов программы для каждого целевого индикатора и формализация связей между ними;
- 3) определение значений обобщенного риска выполнения программы;
- 4) синтез решающего правила для вычисления рисков достижения целевых показателей программы создания космических средств;
- 5) синтез решающего правила для вычисления риска выполнения программы создания космических средств в целом.

На этапе 1 применяется метод попар-

ных сравнений. Целевые индикаторы сравниваются попарно в отношении их влияния на достижение общей цели реализации ПСКС. В результате сравнения формируется квадратная матрица  $D = [d_{ij}]$  порядка  $m$ , где  $d_{ij}$  – оценка степени превосходства целевого индикатора  $i$  над целевым индикатором  $j$  относительно цели реализации программы создания космических средств ( $m$  – количество элементов иерархии).

Значения оценок  $d_{ij}$  определяются экспертом, который последовательно сравнивает целевые индикаторы и выносит суждение относительно преимущества одного индикатора над другим по влиянию на достижение общей цели.

Результаты сравнения, то есть значения  $d_{ij}$ , выражаются в фундаментальной шкале (таблица 1.2), принятой при проведении сравнений двух предъявлений в методе анализа иерархий, предложенной Т. Саати.

**Таблица 1.2 – Фундаментальная шкала сравнения превосходства одного целевого индикатора над другим**

| Степень превосходства $d_{ij}$ | Интерпретация (объяснение)                       |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1                              | Равная значимость целевых индикаторов            |
| 3                              | Слабое (умеренное) превосходство                 |
| 5                              | Сильное (существенное) превосходство             |
| 7                              | Очень сильное (очевидное) превосходство          |
| 9                              | Абсолютное (максимально возможное) превосходство |
| 2, 4, 6, 8                     | Промежуточные (компромиссные) уровни             |

Таким образом, матрица попарных сравнений  $D = [d_{ji}]$  формируется на основе элементов таблицы 1.2 и является обратно-симметричной, то есть

$$d_{ji} = \frac{1}{d_{ij}} \quad (1.8)$$

Частным случаем выражения (1.8) является равенство  $d_{ji} = d_{ij} = 1$ , которое выражает условие равнозначности сравниваемых целевых индикаторов относительно цели реализации программы создания космических средств.

Тогда, формализация связей между целевыми индикаторами будет заключаться в определении их приоритетов, которые определяют вклад целевого индикатора в достижение общей цели реализации программы создания космических средств. Значение величины вклада для  $i$ -го целевого индикатора может быть вычислено по формуле:

$$w_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^m d_{ij}} \quad (1.9)$$

Обобщенная оценка значений величин вкладов целевых индикаторов в достижение общей цели реализации программы создания космических средств определяется в соответствии со следующим выражением

$$W_i = \frac{\sum_{f=1}^F w_i(f)}{\sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^m w_i(f)}, \quad (1.10)$$

где  $w_i(f)$  – оценка вклада  $i$ -го целевого индикатора, полученная от  $f$ -го эксперта, вычисляется в соответствии с выражением (1.9).

Значение вклада показывает насколько тот или иной целевой индикатор важен для достижения общей цели реализации ПСКС, что является основой для оценивания обобщенного риска реализации программы.

Структуризация проектов программы для каждого целевого индикатора и формализация связей проводится в два этапа: определение перечня проектов программы, влияющих на достижение целевого индикатора и установление вклада каждого проекта в достижение целевого индикатора ПСКС. При этом, естественно, привлекаются эксперты, которые попарно сравнивают проекты по их влиянию на достижение целевого индикатора и на этой основе определяется значение приоритета  $\delta$ -го проекта  $W_p^{(i)}$  для достижения целевых индикаторов программы развития космических средств.

### Выводы

Определение значений рисков выполнения каждой программы предполагает использование разработанной на предыдущих этапах работы методики оценки обобщенного риска выполнения каждого  $m$ -го мероприятия (ОКР) проекта  $R_m^{(i)}$ .

На основе метода экспертной оценки, аналогично предыдущему этапу, определяется значение приоритета  $W_m^{(i)}$   $m$ -го мероприятия, входящего в проект программы развития космических средств на основе структуризации мероприятий и определения степени их влияния на выполнение проекта (рис. 5).

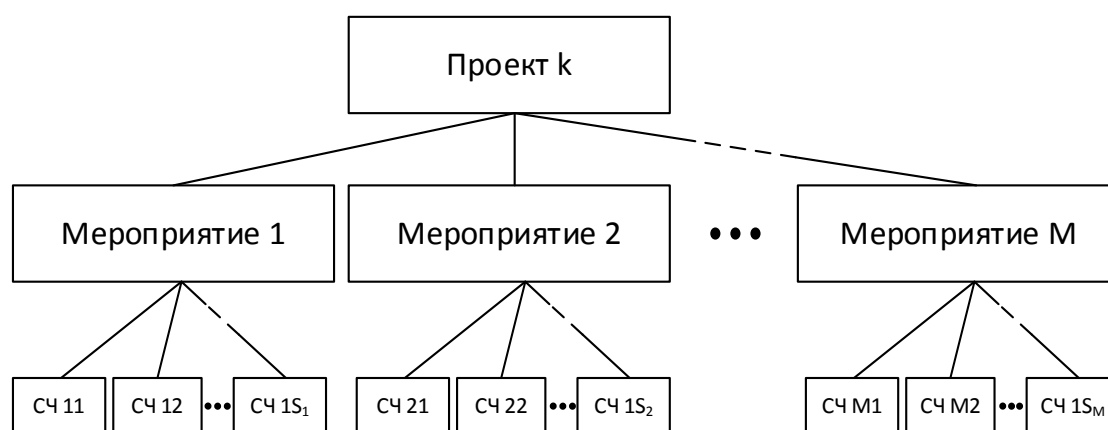


Рис. 5 – Иерархическая структура реализации проекта

С учетом представленных выше иерархий, определенных значений величины вкладов  $W_m^{(i)}$  мероприятий и значений величины вкладов проектов  $W_p^{(i)}$  (в соответствии с (1.7)) решающее правило для вычисления рисков достижения целевых показателей ПСКС имеет вид:

$$R_i^{(\delta)} = \sum_{p=1}^{P_i} W_p^{(r)} \cdot \left( \sum_{m=1}^{M_p} W_m^{(i)} \cdot R_m^{(i)} \right) \quad (1.11)$$

Тогда обобщенный риск выполнения ПСКС в целом представим в виде:

$$R = \sum_{i=1}^I W_i \cdot R_i^{(\delta)} \quad (1.12)$$

где  $I$  – количество целевых индикаторов, характеризующих выполнение программы создания космических средств.

Применение представленных моделей и подходов нашло свое развитие в разработке соответствующих алгоритмов для программной обработки результатов экспертных оценок; кроме того, разработана база данных для хранения обработанных результатов по различным проектам и ПСКС. В перспективе предполагается масштабирование полученных решений на другие отрасли промышленности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гагарина Л.Г., Беляев И.В., Федоров А.Р. Применение генетического алгоритма для повышения качества работы поисковых систем//Известия высших учебных заведений. Электроника. – 2017. – № 5. – С. 471 - 477.
2. Larisa G. Gagarina Alexey P. Shiryaev Andrey V. Dorofeev Alexey R. Fedorov Vladimir V. Zaycev LDA Models for Finding Trends in Technical Knowledge Domain - Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElConRus) February 1-3, 2017 Part II. – М.: ЛЭТИ, - 2017 - С. 133-134.
3. Andrey I.Kapitanov Ilona I.Kapitanova Vladimir M.Troyanovskiy Valentin V.Slyusar Elena L.Fedotova. - Investigation of the Influence of Outliers on Text Documents Probabilistic Classifier Quality Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (2017 ElConRus) February 1-3, 2017 Part II. – М.: ЛЭТИ. – 2017 – С. 152-155.
4. Гагарина Л.Г., Колдаев В.Д., Дорогов В.Г., Дорогова Е.Г., Слюсарь В.В. Эффективный алгоритм генерации случайных величин с кусочно-линейными плотностями распределения.

//Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – № 3 (134). – С. 79-83.

5. Гагарина Л.Г., Слюсарь В.В., Федоров А.Р., Федоров П.А. Разработка математической модели процесса поиска и обработки неструктурированной документированной информации. – Современные наукоемкие технологии. – 2018. – № 9. – С. 41-44.

УДК 00.007.51  
МРНТИ 68.39.15-Ж

## АУЫЛШАРУАШЫЛЫҚ АЛҚАПТАРЫНДАҒЫ ЖЕМ-ШӨПТЕРДІ ҚАЙТА БӨЛУДІ АВТОМАТТАНДЫРУДЫ ДАМУЫ ТУРАЛЫ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

ZHANYS A.B., RAMAZANOV N.S., TURSUNBAY N.F.

Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина

**Аңдатпа:** Мал шаруашылығы ел халқын құнды және жоғары калориялы тамақ өнімдерімен (сүт, ет, жұмыртқа және т.б.) қамтамасыз ететін экономиканың өзекті салаларының бірі болып табылады. Бұдан басқа, мал шаруашылығы кәсіпорындары жеңіл өнеркәсіп өнімдерін, оның ішінде аяқ киім, киім, мата, жиһаз және әр адамға қажетті өзге де заттар сияқты түрлерін дайындауға шикізат шығарады.

Ауыл шаруашылығының өсімдік шаруашылығы саласы үшін органикалық тыңайтқыштар өндіретінін де ұмытпаған жөн. Атап айтқанда, қазіргі таңда мал шаруашылығы өнімінің көлемін арттыру, күрделі салымдар мен үлестік шығындарды барынша азайтқан кезде кез келген мемлекеттің ауыл шаруашылығы үшін ғаламдық мәселе болып есептеледі.

Қазіргі жағдайда өнімділіктің өсуінің басты факторы мал шаруашылығында автоматтандыруды, механикаландыруды, энергия үнемдейтін және басқа да инновациялық қарқынды технологияларды енгізу керек.

Мал шаруашылығы-ауыл шаруашылығы өндірісінің еңбек шығыны өте көп болғандықтан, мал шаруашылығындағы өндірістік процестерді автоматтандыру және механикаландыру саласындағы ғылым мен техниканың заманауи жетістіктерін пайдалану қажеттілігі туындайды. Бұл бағыт – мал шаруашылығы кешені кәсіпорындарының тиімділігін арттыру мақсатында айқын және басым.

Жекелеген процестерді автоматтандыру, содан кейін басқарудың автоматтандырылған жүйелерін (АЖ) қолдана отырып, барлық өндірісті кешенді автоматтандыру — ауыл шаруашылығы саласындағы ғылыми-техникалық прогрестің негізгі бағыттарының бірі болады.

Мақалада ферманы басқарудың автоматтандырылған жүйелеріне шолу мен бағдарламалық және аппараттық моделін әзірлеу қарастырылады. Ұсынылып отырған бағдарламалық қамтама Arduino микроконтроллерінде барлық модульдерді бірыңғай автоматтандырылған жүйеге біріктіру үшін қолданылады. Сонымен қатар, ол фермадағы азық беруді бақылауға арналған, жасақталған құрылғы өз кезегінде адамның жұмыс процесіне әсерін азайтады. Кәсіпорынның басқару құрылғылары Arduino платаларында орындалады. Мал шаруашылығы фермаларын автоматтандыру бүгінгі күні өзекті мәселе болып отыр, өйткені шетелдік фирмалармен осы аталған өнімдер құны аз болып табылмайды. Сондықтан ірі фермалар үшін ғана емес, орта немесе шағын фермалар үшін де қолайлы құны бар отандық аналогты дайындаудың қажеттілігі орасан зор.

**Түйінді сөздер:** ірі қара мал, ірі қара малды азықтандыру, азықтандыру, механикаландыру құралдары, араластырғыш-таратқыштар, мал азығы станциясы, механикаландыру, сүт өндірісі, жеке азықтандыру, ауыл шаруашылығын автоматтандыру

## ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРМОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ХОЗЯЙСТВАХ

**Аннотация:** Ни для кого не секрет, что животноводство является одной из важнейших отраслей экономики, обеспечивающей население страны ценными и высококалорийными продуктами питания (молоко, мясо, яйца и т.д.). Кроме того, животноводческие предприятия выпускают сырье для изготовления продукции легкой промышленности, в том числе таких видов, как обувь, одежда, ткань, мебель и другие предметы, необходимые для каждого человека.

Не стоит забывать и о том, что сельское хозяйство производит органические удобрения для отрасли растениеводства. Поэтому увеличение объемов животноводческой продукции является важной целью и задачей для сельского хозяйства любого государства при минимизации капитальных вложений и удельных затрат.

В современных условиях главным фактором роста производительности является внедрение автоматизации, механизации, энергосберегающих и других интенсивных инновационных технологий в животноводстве.

Поскольку животноводство это сельское хозяйство, которое имеет очень много трудозатрат, возникает необходимость использования современных достижений науки и техники в области автоматизации и механизации производственных процессов в животноводстве. Данное направление является очевидным и приоритетным в целях повышения эффективности предприятий животноводческого комплекса.

Автоматизация отдельных процессов, а затем комплексная автоматизация всех производств с применением автоматизированных систем управления (АСУ), является одним из основных направлений научно-технического прогресса в области сельского хозяйства.

В данной статье рассматривается обзор автоматизированных систем управления фермой и разработка программной и аппаратной модели. Это программное обеспечение используется в микроконтроллерах Arduino для интеграции всех модулей в единую автоматизированную систему. Кроме того, он предназначен для контроля за поставкой кормов на ферме, что, в свою очередь, снижает влияние человека на рабочий процесс. Оборудование управления предприятия будет выполняться на платах Arduino. Автоматизация животноводческих ферм на сегодняшний день является актуальной проблемой, так как продукция, представленная иностранными фирмами, не является низкой. Поэтому существует огромная потребность в изготовлении отечественного аналога с приемлемой стоимостью не только для крупных ферм, но и для средних или небольших ферм.

**Ключевые слова:** крупный рогатый скот, кормление крупного рогатого скота, кормушки, средства механизации, смесители-распределители, кормовая станция, механизация, молочное производство, индивидуальное кормление, автоматизация сельского хозяйства

## PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF AUTOMATION OF DISTRIBUTION OF FORAGES ON AGRICULTURAL FARMS

**Abstract:** It is no secret that animal husbandry is one of the most important sectors of the economy, providing the population with valuable and high-calorie food (milk, meat, eggs, etc.). In addition, livestock enterprises produce raw materials for the manufacture of light industry products, including such types as shoes, clothing, fabric, furniture and other items necessary for each person.

Do not forget that agriculture produces organic fertilizers for the crop industry. Therefore, increasing the volume of livestock products is an important goal and task for the agriculture of any state while minimizing capital investments and unit costs.

*In modern conditions, the main factor of productivity growth is the introduction of automation, mechanization, energy-saving and other intensive innovative technologies in animal husbandry.*

*Since animal husbandry-agriculture has a lot of labor, there is a need to use modern achievements of science and technology in the field of automation and mechanization of production processes in animal husbandry. This direction is obvious and priority for the purpose of increase of efficiency of the enterprises of a livestock complex.*

*Automation of separate processes, and then complex automation of all productions with application of the automated control systems (ACS), is one of the main directions of scientific and technical progress in the field of agriculture.*

*This article discusses the review of automated farm management systems and the development of software and hardware models. This software is used in Arduino microcontrollers to integrate all modules into a single automated system. In addition, it is designed to control the supply of feed on the farm, which in turn reduces the human impact on the workflow. The control equipment of the enterprise will be run on the Arduino. Automation of livestock farms today is an urgent problem, as the products presented by foreign firms, is not low. Therefore, there is a huge need to manufacture a domestic analogue with an acceptable cost not only for large farms, but also for medium or small farms.*

**Key words:** *cattle, feeding cattle, feeders, mechanization means, mixers-distributors, feed station, mechanization, dairy production, individual feeding, automation of agriculture*

## Introduction

Milk animal husbandry is one of the main branches of agricultural production. However, for a number of reasons, first of all, the high priority of milk prices and requires significant state support for all that is necessary for its production. Currently, technological and technical space-planning solutions of some farms are outdated and do not meet modern requirements, which justifies the need for modernization and technical re-equipment of farms. General trends in the development of technology indicate the prospects of animal husbandry in the use of automated processes, which includes changing the existing systems of distribution of feed. Improving existing feed distribution systems will result in significant savings, especially for small farms, while increasing efficiency. Now in many agricultural enterprises the big role is played by various mechanisms and the machines providing uniform giving of forages, and also improving quality of forages. One of these mechanisms can be called feeders designed to automate the feeding process.

At the present stage of development of automation technologies, equipping agricultural enterprises with computer equipment will increase productivity and reduce costs, which also

applies to the livestock industry, which in recent years has become a significant breakthrough in the implementation of information solutions.

## Main part

Full feeding of dairy cows is the key to their high productivity and high-quality milk. According to the composition of cows in modern complexes, the system of automated feeding process is often used. This will reduce the labor intensity of production, improve the efficiency of keeping cows and eliminate the impact of human factors on productivity. With the help of such systems, as a rule, the feeding process will be balanced and qualitative, the control of the diet is carried out constantly, since food and nutrition negatively affect the health of animals. Advantages of automated feeding:

- \* obtaining a real amount of feed, taking into account the individual productivity of each cow;
- \* reducing the consumption of expensive concentrated feed, as in the normal distribution of some parts of the feed remain without weathering. (due to saliva loss on feed, cows do not eat one after the other);
- \* prevention of theft and loss of feed (up to 25%);

- \* reducing the cost of milk by redistributing feed and increasing cow productivity;

- \* provision of feed 6-8 times a day in accordance with the normal physiological needs of animals;

- \* prevention of cow diseases such as ketosis, acidosis, rumen atony, etc.

Cattle feeding is a mechanized process that accounts for up to 40% of total farm labor. [1]

Currently, there are three main approaches to the organization of automated feeding: feed stations, automated feeding network, robots-feed distributors. The choice of method depends on the type of animal maintenance, for example, the use of feeding stations is possible only with loose content, the automated feeding network is suitable only for tethering, and transmitting

robots can be used both for animals and for non-contact content. [1]

1. Operation of feed stations-used for feeding cattle without a leash. The use of feeding stations will improve the efficiency of feeding due to the possibility of choosing a diet for animals. In addition, food drinks in small quantities, which increases the absorption of useful nutrients and trace elements. Thanks to careful planning of the feeding process, rationalization of feeding is carried out, which ensures the saving of nutritious feeds. Feed stations allow you to keep track of cow parameters using manual or automatic programming. In addition, the use of feed stations will allow efficient distribution of fertile feed, thereby increasing the overall productivity of the gross herd and milk yield from each cow.



*Picture 1 – operation of feed stations [3]*

2. Automatic feeding line installation-used to feed the cow when tying. The automatic line of feeding of cows allows to feed each cow separately thanks to which cows receive the correct balanced food rich in vitamins and useful microelements. In accordance with the needs of animals-for each cow is developed a separate diet, which has a positive effect on its productivity. In addition, the use of daily norms of cows is divided into 6-8 times per meal, which has a positive effect on the development of animals and contributes to the normalization of the digestive system of animals. Thus, the use of automated feeding will improve the efficiency of dairy com-

plexes-properly organized feeding process will ensure stable replenishment of high milking and weight. In addition, the rationalization of cattle feeding reduces the cost of production, which will increase the efficiency of production

3. The robot of distribution of the concentrated forages-is applied both for feeding of the animals containing on a leash, and at loose contents. The robot moves through a cow in a mono-rail. Provides the most accurate distribution of concentrated feed and accurate dosage in accordance with the selected diet. Loading of the concentrated feed distribution robot and mixing of various feed elements is fully automatic. There



*Picture 2 – installation of automatic feeding line [3]*

are several versions of the feed transmitter - the feed transmitter can spread on one side (left or right) or spread the feed mixture on both sides. Distribution of concentrated feed-the use of a robot allows for the most efficient feeding pro-

cess - thanks to careful mixing of feed and the development of a diet, cows receive a balanced diet rich in vitamins and minerals. The advantage of the feeding robot is low energy consumption..



*Picture 3 – concentrated feed distribution robot [3]*

As a result of the need for technical modernization of farms, the government of Kazakhstan has launched various programs aimed at the development of agriculture, in particular, animal husbandry. Currently, special attention is paid to the formation of farming. For example, currently, guided by the main provisions of the national project “Digital Kazakhstan”, there were trends in the revival, stabilization and financial recovery of many farms. Main provisions of the national project currently under way:

- \* use of modern and advanced technologies and technical means to ensure mechanization

and automation processes;

- \* use of high-performance animals (Holstein, black-and-white, etc.) with high genetic potential;

- \* use of full-fledged optimally-balanced feed additives;

- \* attraction to work of highly qualified specialists [4].

With the development of all branches of agriculture, the importance of automation and mechanization of animal husbandry increases: this is facilitated by further technical progress, the emergence of new equipment in farms. As a result, automation reduces the cost of production

and improves its quality.

For automation, the introduction of information solutions is particularly beneficial, for example, equipment for dairy farms operates in a stable electricity and a relatively small area. Information solutions help to increase the number of cattle, increase labor productivity, introduction of progressive methods of keeping and fattening cattle.

Modern automation knows many things: recognizes each cow on the “face”, determines the productivity of milking, calculates a separate “diet” for animals, etc. Each generation in the livestock management scheme should be combined into a common system and this is the main requirement for information solutions in agriculture.

Electronic computers have long been used in the agricultural and industrial complex. But in recent years their capabilities in the field of information processing and mobility has led to intensive development. This will make it possible to widely use equipment and software products in the livestock industry of the country.

They are aimed at ensuring profitability of production, reducing cash costs and ensuring a high level of product quality. Therefore, the market has acquired foreign suppliers and manufacturers of software products for the

agro-industrial complex, which have long and successfully carried out such work in Europe.

The most popular foreign products include:

Information solutions “Westfalia Land technik”. The German company offers high technologies in the dairy industry: automation of milking and cooling technology, feeding and herd management. There are also solutions for small ruminants (goats and sheep) );

Information solutions “Fullwood”. One division of this English company specializes in software in the dairy industry;

Information solutions “DeLaval”. It is a Swedish company, part of the Tetra Laval Group (known as Tetra Pak) - one of the leading manufacturers of equipment and software solutions for dairy processes;

But foreign companies often offer expensive solutions, so the work on creating a domestic analogue is an important solution for livestock farms in the country. [5]

Summaries of automation of the feeding of cattle: the distribution of feed on cow-based rail and truck load of Fodder warehouse where the feed is in turn the trolley over the rails will give feed large horned cattle in the vertical direction. The process will be controlled by the Arduino Uno microcontroller. The following equipment is required to create a model:

| №  | Component               | Quantity |
|----|-------------------------|----------|
| 1  | Cart 70x70x55 mm        | 1        |
| 2  | Rail 380x28x15 mm       | 1        |
| 3  | Screw                   | 2        |
| 4  | Bunker                  | 1        |
| 5  | Electromotor            | 2        |
| 6  | Arduino Uno Platform    | 1        |
| 7  | Engine driver for L298N | 1        |
| 8  | Servodrive 9g SG90      | 1        |
| 9  | Trailer                 | 2        |
| 10 | Electric motor box      | 1        |
| 11 | Thetransferbelt         | 1        |
| 12 | Belt roller             | 1        |

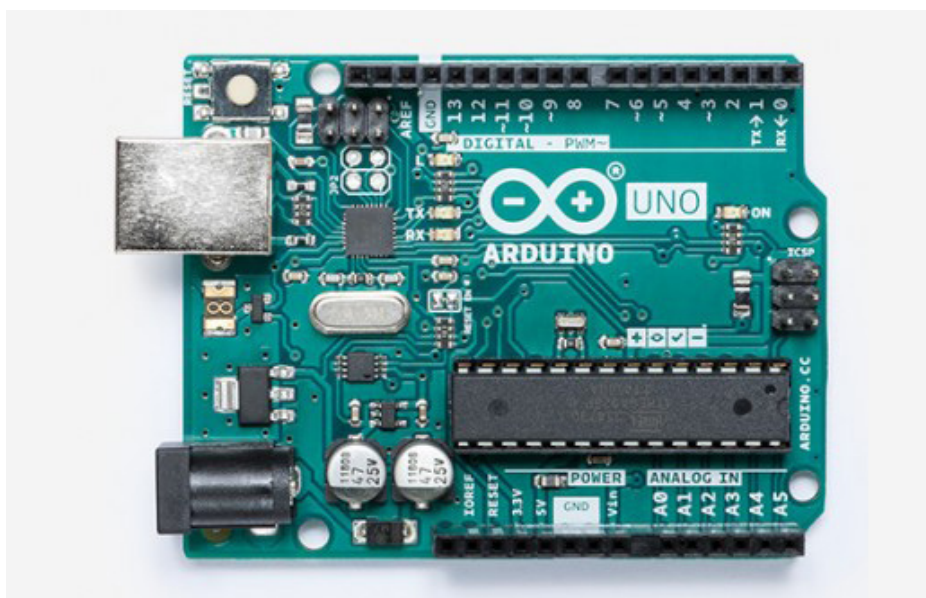
|    |                     |     |
|----|---------------------|-----|
| 13 | Pulley              | 1   |
| 14 | Wire                | >10 |
| 15 | Wood screw          | >10 |
| 16 | Bolt                | >10 |
| 17 | Locknut             | >10 |
| 18 | ABS plastic (white) | 1   |
| 19 | ABS plastic (red)   | 1   |

The main component in the development of the model is the Arduino Uno platform. Arduino Uno is a device based on ATmega328 microcontroller (datasheet). It includes all the items needed for convenient operation of the microcontroller: 14 digital inputs/outputs (including 6 can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, a 16 MHz quartz resonator, a USB connector, a power connector, an internal cell programming switch (ICSP) and an output button. The Arduino Uno offers a number of possibilities to communicate with a computer, another Arduino, or other microcontrollers.

Description:

- \* Microcontroller: ATmega328;
- \* Working voltage: 5V;

- \* Supply voltage (recommended): 7-12V;
- \* Supply voltage (limit): 6-20V;
- \* Digital input / output: 14 (of which 6 can be used as PWM outputs);
- \* Analog revenues: 6;
- \* Maximum current of one output: 40m;
- \* Maximum output current: 50m;
- \* Flash memory: 32 KB (ATmega328), including 0.5 KB used bootloader;
- \* SRAM: 2 KB (ATmega328);
- \* EEPROM: 1 KB (ATmega328);
- \* Clock frequency: 16MHz;
- \* Length: 68.6 mm;
- \* Width: 53.4 mm;
- \* Weight: 25g.



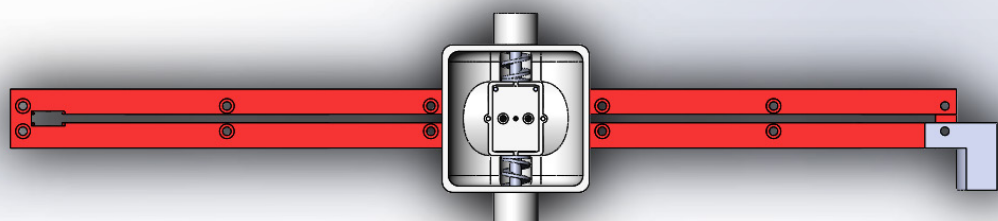
Picture 4 – Arduino Uno microcontroller [6]

One of the main components in the development of the model is the trolley and rail printed with ABS plastic material on a 3D printer. In the SolidWorks software complex, Which is a software complex of the computer-aided

design system designed to automate the work of an industrial enterprise at the stages of design and technological preparation of production, providing the development of products of any degree of complexity and purpose.



Picture 5 – Picture of trolley and rail on the side



Picture 6 – Picture of truck and rail on top side

Summing up, we can assume that the work on the creation of such small projects aimed at the digitalization of agriculture, namely automa-

tion, will accelerate the introduction of automated feeding in livestock farms.

## REFERENCES

1. Катков В.В. Регулирование подачи корма для крупного рогатого скота в автоматизированной кормовой станции. – М., 2011. – С. 37-45.
2. К.В. Михайлов, В.А. Шилин. Перспективы развития кормораздатчиков малых хозяйств.
3. <http://sib-agro.com/avtomatizirovannoe-kormlenie-krs> – «Агромолтехника» дереккөзіне сілтеме.
4. В.Н. Туваев, С.В. Гайдидей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – М., 2012. – С.11-12.
5. Куткова А.Н., Казьмина М.А., Польшакова Н.В. Обзор современных информационных решений автоматизации животноводческих предприятий.//Молодой ученый. – 2017. – №4 (138). – С. 65.
6. <https://www.arduino.cc> – Arduino Official Store

UCD 624.151.5  
MRNTI 67.11.29

## NUMERICAL SIMULATION OF FOUNDATIONS OF FREEZING SOIL

ZHUSSUPBEKOV A.Z., TLEULENOVA G.T., OMAROV A.R.,  
TANYRBERGENOVA G.K.

*Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева*

**Abstract:** *Issues of freezing soil, frost heaving are difficult complex processes. Quantifying soil deformations associated with frost heaving and thawing is a challenge for geotechnical engineers. Changes in temperature affect influence of physical and mechanical properties of soils. This paper presents the dependencies of foundation settling on load using Plaxis 2D. The results of the models of the stress-strain state of the base were compared in the winter and summer periods. Changes in the settlement of pile foundations in seasonally freezing soils are insignificant and do not affect the bearing capacity. The purpose of this work is to compare the results of the calculation of the vertical settlement of a pile foundation by the finite element method of Plaxis 2D. A numerical analysis was carried out using the Finite Element Method (FEM) in the geotechnical program Plaxis 2D, which shows of change settlement of buildings in the seasonally freezing soil. The design in the program corresponds to the real data of the object.*

**Key words:** *foundations, freezing soil ground, numerical simulation, temperatures, geotechnical properties of soils*

## МАУСЫМДЫҚ ҚАТАТЫН ТОПЫРАҚТАҒЫ ІРГЕТАСТАРДЫ САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа:** *Топырақтың қатуы, аязды шоғыр мәселелері күрделі процесс ретінде есептелінеді. Аязды шоғырмен және топырақты ерітумен байланысты топырақтың деформациясын сандық бағалау геотехникалық инженерлер үшін маңызды нәселелер болып қарастырылады. Топырақтың физика-механикалық қасиеттерінің өзгеруі температуралық әсеріне байланысты. Мақалада Plaxis 2D көмегімен әртүрлі жүктеме әсерінен іргетастың отыруы берілген. Жаз және қыс кезінде модельдің кернеуленген-деформацияланған жағдайда пайда болған нәтижелерін талдау. Қада іргетастарының маусымдық қатып қалған топырақтардағы шөгудің өзгеруі шамалы және көтеру қабілетіне әсер етпейді. Жұмыстың мақсаты Plaxis 2D бағдарлама арқылы соңғы элементтер әдісімен қолданып, қада іргетасының тік шөгіндісін есептеу кезінде пайда болған тұжырымдарын салыстыру. Бағдарлама дизайны объектінің нақты мәліметтеріне сәйкес келеді.*

**Түйінді сөздер:** *іргетастар, топырақты қатыру, сандық модельдеу, температура, топырақтың геотехникалық қасиеттері*

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНДАМЕНТОВ В ПРОМЕРЗАЮЩИХ ГРУНТАХ

**Аннотация:** *Вопросы промерзания грунта, морозного пучения являются сложными процессами. Количественная оценка деформации грунтов, связанных с морозным пучением и от-*

таиванием грунта является сложной задачей для геотехнических инженеров. Изменение температурного режима влияет на физико-механические свойства грунтов. В этой статье представлены зависимости осадка фундаментов от нагрузки с помощью Plaxis 2D. Результаты моделей напряженно-деформированного состояния основания сравнивались в зимний и летний периоды. Изменения осадка свайных фундаментов в сезоннопромерзающих грунтах незначительны и не влияют на несущую способность. Целью данной работы является сравнение результатов расчета вертикального осадка свайного фундамента методом конечных элементов в программном обеспечении Plaxis 2D. Численный анализ был проведен с использованием метода конечных элементов (FEM) в геотехнической программе Plaxis 2, которая показывает изменение заселения зданий в сезонно-мерзлых грунтах. Дизайн в программе соответствует реальным данным объекта.

**Ключевые слова:** фундаменты, промерзание грунта, численное моделирование, температура, геотехнические свойства грунта

### Introduction

Numerical modeling is widely used in the field of geotechnical calculations at present, allowing to solve complex problems. The relevance of applying the finite element method (FEM) is the ability to solve complex problems and the simplicity of performing numerical calculations in comparison with analytical methods.

In this paper presents of these studies of determine the bearing capacity of pile foundations in numerical modeling using the geotechnical characteristics of the soil in seasonally freezing and in the summer periods.

To simulate the problem, it is necessary to determine the initial data, which can be divided into two groups: these are engineering-geological conditions and the parameters of the foundations.

The determination of the settlement of foundations in seasonally freezing soils is one of the main tasks for the design engineer. Analysis of pile foundations in various ways, which are divided into numerical and analytical. Existing standards allow calculating the bearing capacity of pile foundations in the field. As a result of the tests, it is possible to obtain real precipitation, load action according to ASTM, GOST standards. Plaxis 2D is intended for complex calculations of the stress-strain state and stability of geotechnical objects for various purposes by the finite element method in a flat problem. This program allows you to solve geotechnical problems in construction, and also shows the development of building sediments in freezing soil. The popu-

larity of FEM lies in the ability to solve complex problems, the ability to simulate different cases of pile loading.

As a source of data for numerical modeling, the construction site of the seaport "Prorva", Western Kazakhstan was used.

To simulate the task, it is necessary to determine the source data, which can be divided into two groups:

1. Engineering and geological conditions of the studied construction area (general parameters, geometric contour, boundary conditions, soil characteristics).
2. Parameters of pile foundations (data set on material, foundation characteristics).

### The interaction of the foundation and soil of numerical modeling

The main way to model structures in modern geotechnical calculations by the finite element method is to model elements of a flat structure. The numerical solution of the problem was developed using the "top-down" technology. The parameters of the geotechnical situation are shown in figure 1.

Based on the materials of engineering and geological surveys, 5 engineering and geological elements have been identified in the geological and lithological section of the construction site.

Fig1 presented Initial data of the pile foundation. Soil 1 – Silty, slightly organic, calcareous, layer thickness 0.5 m. Soil 2 – Sand, silty,

calcareous, layer thickness 4.0 m. Soil 3 – Clay, silty, calcareous, layer thickness 4.0 m. Soil 4 – Sand, silty, calcareous, layer thickness 4.0 m. Soil 5 – Clay, sandy, calcareous layer thickness 5.0 m. Soil 6 – Clay, silty, calcareous, layer thickness 5.0 m. Geological conditions of construction site. Frost heaving swelling achieved 10 cm in Atyrau region site “Prorva”. The depth of soil seasonally freezing soil is 1 m [1, 2, 3]. Figure 1 presents the initial data of the pile foundation. Leader boreholes were made in construction site. Leader drilling allows piles to plunge vertically to a certain depth by reducing the drag that occurs during driving pile. Wells were made by two methods: without excavation and excavation soil ground. Piles consist of two segments with a section of 40 cm × 40 cm with a length of the lower segment 16 m and the upper segments 11.5 m. The head of the lower segment and the lower part of the upper segment had metal plates that had connecting and locking mechanisms. Piles are covered with anticorrosive material (bituminous) and marked with transverse lines every 25 cm. Depth of pile driving was 23 m.

Create of Finite Element (FE) design schemes in Plaxis 2D used the initial data and parameters, corresponding to real conditions of field experiments. In Fig 1. presented modeling of soils at the base of the foundations was used Mohr – Coulomb elastic-plastic model, which required the introduction of the following basic parameters: modulus of soil deformation  $E$ , Poisson's ratio  $\nu$ , adhesion  $c$ , and skin friction angle  $\varphi$ . Changes in the physical and mechanical properties of soils in the winter and summer were introduced separately.

The numerical calculation is made taking into account step by step. In the case of loading the foundation, the load gradually increased according to the program. Clay soil modeling was carried out by assigning the appropriate pressure. A grid of finite 12 nodal elements was generated automatically by Plaxis 2D. To obtain a high-quality picture in the areas near the pile, the finite element mesh was crushed. After generating a grid of elements, the initial stress state was simulated from the self-weight of the soil [1-4].

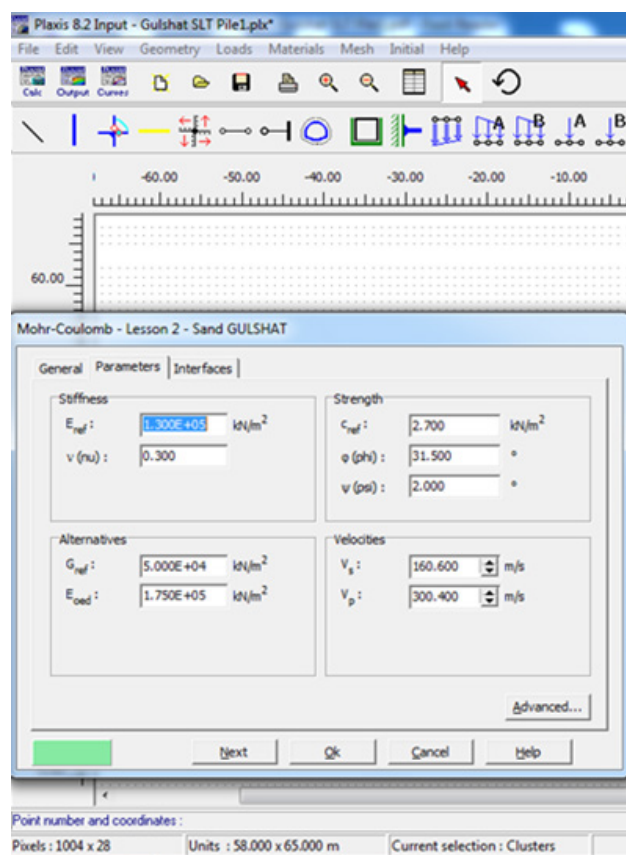


Fig 1. Initial data of the pile foundation

Fig 2. presented of pile model of FE. It should be noted that the precipitation in the picture of the stress-strain state of the soil shows changes in the properties of the soil in winter and summer.

The applicable version of Plaxis 2D allows you to use only a linear of color scale. In this regard, due to the large difference between the minimum and maximum shear deformations, it turned out to be impossible to display them simultaneously in the same figure.

The pile foundation is symmetrical about the vertical axis, in the design scheme only half of the area of the soil mass and the pile foundation were considered. The design scheme was automatically divided into triangular finite elements. The number of element types considered is 5. The calculation consists of 5 steps and will be set in the Staged construction mode. Figure 3 shows the contours of the complete displacement of soils under static bidirectional and pressing loads for models.

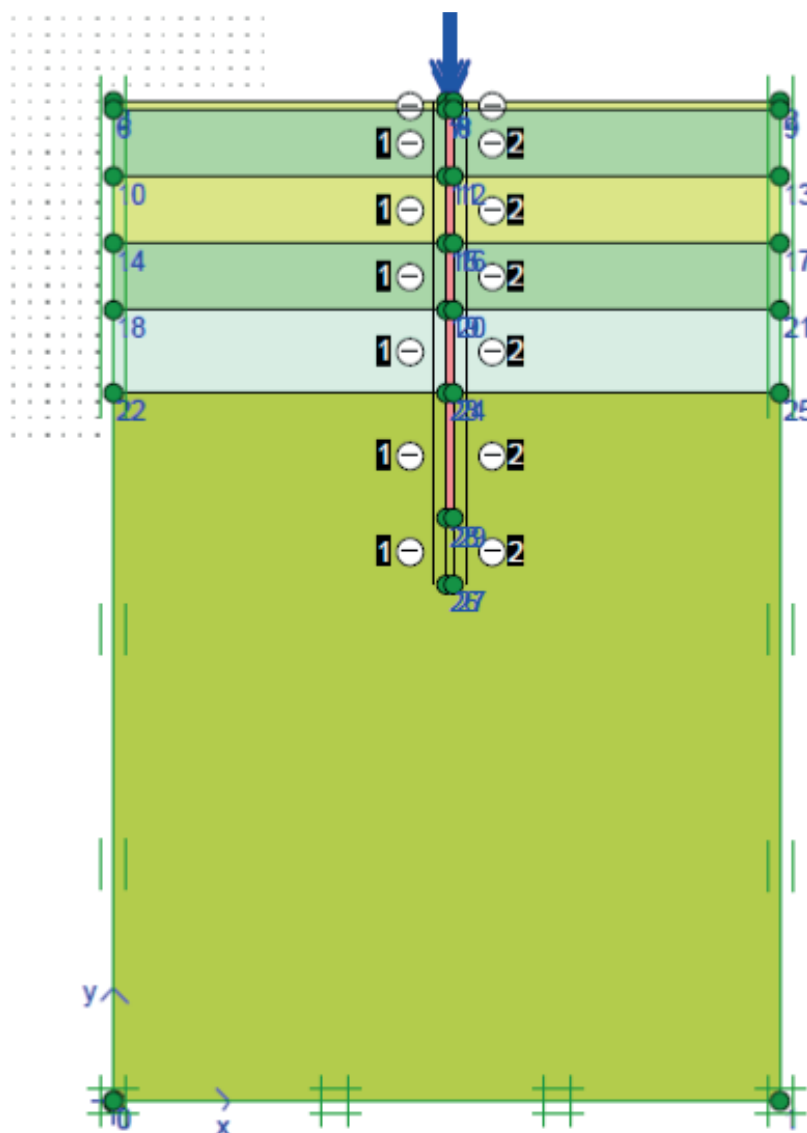


Fig 2. General view of the design model

The sequence of layers of the soil mass is presented in Figure 2. The piles were calculated in a symmetric setting.

### Research method

The Plaxis 2D calculation program allows you to perform calculations in stages.

Field tests of pile foundations by the static method were carried out according to the program, in accordance with the requirements of Kazakhstan, American standards. In this problem, to simulate the foundation settlement, it is necessary to perform a calculation. Plaxis 2D has a step-by-step procedure for automatically incrementing the load. In the Plaxis 2D program, the

pile foundation load data was introduced using the static method.

Various testing methods and processing of the results were applied to evaluation of bearing capacity of pile foundations. Field tests of piles with a static load make it possible to determine the level of pile settlement depending on the applied load.

The engineers developed a program and test procedure that contains information about the maximum force transmitted to the structure, the load distribution step, which should be 10% of the pile weight. The customer determines the number of products for soil testing by piles, places of their driving. At a future pile field, a group of piles is driven in zones corresponding to the

worst, most unfavorable conditions or places where failures occurred during of diving piles. The installation of a loading structure, a set of equipment for the transmission of forces is being carried out. Figure 3 shows the deformed foundation meshes.

Deformations of frozen soil lead to the movement of foundations in the winter period under the influence of external load on the surface of

soil. The stress-strain state of the base affects the amount of frost heaving of the soil.

The movement of soil in winter is characterized by the swelling of soil ground.

The calculation results in Plaxis 2D is an iso-pole sediment foundation are shown in Figure 3 and Table 1. Table 1 Results of bearing capacity of pile foundations in freezing and non-freezing soils

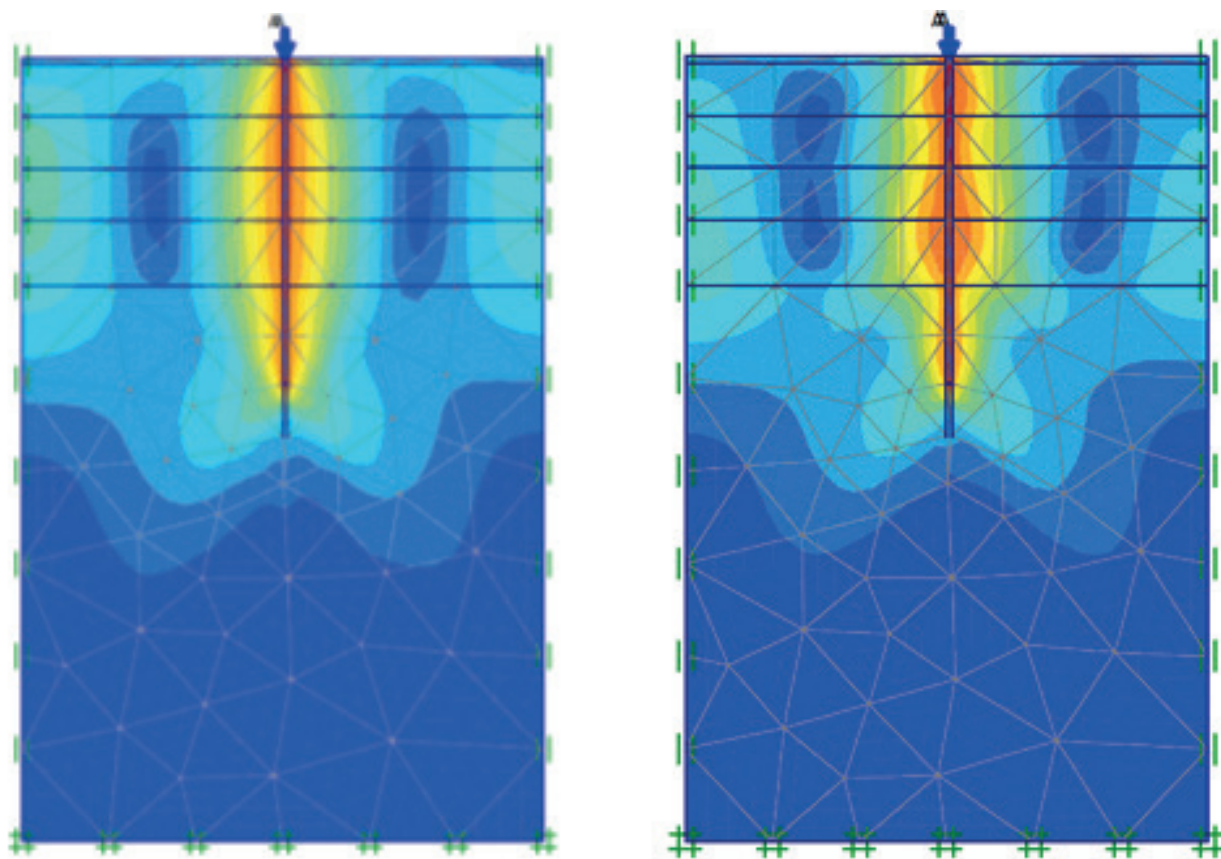


Fig 3. Results of bearing capacity of pile foundations in freezing and non-freezing soil ground

| Calculation          | Bearing capacity, kN | Settlement, mm |
|----------------------|----------------------|----------------|
| Vertical load        | 3278                 | 23 mm          |
| FEM (in winter time) | 3275                 | 22 mm          |
| FEM (in summer time) | 3278                 | 25 mm          |

Using the methods of numerical simulation of Plaxis 2D, the bearing capacities of reinforced concrete driving pile foundations were studied at a load of piles is 3278 kN, 3275 kN in accordance with the project. Pile upsetting results are compared in winter and summer. Precipitation of reinforced concrete piles is within 25 mm.

### Conclusion

Numerical modeling allows you to determine the behavior of pile foundations in seasonally freezing soil ground. Thus, it was found that the obtained data results can be applied in practical work of evaluation of the interaction of pile foundations in seasonally freezing soil.

## REFERENCES

1. Zhussupbekov A.Zh., Eun Chul Shin, Shakhmov Zh., Tleulnova G. Experimental study of model pile foundations in seasonally freezing soil ground //International Journal of Geomate. – 2018. - Vol. 15.– P.85-90.
2. Zhussupbekov A., Shakhmov Zh. Application of static compression load test of joint piles in seaport “Prorva” in the Caspian Sea Coastal Area (Westrn Kazakhstan) // Proceeding of the First International Conference on Press-in Engineering. - Kochi – 2018. – P.79-84.
3. Zhussupbekov A., Shakhmov Zh., Tleulnova G. Geotechnical problems on freezing ground soil and experimental investigation in Kazakhstan //Sciences in Cold and Arid Regions of Journal. – 2017. - Vol. 9.– P. 331-334.
4. Zhussupbekov A.Zh., Zh. Shakhmov, Tleulnova G. Application Static Load Test (SLT) and Pile Integrity Testing (PIT) of piles in sea port “Prorva” (West Kazakhstan). Proceeding of the 4th Int. Conf. on Science, Engineering & Environment (SEE), Nagoya, Japan. – 2018. – P. 742-746.
5. A.Zhussupbekov, Zh. Shakhmov, G. Tleulnova. A. Karagulova. Influence of climatic data to seasonally freezing soil ground in Kazakhstan. Proceeding of the 12th Symposium on Cold Regions Development. – Oulu, Finland. – 2019. – P.353-360.

УДК 004.33:004.056  
МРНТИ 50.11

## АНАЛИЗ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ С УЯЗВИМОСТЬЮ BADUSB

ЗУЕВА Е.А.

Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

**Аннотация:** Любое взаимодействие USB-устройства с компьютером осуществляется с помощью микроконтроллера и, чтобы он мог осуществлять действия, в его собственной служебной памяти хранится управляющий код, к которому обычный пользователь доступа не имеет. Каждое устройство USB включает в себя чип контроллера, который можно перепрограммировать с помощью небольшого физического и программного воздействия. Тут и возникает понятие «уязвимость BadUSB». Поскольку данная угроза работает с программно-аппаратной реализацией микрокодов, опасность угрозы BadUSB высока. Так как ей подвержены все операционные системы семейства Windows, Linux, Macintosh, то защита от этой угрозы осложнена. И стандартные манипуляции с переустановкой операционной системы, которые являются универсальным решением для большинства уязвимостей, не способны «вылечить» компьютер, зараженный носителем BadUSB. В данной работе приведено описание и разбор работы скетчей при создании устройства с уязвимостью BadUSB, приводятся возможные методы защиты.

**Ключевые слова:** BadUSB, безопасность устройств, полезная нагрузка, уязвимость, Ducky Script

## ANALYSIS OF WORK OF DEVICES WITH BADUSB VULNERABILITY

**Abstract:** Any interaction of a USB device with a computer is carried out using a microcontroller and so that it can carry out actions, a control code is stored in its own service memory that the normal user does not have access to. Each USB device includes a controller chip that can be reprogrammed with a small physical and software impact. This is where the concept of “BadUSB vulnerability” arises. Since this threat works with software and hardware implementation of microcodes, the danger of the threat of BadUSB is high. Since all operating systems of the Windows, Linux, Macintosh family are subject to it, protection against this threat is complicated. And standard manipulations with the reinstallation of the operating system, which are a universal solution for most vulnerabilities, are not able to “cure” a computer infected with BadUSB media. In this paper, a description and analysis of the work of sketches when creating a device with a BadUSB vulnerability is given, and possible methods of protection are given.

**Key words:** BadUSB, device security, payload, vulnerability, Ducky Script

## BADUSB СӘЙКЕСІНІҢ ҚҰРЫЛЫСЫ ЖҰМЫСЫН ТАЛДАУ

**Аңдатпа:** USB құрылғысының компьютермен кез келген өзара әрекеті микроконтроллер арқылы жүзеге асырылады және ол әрекеттерді іске асыруға мүмкіндік береді, басқару коды қалыпты пайдаланушының қолы жетпейтін өзінің жеке қызмет көрсету жадында сақталады. Әрбір USB құрылғысында кішкене физикалық және бағдарламалық әсермен қайта

бағдарламаланатын контроллер чипі бар. Бұл жерде «BadUSB осалдығы» түсінігі пайда болады. Осы қауіп-қатер микрокодтардың бағдарламалық және аппараттық қамтамасыз етуімен жұмыс істегендіктен, BadUSB қауіпі жоғары. Windows, Linux, Macintosh тобының барлық операциялық жүйелеріне бағынышты болғандықтан, осы қауіптен қорғау күрделі. Көптеген осалдықтар үшін әмбебап шешім болып табылатын операциялық жүйені қайта орнатумен стандартты манипуляциялар BadUSB медиасымен зарарланған компьютерді «емдей алмайды». Осы мақалада BadUSB осалдығы бар құрылғыны құру кезінде эскиздердің жұмысын сипаттау және талдау және қорғаудың ықтимал әдістері келтірілген.

**Түйінді сөздер:** *BadUSB, құрылғы қауіпсіздігі, пайдалы жүктеме, осалдығы, Ducky Script*

При моделировании ситуаций по действиям уязвимости BadUSB работы проводятся поэтапно:

1. Создание устройства с уязвимостью BadUSB [1].

2. Проводится исследование сценариев возможностей атак через USB-устройство, модифицированное с помощью DuckyScript [2].

### 3. Создание скетчей (Payload) и загрузка

их на USB-устройство. В процессе работы было создано и отлажено множество рабочих скетчей, список некоторых скетчей с функциями загрузки и перехода в действующий режим проиллюстрирован на рисунке 1. На рисунке 2 представлены листинги некоторых из них. Для наглядности ниже будут представлено описание и разобрана работа этих скетчей. При этом будут оговорены возможные методы защиты и дана оценка их эффективности.

| Display Payload Contents                        | Size in Bytes | Run Payload | Download File | Delete Payload |
|-------------------------------------------------|---------------|-------------|---------------|----------------|
| <a href="#">/payloads/0_OpenJpg.txt</a>         | 141           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/1_HelloWorld.txt</a>      | 292           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/2_ColorHelloVzIomaliM</a> | 789           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/3_LockUser.txt</a>        | 1644          | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/4_Elka.txt</a>            | 2694          | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/5_CloseAllApps.txt</a>    | 698           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/7_TimerMSG.txt</a>        | 762           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/8_CopyDesktopToF.txt</a>  | 296           | Run Payload | Download File | Delete Payload |
| <a href="#">/payloads/6_Matrix.txt</a>          | 1136          | Run Payload | Download File | Delete Payload |

Рис. 1 – Страница со списком первых 8 загруженных скетчей на USB-устройство

[illegible]

Рис. 2 – Листинги скетчей на BadUSB-устройстве

### Пример первый. Атака на Windows

К ноутбуку с операционной системой Windows подключается флешка. Через некоторое время операционная система показывает различные неконтролируемые пользо-

вателем, сидящем за компьютером-жертвой, сообщения (рисунок 3), удаляя файлы и каталоги, копируя и перемещая объекты, выводя псевдографику в отдельных окнах, блокируя пользователя и наконец, перезагружается.

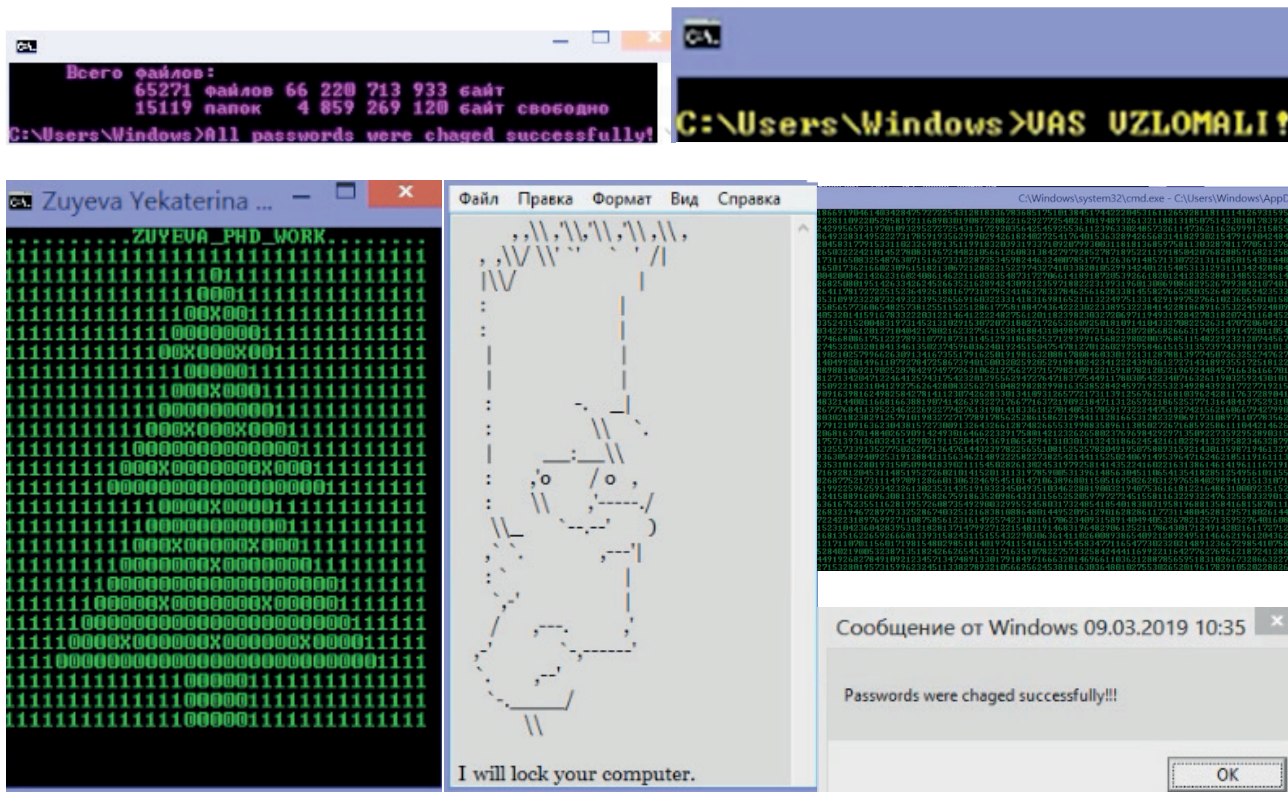


Рис. 3 – Неконтролируемые пользователем действия на компьютере-жертве

Подключенное устройство эмулировало USB-клавиатуру для запуска скрипта, который давал системе определенные команды на показ всего, производя неконтролируемые действия пользователем. Алгоритм таков, что, получив доступ к ноутбуку, BadUSB создает на машине bat-файлы, которые самозапускаются в системе. При наличии Интернета возможно скачать из сети дополнительные компоненты и установить их на компьютер-жертву [3].

Для защиты отданного сценария действенным было бы продумать и организовать белый и черный список доверенных USB-устройств (хранящийся на локальной машине), а на самом компьютере прописать сценарий проверки принадлежности вставляемого оборудования к тому или иному списку. И, если в результате проверки подключаемое

USB-устройство принадлежит к черному списку или данное устройство не находится ни в одном из списков, то оно блокируется, если иное не указано в системе. Но тут сложность в том, что и устройство из белого списка может быть заражено и тогда при таком подходе разграничение по спискам делать бессмысленно.

Не все антивирусы реагируют одинаково. Это зависит от его настроек и правил. Если скрипт загружает что-то, то антивирус должен это заметить и среагировать, если только это не системная утилита, например, для удаленного управления. Вот, например, у AVG Antivirus, Comodo AntiVirus McAfee VirusScan Enterprise продуман подход, позволяющий блокировать запуск скриптов и установку новых приложений.

### Пример второй. Атака Windows с целью компрометации программного обеспечения

Есть два ноутбука с операционными системами Windows и Linux Debian, подключенные к Интернету. К Windows подключается накопитель. Он размонтируется через некоторое время. В определенный пользователем Debian момент времени появляется окно запуска консоли в Windows, рядом приведен список файлов на этот момент в операционной системе (рисунок 4а), чтобы было видно, что создались файлы, которых не было до вставки накопителя в Windows.

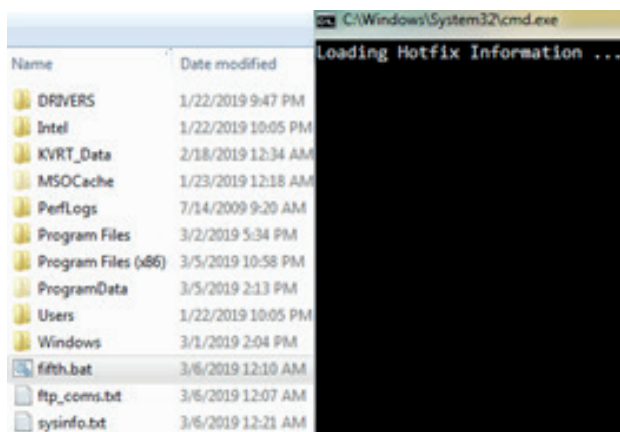


Рис. 4а – Появление окна в Windows и консоли,

Созданные файлы запускаются, через некоторое время окно консоли само собой закрывается, и происходит самоуничтожение вышеупомянутых файлов (рисунок 4б).

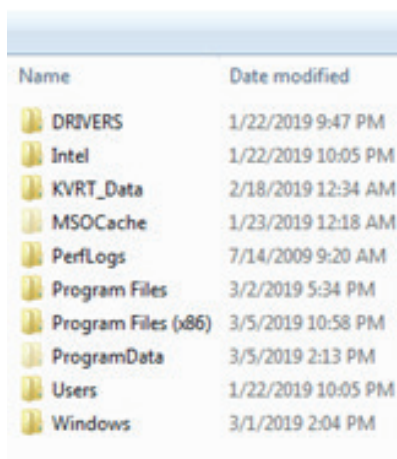


Рис. 4б – Самоуничтожение файлов и закрытие консоли

На FTP-сервер через сеть Интернет осуществляется передача данных с Windows-системы незаметно для пользователя. В Linux для проверки результата скачиваются и открываются с FTP-хранилища нужные файлы с информацией о системе Windows и описанием установленного в ней программного обеспечения и всеми настройками системы (рисунок 5).

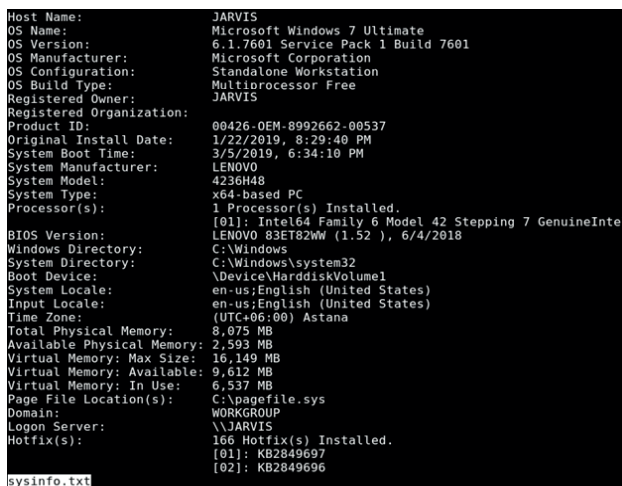


Рис. 5 – Часть украденных данных с описанием Windows-системы

Информацией о настройках и знанием установленного программного обеспечения на операционной системе Windows может воспользоваться злоумышленник в целях использования существующих уязвимостей для найденного списка программ или создания программных закладок для конкретных версий программ. Описание скриптов из вышеуказанных файлов показано на рисунке 6.

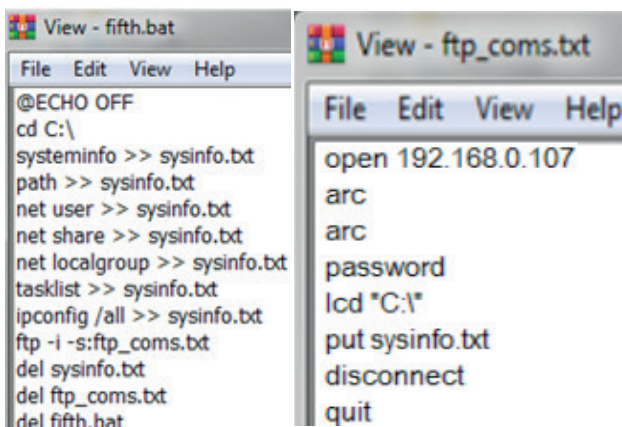


Рис. 6 – Часть содержания созданных файлов в Windows

Как вариант антивируса, который может заблокировать исполнение произвольного кода могут быть Avira Anti Vir Personal, McAfee Application Control, AVZ. Но остается еще один аспект описываемой проблемы, касаемый блокирования распространения передачи информации через FTP-сервер.

### Пример третий

#### Реализация устройства для перехвата личной информации

К компьютеру подключается USB-устройство. С точки зрения пользователя ничего в системе не происходит. Но со стороны человека, пытающегося провести атаку, флеш-устройство подключается к текущей сети и в итоге при вводе некоторых данных ничего не подозревающим пользователем они передаются злоумышленнику, в частности происходит подмена в браузере URL-адреса и перехвата связки логин/пароль, введенными обманутым пользователем. Меню настройки для этого представлено на рисунке 7.

|                    |                    |
|--------------------|--------------------|
| Welcome Domain:    | ouraccesspoint.com |
| Welcome Page On:   | /welcome           |
| Site1 Domain:      | fakesite1.com      |
| Site1 Page On:     | /login             |
| Site2 Domain:      | fakesite2.com      |
| Site2 Page On:     | /sign-in           |
| Site3 Domain:      | fakesite3.com      |
| Site3 Page On:     | /authenticate      |
| Catch All Page On: | /user/login        |

Рис. 7 – Опции настроек в точке злоумышленника (фейковые данные, сниффер)

Обычный антивирус не отреагирует, так как с его точки зрения, подключение еще одного сетевого интерфейса, пусть и эмулированное USB-устройством, не является угрозой. Спасет блокирование по классу устройств

(запрет на установку новых сетевых интерфейсов), но, к сожалению, современные ОС пока не располагают соответствующей функциональностью. В качестве решения можно предложить McAfee Device Control, умеющий определять не только ID, которого у многих устройств может не быть либо он будет не уникальным, но также и класс.

### Выводы

Изобретение технологии USB значительно упростило жизнь, стандартизовав взаимодействие между устройствами и компьютерами и уменьшив количество портов на корпусе компьютера, однако такая стандартизация открыла возможность для атак типа Bad-USB, эксплуатация которых является актуальной. Исследование данной темы – предмет обсуждения PhD-работы. В работах [1], [2] и текущая – были рассмотрены возможные векторы атак и анализ их влияния на пользователей, однако продемонстрированные способы воздействия на компьютерную систему не являются исчерпывающими и все еще остается целая плеяда возможностей для злоумышленников. В будущем эту проблему можно будет устранить, а пока все, что остается – это быть бдительным и не использовать неизвестные USB-устройства, обязательно используя дополнительные меры защиты. Самым продуктивным будет создание программно-аппаратного средства, отслеживающего и отсекающего задачи компрометации данных и железа пользователя (задач BadUSB). Хотя было и анонсировано, что защита от атак BadUSB появилась в Kaspersky Endpoint Security 10 [4], в обновлении от 7 декабря 2015 года и защитные решения Dr.Web с 11-й версии [5] защищают от BadUSB-уязвимости для устройств, имитирующих клавиатуру. К сожалению пейнтесты показали, что это так, только в ограниченном кругу задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. Пыркова, Е. Зуева. Создание BadUSB-устройства и анализ безопасности системы // Вестник КазННТУ, №5. – 2019. – С.466.
2. Е.А. Зуева, А.Ю. Пыркова. Исследование работы USB-устройств, использующих DuckyScript // Вестник АУЭС. №3. – 2019. – С.53.
3. <https://github.com/hak5darren/USB-Rubber-Ducky/wiki/Payloads> [Дата обращения 12.03.2019]
4. Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows: Service Pack 1 Maintenance Release 2 (версия 10.2.4.674) <http://support.kaspersky.ru/11979#block1> [Дата обращения 3 мая 2019].
5. Обновление компонентов в продуктах Dr.Web 11.0. <https://news.drweb.ru/show/?i=9972&c=5&lng=ru&p=0> [Дата обращения 3 мая 2019].

УДК 62-50  
МРНТИ 55.69.01

## МЕТОДИКА УПРАВЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПУТЕМ УЛУЧШЕНИЯ ЕЕ РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ

КУБАЕВ К.Е., БАЙШОЛАНОВА К.С.

*Казахский Национальный университет им. аль-Фараби*

**Аннотация:** Выявлены и проанализированы факторы, наряду с ремонтпригодностью, определяющие надежность технической системы. Исследовано влияние ремонтпригодности на надежность технической системы. Невысокая ремонтпригодность является одной из причин того, что поступающие в подразделения и участки машины требуют частых остановок для замены недолговечных элементов, регулировки и устранения отказов. Разработана методика управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности. Проанализированы существующие методы оценки ремонтпригодности систем и предложена усовершенствованная методика управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности, используя теорию графа. Получен и введен показатель  $\epsilon$ , названный фактором совершенства.

В процессе использования технической системы потребитель несет большие убытки из-за отказов. Это прежде всего прямые затраты на устранение самого отказа и убытки от простаивающей техники. Надежность системы в общем случае определяется долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохранностью.

Нередко для замены быстро изнашивающегося элемента необходимо почти полностью разбирать систему, нарушая взаимосвязи узлов и деталей. Следовательно, серьезные конструктивные недостатки техники вызывают большие затраты рабочего времени и материальных ресурсов при их использовании потребителями.

В предлагаемой методике учитывается технологическая последовательность разборочных работ при капитальном ремонте, использование утвержденных технических норм времени на разборно-сборочные работы.

Результаты ранних исследований авторов показывают, что технологический процесс разборки систем при разборке на элементы включает в себе 7 уровней доступности, а двигателя на детали – 4. На показатели ремонтпригодности существенное влияние оказывает уровень доступности элементов системы. На основании этого далее предлагается связывать показатель надежности элементов системы с уровнем их доступности.

**Ключевые слова:** ремонтпригодность, теория надежности, теория графов, фактор совершенства, показатели ремонтпригодности

## ТЕХНИКАЛЫҚ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ СЕНІМДІЛІГІН, ОНЫҢ ЖӨНДЕУГЕ ЖАРАМДЫЛЫҒЫН АРТТЫРУ АРҚЫЛЫ БАСҚАРУ ӘДІСІ

**Аңдатпа:** Техникалық жүйенің жөндеу жарамдылығымен қатар сенімділігін анықтайтын факторлар айқындалып, талданды. Техникалық жүйенің сенімділігіне жөндеу жарамдылығының әсері зерттелді. Жөндеуге жарамдылықтың төмендеуі бөлімшелер мен учаскелерге келіп түсетін машиналардың ұзаққа жарамсыз элементтерін ауыстыруды, тоқтап қалуды жоюды реттеу үшін жиі тоқтауды талап ететін себептердің бірі болып

табылады. Техникалық жүйелердің сенімділігін, оның жөндеуге жарамдылығын жақсарту жолдары арқылы басқару әдістемесі әзірленді.

Жүйелердің жөндеу жарамдылығын бағалаудың қазіргі әдістері талданды және техникалық жүйелердің сенімділігін басқаруда оның жөндеу жарамдылығын графтар теориясын жақсарту жолымен жетілдірілген әдістемесі ұсынылды. Жетілдіру факторы деп аталатын  $\varepsilon$  көрсеткіші алынып енгізілді.

Техникалық жүйені пайдалану үрдісінде ақауларға байланысты тұтынушы үлкен шығындарға ұшырайды. Бұл ең алдымен ақаулықты жоюға кеткен шығындар және істен шыққан жабдықтың тоқтап қалуынан болатын шығындар. Жалпы жағдайда, жүйенің сенімділігі ұзақтылыққа, тұрақтылыққа және қауіпсіздікке байланысты болады.

Көбіне тозған элементті ауыстыру үшін компоненттер мен бөлшектердің өзара байланысын бұзып, жүйені толығымен бөлшектеу қажет. Демек, технологиядағы күрделі кемшіліктер тұтынушылар пайдаланған кезде жұмыс уақыты мен материалдық ресурстардың үлкен шығынын тудырады.

Аталған әдістеме күрделі жөндеу кезінде бөлшектеу жұмыстарының технологиялық реттілігін, бөлшектеу және құрастыру уақытына бекітілген техникалық стандарттарды қолдануды ескереді.

Авторлардың алдыңғы зерттеу нәтижелері көрсеткендей, бөлшектеу кезінде жүйелерді бөлшектеу технологиялық процесі қолжетімділіктің 7 деңгейін, ал бөлшектерге арналған қозғалтқышты – 4 деңгейін қамтиды. Жүйелік элементтердің қолжетімділік деңгейі тұрақтылық көрсеткіштеріне айтарлықтай әсер етеді. Осының негізінде жүйелік элементтердің сенімділік көрсеткіштерін олардың қолжетімділік деңгейімен байланыстыру ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** жөндеуге жарамдылық, сенімділік теориясы, графтар теориясы, жетілдіру факторлары, жөндеуге жарамдылық көрсеткіштері

## METHODS OF MANAGEMENT OF TECHNICAL SYSTEMS RELIABILITY BY IMPROVING EFFICIENCY

**Abstract:** Identified and analyzed factors, along with maintainability, determining the reliability of the technical system. The influence of maintainability on the reliability of a technical system is investigated. Low maintainability is one of the reasons that entering the units and sections of the machine require frequent stops to replace short-lived elements, adjust and eliminate failures.

A technique for managing the reliability of technical systems by improving its maintainability has been developed. The existing methods for evaluating the maintainability of systems are analyzed and an improved technique for managing the reliability of technical systems by improving its maintainability using the graph theory is proposed. The indicator  $\varepsilon$ , called the perfection factor, is obtained and introduced.

In the process of using the technical system, the consumer suffers large losses due to failures. This is primarily the direct costs of eliminating the failure itself and losses from the downtime of the failed equipment. The reliability of the system in the general case is determined by the durability, reliability, maintainability and safety.

Often, to replace a wearing element, it is necessary to almost completely disassemble the system, disrupting the relationships of components and parts. Consequently, serious design flaws in technology cause a large expenditure of working time and material resources when used by consumers. The proposed methodology takes into account the technological sequence of dismantling work during overhaul, the use of approved technical standards for time for dismantling and assembling.

*The results of early research by the authors show that the technological process of disassembling systems when disassembling into elements comprises 7 levels of accessibility, and the engine for parts - 4. The level of accessibility of system elements has a significant impact on maintainability indicators. Based on this, it is further proposed to interlink the reliability indicator of system elements with the level of their availability.*

**Key words:** *maintainability, reliability theory, graph theory, perfection factor, maintainability indicators.*

## Введение

Теория надежности дает нам методы не простой констатации поломок, сборе материалов об отказах, а систематизации этих фактов, прогнозировать и управлять возможными неисправностями. В общем случае появление отказов как событие носит случайный характер. В своей практической деятельности каждый инженерно-технический работник сталкивается с той или иной поломкой. И особенно большие организационные трудности появляются, если выходят из строя те детали и узлы, заменить которые трудоемко. Но, применяя методы теории надежности, можно прогнозировать и уменьшить их трудоемкость.

Техническое средство состоит из множества элементов, каждый из которых таит в себе опасность поломки, приводящий к отказу всей системы. Кроме того, различные детали не одинаковы по стоимости в соответствии с трудоемкостью их изготовления, применяемые материалы и другие факторы. В этом и нужно искать причины условного деления элементов системы на «ответственные» и «неответственные» хотя, с точки зрения надежности, при поломке и тех, и других мы имеем дело с отказом. Это свидетельствует о высокой ответственности каждого элемента.

Система в теории надежности позволяет совместное действие объектов, предназначенных для самостоятельного выполнения заданных функций. В надежном отношении конструкцию изделия как систему следует представить в виде блок-схемы. Причем соединение отдельных элементов системы может быть последовательным или параллельным [1].

При конструировании технической системы взаимное влияние элементов системы с разными ресурсами и трудоемкостями их замены на их доступность определяет надежность системы в целом.

Не в меньшей степени определяющими надежность современной технической системы являются ее ремонтпригодность. В связи с этим нами поставлена цель на увеличение надежности технической системы путем улучшения ее ремонтпригодности. Исходя из поставленной цели сформулированы следующие задачи:

- 1) проанализировать факторы, наряду с ремонтпригодностью, влияющие на надежность технической системы;
- 2) исследовать влияние ремонтпригодности на надежность технической системы;
- 3) разработать методику управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности.

Актуальность и изученность вопроса. Повышение надежности технических систем актуально всегда. Этой проблеме посвящено много работ исследователей [1-12 и др.]. Анализируя данные и другие работы, рост надежности систем является одной из ведущих задач индустрии. В связи с ростом автомобильного транспорта для этой отрасли вопрос надежности наиболее важен. Увеличение значения надежности машин при их проектировании и изготовлении говорит о статистических данных, где расходы на поддержание их в работоспособном состоянии непрерывно растут. Ежегодные потери экономики, связанные с обслуживанием и ремонтом технических средств за период

эксплуатации, в несколько раз превышают их первоначальную стоимость. Низкий уровень надежности транспортных средств существенно снижает их производительность из-за простоев в ремонте. Компьютеризация конструкций систем и усиление требований к ним привели к тому, что проблема повышения их надежности приобрела большое значение. Анализ характера и причин отказов базируется на глубоких знаниях физической природы их возникновения и развития, т.е. знаний инженерно-физических основ надежности. Процессы, приводящие к потере системы рабочего состояния, включают в себя усталостное разрушение, изнашивание конструкционных материалов, коррозию и старение. При эксплуатации технических систем подавляющее большинство деталей достигают предельного состояния из-за износа. Обработка такой информации позволяет оценить уровень фактической надежности той или иной модели технической системы, агрегата, узла, детали, выявить слабые места в конструкции, разработать конкретные мероприятия по повышению надежности и опти-

мизации системы поддержания технических средств в рабочем состоянии. Информация о надежности обрабатывается методами математической статистики по показателям, оценивающим отдельные свойства надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость) и системными показателями, оценивающими несколько ее свойств одновременно. Обеспечение необходимого уровня надежности является одной из основных задач технических систем важной составляющей общей системы обеспечения надежности.

Анализ факторов, наряду с ремонтпригодностью, влияющих на надежность технической системы

В процессе использования систем потребитель несет большие убытки из-за отказов. Это прежде всего прямые затраты на устранение самого отказа и убытки от простоя отказавшей системы. Надежность в общем случае определяется долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохраняемостью (рис. 1).

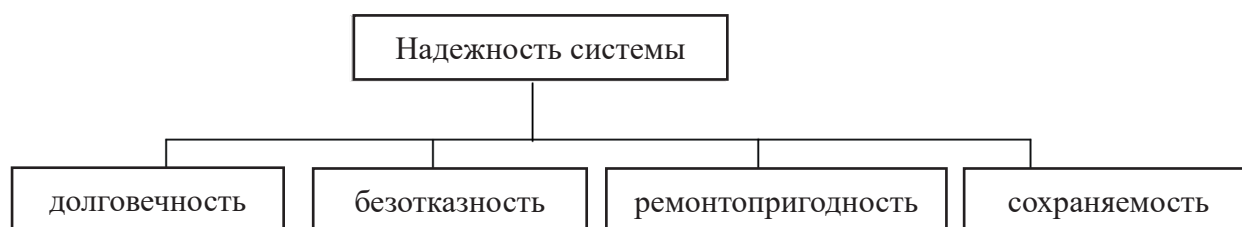


Рис. 1 – Составляющие надежности

Количественно ремонтпригодность оценивается рядом комплексных и частных показателей и коэффициентов, которые будут рассмотрены ниже. Следует подчеркнуть ошибочность отождествления надежности с безотказностью. Ибо систему, безотказно работающую в течение небольшого промежутка времени, нельзя назвать надежной, так как не обеспечивается другой показатель – долговечность. Такое положение, видимо, взято из других отраслей техники, где имеются невосстанавливаемые системы, когда первый отказ означает конец. Количественная оценка

долговечности машины выражается в техническом ресурсе или сроке службы. Часто эти понятия смешивают, что недопустимо. Технический ресурс машины, узла и агрегата – сумма интервалов времени безотказной работы за весь период эксплуатации до разрушения или другого предельного состояния. Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации машины до того же состояния. Отсюда следует, что две машины, имеющие одинаковый технический ресурс при разной годовой загрузке, будут иметь различные сроки службы.

### Ремонтопригодность технических систем

При проектировании системы конструкторы зачастую стремятся только к обеспечению работоспособности и выполнения заданной технологии работы технической системы. При этом мало уделяется внимания удобству эксплуатации, приспособленности к техническому обслуживанию и ремонту. В связи с чем системы длительное время простаивают. Величина простоев по техническим причинам велика и достигает в настоящее время 25-35%, а с учетом времени ремонтов – 40-60% рабочего времени [2-9].

Невысокая ремонтопригодность является одной из причин того, что поступающие в подразделения и участки системы требуют частых остановок для замены недолговечных элементов, смазки, регулировки устранения отказов. Нередко для замены быстроизнашивающего элемента необходимо почти полностью разбирать систему, нарушая взаимосвязи узлов и деталей. Следовательно, серьезные конструктивные недостатки системы вызывают большие затраты рабочего времени и материальных ресурсов при их использовании потребителями.

Ремонтопригодность системы – понятие широкое. Оно предусматривает их приспособленность к предупреждению, нахождению и устранению рабочим каких-либо неисправностей. С этой целью в конструкции машин необходимо вводить элементы постоянного диагностирования технического состояния всех систем, такие например, как указатели датчиков, температур масла и воды, давления и подобные устройства особенно важны для новых систем.

### Показатели ремонтопригодности

Существует следующая зависимость для оценки приспособленности системы к техническому обслуживанию:

$$T' = \frac{T}{W} \quad (9)$$

где  $T'$  – показатель приспособленности системы к техническому обслуживанию;

$T$  – общая трудоемкость технического обслуживания;

$W$  – наработка за цикл обслуживания.

Наиболее распространенными показателями ремонтопригодности являются: среднее время восстановления коэффициента готовности и коэффициента технического использования. Они сравнительно легко определяются и наглядны.

Среднее время восстановления ( $T_B$ ) можно определить на основе статистических данных наблюдений:

$$T_B = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{Bi}; \quad (10)$$

где  $n$  – количество обнаруженных и устраненных наблюдений отказов;

$T_{Bi}$  – время, затраченное на отыскание и устранение  $i$ -го отказа.

Для получения достаточной достоверности значения рекомендуется провести несколько наблюдений, так как факторы организационно-технического характера вносят существенное рассеивание в результаты наблюдений. Количественно величину рассеивания определяемого показателя можно оценить его дисперсией и средним квадратичным отклонением.

Согласно ГОСТа коэффициент готовности ( $K_r$ ) определяет вероятность того, что система или его элементы будет работоспособна в произвольно выбранный момент в промежутках между плановыми техническими обслуживаниями [10]. Значение  $K_r$  при установившемся режиме работы определяют из следующего выражения:

$$K_z = \frac{T}{T+T_B}; \quad (11)$$

где  $T$  – наработка на отказ.

Наработка на отказ устанавливает долю времени безотказной работы машины в суммарном времени исправной работы и устранения отказов. Этот показатель, являясь обобщенным показателем надежности, кроме того, оценивает ремонтопригодность – приспособленность машин к отысканию и устранению отказов.

Коэффициент технического использования ( $K_i$ ) является наиболее полным показателем ремонтопригодности. Количественно он определяется отношением суммарной наработки машины в единицах времени за рассма-

триваемый период эксплуатации к сумме этой наработки времени простоев на техническом обслуживании и ремонте (с учетом устранения отказов):

$$K_m = \frac{t_{сум}}{t_{сум} + t_{то} + t_{рем}}; \quad (12)$$

где  $t_{сум}$  – суммарная наработка изделия за период наблюдения в часах;

$t_{то}$  – время простоев на технических обслуживаниях в часах;

$t_{рем}$  – время простоев на ремонте.

Величина коэффициента  $K_T$  зависит от показателей среднего времени восстановления  $T_B$  и коэффициента готовности  $K_T$ .

Методика управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности

Анализ известных методик. При ремонте и замене недолговечных элементов машины неизбежны некоторые балластные работы: частичная разборка системы с нарушением взаиморасположения и регулировки снимаемых узлов; промывка детали, замена недолговечного элемента, сборка заново и восстановление нарушенной регулировки, смазка сопряжений различных деталей.

Как видим, из перечисленных операций только третья – непосредственная замена недолговечного элемента оправдана. Остальные представляют собой так называемый объем балластных работ, в значительной степени зависящий от компоновки узлов в машине и деталей в узлах, то есть их доступности. Элементы в машине имеют различную доступность. Замена одних – нетрудоемка, других – требует много дополнительных действий, непосредственно не связанных с заменой отказавшей детали или узла.

Следовательно, детали в узлах, а узлы в машине имеют различный уровень доступа в зависимости оттого, какой объем предварительных работ можно рассчитать по трем вариантам.

Первый вариант [11]:

$$F_p = \frac{\sum_j Q_j^{ср}}{\sum_j Q_j^{ср} + q_6^{ср}} \quad (13)$$

где  $Q_j^{ср}$  – среднее значение стоимости, соответствующее затратам труда, энергии и материалов, требующихся для введения в систему сменяемых конструктивных и возобновляемых неконструктивных элементов;

$q_6^{ср}$  – среднее значение стоимости, соответствующее объему балластных работ при техническом обслуживании, ремонте или замене недолговечных конструктивных элементов;

$F_p$  – коэффициент ремонтпригодности.

Второй вариант [12]: – по частному коэффициенту ремонтпригодности внешнего доступа:

$$K_{сд} = \frac{\overline{t_{нр}} + \overline{t_{сз}}}{\overline{t_{сп}}} \quad (14)$$

где  $K_{сд}$  – коэффициент внешнего доступа;

$\overline{t_{нр}}$  – среднее время, затрачиваемое на снятие деталей и узлов, закрывающих доступ к узлу с отказом (предварительная разборка), мин;

$\overline{t_{сз}}$  – среднее время, затрачиваемое на постановку деталей и узлов, закрывающих доступ к узлу с отказом (заключительная сборка), мин;

$\overline{t_{сп}}$  – среднее время устранения отказа, мин.

Преобразовав первую формулу путем деления числителя и знаменателя на величину  $Q_j^{ср}$ , получим третий вариант оценки системы по ремонтпригодности:

$$F_p' = \frac{1}{1 + \sum_j \overline{q_{j6}^{ср}}} \quad (15)$$

где  $\overline{q_{j6}^{ср}}$  – приведенная величина балластных работ.

Предлагаемая методика. Здесь учитывается технологическая последовательность разборочных работ при капитальном ремонте, использование утвержденных технических норм времени на разборно-сборочные работы.

Результаты наших ранних исследований [5,6] показывают, что технологический процесс разборки систем при разборке на элементы включает в себе 7 уровней доступности, а двигателя на детали – 4. На показатели ремонтпригодности существенное влияние

оказывает уровень доступности элементов системы. Причем показатель ремонтпригодности ухудшается с ростом уровня доступа. На основании этого далее предлагается взаимно увязать показатель надежности элементов системы с уровнем их доступности.

Для оценки совершенства конструкции системы при проектировании или доработ-

ке конструкции ее элементов следует взаимно увязать факторы, влияющие на ремонтпригодность системы. Здесь сделана попытка связать уровень их надежности с уровнем доступа, ресурсом и трудоемкости замены элементов системы, влияющих на ремонтпригодность (табл. 2).

**Таблица 2 – Взаимосвязь доступности, ресурсов и трудоемкости замены элементов системы**

| Уровень доступности элементов системы, I- V | Технический ресурс элементов системы, тех-час | Трудоемкость замены элемента системы, чел-час |
|---------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| I                                           | $MP_I$                                        | $T_I$                                         |
| II                                          | $MP_{II}$                                     | $T_{II}$                                      |
| III                                         | $MP_{III}$                                    | $T_{III}$                                     |
| IV                                          | $MP_{IV}$                                     | $T_{IV}$                                      |
| V                                           | $MP_V$                                        | $T_V$                                         |

Методика предусматривает «разместить» элементы системы по уровням доступности (I-V) с учетом ресурсов (MP-моточас) и трудоемкости замены ( $T_i$ ). Как показали наши исследования, эту проблему можно решить с помощью теории графов.

Основоположником теории графов является математик Леонард Эйлер (1707-1783). Согласно свободной энциклопедии Википедии, теория графов – раздел дискретной математики, изучающий свойства графов. В общем смысле граф представляется как множество вершин (узлов), соединённых рёбрами. Теория графов находит применение, например, в геоинформационных системах (ГИС). Существующие или вновь проектируемые дома, сооружения, кварталы и т.п. рассматриваются как вершины, а соединяющие их дороги, инженерные сети, линии электропередачи и т.п. – как рёбра. Применение различных вычислений, производимых на таком графе, позволяет, например, найти кратчайший объездной путь или ближайший продуктовый магазин, спланировать оптимальный маршрут.

Согласно данной методике, наиболее

совершенным будет считаться такое расположение узлов в машине и деталей в узлах, при котором замена быстроизнашивающегося элемента не повлечет за собой разборку и сборку других с высокой надежностью или во всяком случае, большей, чем у рассматриваемого узла или детали.

Для количественной оценки совершенства компоновки отдельного элемента предлагается показатель  $\varepsilon$ , названный фактором совершенства:

$$\varepsilon_i = \frac{Ax_i - y_i}{\cos \varphi \cdot \sqrt{A^2 + 1}}, \quad (16)$$

для всей системы:  $\varepsilon = \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ ,

где n – количество узлов.

Анализируя приведенную методику, можно видеть, что при  $\varepsilon_i < 0$  надежность этого элемента недостаточна, а  $\varepsilon_i > 0$ , тогда надежность академически неоправдана. Наиболее совершенной будет машина с  $\varepsilon_i = 0$ .

Используя эту методику, можно количественно определить, насколько надо повысить надежность конструкции. Данная методика оценки совершенства конструкции

позволяет выявить элементы (детали, узлы) систем, требующие первоочередного повышения их уровня надежности. Здесь можно видеть, что по причине недостаточной долговечности каких-либо именно деталей узлов растут балластные работы, а следовательно, эксплуатационные расходы. Кроме того, этот принцип с определенной точностью позволяет прогнозировать надежность элементов скомпонованной машины на стадии ее проектирования.

### Выводы

1. Выявлены и проанализированы факторы, наряду с ремонтпригодностью, на надежность технической системы. В процессе использования технической системы потребитель несет большие убытки из-за отказов. Это прежде всего прямые затраты на устранение самого отказа и убытки от простоя отказавшей техники. Надежность системы в общем случае определяется долговечностью, безотказностью, ремонтпригодностью и сохранностью.

2. Исследовано влияние ремонтпригодности на надежность технической системы. Невысокая ремонтпригодность является одной из причин того, что поступающие в под-

разделения, требуют частых остановок для замены недолговечных элементов, регулировки устранения отказов. Нередко для замены быстроизнашивающегося элемента необходимо почти полностью разбирать систему, нарушая взаимосвязи узлов и деталей. Следовательно, серьезные конструктивные недостатки машин вызывают большие затраты рабочего времени и материальных ресурсов при их использовании потребителями.

3. Разработана методика моделирования управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности. Проанализированы существующие методы оценки ремонтпригодности технической системы и предложена усовершенствованная методика управления надежностью технических систем путем улучшения ее ремонтпригодности. Получен и введен показатель  $\varepsilon_r$ , названный фактором совершенства.

4. Поднимается вопрос проектной геометрии технической системы.

5. Технические системы будущего должны быть максимально приспособленными к условиям эксплуатации с минимальными издержками, оптимальной долговечностью, и ремонтпригодностью малозумными и безотказными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Wu-Lin Chen. System reliability analysis of retrieval machine repair systems with warm standbys and a single server of working breakdown and recovery policy. *System Engineering*. 2018;21:59–69. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/sys.21420>
2. Nikhil Dev, Samsher, S.S. Kachhwaha, Rajesh Attri. Development of reliability index for combined cycle power plant using graph theoretic approach. *Ain Shams Engineering Journal* (2014) 5, 193–203. [https://ac.els-cdn.com/S2090447913000968/1-s2.0-S2090447913000968-main.pdf?\\_tid=6aea2ee8-c9c3-4ae2-abd0-d550f637facd&acdnat=1538288547\\_37cf7ab6141ea3bec9453cfdd186ada2](https://ac.els-cdn.com/S2090447913000968/1-s2.0-S2090447913000968-main.pdf?_tid=6aea2ee8-c9c3-4ae2-abd0-d550f637facd&acdnat=1538288547_37cf7ab6141ea3bec9453cfdd186ada2)
3. Lei Liu, Xintian Liu, Xiaolan Wang, Yansong Wang, Chuanchang Li. Reliability analysis and evaluation of a brake system based on competing risk. *Journal of Engineering Research*. Vol. 5 No. (3) September 2017 pp. 150-161 <http://kuwaitjournals.org/jer/index.php/JER/article/view/1958>
4. Chen, T., Zheng, S.L., Luo, H.W., Liu, X.T. & Feng, J.Z. Reliability analysis of multiple causes of failure in presence of independent competing risks. *Quality and Reliability Engineering International* 32(2) 2016, pp. 363-372. <https://dissem.in/p/75697220/reliability-analysis-of-multiple-causes-of-failure-in-presence-of-independent-competing-risks-reliability-analysis-in-presence-of-independent-competing-risks>

5. Kubaev K.E., Butabaev M.Kh. Prediction of the reliability of structural elements of reclamation machines, taking into account their ability to rotate. Bulletin of agricultural science of Kazakhstan, 1975, №11, pp.10-17 c.(in Russ.)
6. Kubaev K.E. Features of the operation of machines in water construction. - Almaty, Kaynar, 1977, 144 p. (in Russ.)
7. Maintainability machines. // Ed. prof. N.P. Volkova.- M.: Mechanical Engineering, 1975.- 368 p. (in Russ.)
8. Reliability of machines and mechanisms [Electronic resource] / V.A. Cherkasov, B.A. Kaitukov, P.D. Kapyrin, V.I. Skel, M.A. Stepanov - M.: MISSU Publishing House - MGSU, 2017-273 p. (in Russ.) <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785726416519.html>
9. Solomkin A. P. Assessment of the machine's adaptability to maintenance. Works of GOSNITI, t.25, 1971. (in Russ.)
10. GOST 13377-75. Reliability in engineering. Terms and Definitions <http://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293833/4293833240.htm>(in Russ.)
11. Selivanov A.I. Fundamentals of the theory of aging machines. - M.: Mashinostroenie, 1971.-408 c. <https://lib-bkm.ru/13158>
12. Ivashchenko N.I., Tyutin V.A. Criteria for assessing the maintainability of automobiles. Automotive Industry, 1971, No. 8.– pp. 23-26(in Russ.)

УДК 620.22-022.532  
МРНТИ 31.15.35

## ФУНКЦИОНАЛИЗАЦИЯ И МОДИФИЦИРОВАНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА

КУДАЙБЕРГЕНОВА Р.М.<sup>2</sup>, СУГУРБЕКОВА Г.К.<sup>1</sup>, НУРЛЫБАЕВА А.Н.  
<sup>2</sup>КАНТАРБАЕВА С.М.<sup>2</sup>, БАЙБАЗАРОВА Э.А.<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Лаборатория преобразования материалов и прикладной физики,  
Национальная лаборатория Астана, Назарбаев Университет

<sup>2</sup>Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати

**Аннотация:** Графен может быть функционализирован различными группами атомов. В данной работе рассматривается наиболее изученный метод химической функционализации – окисление. В течение ряда лет постоянно совершенствуются различные методы синтеза графена, для обеспечения более безопасных и эффективных альтернатив. Хотя извлечение графена методом Хаммерса является одним из старейших методов, тем не менее, он является одним из наиболее подходящих методов для образования объемного графена. Графен может быть получен в виде восстановленного оксида графита, иногда также называемого оксидом графена. Эффективность этого процесса окисления можно оценить по величине отношения углерод/кислород полученного графена. В данной работе представлен синтез и физико-химический анализ ГО и ВГО. ГО был получен с использованием модифицированного метода Хаммерса, затем полученный ГО был подвергнут химическому восстановлению с использованием моногидрата гидразина. ГО и ВГО имели различную морфологию, качество, функциональные группы. Инфракрасный анализ показал наличие обильных кислородсодержащих функциональных групп в ГО по сравнению с ВГО. Результаты анализа показали, что ГО был успешно окислен из графита, тогда как ВГО был эффективно восстановлен из ГО.

**Ключевые слова:** оксид графена, восстановленный оксид графена, графит, ИК-спектроскопия

## ГРАФЕН НЕГІЗІНДЕГІ КӨМІРТЕКТІ НАНОМАТЕРИАЛДАРДЫ ФУНКЦИЯЛАНДЫРУ ЖӘНЕ МОДИФИЦИРЛЕУ

**Аңдатпа:** Графен әртүрлі атомдар тобымен функцияландырылады. Бұл жұмыста біз химиялық функцияландырудың ең көп зерттелген әдісі тотығу үрдісі қарастырылған. Бірнеше жылдар бойына графенді синтездеудің қауіпсіз және тиімді жолдарын анықтауға арналған ғылыми-зерттеу жұмыстары үнемі жетілдірілуде. Графенді Хаммерс әдісі бойынша синтездеу жолы ең алғашқы және ең тиімді әдістерінің бірі. Графен тотықсызданған графит оксиді түрінде синтезделді, кейде оны графен оксиді деп те атайды. Тотығу процесінің тиімділігін түзілген графеннің көміртек / оттегі қатынасы арқылы бағаланады. Бұл жұмыста ГО және ТГО синтезі мен физика-химиялық талдауы берілген. ГО модификацияланған Хаммерс әдісі бойынша синтезделді, түзілген ГО гидразин моногидратының көмегімен химиялық тотықсыздандырылды. ГО және ТГО морфологиясы, сапасы, функционалды топтарымен ерекшеленді. Инфрақызыл спектроскопиялық талдау нәтижелерінен ТГО-мен салыстырғанда, ГО-нің оттекті функционалды топтарының көптігі айқындалды. Кейбір физика - химиялық талдау қорытындысынан, графит ГО-не сәтті тотығып, ал алынған ГО тиімді тотықсыздандырылып ТГО түзілгені анықталды.

**Түйінді сөздер:** графен оксиді, тотықсызданған графен оксиді, графит, ИҚ спектроскопиясы

## FUNCTIONALIZATION AND MODIFICATION OF CARBON NANOMATERIALS BASED ON GRAPHENE

**Abstract:** Graphene can be functionalized by various groups of atoms. In this paper, we will consider the most studied method of chemical functionalization - oxidation. Various graphene synthesis methods have been continuously improved over the years to provide safer and more effective alternatives. Although Hammers extraction of graphene is one of the oldest methods, it is nevertheless one of the most suitable methods for the formation of bulk graphene. Graphene can be obtained as reduced graphite oxide, sometimes also called graphene oxide. The efficiency of this oxidation process can be estimated by the carbon / oxygen ratio of the obtained graphene. In this paper, the synthesis and physicochemical analysis of GO and RGO are given. GO was obtained using the modified Hammers method, then the obtained GO was chemically reduced using hydrazine monohydrate. GO and RGO had different morphology, quality, functionalized groups. Infrared analysis showed the presence of abundant oxygen-containing functional groups in GO compared with RGO. The results of the analysis showed that GO was successfully oxidized from graphite, while RGO was effectively reduced from GO.

**Key words:** graphene oxide, reduced graphene oxide, graphite, IR spectroscopy

### Введение

Большой интерес к изучению функциональных свойств оксида графена, обусловлен тем, что он является перспективным материалом для многих отраслей промышленности, имеет высокий коммерческий потенциал, выступает в качестве сырья для получения самого графена. Оксид графена, представляющий собой случайным образом распределенные по поверхности подложки небольшие островки графена с  $sp^2$ -гибридизированными связями, окруженные обширными областями с  $sp^3$ -связями, функционализированные кислородосодержащими группами (эпоксидные, гидроксильные, карбонильные и карбоксильные) [1]. Для широкого использования оксида графена требуется, в том числе и проведение его восстановления до графена [2,3]. Термообработка является одним из эффективных способов восстановления оксида графена, в результате которой удастся значительно снизить содержание кислородосодержащих групп в оксиде графена и дает возможность управления шириной запрещенной зоны в широком энергетическом интервале от ближнего ультрафиолетового до инфракрасного диапазона [3]. Несмотря на значительные успехи в развитии методов получения графена и оксида графена, достигнутые в последние годы, создание технологии вос-

производимого формирования материала на различных подложках по-прежнему остается нерешенной задачей. Технологические ограничения имеющихся методов получения графена или не позволяют получать одиночные слои углеродных атомов большой площади [4], или приводят к образованию материала с мозаичной структурой, состоящей из взаимно развернутых мелких (около 20–30 nm) фрагментов [5]. Одним из перспективных способов получения графена, позволяющего преодолеть указанные ограничения, является метод химического расщепления природного или пиролитического графита, который уже содержит в своей структуре графеновые листы [6]. Возможность применения подобного расщепления определяется способностью графита к интеркаливанию. Этот процесс приводит к увеличению расстояния между графеновыми слоями в структуре графита и в дальнейшем к его окислению. Наиболее распространенным методом химического расщепления графита является его окисление в жидкой среде с помощью перманганата калия, приводящее к образованию оксида графита [7]. Оксид графита (гидроокись графита, графитовая кислота) не имеет постоянного состава, и при максимальной степени окисления его брутто-формула может варьировать в

пределах от  $C_2O$  до  $COH$ , т.е. представляет собой  $(C_{20})_x(COH)_{x-1}$ , где  $0 < x < 1$ . Оксид графита состоит из стопок окисленных графеновых листов, по обе стороны и по краям которых находятся кислородсодержащие группы. Действие ультразвуковой обработки на оксид графита приводит к образованию оксида графена [8]. Оксид графена образует устойчивые дисперсии в гидрофильных растворителях, легко восстанавливается, частично теряя кислородсодержащие группы при нагреве, интенсивном освещении или при действии химических восстановителей. В результате восстановления оксида графена образуется графен. Это обстоятельство открывает возможность получения графеновых пленок на любых смачиваемых водой подложках путем осаждения пленок оксида графена из водных суспензий и последующего восстановления. Следует отметить, что опубликованные результаты исследований, выполненных в целом ряде работ [9,10], указывают на наличие существенных ограничений, препятствующих созданию технологии получения графена по выше обсуждаемой технологии. Важным препятствием для воспроизводимого получения графена является неоднородность синтезируемого оксида графена. Для решения данной задачи необходимо обеспечить условия предельного окисления графита и контроля образования в чешуйках оксида графена многочисленных дефектов углеродного слоя, связанных со сменой гибридизации углерода с  $sp^2$  на  $sp^3$  при взаимодействии с кислородом [9]. Следовательно, указанные обстоятельства существенным образом ограничивают возможности использования оксида графита при получении графена для структур электронных приборов [11]. В настоящее время оксид графена получают окислением графита известными хорошо отработанными методами: Броди [11], Штауденмайера [12] и Хаммерса [13], причем последний способ и его модификации являются наиболее распространенными. Обсуждаемые методы позволяют получать образцы оксида графена с различными физическими параметрами из-за различных концентраций дефектов.

ГО и ВГО имеют разные свойства по сравнению с графитом и графеном. ГО является оксидной формой графена [14], где кислород вводится в графен посредством химического окисления. Кроме того, ГО описывается как сильно оксигенированный, с присутствием многих кислородсодержащих функциональных групп, таких как эпоксидные, гидроксильные, карбонильные и карбоксильные группы в его основной плоскости [15]. Таким образом, при наличии этих функциональных групп ГО становится гидрофильным, что обеспечивает лучшее межфазное взаимодействие с полярными полимерными матрицами для улучшения механических и электрических свойств для различных применений. Однако функционализация кислорода на ГО снижает электропроводность, и поэтому ГО становится менее предпочтительным для проводящих композитов на основе полимеров. ВГО содержит меньшее количество функционализированных кислородом групп по сравнению с ГО, которые могут быть синтезированы при химическом и термическом восстановлении. Однако термическое восстановление требует больших затрат, так как восстановление проводится при высоких температурах, поэтому химическое восстановление является предпочтительным для большинства исследователей [15].

В этой статье мы продемонстрировали синтез ГО и ВГО и их некоторые физико-химические исследования.

Целью данной работы является получение образцов оксида графена и восстановленного оксида графена и характеристика комплексом методов физико-химического анализа. Для достижения этой цели поставлены следующие задачи: 1) получение ГО и ВГО; 2) изучить некоторые физико-химические свойства полученных ГО и ВГО.

### Экспериментальная часть

**Методика получения оксида графена.** Оксид графена был приготовлен с помощью модифицированного метода Хаммерса.  $NaNO_3$  (0,5 г) растворили в  $H_2SO_4$  (23 мл) с помощью интенсивного перемешивания.

Затем добавляли графитовый порошок (1 г) в раствор  $\text{NaNO}_3$  в  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , охлаждая при этом в ледяной бане. После тщательного перемешивания медленно добавляли  $\text{KMnO}_4$  (3 г) в раствор в течение 30 мин., поддерживая температуру раствора ниже  $40^\circ\text{C}$ . Далее проводили реакцию окисления при энергичном перемешивании при  $35^\circ\text{C}$  в течение 12 ч, что приводит к образованию вязкой суспензии. К полученной суспензии медленно приливали деионизированную воду (46 мл), при этом сохраняя температуру раствора ниже  $20^\circ\text{C}$  с использованием ледяной бани. После этого, интенсивно перемешивая, приливали в раствор следующую порцию деионизированной воды (140 мл) и медленно каплями добавляли  $\text{H}_2\text{O}_2$  (2,5 мл) до выделения пузырьков газа. Полученный желтовато-коричневый раствор оксида графита промывали 10% раствором  $\text{HCl}$  и деионизированной водой до достижения pH раствора равным 7. Затем этот раствор подвергали ультразвуковой обработке в течение 30 мин до расслаивания оксида графита в оксид графена (GO). В результате полученный раствор центрифугировали при 3500 об/мин в течение 40 мин. Приготовленный раствор оксида графена (GO) выдерживали в вакуумной печи.

### Получение восстановленного оксида графена

Коллоидную суспензию оксида графена в деионизированной воде (3 мг/мл) получали с помощью ультразвуковой ванны (Fisherbrand 11201) в течение 3-х часов. Затем к суспензии добавляли моногидрат гидразина (98%, Sigma Aldrich) (3 мг ГО на 1  $\mu\text{l}$ ). Полученный раствор перемешивали с помощью механической мешалки при  $80^\circ\text{C}$  в течение 12 часов и это привело к осаждению черного порошка восстановленного оксида графена. После охлаждения до комнатной температуры порошок фильтровали через фильтр со стеклянным фильтром (средний размер пор) с последующей сушкой при  $150^\circ\text{C}$  в течение 10 часов.

Листы восстановленного оксида графена (ВГО), в отличие от листов оксида графена, являются гидрофобными с ограниченной

водной диспергируемостью и легко образуют необратимые агломераты для образования графена в водных растворах. Превосходная диспергируемость ГО по сравнению с ВГО обусловлена присутствием ионизируемых кислотных групп в ГО. Как в листах ГО, так и в ВГО ионизация карбоксильных групп в первую очередь ответственна за накопленный заряд, но на листах ГО присутствие фенольных и гидроксильных групп в непосредственной близости от карбоксильных групп стабилизирует карбоксилат-анион, что дает превосходную диспергируемость в воде.

Стабильность водных дисперсий (14 суток) показывает, что дисперсии электростатически стабилизируются за счет накопления заряда, возникающего либо вследствие протонирования функциональных групп, присутствующих на закрепленных полостях, либо ионизации гидроксильных групп.

Наблюдаемая диспергируемость в воде означает, что наличие гидроксильных групп остается привязанными к листам ВГО и доступно для включения неполярных молекул. Кроме того, плоские молекулы могут прилипать к гидрофобным  $\text{sp}^2$ -пластырям на листах ВГО.

Таким образом, наличие функциональных групп на поверхности листов ВГО позволяет модифицировать поверхность и дополнительно увеличить гидрофобность, используя гидрофобизирующие вещества в одном диспергируемом в воде материале, что однозначно подтверждается данными ИК-спектроскопии. На рисунке 1 представлен ИК-спектр оксида графена, полученный с помощью метода Хаммерса.

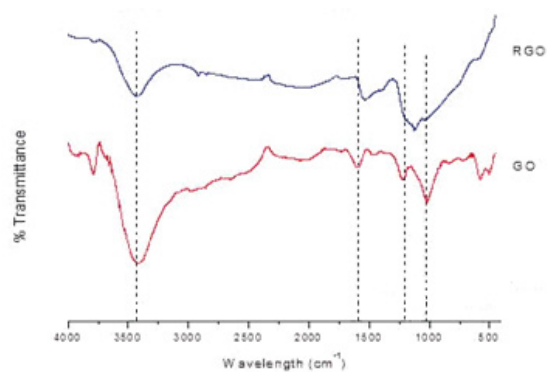


Рис. 1 – ИК-спектр оксида графена

Согласно имеющимся в литературе данным [14-16], полосы поглощения в диапазоне волновых чисел  $3000 - 3500 \text{ см}^{-1}$  можно приписать валентным колебаниям связей О–Н.

Полосу поглощения при  $870 \text{ см}^{-1}$  в ИК-спектре оксида графена фиксировали также и другие авторы (см., например, работу [18])

и эта полоса характерна для внеплоскостных колебаний С–Н группы в ароматическом кольце. Полосу поглощения при  $1571 \text{ см}^{-1}$  скорее всего можно отнести к деформационным колебаниям С–О связей. Однако отнесение этой полосы поглощения в литературе обнаружено не было (таблица 1).

**Таблица 1 – Отнесение полос ИК спектров оксида графена**

| Частота, $\text{см}^{-1}$ | Связь/функциональная группа                                                                 | Ссылка           |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 3381                      | Валентные колебания О–Н связей                                                              | [14-15], [20-22] |
| 1644                      | Валентные колебания С=О– карбонильной группы, деформационные колебания $\text{H}_2\text{O}$ | [17], [22,23]    |
| 1145                      | С–ОН карбоксильная группа                                                                   | [19], [21, 22]   |
| 1028                      | Валентные колебания С–О связей                                                              | [18], [21, 22]   |
| 870                       | С–Н связи ароматического кольца                                                             | [17], [20, 22]   |
| 571                       | Деформационные колебания С–О связей                                                         |                  |

## Результаты

**Характеризация синтезированного ГО и ВГО.** Нами синтезированы листы оксида графена по модифицированному методу Хаммерса и проведена характеристика материала с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭРС).

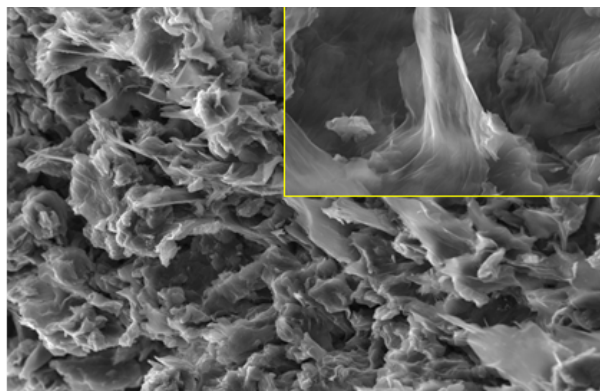
Оксид графена был анализирован с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭРС) для определения элементного состава. На рисунке 3 в и г изображены результаты ЭРС анализа, а на рисунках 3а и б показана морфология оксида графена до и после восстановления, исследованные с помощью СЭМ. На СЭМ-изображениях четко видны двумерные (2D) слои графеновых оксидов. Как и ожидалось размер листов оксида графена варьировался в диапазоне 2-10 мкм. В дальнейшем листы графена использовались с целью получения супергидрофобного маг-

нитного материала для разделения нефти и воды.

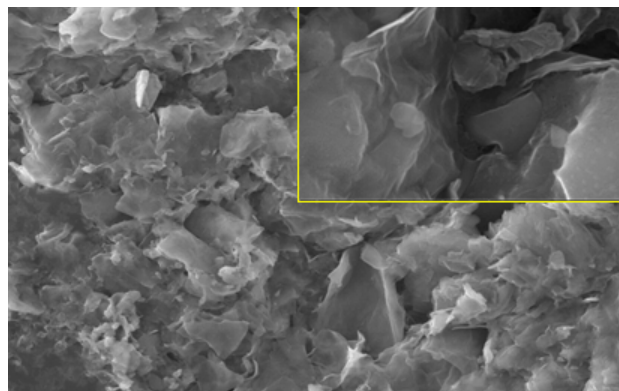
По результатам ЭРС анализа оксида графена и восстановленного оксида графена можно заметить, что при восстановлении оксида графена с моногидратом гидразина элементы Na и Si были полностью восстановлены. Содержание углерода в восстановленном оксиде графена увеличилось, а кислород уменьшился.

Коммерчески доступный оксид графена американской фирмы GrapheneSupermarket [23] содержит 79% углерода и 20% кислорода. Оставшийся 1% скорее всего принадлежит водороду. Полученные по модифицированному методу Хаммерса свежие образцы оксида графена содержали 55,10% углерода и 40,81% кислорода [24]. Если просуммировать эти данные, то сумма получается менее 100%.

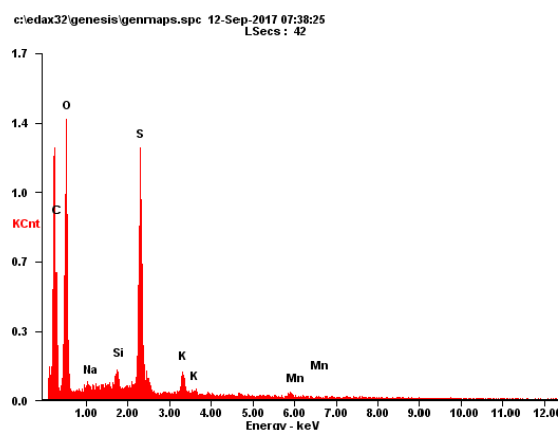
Это связано с тем, что в реальном образце



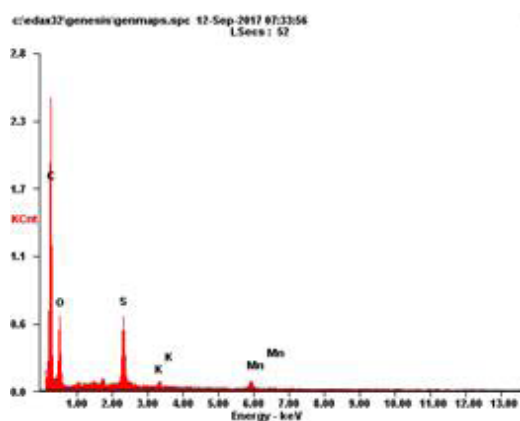
**3А** – СЭМ-изображения оксида графена



**3Б** – Восстановленный оксид графена



**3В** – Результаты ЭРС анализа оксида графена



**3Г** – Восстановленный оксид графена

остаются технологические примеси, которые трудно удалить в процессе промывки дистиллированной водой, поскольку такие примеси могут находиться в закрытых порах оксида графита.

Однако после расслоения оксида графена и последующего центрифугирования можно путем ряда последовательных осадений получить более чистый материал. Анализ представленных данных позволяет сделать заключение, что состав оксидов графита, графена, а также восстановленного оксида графена являются переменными, зависящими от многих факторов. По этой причине элементный состав необходимо знать для каждой партии, которую предполагается использовать в технологической цепочке.

### Заключение

В заключение необходимо отметить, что ГО и ВГО были успешно получены. ГО был получен с использованием модифицированного метода Хаммера и с использованием моногидратагидразина ГО был восстановлен до ВГО. Сравнения результатов СЭМ и ЭРС между ГО и ВГО показали, что ГО и ВГО были успешно синтезированы. На изображениях СЭМ ГО и ВГО показали отличительные морфологии. Эти уникальные свойства, которыми обладают графит, ГО и ВГО, могут открыть возможности для удовлетворения потребностей в различных областях применения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Singh V., Joung D., Zhai L. // Graphene Based Materials: Past, Present and Future. *Progress in Material Science*. 2011. V. 56. P. 1178.
2. Pei S. // The Reduction of Graphene Oxide. *Carbon*. 2012. V. 50. P. 3210.
3. Stankovich S., Dikin D., Piner R.D. et al. // Synthesis of graphene based nanosheets via chemical reduction exfoliated graphite oxide. *Carbon*. 2007. V. 45. P. 1558.
4. Allen M.J., Tung V.C., Kaner R.B. // Honeycomb carbon: A review of graphene. *Chemical Reviews* 2010. V. 110. N LP.132.
5. Bae S., Kim H., Lee Y. // Roll-to-roll production of 30-inch graphene films for transparent electrodes. *Nature Nanotechnology* 2010. V. 5. N 8. P. 574–578.
6. Novoselov K., Fal V., Colombo L. Gellert P. // A roadmap for graphene. *Nature*. 2012. V. 490. N 7419. P. 192–200.
7. Offeman R., Hummers W. // Preparation of Graphitic Oxide. *Journal of the American Chemical Society* 1958. V. 80. P. 1339–1339.
8. Bao Q., Eda G., Chhowalla M. // Graphene oxide as a chemically tunable platform for optical applications. *Nature Chemistry* 2010. V. 2. N 12. P. 1015–1024.
9. Park S., Ruoff R.S. // Chemical Methods for the Production of Graphenes. *Nature Nanotechnology* 2009. Vol. 4. N 4. P. 217–224.
10. Chen W., Yan L. // Preparation of graphene by a low-temperature thermal reduction at atmosphere pressure. *Nanoscale*. 2010. V. 2. P. 559.
11. Eda G., Fanchini G., Chhowalla M. // Large-area ultrathin films of reduced graphene oxide as a transparent and flexible electronic material. *Nat. Nanotechnol.* 2008. V. 3. N 5. P. 270–274.
12. Soldano C., Mahmood A., Dujardin E. // Production, properties and potential of graphene. *Carbon*. 2010. V. 48. N 8. P. 2127–2150.
13. Brodie B.C. // Sur le poids atomique du graphite. *Ann. Chim. Phys.* 1860. V. 59. P. 466–472.
14. Si Y., Samulski E. T. // Synthesis of water soluble graphene. *Nano Lett.* - 2008. - V. 8. - P. 1679–1682.
15. Jeong, Hae-Kyung // Thermal stability of graphite oxide . *Chem. Phys. Lett.* - 2009. - V. 470.- P. 255–258.
16. Karthika P., Rajalakshmi N., Dhathathreyan K. S. // Functionalized exfoliated graphene oxide as supercapacitor electrodes . *Soft Nanosci. Lett.* - 2012. - V. 2. - P. 59–66.
17. Galande Ch., Mohite A. D., Naumov A. V., Gao W., Ci L., Ajayan A., Gao H., Srivastava A., Weisman R. B., Ajayan P. M. // Quasi-molecular fluorescence from graphene oxide. *Sci. Rep.* - 2011. - V. 1 - P. 85
18. Min Fu, Qingze Jiao, Yun Zhao, Hansheng Li // Vapor diffusion synthesis of CoFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> hollow sphere/graphene composites as absorbing materials. *J. Mater. Chem. A.* - 2014. - V. 2. - P. 735–744.
19. Беллами Л. Дж. Инфракрасные спектры сложных молекул. Пер. с англ. / Под ред. Ю. А. Пентина. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1963. – 592 с
20. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений: Пер с англ. - М.: Мир., 1991. – 536 с.
21. Joseph B. Lambert // Introduction to Organic Spectroscopy. New York : Macmillan, 1987.
22. D. P. Savitskyi, A. S. Makarov // Preparation of a colloidal graphene oxide solution from natural coal. *Nac. akad. nauk Ukr.*, 2016, № 6.
23. Dispersion in water: Single layer graphene oxide. URL: <https://graphene-supermarket.com/Dispersion-in-Water-single-Layer-Graphene-Oxide-175-ml.html>

24. Шульга Ю.М., Баскаков С.А., Дремова Н.Н., Шульга Н.Ю., Скрылева Е.А. // Расслоение и восстановление оксида графита при микроволновом нагреве. Фундаментальная и прикладная физика. – 2012. – № 1. – С. 7-10.

УДК 330.88 (045)  
МРНТИ 20.51.17

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ЧАТ-БОТ КАК ПРОСТОЙ И УДОБНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

САГИТОВА Г.К., МУХАМЕДЖАНОВА Г.С.

АО «Университет Нархоз»

**Аннотация:** В статье рассматривается один из наиболее удобных способов быстрого и качественного получения необходимой информации посредством диалога пользователя с чат-ботом. В данной статье авторы описали концептуальную схему работы чат-бота «АлмаТека». Рассматриваются платформы и сервисы для их создания и интеграции с мессенджерами и приложениями. Разработана программа чат-бота «АлмаТека» на базе внешнего API. Разработанный алгоритм позволяет мгновенно вести поиск и отвечать на релевантные вопросы из базы знаний. Описанная процедура сортировки ответов, удовлетворяющих пользователя на его запрос, включает в себя поиск по тематике, поиск по максимальному совпадению слов в вопросах, поиск по контактными данным. Это позволило упростить ежедневные рутинные задачи, такие как получение информации об услугах КСК, о контактных данных работников, о тарифах на услуги, о правах и обязанностях членов кондоминиума. Главным достоинством чат-бота «АлмаТека» является возможность совмещения всех функций на платформе одного мессенджера. Авторы, исследовав рынок использования чат-ботов в Казахстане, пришли к выводу, что виртуальные помощники (чат-боты) пользуются большим спросом и в современном интернет маркетинге. Онлайн консультанты есть на многих сайтах, в мессенджерах, а в особенности: в интернет магазинах и площадках по предоставлению какого-либо рода услуг. Их главной задачей является предоставление основной информации посетителям. В этой статье авторы представили механизм функционирования чат-ботов, алгоритм их создания и постарались ответить на вопрос: для чего они нужны бизнесу?

**Ключевые слова:** информация, мессенджер, телеграмм, бот, приложение, диалог, Интернет, учебные занятия

## АҚПАРАТ АЛУДЫҢ ОҢАЙ ЖӘНЕ ЫҢҒАЙЛЫ ТӘСІЛІ РЕТІНДЕ ЧАТ-БОТ ҚҰРАСТЫРУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ

**Аңдатпа:** Мақалада чат-бот «Алматек» арқылы пайдаланушыларға диалог жүргізу, қажетті ақпаратты тез және дәл алудың ең ыңғайлы әдістері қарастырылады. Бұл мақалада авторлар чат-бот «АлмаТека» жұмысының тұжырымдамалық схемасын сипаттады. Оларды құру және мессенджерлер мен қосымшалармен интеграциялау үшін платформалар мен сервистер көрсетілген. Сыртқы API базасында чат-бот «АлмаТека» бағдарламасы жасалды. Әзірленген алгоритм білім қорынан қажетті сұрақтарға жедел жауап іздеуге және мәселелерді шешуге мүмкіндік береді. Пайдаланушының сұрауына қанағаттандыратын жауаптарды сұрыптаудың сипатталған рәсімі тақырып бойынша іздеуді, сұрақтардағы сөздердің барынша сәйкес келуі бойынша іздеуді, байланыс деректері бойынша іздеуді қамтиды. Бұл ЖКХ қызметтері туралы, қызметкерлердің байланыс деректері туралы, қызметтер тарифтері туралы, кондоминиум мүшелерінің құқықтары мен міндеттері туралы ақпарат алу сияқты күнделікті күрделі міндеттерді жеңілдетуге болады. Чат-бот «АлмаТека» басты

артықшылығы бір мессенджер платформасында барлық функцияларды біріктіру мүмкіндігі болып табылады. Авторлар Қазақстандағы чат-боттарды пайдалану нарығын зерттей отырып, виртуалды көмеңшілер (чат-боттар) қазіргі заманғы интернет маркетингте де үлкен сұранысқа ие деген қорытындыға келді. Онлайн кеңесшілер көптеген сайттарда, мессенджерлерде, әсіресе: интернет дүкендерде және қандай да бір қызмет түрлерін ұсыну алаңдарында бар. Олардың басты міндеті келушілерге негізгі ақпарат беру болып табылады. Бұл мақалада авторлар чат-боттардың жұмыс істеу механизмін, оларды құру алгоритмін қарастырады.

**Түйінді сөздер:** ақпарат, мессенджер, телеграмм, бот, қосымша, диалог, Интернет, оқу сабақтары

## PROSPECTS AND FEATURES OF THE DEVELOPMENT CHAT-BOT AS A SIMPLE AND CONVENIENT METHOD OF OBTAINING INFORMATION

**Abstract:** the article discusses one of the most convenient ways to quickly and efficiently obtain the necessary information through the user's dialogue with the chatbot. In this article, the authors describe the conceptual scheme of the chat-bot "Almateka". Platforms and services for their creation and integration with messengers and applications are considered. Developed program chat bot "Almateka" based on the external API. The developed algorithm allows you to instantly search and answer relevant questions from the knowledge base. The described procedure for sorting answers that satisfy the user to his request, includes search by subject, search for the maximum match of words in questions, search by contact information. This made it possible to simplify daily routine tasks, such as obtaining information about KSK services, contact details of employees, tariffs for services, the rights and obligations of condominium members. The main advantage of chat-bot "Almatea" is the possibility of combining all functions on one platform messenger. The authors, having studied the market of using chatbots in Kazakhstan, came to the conclusion that virtual assistants (chatbots) are in great demand in modern Kazakhstan Internet marketing. Online consultants are on many sites, messengers, and especially in online stores and sites to provide any kind of services. Their main task is to provide basic information to visitors. In this article, the authors presented the mechanism of functioning of chatbots, the algorithm of their creation and tried to answer the question: – why do business need them?

**Key words:** information, messenger, telegram, bot, application, dialogue, Internet, training sessions

Казахстанские бизнес-сообщества в последние годы стали активно внедрять чат-боты в качестве коммуникации с пользователями сети Интернет. Благодаря данному инструменту, появилась возможность в режиме online быстро получать бизнес-предложения в производственной сфере и сфере услуг. В основу быстрого распространения чат-ботов легли использование мессенджеров и социальных сетей (например, Telegram, Viber, Facebook, ВКонтакте). У пользователей социальных сетей большую симпатию вызвала че-

ловеческая модель поведения работы чат-ботов.

Чат-ботами называют специальные программы, которые осуществляют имитацию человеческого общения, посредством текста или голоса. Таким образом, они ведут диалог с пользователем (несколькими пользователями), используя искусственный интеллект, выполняя их требования, отвечая на запросы или развлекая своими ответами. Современные инструменты создания чат-ботов позволяют им выступать в роли виртуального собеседника,

показывая высокую интеллектуальность: повторяют и воспроизводят письменный набор знаков человека, предоставляют ответ на заданные действия [1].

Эти функционалы чат-ботов привлекли и бизнес-структуры. Многие компании увидели в них возможность продвижения своего бизнеса. Их активное действие на казахстанском рынке началось с 2016 года. Пользователи мобильных приложений выполняют задачи, не выходя из мессенджера, и использование чат-ботов помогают им в этом. По статистическим данным в мире с 2016 года число пользователей мобильных приложений составило 1,58 миллиарда человек. По прогнозам, к 2021 году эта цифра возрастет до 2,48 млрд. человек (рисунок 1).

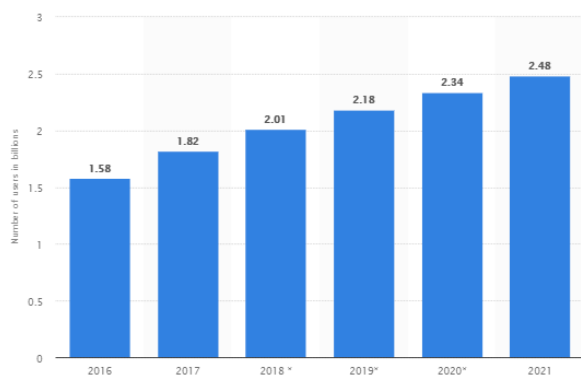


Рис. 1 – Количество пользователей мобильного приложения для обмена сообщениями по всему миру с 2016 по 2021 год (в миллиардах)

Возрастание количества пользователей мобильных приложений привело к росту чат-ботов в бизнесе. Такие чат-боты наде-

лены современными техническими и функциональными параметрами, что превратило человеко-машинное взаимодействие в иллюзию реального человеческого общения. Определению чат-бот повлияли английские слова, которые обозначают: «to chat» – непринужденный разговор в сети Интернет, «bot» (robot) – сокращенно робот, из которых следует, что это инструменты, осуществляющие коммуникации с пользователями по определенному сценарию.

Чат-боты выступили каналом продвижения и частью рекламной кампании как для крупных брендов, так и для стартапов.

Интерфейс чат-ботов достаточно понятен и прост. Алгоритм их работы строится на основе заранее загруженных шаблонов, запоминании слов, введенных самим пользователем, и ответа на соответствующий запрос.

Работа чат-ботов начинается с приема сообщения и его семантического анализа. Таким образом он находит с помощью методов API уведомление о новом сообщении, получает из него необходимую информацию, в основном такую как ID-пользователя и текст сообщения, отправляет запрос на поиск нужной информации в базу данных, генерирует ответ и отправляет его обратно на сервер социальной сети.

Чат-боты создаются по определенному алгоритму, поэтому они отвечают только на фиксированные фразы. В них функция самообучения пока не реализована.

Концептуальная схема работы чат-бота представлена на рисунке 2.

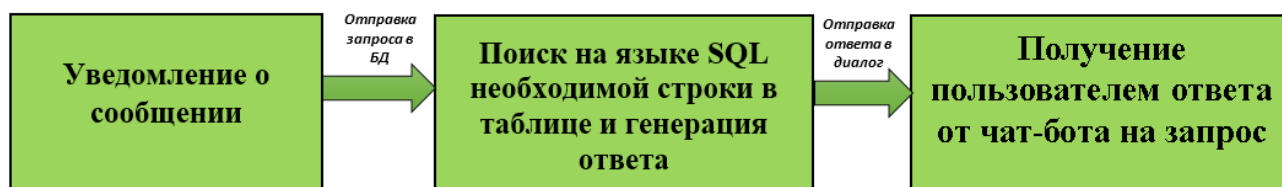


Рис. 2 – Алгоритм работы чат-бота

В алгоритме работы чат-бота невозможно предусмотреть все вероятные вопросы и ответы при общении с реальным пользователем, поэтому необходимо курирование бота

разработчиком. Функциональный блок разработки требует выбора определенного языка программирования. Среди разработчиков наиболее популярными являются языки про-

граммирования: Java Script, PHP, Python, C++, C# [2].

В настоящее время в сети появляются всевозможные конструкторы, с помощью которых заказчик сам может создать консультанта с функциями вопрос-ответ. На сегодняшний день мессенджеры являются самыми популярными программами для общения в социальных сетях.

Telegram Бот – это программа, которая взаимодействует с приложением пользователя через API (англ. application programming interface), получает от него данные и запросы и преобразует их в полезную для него информацию. Для создания бота следует воспользоваться услугами встроенного помощника – бота «BotFather», который необходим для регистрации бота в «Telegram». Кроме того, с помощью него возможно добавить описание, вставить аватар, изменить ключ для получения и отправления сообщений при помощи BotAPI.

Исследовав рынок использования чат-ботов в Казахстане, авторы пришли к выводу, что чат-боты решают множество разных задач (развлечения, простое общение, медицинские консультации, кулинарные услуги, создание контекстной рекламы, распознавание речевой тональности и как апогея – решения сложных задач, ориентированных на поддержку клиен-

Некоторые чат-боты могут использовать данные, находящиеся в открытой печати, остальные используют данные конкретных компаний или данные, предоставляемые только по лицензии. Поэтому, важно определить кто несет ответственность за предоставленную информацию. Т.е. от наполняемости информации и функциональной работы чат-бота, а также от диалога с пользователем на правовой основе зависит создание виртуального объекта. Это дает возможность в будущем расширить сферу использования чат-ботов в образовании, экономике, науке.

Широкое распространение среди программно-технических средств в мессенджерах получили мобильные коммуникационные устройства с установленным программным обеспечением в среде Интернет Microsoft Bot Framework.

Для создания чат-бота в мессенджере «Telegram» необходимо произвести регистрацию. Это выполняется с помощью кнопки «Start Messaging». Далее в предложенном списке стран необходимо выбрать «Казахстан», ввести номер своего мобильного телефона, игнорируя код и нажать на флажок «V» в верхнем правом углу. В ответ вы получите СМС-сообщения с уникальным кодом доступа. После ввода кода необходимо нажать на кнопку «V» (рисунки 3) [3].

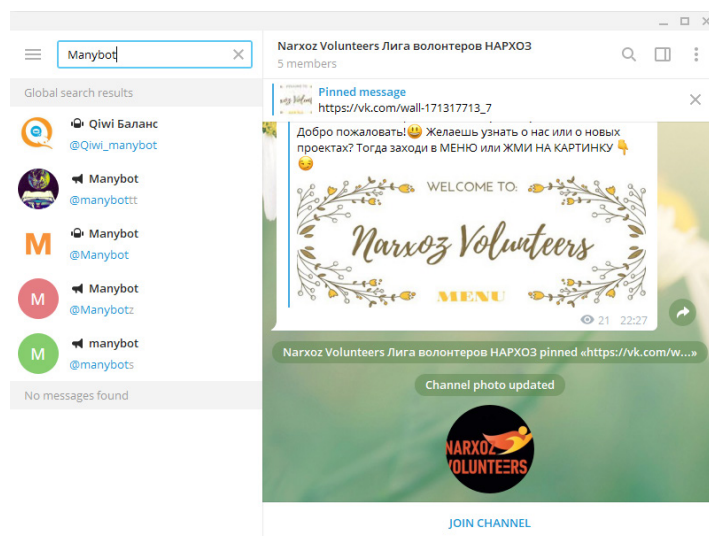


Рис. 3 – Окно регистрации

Для добавления нового бота имеется кнопка «Добавить». Каждый бот в мессенджере «Telegram» начинает свою работу с конкретным пользователем по инициативе самого пользователя. Для того, чтобы начать

работу с ботом, необходимо ввести его имя (например, АлмаТека) в поисковую строку в «Telegram» и написать команду /start. Переходим в @BotFather, нажимаем кнопку Start и вводим команду/newbot (рисунок 4).

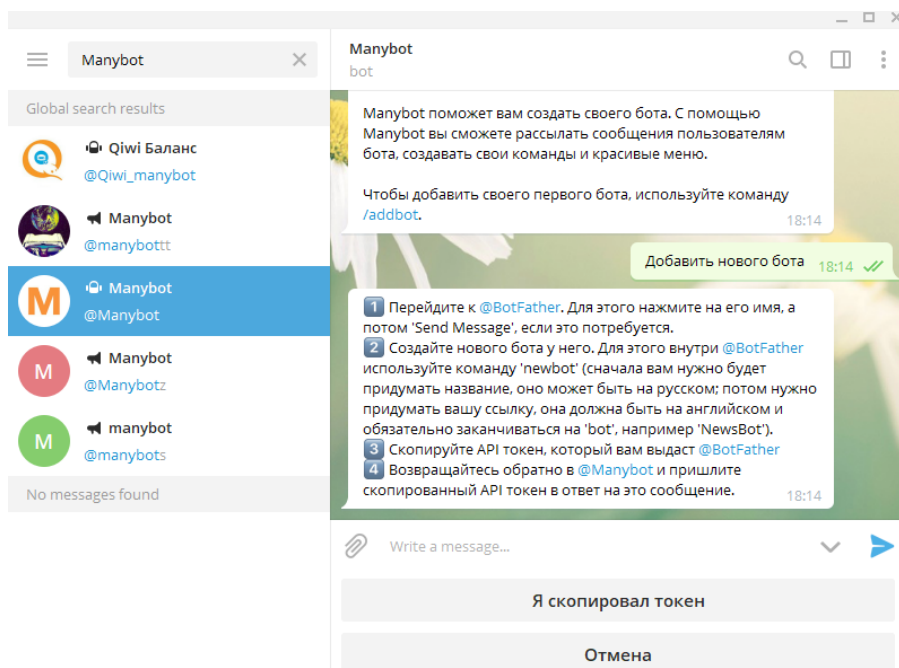


Рис. 4 – Фрагмент добавления нового бота в мессенджере «Telegram»

Вводим имя бота, которое будет отображаться при поиске и техническое имя бота,

копируем полученный API-токен (рисунок 5).

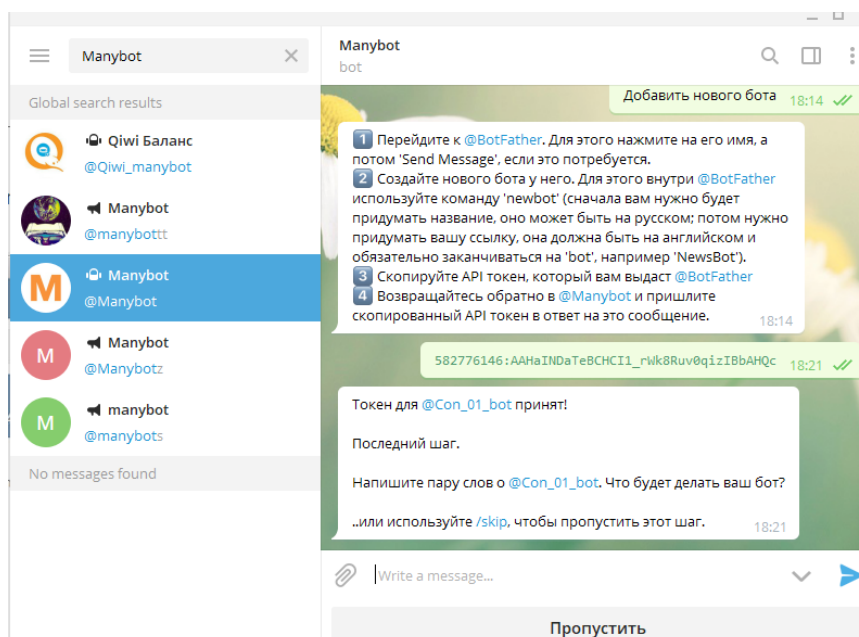


Рис. 5 – Фрагмент получения API-токен

Далее необходимо произвести операцию привязывания базы данных к чат-боту. Мы создали чат-бот с названием «АлмаТека» для

общения квартиросъемщиков с работниками КСК (рисунок 6).

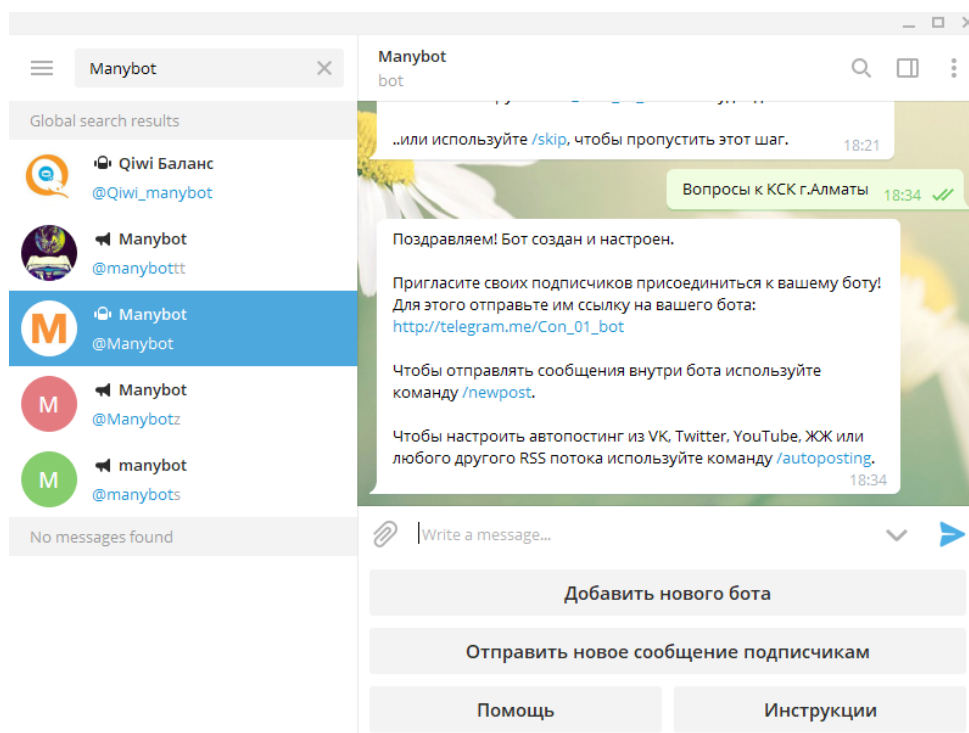


Рис. 6 – Фрагмент создания чат-бота «АлмаТека»

Таким образом, авторами выявлено, что главными преимуществами создания чат-ботов являются: сокращение времени работы сотрудников, круглосуточная работа с клиентами, сокращение финансовых средств на создание программного обеспечения, умень-

шение расходов на рекламу, интенсивное привлечение клиентов посредством доставки полезной информации, рекомендации нужных статей, получение мгновенного отклика, сокращение времени ожидания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тугушева Н.А. Использование чат-ботов в различных сферах повседневной жизни // Молодой ученый. – 2017. – №21. – С. 36-39. – URL: <https://moluch.ru/archive/155/43920/> (дата обращения: 22.05.2019).
2. Смыслова Л.В. Чат-бот как современное средство интернет-коммуникаций // Молодой ученый. – 2018. – №9. – С. 36-39. – URL: <https://moluch.ru/archive/195/48623/> (дата обращения: 06.05.2019).
3. Морказашвили Д. Разработка чат-ботов и автоворонок продаж через мессенджеры – URL: <https://vc.ru/social/53517-razrabotka-chat-botov-i-avtovoronok-prodazh-cherez-messendzhery> (дата обращения: 22.05.2019).

УДК 004.853  
МРНТИ 28.23.24

## РЕАЛИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

УВАЛИЕВА И.М., ИСМУХАМЕДОВА А.М.

*Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева*

**Аннотация:** В статье представлено описание и применение метода кластеризации K-means для задачи анализа медицинских показателей. Описаны результаты экспериментального исследования применения инструментального средства реализации интеллектуального анализа данных при диагностике заболеваний щитовидной железы. Метод кластеризации является одним из наиболее эффективных методов при анализе данных с четкой и скрытой зависимостью.

**Ключевые слова:** кластерный анализ данных, k-means, обработка данных, анализа медицинских показателей, система поддержки принятия решений, интеллектуального анализ

## IMPLEMENTATION OF INTELLECTUAL ANALYSIS OF THYROID GLAND INDICATORS

**Abstract:** The article describes and applies the K-means clustering method to the problem of analyzing medical indicators. The results of an experimental study of the use of the tool for data mining in the diagnosis of thyroid diseases are described. The clustering method is one of the most effective methods for analyzing data with clear and hidden dependencies.

**Key words:** cluster data analysis, k-means, data processing, analysis of medical indicators, decision support system, intellectual analysis

## ҚАЛҚАНША БЕЗ КӨРСЕТКІШТЕРІНЕ ЗИЯТКЕРЛІК ТАЛДАУ ЖАСАУ

**Аңдатпа:** Мақалада медициналық көрсеткіштерді талдау міндеті үшін K-means кластерлеу әдісінің сипаттамасы және қолданысы туралы айтылады. Қалқанша безінің ауруларын диагностикалау кезінде деректерді зияткерлік талдауды жүзеге асырудың аспаптық құралын қолдануды эксперименттік зерттеу нәтижелері сипатталған. Кластерлеу әдісі нақты және жасырын тәуелді деректерді талдау кезінде ең тиімді әдістердің бірі болып табылады. Еңбекте қалқанша безінің ауруларын диагностикалауда шешім қабылдауды қолдау жүйесі үшін K-means кластеризациялау негізінде мысал келтірілген.

**Түйінді сөздер:** кластерлік деректерді талдау, k-means, деректерді өңдеу, медициналық көрсеткіштерді талдау, шешім қабылдауды қолдау жүйесі, зияткерлік талдау

## Введение

В настоящее время из-за большого объема данных в системах медицины становится возможным использование комплексных методов программной обработки данных для поддержки принятия решений в сложных проблемных ситуациях. Требуется создание гибкой системы, ввиду сильной гетерогенности среды (разные формы отчетности, форматы файлов, итеративный процесс работы с пациентом), которая позволит эффективно работать в описанных условиях. Рассматривается процесс построения и использования СППР на основе кластерного анализа данных, а именно методом k-means. Выявление и адаптация приемлемого подхода для анализа многомерной медицинской информации – непростая задача. В настоящее время заболевания щитовидной железы являются одними из самых распространенных в мире по данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) [1,2]. В работе использовались методы классификации, доказывающие свою состоятельность при построении систем поддержки принятия решений в медицине. Предобработка данных заключалась в базовой очистке данных и кластеризации данных методом k-means.

*Целью исследования* является применение интеллектуального анализа данных показателей щитовидной железы с использованием программного средства.

*Задачи исследования:* описать основные показатели щитовидной железы; провести обзор

предшествующих исследований; описать алгоритм реализации метода кластеризации K-means; реализовать экспериментальные исследования.

## Описание показателей щитовидной железы

Гормоны щитовидной железы – биологически высоко активные вещества, образующиеся в щитовидной железе и гипофизе, регулирующие процессы обмена жиров, белков и углеводов, функцию сердечно-сосудистой системы и желудочно-кишечного тракта, психическую и половую деятельность.

С помощью анализа крови на гормон щитовидной железы можно определить повышена или снижена выработка трийодтиронина, тироксина и тиреотропного гормона, что означает нарушение функции щитовидной железы. Существуют следующие два состояния, связанное с повышением или понижением продукции гормонов щитовидной железы:

- гипертиреоз (тиреотоксикоз) – состояние, связанное с повышением продукции гормонов щитовидной железы;
- гипотиреоз – состояние, связанное со снижением продукции гормонов щитовидной железы.

Основные показатели, входящие в анализ крови на гормоны щитовидной железы, представлены на рисунке 1.

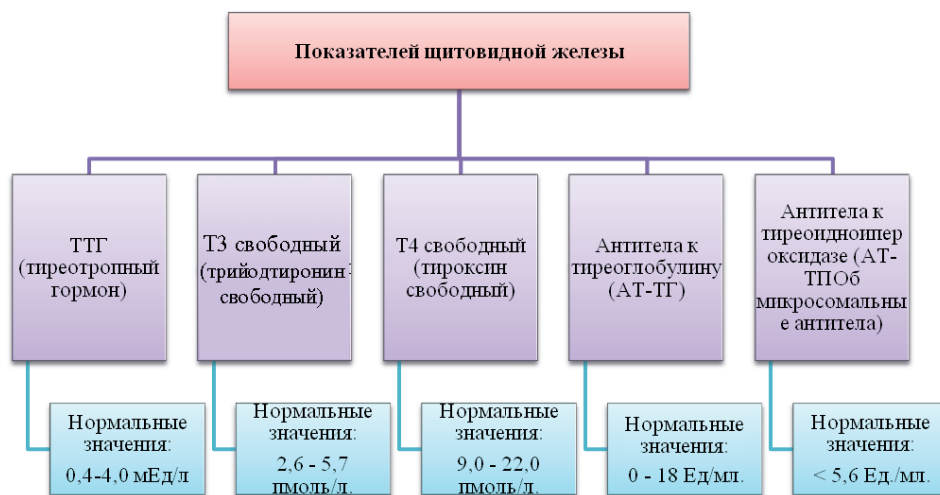


Рис. 1 – Нормативные значения показателей щитовидной железы

Нормальные значения концентрации гормонов в крови могут несколько отличаться в зависимости от лабораторного метода, пола и возраста пациента, поэтому врачу-эндокри-

нологу следует ориентироваться на референсные значения, указанные в бланке лаборатории.

**Таблица 1 – Значение изменений в анализе крови на гормоны щитовидной железы**

| Показатель                            | T3 свободный                                            | T4 свободный       | ТТГ     |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------|---------|
| Гипотиреоз первичный                  | Снижен или в норме                                      | Снижен или в норме | Повышен |
| Гипотиреоз вторичный                  | Снижен                                                  | Снижен             | Снижен  |
| Гипертиреоз                           | Повышен                                                 | Повышен            | Снижен  |
| Аутоиммунный или подострый тиреоидиты | Возможно сочетание тиреоидита с гипо- или гипертиреозом | Повышен            | Повышен |

В качестве атрибутов полученных данных выступают следующие показатели:

- испытание на поглощение T3-смолы;
- общий тироксин сыворотки, измеряемый изотопным смещением;
- общий трийодтиронин сыворотки;
- базальный тиреотропный гормон (TSH), измеренный радиоиммунный анализ;
- максимальная абсолютная разница значения TSH после инъекции 200 микрограмм тиреотропин высвобождающего гормона по сравнению к основному значению.

### **Обзор предшествующих исследований**

В зависимости от цели применения, предметной области, предназначения базы знаний, форматов представления знаний и принятие диагностических решений разработаны различные синтезы методов, применяемые в СППР.

Согласно [3] выделяют следующие источники знаний для проектирования СППР: от экспертов (специалистов аналитиков); из протоколов диагностических игр; из документальных источников открытой информации (книги, инструкции, интернет); базы данных; результаты лабораторных исследований (включая клинические испытания) и применение опросников; статистические и информационно-аналитические отчеты; результаты имитационного моделирования и вычислительных экспериментов; результаты исследования (обследования) объекта, вклю-

чая мониторинг.

Для создания клинически приемлемого диагностического процесса медицинские базы знаний должны обладать следующим функционалом:

- обрабатывать как объективную, так и субъективную информацию;
- функционировать при различных степенях неопределенности;
- формировать рекомендации для лиц, принимающих решения;
- указывать риски и по возможности последствия принятия того или иного диагностического последствия;
- при решении классификационных диагностических задач руководствоваться как принципами доказательной медицины, так и теорией «Черного лебедя» [4];
- обладать способностью к гносеологической и семантической модификации по мере подтверждений/опровержений сформированных решений (способность к самообучению).

Принципиально новым подходом в решении клинко-диагностических задач отличаются так называемые гибридные системы, основанные на сочетании методов вывода по прецедентам и правилам, которые представлены в работе Юдин В.Н. [5]. Система, описанная в его работах, позволяет осуществлять лечебно-диагностический процесс в условиях дефицита времени и ресурсов, когда объект не описан полностью. Новизна данных систем заключается в возможности интеграции

знаний о предметной области, полученных методами классификации и кластеризации, в механизм выработки решения по правилам, объединяя эти два подхода.

Существующие системы поддержки принятия врачебных решений (СППВР) включают в себя специализированные медицинские базы данных, библиографические информационно-поисковые системы, системы обработки медицинских данных и т.д. [6].

В работе Катева В.А. [7] решается вопрос наиболее эффективной СППР, применяемой в практике врача-хирурга. Функционально наиболее востребованными из этого множества предлагаемых программ являются СППВР, ориентированные на конкретный «электронный» образ пациента, основанный на совокупности клиничко-лабораторных данных. Данный вид систем является принципиально отличным от других медицинских информационных систем, носящих, например, обучающий или справочный характер. Существующие модели СППВР включают в себя также более усложненные направления, в большей степени ориентированные на алгоритмизацию действия врача на основе шаблонных моделей заболеваний. Нужно отметить, что в работе отмечаются гибридные системы.

Первыми работами, посвященными данной тематике, послужили исследования Van Ginneken (2001), S.Y. Ji (2009), W. Chen (2010), P. Davaluri (2011), которые впервые разработали и применили систему принятий решений в области повреждений органов таза, черепно-мозговых травм, повреждений грудной клетки, а также у пациентов в сочетании с травмой. Одним из важнейших направлений в области применения СППВР в хирургии являются такие аспекты, как интенсивная терапия и неотложная медицинская помощь. Особенно зарекомендовали себя существующие в хирургии системы поддержки принятия врачебных решений, предназначенные для выполнения задач по дифференциальному подходу к диагностике и лечению, позволяющие производить оценку клинических проявлений различного рода интра абдоминальных

катастроф. Ряд научных исследований были посвящены изучению возможностей искусственных нейронных сетей в прогнозировании исходов острого панкреатита (Миронов П.И., 2011), диагностики и исходов острого холецистита (Корневский Н.А., 2009) [8,9].

В работе О.Н. Чопов, С.В. Болгова и И.И. Манакина [10] рассматривается Древовидная кластеризация. Метод древовидной кластеризации предусматривает различные правила иерархического объединения в следующие кластеры:

- правило «одиночной связи»;
- правило «полных связей»;
- правило «невзвешенного попарного среднего»;
- «взвешенное попарное среднее»;
- «невзвешенный центроидный»;
- «взвешенный центроидный»;
- «метод Уорда» [11].

Эффективность применения представленных правил нормировки и классификации зависит от характера распределения исходных данных, в связи с этим разумно провести классификацию с использованием разных комбинаций нормировок и правил классификации и выбрать наилучший вариант.

Интеллектуальными системами являются компьютерные системы, имитирующие и усиливающие познавательную деятельность человека. Они имеют следующую архитектуру: ИС = Решатель задач + (база фактов + база знаний) + комфортный интерфейс для пользователя. Данная архитектура предложена в статье Шестерникова О.П., Панкратова Е.С., Агафонова М.А., Винокурова Л.В., Финн В.К. [12].

Определенная группа научных исследований [13-15] направлена на разработку информационно-аналитической системы для диагностики анемии.

Настоящее исследование [13] посвящено созданию информационно-аналитической системы определения видов анемии, основанной на диагностическом методе, который позволит уточнить и скорректировать назначенное лечение, а также определить стадию заболевания. Разработанная система обработ-

ки результатов биохимического анализа крови позволит рассчитать абсолютное (и относительное) отклонение от нормы по тому или иному показателю и выявить динамику этих изменений, составить перечень возможных причин увеличения или уменьшения значения компонентов и показателей биохимического анализа крови. Система должна имитировать процессы мышления эксперта, данные процессы могут надежно достичь диагностической отделимости путем анализа паттернов.

В работе [14] описаны особенности построения баз медицинских знаний, показан пример построения правил и реализации логического вывода в таких системах. Представлена общая схема построения медицинских экспертных систем для диагностики анемии. Представлены этапы построения базы медицинских знаний и примеры написания логических правил.

Рассмотренная в данной статье [15] интеллектуальная система, реализующая DSM-рассуждение, используется для решения актуальной задачи прогнозирования развития сахарного диабета у больных хроническим панкреатитом. Метод DSM – это метод автоматического генерирования гипотез. Формализует схему правдоподобного и достоверного вывода, называемую DSM-рассуждением.

Использование DSM-рассуждений и is-DSM было автоматизированной поддержкой текущих исследований, благодаря которым были открыты новые знания – эмпирические закономерности, которым научилась клиническая интерпретация, поэтому они могут быть включены в базу знаний интеллектуальной системы [16-18].

### Алгоритм реализации метода кластеризации k-means

Кластеризация – это разделение множества входных векторов на группы (кластеры) по степени «схожести» друг на друга. Алгоритм k-means (k-средних) разбивает множество элементов векторного пространства на заранее известное число кластеров k. Действие алгоритма таково, что оно стре-

мится минимизировать среднеквадратичное отклонение на точках каждого кластера. Основная идея заключается в том, что на каждой итерации перевычисляется центр масс для каждого кластера, полученного на предыдущем шаге, затем векторы разбиваются на кластеры вновь в соответствии с тем, какой из новых центров оказался ближе по выбранной метрике. Алгоритм завершается, когда на какой-то итерации не происходит изменения кластеров.

Действие алгоритма таково, что он стремится минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центров этих кластеров (1):

$$V = \sum_{i=1}^k \sum x \in S_i (x - \mu_i)^2 \quad (1)$$

где k – число кластеров,  $S_i$  – полученные кластеры,  $i = 1, 2, 3, \dots, k$ , а  $\mu_i$  – центры масс всех векторов x из кластера  $S_i$ .

По аналогии с методом главных компонент центры кластеров называются также главными точками, а сам метод называется методом главных точек [19] и включается в общую теорию главных объектов, обеспечивающих наилучшую аппроксимацию данных [20].

Метод K-средних основан на разделении множества наблюдений x на k кластеров, которые локально минимизированы относительно расстояния между информационной точкой и центроидом кластера. Целевая функция алгоритма представлена (2):

$$J = \sum_{h=1}^k \sum_{x_i \in X_h} \|x_i - \mu_h\|^2, \quad (2)$$

где  $\mu_h$  – значение центроида.

Целевая функция является локально минимизированной для каждого кластера, что означает, что каждая точка из набора данных находится на минимальном расстоянии от центроида кластера, к которому она относится [21]. Выбор соответствующего кластера h для заданной точки  $x_i$  в процессе работы алгоритма обусловлено неравенством (3):

$$\|x_i - \mu_h\|^2 = \min\{\|x_i - \mu_h\|^2\}_{h=1}^k \quad (3)$$

Информационной точке будет присвоен тот кластер, центроид которого лежит наиболее близко к рассматриваемой точке [22].

Под обучением алгоритма понимается нахождение центроидов кластеров при помощи (4):

$$\mu_h = \frac{1}{|X_h|} \sum_{x \in X_h} x \quad (4)$$

После чего оптимизация центроидов происходит при помощи поочередного вычисления неравенства 3 и формулы 4. Необходимо отметить, что нахождение глобального оптимального решения для алгоритма К-средних является NP-полной проблемой.

Если предположить, что множество центроидов кластеров  $\{\mu_h\}_{h=1}^k$  принадлежит множеству  $X$ , тогда задача кластеризации называется К-усредненной.

Были выявлены следующие преимущества алгоритма кластеризации:

- в качестве метрики используется Евклидово расстояние;
- число кластеров заранее не известно и выбирается исследователем заранее;
- качество кластеризации зависит от первоначального разбиения.

Классический вариант подразумевает случайный выбор кластеров, что очень часто

являлось источником погрешности. Как вариант решения необходимо проводить исследования объекта для более точного определения центров начальных кластеров.

### Реализация экспериментального исследования

В исследовании применялся метод классификации k-means. Исходные данные для проведения эксперимента были получены с сайта archive.ics.uci.edu. Для предобработки данных использовался метод очистки данных.

Исследуемая выборка состояла из трех групп. Группы, больных гипертериозом, составили 35 человек, гипотериозом 30 человек и нормальные показатели у 150 человек. При обучении классификатора последняя группа была сопоставлена с классом «здоровые». Группа контроля была сформирована из 150 человек. Группа контроля сопоставима с группой больных по показателям 4 и 5, описанных выше.

Классификатор был построен с помощью программы Deductor [23].

Были выбраны основные показатели гормонов щитовидной железы. Количество данных - 215, используемые показатели представлены на рисунке 2.

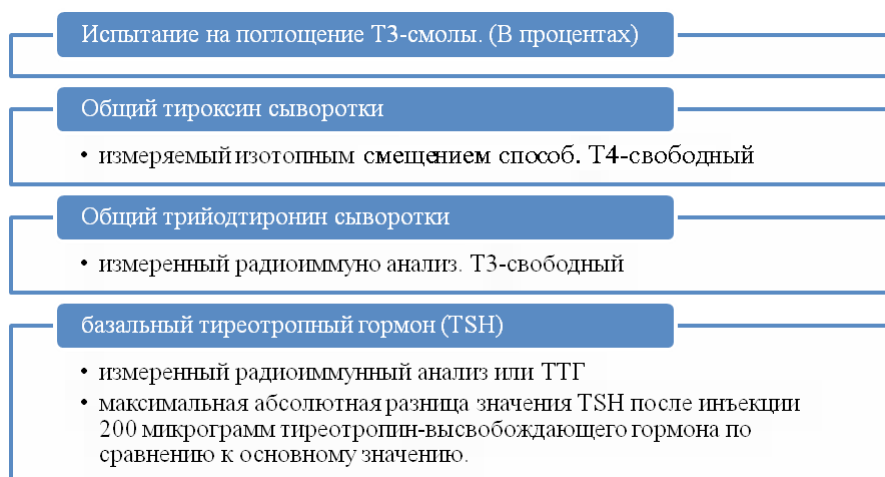


Рис. 2 – Исходные данные исследования

Вышеуказанные показатели заболеваний щитовидной железы используются для выявления скрытых закономерностей между показателями щитовидной железы и определяют

отношение показателей к эутиреозу, гипотиреозу или гипертиреозу [24].

После загрузки данных была проведена очистка данных (рисунок 3).

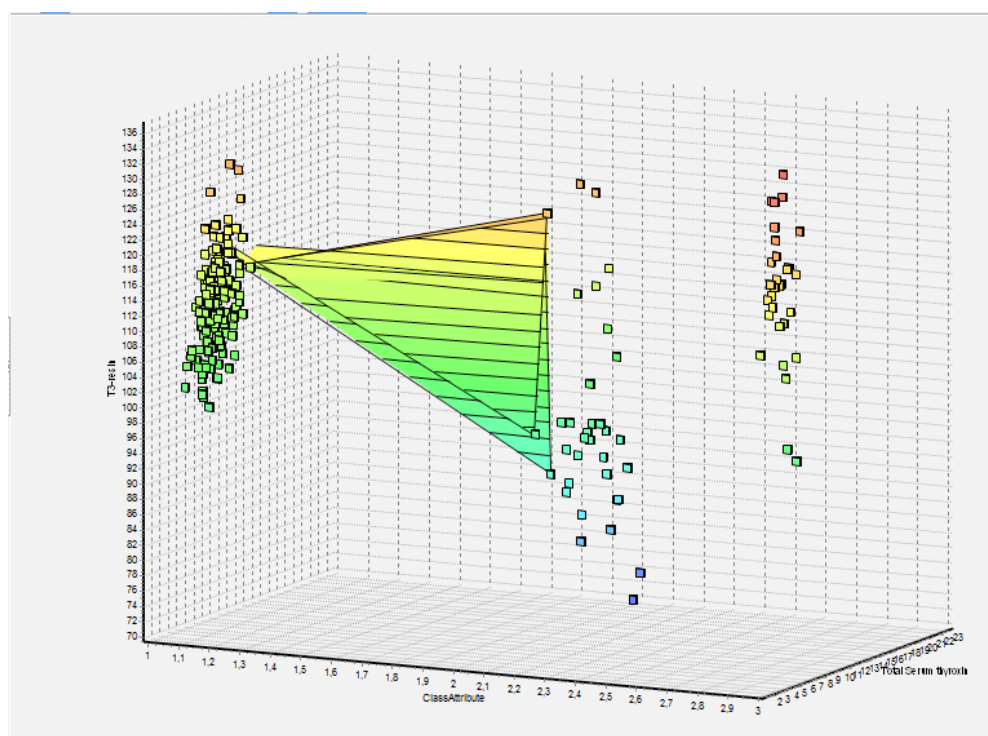


Рис. 3 – Многомерная диаграмма показателей ТТГ, Т3 – свободный

Применение метода кластеризации с помощью алгоритма k-means. Задача кластеризации применяется для автоматического разбиения элементов некоторого множества на группы в зависимости от схожести их свойств. Данная задача выполняет предварительную подготовку данных для дальнейшего анализа каждой выявленной группы в отдель-

ности. Одним из наиболее распространенных и простых алгоритмов кластеризации является алгоритм k-means. Этот алгоритм основан на оптимизации суммы квадратов взвешенных отклонений координат объектов от центров искомых кластеров.

Кластеризация по показателям щитовидной железы (рисунок 4).

|      |                              | Кластеры     |             |             | Итого  |
|------|------------------------------|--------------|-------------|-------------|--------|
|      |                              | 2            | 1           | 0           |        |
|      |                              | 150 ( 69,8%) | 35 ( 16,3%) | 30 ( 14,0%) |        |
| Поля | Показатели                   |              |             |             |        |
| 9.0  | basal thyroid-stimulation    | 100,0%       | 100,0%      | 100,0%      | 100,0% |
| 9.0  | total serum triiodothyronine | 100,0%       | 100,0%      | 100,0%      | 100,0% |
| 9.0  | Total Serum thyroxine        | 93,8%        | 100,0%      | 100,0%      | 100,0% |

Рис. 4 – Профили кластеров показателей щитовидной железы

Из рисунка 2 видно, что существует три кластера это 0,1, 2. Теперь нужно определить какой из кластеров относится к норме и какие к гипотериозу и гипертиреозу. Развернув каждый кластер (рисунок 5 и 6), можно увидеть доверительный интервал, который отвечает за норму показателей щитовидной железы.

С помощью таблицы 1 можно распознать каждый кластер в отдельности. Так к примеру кластер под номером 2 является кластером нормы, для все значения находятся намного ближе к доверительному интер-

валу. Количество записей кластера номер 2 составляет 150 записей из 215. Кластер под номером 1 является кластером, относящимся к гипертиреозу, так как значение ТТГ или базального тиреотропного гормона (basal thyroid-stimulating hormone) снижено относительно доверительного интервала, в то время как значение Т4 (total serum thyroxine) и Т3 (total serum triiodothyronine) повышены. Последний кластер номер 0 относится к гипотериозу.

| Кластеры                         |                        | 2             | 1            | 0            | Итого        |
|----------------------------------|------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
|                                  |                        | 150 (69,8%)   | 35 (16,3%)   | 30 (14,0%)   |              |
| 9.0 basal thyroid-stimulating    | Значимость             | 100,0%        | 100,0%       | 100,0%       | 100,0%       |
|                                  | Доверительный интервал |               |              |              |              |
|                                  | Среднее                | 1,317741471   | 1,047243009  | 12,83871945  | 2,881285161  |
|                                  | Стандартн. откл.       | 0,4577069543  | 1,21940729   | 10,40499514  | 5,587189209  |
|                                  | Стандартн. ошиб.       | 0,03737161633 | 0,2061174519 | 1,899683516  | 0,3810431414 |
| 9.0 total serum triiodothyronine | Значимость             | 100,0%        | 100,0%       | 100,0%       | 100,0%       |
|                                  | Доверительный интервал |               |              |              |              |
|                                  | Среднее                | 1,737279786   | 4,239000578  | 1,061919261  | 2,050300307  |
|                                  | Стандартн. откл.       | 0,386653384   | 1,554708452  | 0,3213314043 | 1,221154105  |
|                                  | Стандартн. ошиб.       | 0,0315701166  | 0,2627936926 | 0,0586681952 | 0,0832820187 |
| 9.0 Total Serum thyroxine        | Значимость             | 93,8%         | 100,0%       | 100,0%       | 100,0%       |
|                                  | Доверительный интервал |               |              |              |              |
|                                  | Среднее                | 9,210282438   | 17,638727    | 3,639896056  | 9,805091592  |
|                                  | Стандартн. откл.       | 1,466459053   | 2,96054957   | 1,157775382  | 4,322547935  |
|                                  | Стандартн. ошиб.       | 0,1197388803  | 0,5004242131 | 0,2113798978 | 0,2947953224 |

Рис.5 – Результаты применения алгоритма K-means для кластеризации показателей щитовидной железы

## Закключение

По результатам данного исследования можно сделать вывод, что метод кластеризации k-means может быть использован для анализа данных показателей.

В результате применения алгоритма кластеризации k-means были сформированы три кластера, которые отвечают за гормоны щитовидной железы. 215 показаний 69,8% занимают записи в количестве 150 с наименьшим

отклонением от нормы показателей щитовидной железы, 16,3% от общего числа записей это 35 записей с гипертиреозом и 14,0% занимают записи в количестве 30 с гипотиреозом. Метод кластеризации k-means был использован для формирования кластеров, в результате которых были получены три основных кластера, относящихся к гормонам щитовидной железы Т3, Т4 и ТТГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Столяров С.А., Бадеян В.А., Попова М.И. Диагностика хронического остеомиелита костей конечностей на фоне его местных гнойных осложнений в неспециализированных лечебно-профилактических учреждениях. Вестник медицинского института «Реавиз». ВАК. – 2017. – №3. – С. 44 - 47.
2. ВОЗ, ЮНИСЕФ и МКБМР, оценка нарушений, связанных с дефицитом йода, и контроль за их устранением. Руководство для руководителей программ. –Третье издание (обновление от 1 сентября 2008 года) дата публикации: 2007 год. – С. 98.
3. Б.А. Кобринский. Интеллектуальные и информационные системы в медицине: мониторинг и поддержка принятия решений: сборник статей. – М., Берлин: Директор-медиа. – 2016. – С. 529.
4. Юдин В.Н., Карпов Л.Е., Абрамов В.Ю. Виды признаков и их роль в дифференцировании классов при оценке не полностью описанного объекта. Труды ИСП РАН. Том 28. Вып. 3. – 2016 г. – С. 231-240. DOI: 10.15514/ISPRAS-2016-28(3)-14.
5. Г.Р.Зарипова, Ю.А.Богданова, О.В.Галимов, В.А.Катаев, Г.М. Биккинина. Современные модели систем поддержки принятия врачебных решений в хирургической практике состояния проблемы. ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет» Минздрава России. – г. Уфа.
6. Литвин А.А., Реброва О.Ю. Системы поддержки принятия решений в диагностике и лечении острого панкреатита. Проблемы здоровья и экологии. – 2016. – С. 10-17.
7. Катаев В.А., Зарипова Г.Р., Богданова Ю.А. Возможности применения информационных технологий в рутинной медицинской практике Медицинский издательский дом «Инициатива», 2017. – С. 104.
8. Кореневский Н.А., Сипливый Г.В., Родионов Д.С., Говорухина Т.Н., Дмитриева В.В. Математические модели дифференциальной диагностики форм пиелонефрита для экспертных систем врачей-урологов. Медицинская техника, 2019. – N 6. – С. 48-50. Библ. 13 назв.
9. Миронов П.И., Лутфарахманов И.И. Современные пути прогнозирования развития сепсиса у больных тяжелым острым панкреатитом. Практическая медицина. – 2016. – С. 21-24.
10. Е.Н. Вельская, А.В. Медведев, Е.Д. Михов, О.В. Тасейко. Применение методов непараметрического моделирования в решении задач экологического мониторинга. Вестник СибГАУ. – Том 17. – № 1. – 2016. – С. 10-18.
11. Богданова Ю.А., Зарипова Г.Р., Катаев В.А., Галимов О.В. Экспертные системы в прогнозировании операционного риска при наиболее распространенных хирургических вмешательствах. ВАК. Врач и информационные технологии. –2017. –С. 40-48.
12. Шестерникова О.П. О применении интеллектуальной системы прогнозирования развития диабета у больных хроническим панкреатитом. Интеллектуальный анализ данных. – 2016. – С. 61-71.
13. Увалиева И.М., Бельгинова С.А., Исмухамедова А.М. Informational and Analytical System to Diagnose Anemia // Proceedings of the Fourth International Conference on Engineering & MIS 2018 - ICEMIS '18. doi:10.1145/3234698.3234716
14. Бельгинова С.А., Увалиева И.М., Исмухамедова А.М. Decision Support System for Diagnosing Anemia. / 2018 4th International Conference on Computer and Technology Applications (ICCTA 2018), Institute of Electrical and Electronics Engineers Istanbul. – 2018. – С. 211-214.
15. Увалиева И.М., Мамырбаев О.Ж., Бельгинова С.А. Development of expert system on

- based the algorithm for medical diagnosis. International Scientific and Practical Conference «Computer science and applied mathematics». – Алматы, Казахстан. – 2017. – С. 274-283.
16. Финн В.К. Эвристика обнаружения эмпирических закономерностей и принципы интеллектуального анализа данных. // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – С. 3-19. DOI 10.14357/20718594180311.
  17. Финн В.К. О классе ДСМ-рассуждений, использующих изоморфизм правил индуктивного вывода // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – № 3. – С. 48-61.
  18. Федотова М.А. Технологии искусственного интеллекта при прогнозировании эффективности командной работы: опыт, проблемы и перспективы практических исследований. Научный результат. ВАК. – Т.5. – №2. – 2019.
  19. Н. Yamashita, S. Matsuura, H. Suzuki. Оценка главных точек многомерного бинарного распределения с использованием логарифмической линейной модели. Communications in statistics – simulation and computation. V. 46. – 2017. – С. 1136-1147.
  20. С. Manzei, L. Schleupner and R. Heinze. Промышленность 4.0 в международном контексте. Основные концепции, результаты, тенденции. – Берлин: VDE изд. GMBH, –2016.
  21. Preeti Arora, Deepali Dr., Shipra Varshney. Анализ алгоритма k-means и k-Medoids для больших данных. Procedia Computer Science. V. 78. – 2016. – С. 507-512.
  22. Bo Yang, Xiao Fu, Nicholas D Sidiropoulos, Mingyi Hong. К дружественным пространствам K-means: одновременное глубокое обучение и кластеризация. ICML'17: Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning. – V. 70. – 2017. – С. 3861-3870.
  23. Marco Capó, Aritz Pérez, Jose A. Lozanoab. Эффективная аппроксимация k-means кластеризацию для массивных данных. Knowledge-Based systems. V.117. -2017.-с.56-69.
  24. Alickovic, E. &Subasi, A. J Med Syst. Медицинская система поддержки принятия решений для диагностики сердечной аритмии с использованием DWT и классификатора случайных лесов. – 2016. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0467-8>

УДК 537.534  
МРНТИ 29.19.04

## COMPUTER SIMULATION OF PARTICLE- SOLID SURFACE INTERACTIONS

UMAROV F.F.<sup>1</sup>, DZHURAKHALOV A.A.<sup>2</sup>, RASULOV A.M.<sup>3</sup>, YADGAROV I.D.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Kazakh-British Technical University, Kazakhstan, <sup>2</sup>University of Antwerpen, Belgium

<sup>3</sup>Ferghana Polytechnical University, Uzbekistan

<sup>4</sup>Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Uzbekistan

**Abstract:** In this work the peculiarities of the some processes (ion scattering, sputtering and implantation at channeling conditions as well as nanoclusters deposition and thin film growth) accompanying the particle-solid surface interactions has been investigated by different computer simulation methods (binary collision approximation, molecular dynamics, embedded atom model potential, energy minimization method). The scattering and sputtering processes at 0.5-5 keV Ar and Ne ions grazing bombardment of Si(001), SiC(001), Cu<sub>3</sub>Au(001), Ni(100) and Cu(100) surfaces and their possible application for the surface diagnostics and modification have been studied by computer simulation in binary collision approximation. Ion implantation at normal as well as at glancing incidence is carried out by computer simulation in binary collision approximation. Profiles of the distribution of channeled ions at implantation have been calculated depending on crystal lattice type, kind of ions and their energy. It has been shown that the channeling of low-energy ions through thin single crystal metal films can be used to determine the sort and adsorption site of light atoms adsorbed on a clean rear surface. It is shown that for paraxial part of a beam the main contribution to the total energy losses comes from inelastic ones. It has been established that the energy losses of ions transmitted through thin crystal and depth profile distributions depend on width of the channel and mass ratio of colliding atoms. The deposition of bi-metallic Ag<sub>n</sub>Co<sub>m</sub> nanoclusters on Ag(100) surface and thin film growth have been studied at the atomic scale by means of classical molecular dynamics simulation. It was shown that the embedded atom model potential may be used successfully for studying of Ag<sub>n</sub>Co<sub>m</sub> nanocluster deposition on Ag(100) surface at the slowing down energies (0.25 eV – 1.5 eV per/atom). The adsorption of fullerene C<sub>60</sub> onto the surface and edges of defect-free graphene was studied by computer simulation within the framework of classical molecular dynamics. The computer model of a single defect-free C<sub>60</sub> fullerene was built by the energy minimization method using the second-generation Brenner potential (REBO) and the cohesive energy of each carbon atom in the fullerene was determined. It was established that the fullerene is better adsorbed on the armchair edge of graphene and worst on the its “corner” atoms.

**Key words:** ion scattering, sputtering yield, layer-by-layer sputtering, ion implantation, ion channeling, metal and semiconductor single crystals, profile of distribution, computer modeling and simulation, nanoscale materials, clusters deposition, thin film growth, fullerene, graphene, adsorption

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ЧАСТИЦА-ПОВЕРХНОСТЬ ТВЕРДОГО ТЕЛА

**Аннотация:** В работе с помощью различных методов компьютерного моделирования (приближение парных столкновений, молекулярная динамика, потенциал модели встроеного атома, метод минимизации энергии) исследованы особенности некоторых процессов (ионное рассеяние, распыление, имплантация в условиях каналирования, а также осаждение нано-

кластеров и рост тонких пленок), сопровождающих взаимодействие частиц с поверхностью твердого тела. Процессы **рассеяния** и **распыления** при скользящей ионной бомбардировке поверхностей монокристаллов Si(001), SiC(001),  $\text{Cu}_3\text{Au}(001)$ , Ni(100) и Cu(100) ионами  $\text{Ar}^+$  и  $\text{Ne}^+$  с энергиями 0.5-5 кэВ и их возможное применение для диагностики и модификации поверхности исследованы компьютерным моделированием в приближении парных столкновений. Ионная **имплантация** при нормальном и скользящем падении на поверхность исследована в приближении парных столкновений. Исследованы профили распределения каналированных ионов при имплантации ионов в зависимости от типа кристаллической решетки, сорта ионов и их энергии. Показано, что каналирование низкоэнергетических ионов сквозь тонкие монокристаллические металлические пленки можно использовать для определения сорта и мест **адсорбции** легких атомов, адсорбированных на тыльной поверхности пленки. Установлено, что для параксиальной части пучка основной вклад в полные потери энергии вносят неупругие потери. Установлено, что потери энергии ионов, прошедших тонкие кристаллы и профили распределения по глубине зависят от ширины канала и соотношения масс сталкивающихся частиц. Осаждение **нанокластеров**  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  на поверхность Ag(100) и рост тонкой пленки исследованы в атомном масштабе методом классической молекулярной динамики. Показано, что метод потенциал модели встроеного атома можно успешно использовать для исследования осаждения **нанокластеров**  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  на поверхность Ag(100) при энергиях осаждения (0.25 eV – 1.5 эВна/атом). **Адсорбция фуллерена**  $\text{C}_{60}$  на поверхность и края, свободного от дефектов **графена**, исследована компьютерным моделированием в рамках классической молекулярной динамики. Компьютерная модель одного свободного от дефектов фуллерена построена методом минимизации энергии с использованием потенциала Бреннера второго поколения. Определены энергии связи каждого атома углерода в фуллерене. Установлено, что фуллерен лучше адсорбируется на крае кресла графена и хуже – на его «угловых» атомах.

**Ключевые слова:** ионное рассеяние, коэффициент распыления, послойное распыление, ионная имплантация, ионное каналирование, монокристаллы металлов и полупроводников, профили распределения, компьютерное моделирование, наноразмерные материалы, осаждение кластеров, рост тонких пленок, фуллерен, графен, адсорбция

## БӨЛШЕК – ҚАТТЫ ДЕНЕНІҢ БЕТІ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ

**Аңдатпа:** Компьютерлік модельдеудің әртүрлі әдістерін қолдану арқылы (соқтығысудың жақындауы, молекулалық динамика, енгізілген атом моделінің потенциалы, энергияны минимизациялау әдісі) кейбір процестердің ерекшеліктері (иондардың шашырауы, шашырау, канализация жағдайында имплантация, сонымен қатар нанокластердің тұнбасы және жұқа қабықтың өсуі) зерттеледі, бөлшектердің қатты бетімен әсерлесуімен бірге жүреді. Si (001), SiC (001),  $\text{Cu}_3\text{Au}$  (001), Ni (100) және Cu (100) жалғыз кристалдарының беттерін сырғып иондармен бомбалау кезінде шашырау және шашырау процестері және 0,5-5 кэВ энергиясы бар  $\text{Ar}^+$  және  $\text{Ne}^+$  иондары арқылы оларды диагностикалау үшін қолдану және беткі модификациялар жүріп соқтығысуды жақындату кезінде компьютерлік модельдеу арқылы анықталды. Қалыпты және жылжымалы беткейдегі ион имплантациясы жүріп соқтығысу жақындауында зерттелді. Имплантация кезінде жіберілетін иондардың таралу профильдері кристалдық тордың түріне, иондардың түріне және олардың энергиясына байланысты қарастырылды. Төмен энергиялы иондардың жұқа бір кристалды металл пленкалар арқылы таралуын, пленканың артқы бетіне адсорбцияланған жеңіл атомдардың түрін және адсорбциялық учаскелерін байқауға болатындығы көрсетілген. Сәуленің параксиалды бөлігі

үшін энергияның жоғалуына негізгі емес үлес қосатындығы білінді. Жұқа кристалдар мен тереңдіктің таралу профильдерінен өтетін иондардың энергия жоғалуы каналдың еніне және соқтығысатын бөлшектердің массалық қатынасына байланысты екендігі көрінді.  $Ag_nCo_m$  нанокластерлерінің  $Ag(100)$  бетіне түсуі және жұқа қабықтың өсуі классикалық молекулалық динамика әдісімен атомдық масштабта зерттелді. Орнатылған атом моделінің ықтимал моделі  $Ag_nCo_m$  нанокластерлерінің  $Ag(100)$  бетіне тұндыру энергиясында (0,25 эВ - 1,5 эВ/атом) орналасуын зерттеу үшін сәтті қолданыла алатындығы көрсетілді. Классикалық молекулалық динамика аясында  $C_{60}$  фуллеренің ақауы жоқ графеннің беткі және жиегіндегі адсорбциясы компьютерлік модельдеу арқылы зерттелді. Бір ақауы бар фуллереннің компьютерлік моделі екінші буынды Бреннер потенциалын пайдалана отырып, энергияны азайту жолымен жасалған. Фуллерендегі әрбір көміртек атомының байланыстырушы энергиясы анықталады. Фуллерен графен креслоларының шетіне жақсы адсорбцияланатыны және оның «бұрыштық» атомдарында нашар екендігіне көз жеткіздік.

**Түйінді сөздер:** иондардың шашырауы, шашырау коэффициенті, қабатты шашырау, иондық имплантация, иондық канализация, металдардың және жартылай өткізгіштің жалғыз кристалдары, тарату профильдері, компьютерлік модельдеу, наноқоспа материалдар, кластердің тұнбасы, жұқа қабықтың өсуі, фуллерен, графен, адсорбция

## 1. Introduction

The ion scattering, sputtering, implantation, nanoclusters deposition and thin film growth processes has been the subject of both scientific investigations for a long time and recent rapid developing thin film- and nanotechnologies. These processes underlie such well known methods of surface science as Ion Scattering Spectroscopy (ISS), Ion Beam Analysis (IBA), Secondary Ion Mass-Spectrometry (SIMS), and Ion Beam Modification of Materials (IBMM). Arguably, *surface science* has been the primary origin of *nanoscience* and *nanotechnology*: after all a distinguishing feature of nanostructures is the dominance of their surfaces and interfaces over their volume". Over a period of five decades starting in the mid 1950s, surface science evolved by studying increasingly complicated types of surfaces, many properties of which are inherently nanoscale in one dimension, culminating in the study of structures with nanoscale sizes in two or three dimensions, i.e. nanowires, quantum dots, etc. Just as surface science required a panoply of new or adapted techniques to measure the important properties of extended surfaces, nanoscience also will benefit from novel and adapted techniques (Fig.1). It is also clear that, just like surface science, nanoscience must

be a multi-technique field of research, in which different techniques jointly lead to the required information and understanding in order to enable further progress [1].

**ISS method** is based on correlation between the defect type, the blocking angles of the reflected beam and the energy and angular distributions of the scattered particles, which allows the determination of the defect type and its surface concentration [1–5]. Thus, the detection of scattered ions provides a powerful tool for surface analysis that is exclusively sensitive to the outermost atomic layers [6].

The sputtering process, underlying **SIMS method**, has been the subject of both scientific investigations for a long time and recent rapid developing micro- and nanotechnologies. Processes such as plasma etching and sputter deposition that involve ion bombardment at relatively low (~100 eV) ion energies are widely used in semiconductor processing [7]. Though, sputtering and surface modifications of single crystals are widely studied, there are not sufficient data in the case of grazing incidence. However, using glancing-angle ion bombardment for surface modification rather than conventional near-normal incidence ions allows expanding the energy range up

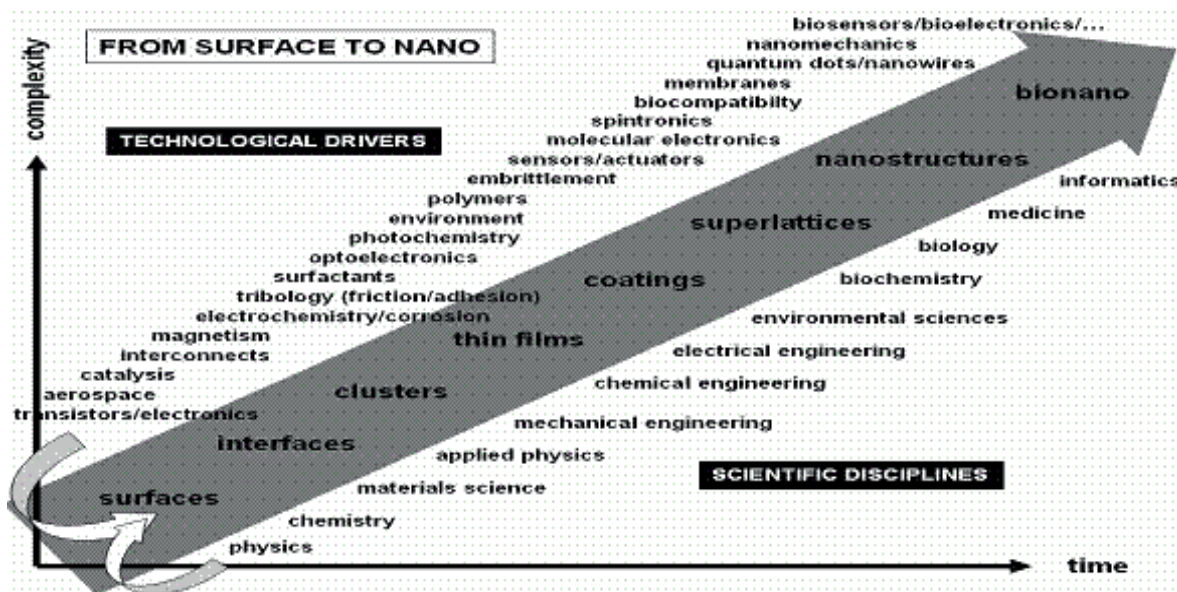


Figure 1. The historical evolution of surface science toward nanoscience in terms of types of materials studied, roughly exhibiting the increase of complexity over a period of about 50 years. Many technological drivers of the field are listed above the central arrow, while scientific disciplines that have contributed to its success are listed below the central arrow [1].

to  $\sim 10$  keV and has the advantages of reducing damage (such as crater formation) and preferentially removing surface asperities [8] leading to flat surfaces. This is due to the peculiarities of sputtering processes at grazing incidence [9].

Ion implantation, underlying **IBMM method**, has become a very important technique for modifying surface and impurity doping of semiconductors [10-12]. This process lead to change of a profile of composition and structure of the subsurface layers. Channeling of low-energy ions in metal and semiconductor single crystals offers the opportunity to create the method of local ion implantation in ultra thin film nanotechnology and surface nano-engineering. Therefore, ranges, energy losses and profiles of distribution of low-energy ions channeling in crystals have receive considerable experimental and theoretical interest [13-15]. The study of the *deposition of bi-metallic clusters of the nanosize* is motivated by their expected electrical, magnetic and optical properties and the primary question is to know the extent to which properties of free clusters are preserved in a functional environment. It is well known from both experiment [16] and modelling [17] that clusters slowing down at supersonic velocities do not fragment upon impact. Whether they remain intact or undergo restructuring upon impact is still an open issue that merits attention.

In particular, the question to know to which extent clusters retain their original characteristics needs an answer when the clusters are considered as possible building blocks for transferring their specific properties to the macroscopic scale. The unique possibilities of **fullerene** are broadened when fullerene is combined with other atoms and molecules, and end of fullerenes are of special interest when additional atoms, for example, alkali metal ones, are in the inner cavity of fullerene. However, the practical application of fullerenes and end of fullerenes in nanoengineering is due to the question what substrate will be used for fullerene structures. Such substrates can be the surfaces of silicon carbide crystals, silicon, diamond and **graphene** that, in view of miniaturization, is more successful since its thickness is one atomic layer[18].

## 2. Computer simulation methods

The simulation used in our calculations to construct the trajectories of the particles *scattered* by target atoms is based on the *binary collision approximation* [19] with two main assumptions: (1) only binary collisions of particles with target atoms or between two target atoms are considered; and (2) the path which a projectile goes between collisions is represented by straight-line segments (Fig.2). For the description

of the particle interactions the repulsive Ziegler-Biersack-Littmark potential [20] was used. The inelastic energy losses were regarded as local depending on the impact parameter and included into the scattering kinematics. Elastic and inelastic energy losses have been summed along trajectories of scattered ions. The inelastic energy losses  $\varepsilon(E_0, p)$  were regarded as local depending on the impact parameter  $p$  and included into the scattering kinematics. These losses have been calculated on the basis of Firsov model modified by Kishinevsky [5] and contain direct dependence on impact parameter.

The expressions for the ion  $E_i$  and recoil  $E_r$  energies after binary collision taking into account inelastic losses can be written as follows [21]:

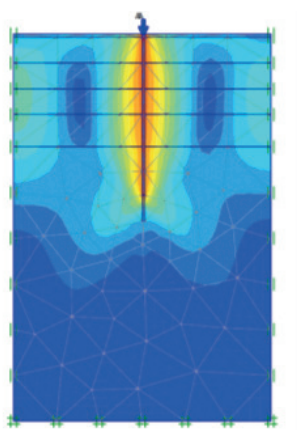
$$E_i = (1+\mu)^{-2} E_0 (\cos\theta_i \pm \sqrt{(f\mu)^2 - \sin^2\theta_i})^2,$$

$$E_r = \mu(1+\mu)^{-2} E_0 (\cos\theta_r \pm \sqrt{(f)^2 - \sin^2\theta_r})^2(1)$$

where  $f = [1 - (1+\mu) / \mu \varepsilon(E_0, p) / E_0]$ ;  $\theta_i$  and  $\theta_r$  - the angles of ion and recoil scattering in the laboratory system of coordinate;  $E_0$  - initial energy of impinging ion;  $p$ -impact parameter and  $\mu = m_2 / m_1$ .

In order to consider simultaneous collisions of an particle with the atoms of the adjacent chains, the procedure proposed in [22] was used. The inclusion of the thermal vibrations assumed that the target atoms oscillated independently of one another, and their deflections from the equilibrium position are subject to the normal Gaussian distribution.

Figure 2. Scheme of the binary collision approximation [22]



**Sputtering** [20-22] has been simulated in

the primary knock-on regime. Only the primary knock-on recoil (PKR) atoms ejected from first, second and third layers have been considered. The presence of planar potential energy barrier on the surface was taken into account. The number of incident ions is  $4 \times 10^4$ . Each new particle is incident on a reset, pure surface. The incident particles and the recoil atoms were followed throughout their slowing down process until their energy falls below a predetermined energy: 25 eV was used for the incident particles, and the surface binding energy was used for the knock-on atoms. The calculations were performed on the crystals comprising up to 120 atomic layers. The simulations were run with the crystal atoms placed stationary at equilibrium lattice sites. The initial energy of incident particles was varied from 0.5 to 5 keV, an angle of incidence  $\psi$  counted from target the surface was 0-90° and an azimuth angle of incidence  $\xi$  realized by rotating the target around its normal and counted from the <100>direction was 0-180°.

For the study of  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  **cluster deposition** on Ag(100) surface we use **molecular dynamics** (MD) calculations with the numerical integration algorithm suggested by Swope algorithm [23] in order to integrate the equations of motion. The basic parameter responsible for MD simulations reliability in solids is the interatomic potential. To describe equilibrium properties of solids correctly, it is necessary to use a many body potential. In respect to metallic and bimetallic systems, the potentials based on the second moment approximation of the tight binding model [24, 25] and on the embedded atom method (EAM) [26, 27] are currently used. In the present work the potential proposed by Johnson [28] and based on the EAM model is used for description of the process studied. In order to select the best suitable form for the potential to study Ag-Co systems, several test calculations (comparison of the repulsive part of the potential with screened Coulomb potentials, comparison of the thermal mean squared displacements which may be predicted from the potential with experimental values) have been performed. It is established that using the potential proposed by Johnson satisfactorily describes the thermal mean squared

displacements versus the temperature. In Fig.3 the lattice parameters of Ag crystal versus the temperature determined in present calculations using Johnson potential as well as determined

experimentally in [29, 30] are presented. The difference between calculated and experimental values of lattice parameters are less than 1%.

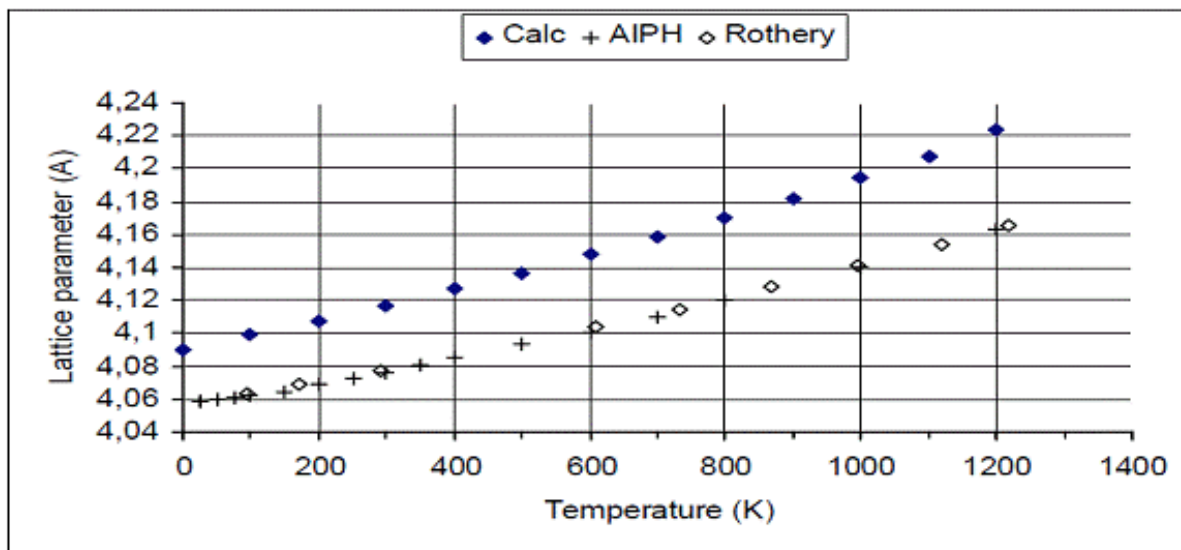


Figure 3. Lattice parameters in Ag vs. temperature. Calculations (Calc) have been performed by MD and experimental values measured by AIPH [29] and Rothery & Reynolds [30].

**Three types of calculation** for  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  cluster slowing down processes have been performed. In the  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  cluster the Co atoms which are in the centre of cluster are covered by Ag atoms.

**In the first type** of calculation the  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  cluster with two different sizes and atom concentrations ( $\text{Ag}_{191}\text{Co}_{10}$  and  $\text{Ag}_{301}\text{Co}_{285}$ ) are deposited on a Ag (100) surface at energies from 0.25 eV to 1.5 eV per atom. The substrate has a size  $98.8\text{Å} \times 98.8\text{Å} \times 49.4\text{Å}$  which consists of 27648 atoms. The slowing down of a cluster is followed for 150 ps in order to track possible thermally activated processes. Each impact is repeated 10 times in the same conditions of incidence, but selecting the impact points and cluster orientations at random, in order to mimic a monodisperse cluster beam.

**In the second type** of calculation the  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  clusters with  $n = m$  (where  $n = 100, 250, 500, 750, 1000, 1250$  and  $1500$ ) are deposited on an Ag (100) surface at energies of 0.25 eV per atom for studying the size dependence and the  $\text{Ag}_{500}\text{Co}_{500}$  cluster is deposited on an Ag(100) surface at energies from 0.25 eV to 1.50 eV per atom for studying the energy dependence. The slowing down of a cluster is followed for 150 ps. The

substrate has a size  $148.2\text{Å} \times 148.2\text{Å} \times 98.8\text{Å}$  which consists of 124416 atoms.

**In the third type** of calculation the  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  clusters with  $n = m$  are deposited on an Ag (100) surface at energies of 0.5 eV per atom for the studying the **thin film growth** processes. In this case the  $\text{Ag}_n\text{Co}_m$  clusters with number of atoms 200, 500, 1000, 1500, 2000, 2500 and 3000 are deposited consequently with randomize choosing the next cluster from mentioned list of clusters. The slowing down of each cluster is followed for 150 ps and then next one. The substrate has a size  $148.2\text{Å} \times 148.2\text{Å} \times 98.8\text{Å}$  which consists of 124416 atoms.

In all cases the calculation has been performed at room temperature with taking into account the periodic boundary condition on two dimensions and the electron-phonon coupling [31].

The computer model of a single defect-free  $\text{C}_{60}$  fullerene was built by the energy minimization method using the second-generation Brenner potential (REBO) well describing the carbon structures [32]. A computer model of “infinite” defect-free graphene was constructed; this model was intended for consideration of fullerene adsorption on graphene surface. For that purpose,

a rectangular graphene section with 112 carbon atoms was taken [33].

### 3. Results and discussion

3.1. Investigation of the dynamics of changes of the  $\text{Cu}_3\text{Au}(100)$  surface in the course of ordering by low energy ion scattering

$\text{Cu}_3\text{Au}(100)$  single crystal exhibits an order-disorder phase transition into the bulk at  $T_c = 663$  K. This bulk transition is first-order. Theoretically it is predicted that the transition at the surface is of a different type than in the bulk [34,35]. The transition at the surface has been intensively studied in recent years, including by TOF-ISS method [36,37]. In [37] has been shown how the order-disorder transition modifies the atomic sequences in atomic rows, then changing the double-scattering conditions. The atomic row effect exhibits remarkable features in small-angle ion scattering from a single crystal surface of complex composition when the rows in certain crystallographic directions consist of alternating atoms of different species. In this section  $\text{Cu}_3\text{Au}(100)$  alloy surface has been investigated with low energy ion scattering at temperatures below and above the bulk order-disorder transition temperature [38].

At temperatures  $T > T_c$  all lattice sites are populated uniformly by atoms of both species, while at lower temperatures nonuniform occupation of sites by atoms of different species is typical. Note that  $\langle 100 \rangle$  rows contain either only Cu or only Au atoms, whereas in the  $\langle 110 \rangle$  rows the Cu and Au atoms alternate. Fig.4,a presents ovals depicting the dependence of the energy of scattered  $\text{Ar}^+$  ions with initial energy  $E_0 = 5$  keV on the scattering angle  $\theta$ , which consist of quasisingle (QS) - 1 and quasidouble (QD) - 2 scattering branches. Shown in the bottom panel are the corresponding angular distributions of ions scattered from  $\langle 110 \rangle$  rows in the  $\text{Au}(100)$ ,  $\text{Cu}(100)$  and  $\text{Cu}_3\text{Au}(100)$  planes. The dashed ovals correspond to the Au atoms, the chain one to the Cu atoms, and the solid oval with a characteristic break (3) to a row of alternating Cu and Au atoms. In the case of a mixed row the oval has an unusual shape in that the QD branch is replaced by quasitriple - scattering (3) from a

sequence of Au-Cu-Au atoms with the principal deflection from the Cu atom which results in considerable energy losses. The QS- and QD-scattering occur in this case primarily from Au atoms. The angular distribution contains in the region corresponding to the break in the oval an additional maximum and exhibits a dramatic broadening. The maximum appears as a shoulder at  $\psi = 15^\circ$ , grows with increasing grazing angle and exceeds in height at  $\psi = 19^\circ$  the maxima at the limiting scattering angles. As follows from the calculation, the additional maximum comes from the rainbow effect associated with the enhanced scattering close to the shadow-cone boundary of the Au atom toward the nearest Cu atom in a narrow impact parameter region along the row.

Fig.4,b shows also the scattering ion energy versus the scattering angle ovals and the corresponding angular distributions, however, in this case, in the alternating sequence of atoms one of them, either Au or Cu occurs twice in succession. Both the energy ovals and the angular distributions are seen to vary dramatically. It is shown when two neighbour atoms belong to the same species, the characteristic break (3) transforms into an additional ovals which lies lower than the principal one and corresponds to QS- and QD-scattering from a pair of Cu atoms. To this oval correspond two additional maxima in the angular distribution. A similar pattern is also observed in the case when two Au atoms adjoin one another in a mixed row. The relative height of the additional maxima was found to depend on the number of neighbour atoms of the same species in a row. Increasing the number of neighbouring identical atoms up to three or more results in an increase of the corresponding additional maxima in the angular distribution. Note, that the shape of the energy oval and the interval of possible scattering angles are retained, whereas relative height of the maxima at the limiting scattering angles decrease. The characteristic structure of the angular distribution with the number of maxima is retained also when thermal vibrations of atoms in the alloy are included. Thus, a comparison of the angular and energy distributions of ions scattered from the surface of an alloy in the process of ordering with

similar distributions for pure targets made up of the alloy components permits a conclusion that two or more neighbouring atoms in an alternating

sequence are of the same species. The results obtained can be used to study a short-range order in alloys undergoing ordering.

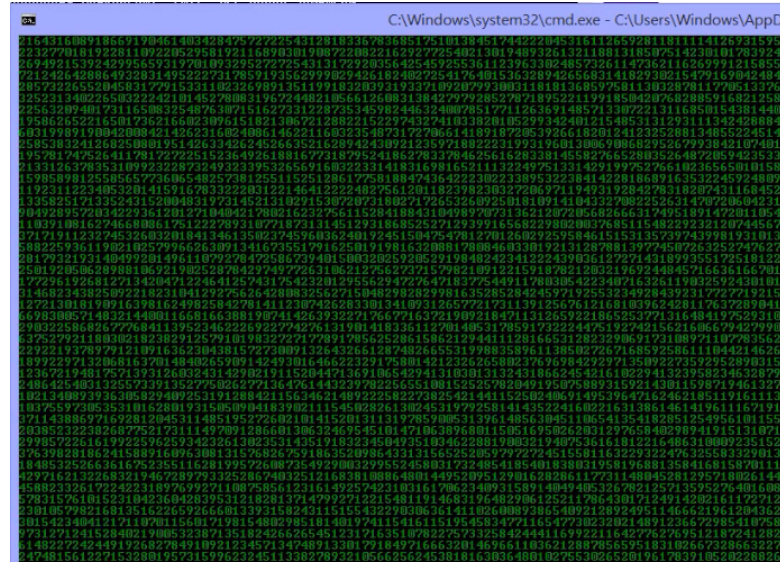


Figure 4. (a) Ovals of  $Ar^+$  ion energy dependence on scattering angle  $\theta$  and angular distributions at scattering from  $\langle 110 \rangle$  atomic rows on Cu(100)-chain curve; Au(100)-broken curve, and Cu<sub>2</sub>Au(100)-full curve; (b)-same dependencies for cases where one of the alloy atoms occurs twice in the row.

### 3.2. Determination of adatom sort and adsorption sites on single crystal surfaces by ions channeling through thin films

Determination of the equilibrium adsorption sites of atoms adsorbed on crystalline surfaces and initial stages of adsorption is a fundamental problem in surface physics. In [39] was the first to propose for the determination of the adsorbed site of D atoms adsorbed on the rear (100) surface of a thin Ni single crystal, 800 keV  $He^+$  ions which channel trough the sample. The adatoms were detected by monitoring the yield of the  $D(^3He, p)^4He$  reaction. In the present section we propose for the determination of the adsorption site and sort of light adatoms on the rear surface of a thin crystal to use interaction with these adatoms of low energy ions of mass  $m_1$  greater than the adatom mass  $m_2$ , which channelling through the crystal. For  $m_1 > m_2$ , there exist a limiting angle  $\theta_{lim} = \arcsin(\mu)$ , where  $\mu = m_2/m_1$ , which leads to the rainbow effect in scattering, i.e., enhanced reflection that results in the appearance in the angular and energy distributions of transmitted ions of characteristic peaks useful

for diagnostics purposes. In order to improve the usefulness of the angular and energy distributions of transmitted particles for diagnostic purposes, it can be complemented to also employ, besides the rainbow effect, the flux peaking phenomenon, i.e., a spatial redistribution of the channeling particles in the transverse channel plane, which produces an increase of the flux in the central part of the channel and its sharp decrease on its periphery [40]. The sort and adsorption site of the adatoms are determined from the rainbow effect in the angular distributions of transmitted particles caused by their interaction with adatoms above the rear surface of the crystal [40, 41].

The trajectories of  $1\div 5$  keV  $He^+$  and  $Ne^+$  ions channeling in thin ( $\Delta z = 100\div 500\text{\AA}$ ) Ni(100) films were computer simulated in the binary collision approximation using the universal Biersack-Ziegler-Littmark potential and with the inclusion of elastic and inelastic energy losses. For ions emerging out of the rear side of the crystal, one calculates the coordinates of the emergence points projected on a plane perpendicular to the channel axis, the total scattering angle (the angle between

the initial and final ion directions), and the final ion energy. Next, one calculates the interaction of the transmitted ions with the adsorbed atoms residing in various positions relative to the channel axis and at given heights  $h$  with respect to the rear surface of the crystal. The adatom sort and adsorption site are determined from a comparison of the angular distributions of the transmitted ions with or without adatoms present on the crystal surface (Fig.5,a,b). Fig.5,a illustrates the possibility of using the channeling effect to detect the adatom adsorption site above the rear crystal surface along the principal axes. Fig.5,b shows schematically the changes in the angular distribution of the redistributed transmitted flux caused by the ion interaction with the adatoms. We readily see that the presence of a peak in the angular distribution at the limiting scattering angle permits the identification of the adatom sort. Thus, the present method is efficient only when  $m_2 < m_1$ , i.e., when the adatoms are lighter than the channeling ions. By choosing properly the ion energy and crystal thickness, one can obtain angular distributions with the main peak corresponding to the limiting scattering angle.

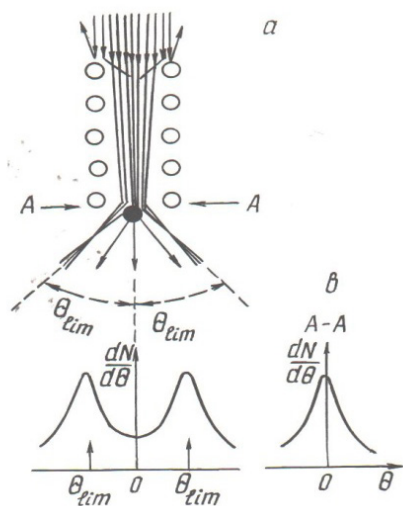


Figure 5. (a) The possibility of using the channeling effect to detect the adatom adsorption site above the rear crystal surface along the principal axes, and (b) The changes in the angular distribution of the redistributed transmitted flux caused by the ion interaction with the adatom

This is illustrated in Fig.6, showing angular distributions of 1 keV  $\text{Ne}^+$  ions channeling

through thin ( $\Delta z = 100\text{\AA}$ )  $\text{Ni}(100)$  films along  $\langle 100 \rangle$  in the (a) absence and (b) presence of adatoms of carbon and (c) oxygen located at the channel center at a height  $h = 0.9\text{\AA}$  above the rear crystal surface, which were calculated for  $T=0\text{ K}$ . The presence of adatoms affects noticeably the distributions in that they shift toward scattering angles  $\theta \approx \theta_{lim}$ , their main peaks corresponding to rainbow scattering ( $\theta_{lim} = 35^\circ$  for carbon and  $\theta_{lim} = 50^\circ$  for oxygen). As essential advantage of this method lies in its capability of detecting of very light adatoms, such as hydrogen and deuterium. Thickness of the film, channeling direction and particles energy have influence only on the magnitude of these maxima, but not on their positions. Thus, this method allows discrimination between the isotopes of an adsorbed element. Similar arguments are valid also for close isotopes of carbon and oxygen. Thus, when  $m_1 > m_2$ , the angular distributions of transmitted ions allow a correct determination of the adatom sort. The film thickness is not a critical factor in this technique, and it can be taken thicker if one increases correspondingly the initial energy of ions.

It is thought that rapid progress of the nanostructures physics and ultra-high vacuum technology allow to obtain in near future single crystal films only a few hundred Angstroms thick with clean entrance and exit surfaces and well ordered adsorbate structure on them. It was shown that the magnitude of main maximum at  $\theta \approx \theta_{lim}$  depends on the height  $h$  of the adatom above the crystal surface. For the case  $\text{Ne}^+ \rightarrow \text{Ni}(100) + \text{O}$ , film thickness ( $\Delta z = 100\text{\AA}$ ), and  $E_0 = 1\text{ keV}$ , maximum occurs at  $h = 0.9\text{\AA}$ , which is in agreement with the experimental value [42]. The sensitivity of the angular distributions of transmitted ions to shadowed adatom positions which do not correspond to the channel center in the given direction can be revealed by varying the direction of particle channeling. The accuracy with which the adatom adsorption site with respect to the unit cell in the transverse plane of the channel can be determined, is evaluated as  $\sim 0.1\text{\AA}$ . An experimental test of this technique would permit a realistic evaluation of its capabilities.

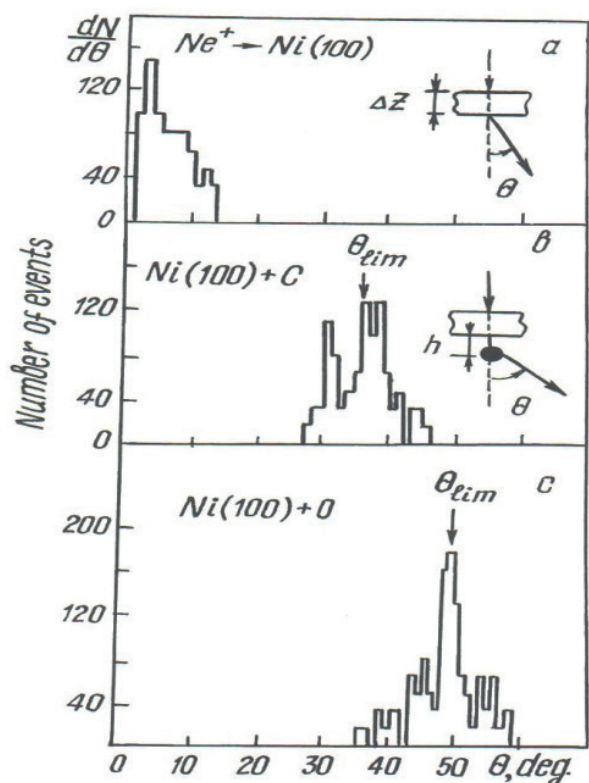


Figure 6. Angular distributions of 1 keV  $\text{Ne}^+$  ions channeling through thin Ni(100) films in (a) absence and (b) presence of adatoms of carbon and (c) oxygen.

### 3.3. $\text{Ag}_{191}\text{Co}_{10}$ cluster deposition on Ag(100) surface

When the initial energy of  $\text{Ag}_{191}\text{Co}_{10}$  cluster is very low (0.25 eV/atom) it is deposited on the

Ag(100) surface without any penetration. The snapshots of the deposition of 0.25 eV/atom  $\text{Ag}_{191}\text{Co}_{10}$  cluster are presented in Fig. 7a. Note that initially (before deposition) the cluster was an ideal truncated octahedron. It is seen that the bottom part of the cluster has been more deformed. In this case the cluster edges have been aligned with  $\langle 110 \rangle$  surface direction (Fig. 7b). In the many impacts investigated, the main morphological features observed are a re-faceting of clusters and an inter-facial alignment with  $\langle 100 \rangle$  and  $\langle 110 \rangle$  substrate surface directions. By systematic 3-dimensional visualization of the slowing down of the clusters, it is found that the small cluster truncated octahedral morphology is indeed fully destroyed by the impact at all energies investigated. Simultaneously to the epitaxial accommodation with the substrate, new facets are formed with  $\{111\}$  and  $\{100\}$  orientations. These facets induce alignment with  $\langle 100 \rangle$  and  $\langle 110 \rangle$  surface directions, leading to a markedly polygonal cluster-substrate interface, often in the form of a half truncated octahedron. At the highest energies considered however, because of the partial implantation of the clusters, such accommodation with surface rows is more difficult and no polygonal aspect of the interface is observed.

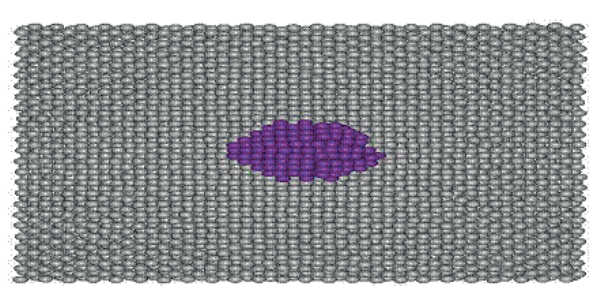
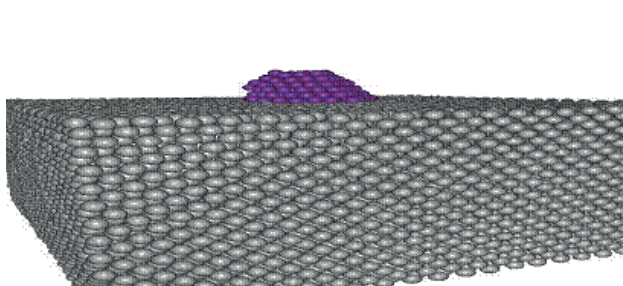


Figure 7. Snapshots of 0.25 eV/atom  $\text{Ag}_{191}\text{Co}_{10}$  cluster deposition (front and top side view).

At the low energies considered (no more than 1.5 eV per atom), the cluster penetration, if any, is only partial (Fig. 8a). Co is always found regrouped into one cluster surrounded by a layer of silver. When it penetrates, the cluster displaces Ag atoms from the substrate with the consequence of the formation of add-atoms (Fig. 8b, c).

The fraction of cluster atoms with final

positions below the substrate surface is close to linearly increasing with the slowing down energy. With increasing the slowing down energy the cluster has been more deformed: its size is expanded along the substrate surface and its height becomes smaller.

It was found that, at keeping all other incident conditions constant, the deformation of the cluster

is determined by the orientation with which it impacts on the surface. If cluster impacts with its smallest face (of {100} orientation) or with edge oriented parallel to the substrate surface, it is less deformed and penetrates more than otherwise.

Figure 8 shows the maximal penetration depth of the incident clusters (Fig.8a) and the height of the layer formed by substrate atoms above the surface (Fig.8b) as functions of the incident energy. The distinction is made between the penetration of each of the elements forming the incident clusters. The results are averaged over ten independent slowing downs at each energy and the standard errors on the mean are given. Not surprisingly, the maximal penetration is a monotonically increasing function of the incident energy and it is limited to 4 atomic layers for the largest cluster. The smallest cluster does not penetrate two layers, in the average, at the highest energy considered.

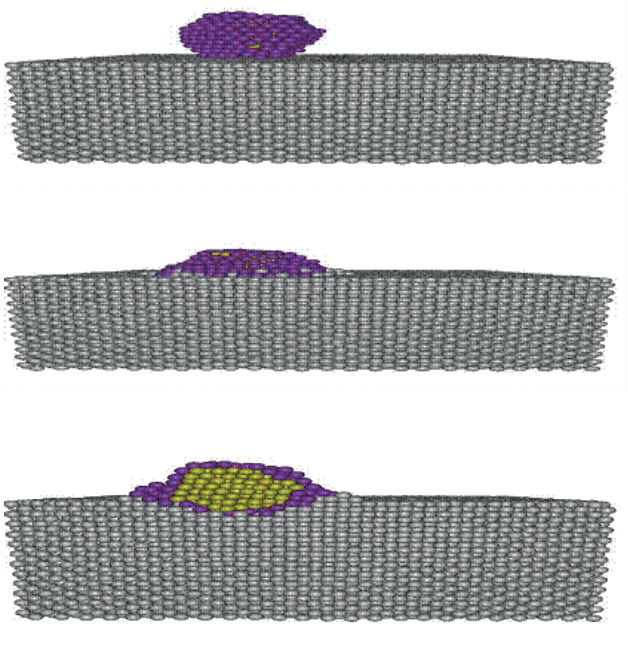


Figure 8 (a,b,c). Snapshots of the Ag<sub>301</sub>Co<sub>285</sub> cluster deposition of for two slowing down energies.

The largest cluster systematically penetrates deeper than the smallest one. Systematically as well, Co, initially surrounded by Ag atoms has less penetration than Ag and still remains surrounded by its silver shell. Except for the smallest cluster with incident energy lower than 0.5

eV/at, Co and Ag atoms are always found at least one layer deep in the substrate. This suggests that, in real experiments, substrate damage would be particularly difficult to avoid. Part of the induced damage can be appreciated in Fig. 9b where it is shown that displaced Ag atoms form layers around the cluster which height, in the average, is also an increasing function of the incident energy.

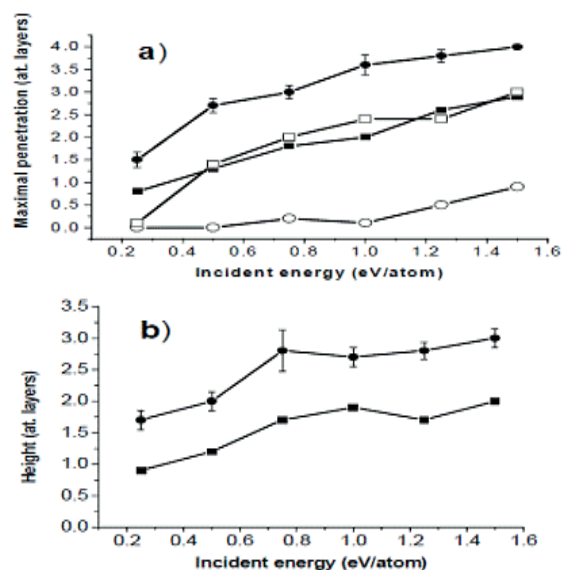


Figure 9. Maximal penetration (a) and mean height of the step around the clusters (b) as functions of the slowing down energy. In Fig.9a, dark squares represent the results for Ag in the small cluster, dark circles for Ag in the big clusters, open circles for Co in the small clusters and open squares for Co in the big clusters. In Fig.9b, circles provide the results for the small clusters, squares for the big clusters.

Above, the characteristics of single clusters impacting on the Ag(100) surface have been discussed. By low energy cluster deposition it is possible to synthesised nanostructured layers with specific properties. For this aim the Ag<sub>n</sub>Co<sub>m</sub> clusters with n = m have been deposited on a Ag (100) surface at energies of 0.5 eV per atom.

### 3.4. C<sub>60</sub> fullerene adsorption on graphene surface

It was obtained that the C<sub>60</sub> fullerene adsorption on graphene surface can be realized by different ways; below are given only 5 ones with indication of their name, if any [31].

I) Interaction of one atom of fullerene with one atom of graphene (C-ATP).

II) Interaction of fullerene hexagons and graphene (C-RING).

III) Interaction of two neighboring atoms of fullerene and two neighboring atoms of graphene (BRI).

IV) Interaction when the center of fullerene hexagon is located over the graphene atom (C-RING2).

V) Interaction of two nearest non-neighboring atoms of fullerene and two nearest non-neighboring atoms of graphene.

The geometrical characteristics of adsorbed fullerene which were obtained by analyzing the results of computer simulation by the above 5 ways of adsorption are given in Table I.

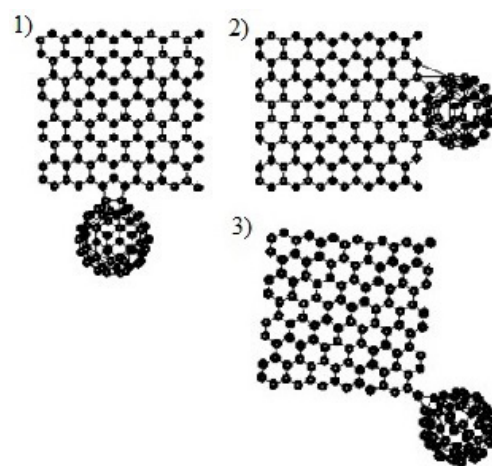
**Table I – Geometrical characteristics of fullerene  $C_{60}$  adsorbed on graphene surface**

|                                        | Ways of adsorption |              |            |               |       |
|----------------------------------------|--------------------|--------------|------------|---------------|-------|
|                                        | I<br>C-ATP         | II<br>C-RING | III<br>BRI | IV<br>C-RING2 | V     |
| Radius, averaged, Å                    | 3.60               | 3.61         | 3.60       | 3.61          | 3.60  |
| Radius, maximal, Å                     | 3.91               | 3.98         | 3.91       | 3.88          | 3.88  |
| Radius, minimal, Å                     | 3.53               | 3.50         | 3.50       | 3.48          | 3.47  |
| Ratio of maximal radius to minimal one | 1.108              | 1.137        | 1.117      | 1.115         | 1.118 |

Since the radius of free fullerene  $C_{60}$  is equal to 3.60 Å and its spherical symmetry leads to the fact that the values of its maximal and minimal radii are equal to each other and their ratio is 1 then, according to Table I, as a result of adsorption the spherical symmetry of fullerene  $C_{60}$  is violated and this violation of symmetry depends on a way of adsorption on graphene surface.

The binding energies and the adsorption distances for adsorbed fullerenes  $C_{60}$  were also obtained; they were compared with available experimental and theoretical results. It was experimentally obtained in [58] that the binding energy of fullerene  $C_{60}$  and graphene is equal to 0.85 eV and the least distance between the fullerene  $C_{60}$  atoms of and graphene ones is equal to 2.9 Å which can be considered as a measurable experimental value of the adsorption distance. In [31] by three first-principles methods PBE, PBE-D2 and optB86b the binding energy and the adsorption distance were obtained for the adsorption ways from I to IV; the geometrical changes in adsorbed fullerene  $C_{60}$  are not presented in that paper.

The computer models of fullerene  $C_{60}$  and nano-graphene were used to study fullerene adsorption on graphene edges. Three variants of fullerene adsorption on graphene edges were considered (Figure 10):



*Figure. 10. Visual representation of interaction of fullerene  $C_{60}$  adsorbed on 1) the middle of the zigzag edge of nano-graphene, 2) the middle of the armchair edge of nano-graphene and 3) edge "corner" atom of nano-graphene. These visual pictures are obtained with the program Amira 2.2.*

1) Fullerene is adsorbed on the middle of the zigzag edge of nano-graphene;

2) Fullerene is adsorbed on the middle of the armchair edge of nano-graphene;

3) Fullerene is adsorbed near a “corner” atom of nano-graphene with the cohesion energy of 2.9 eV.

In all these variants of adsorption it was supposed that the geometrical center of fullerene is in the plane in which nano-graphene is located. After the initial arrangement of defect-free fullerene and nano-graphene was set by the method of energy minimization, the binding energy of adsorbed fullerene with graphene was obtained, as well as other results presented in Table II.

**Table II – Characteristics of fullerene C<sub>60</sub> adsorbed on graphene edges**

| Variant number of adsorption on graphene edge | 1     | 2     | 3     |
|-----------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Binding energy, eV                            | 2.0   | 2.6   | 0.4   |
| Fullerene radius, averaged, Å                 | 3.60  | 3.61  | 3.60  |
| Fullerene radius, maximal, Å                  | 3.96  | 4.03  | 3.84  |
| Fullerene radius, minimal, Å                  | 3.52  | 3.24  | 3.52  |
| Ratio of max radius to min one                | 1.125 | 1.244 | 1.091 |

From Table II it follows that the fullerene is better adsorbed on the armchair edge of nano-graphene and worst on the “corner” atom of nano-graphene. The binding energy for adsorption on the nano-graphene edge can be almost twice as large as the highest binding energy of adsorption on the graphene surface and stronger deformation of the fullerene shape is observed.

### Conclusion

The following conclusions one can draw on the basis of the conducted researches:

- A comparison of the angular and energy distributions of ions scattered from the surface of an alloy in the process of ordering with similar distributions for pure targets made up of the alloy components permits a conclusion that two

or more neighbouring atoms in an alternating sequence are of the same species. The results obtained can be used to study a short-range order in an alloys undergoing ordering;

- It was shown that the sort and adsorption site of the adatoms one can determined from the rainbow effect in the angular distributions of transmitted channeled particles caused by their interaction with adatoms above the rear surface of the crystal. The accuracy with which the adatom adsorption site with respect to the unit cell in the transverse plane of the channel can be determined, is evaluated as  $\sim 0.1 \text{ Å}$ ;

- It was shown that the EAM potential proposed by Johnson may be used successfully for studying of AgnCom cluster deposition on an Ag (100) surface at the slowing down energies (0.25 eV - 1.5 eV per/atom).

- It was found that the characteristics of deposited Ag-Co clusters are significantly modified by the slowing down conditions. The Ag<sub>301</sub>Co<sub>285</sub> cluster preserves their inner structure better than the smaller one, but the core-shell structure may be degraded. The slowing down energy may be used to monitor the penetration –and hence the pinning– of the incident clusters.

- It was determined that in order to preserve the initial state of cluster either the low incident energy ( $\leq 0.25 \text{ eV/atom}$ ) or comparatively big clusters (where number of Co atoms more than 250) should be used. In order to enhance the epitaxy it is useful to use the comparatively high energy.

- It was obtained that the C<sub>60</sub> fullerene adsorption on graphene surface can be realized by different ways. The geometrical characteristics of fullerene C<sub>60</sub> adsorbed on graphene surface were obtained.

- It was established that the fullerene is better adsorbed on the armchair edge of nano-graphene and worst on the “corner” atom of graphene. The binding energy for adsorption on the graphene edge can be almost twice as large as the highest binding energy of adsorption on the graphene surface and stronger deformation of the fullerene shape is observed.

## REFERENCES

1. Van Hove M.A. Surf. Sci., 603, 1301-1305 (2009).
2. Begemann, S. H. A. and Boers, A. L. Surf. Sci., 30, 134 (1972).
3. Parilis, E. S., Turaev, N.Yu. and Umarov, F. F. Radiat. Eff., 24, 207 (1975).
4. Mashkova, E. S. and Molchanov, V. A. Medium Energy Ion Reflection from Solids. North-Holland Publ., Amsterdam (1985).
5. Parilis, E. S., Kishinevsky, L. M., Turaev, N. Yu., Baklitzky, B. E., Umarov, F. F., Verleger, V. Kh., Niznaya, S. and Bitensky, I. S. Atomic Collisions on Solid Surfaces. North-Holland Publ., Amsterdam (1993).
6. Smith, D. P. Surf. Sci., 25, 171 (1971).
7. Labanda J. G. C., Barnett S. A.: Sep 1997, J. Electronic Mater.
8. Dzhurakhalov A. A.: 2004, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res., B216, 202.
9. Umarov F. F., Dzhurakhalov A. A., Teshabaeva N. A.: 1998, Appl. Surf. Sci., 125, 226.
10. Morgan D.V. (Ed.) (1973). In: Channeling Theory. Observation and Applications. Wiley, London.
11. Ziegler J.F., Biersack J.P., and Littmark U. (1983). Stopping and Ranges of Ions in Matters. Pergamon, NewYork.
12. Kumakhov M.A., and Komarov F.F. (1981). Energy loss and Ion Ranges in Solids, Gordon and Breach, NewYork.
13. Stepina N.P. and Kachurin G.A. (1983). Sov. Phys. Semiconductors, 17, 449.
14. Vavilov V.S. (1985). Usp. Fiz. Nauk (1985), 145, 9.
15. Umarov F.F., Rasulov A.M. and Khaidarov A. Kh. Rad.Eff. and Defects in Solids, (2003), Vol.158, p.481.
16. P. Melinon, V. Paillard, V. Dupuis, A. Perez, P. Jensen, A. Hoareau, J.P. Perez, J. Tuaillon, M. Broyer, J.L.Vialle, M.Pellarin, B.Baguenard, J. Lerme; Int. J. Mod. Phys. B139 (1995) 339.
17. M. Hou, Nucl. Instr. and Methods B135 (1998) 501.
18. Dzhurakhalov A.A., Peeters F.M. 2011. Structure and energetics of hydrogen chemisorbed on a single graphene layer to produce graphane //Carbon 49, P. 3258-3266.
19. Grizzi, O., Bu, H. and Rabalais, J.W. (1990). Phys. Rev. B, 41, 4789.
20. Shulga, V. I. (1980). Radiat. Eff., 51, 1.
21. Dzhurakhalov A.A., Umarov, F.F. Nucl. Instr. and Meth. B 161-163 (2000), p.377.
22. Robinson, M. T. and Torrens, I. M. (1974). Phys. Rev., B9, 5008.
23. W.C. Swope, H.C. Andersen, P.H. Berens, K.R. Wilson, J.Chem.Phys., 76 (1982) 637.
24. F. Cleri, V. Rosato, Phys.Rev., B48, 1 (1993) 22.
25. G.J. Ackland, V. Vitek, Phys.Rev., 41, 15 (1990) 10324.
26. S.M. Foiles, M.I. Baskes, M.S. Daw, Phys.Rev., B33, 12 (1986) 7983.
27. R.A. Johnson, Phys. Rev., B41, 14, (1990) 9717.
28. R.A. Johnson, Phys. Rev., B39, 17, (1990) 12554.
29. AIPH
30. Rothery & Reynolds (1939)
31. Laref S., Asaduzzaman A.M., Beck W., Deymier P.A., Runge K., Adamowicz L., Muralidharan K., Chemical Physics Letters, 582, (2013), 115–118.
32. Q. Hou, M. Hou, L. Bardotti, B. Prevel, P. Melinon, A. Perez, Phys. Rev. B62 (2000) 2825.
33. Brenner D.W., Shenderova O.A., Harrison J.A., Stuart S.J., NiB., Sinnot S.B., J. Phys: Condens. Matter.14, (2002), 783–802.
34. Sanchez J.M., Moran-Lopez J.L. Surf.Sci. Lett. Vol.157 (1985), p.297.
35. Lipovsky R. Phys. Rev. Lett.Vol.49 (1982), p.1575.

36. Houssian L., Bertrand P. Nucl. Instr. and Meth. B 118 (1996), p.467.
37. Houssian L., Bertrand P. Nucl. Instr. and Meth. B 115 (1996), p.161.
38. Dzhurakhalov A.A., Umarov, F.F. Nucl. Instr. and Meth. B 161-163 (2000), p.377.
39. Stensgaard I. Nucl.Instrum. and Meth. B 15, (1986), p.300.
40. Dzhurakhalov A.A., Parilis E.S., Rasulov A.M., Umarov F.F. Poverkhnost, Vol.6, (1990), p.148 (in Russian).
41. Umarov F.F., Rasulov A.M. Applied Surf. Sci., Vol.135 (1998), p.269.
42. Demuth J.E., Jepsen D.W., Marcus P.M. Phys. Rev. Lett., Vol.31 (1973), p.540.
43. Ulbricht H., Moos G., Hertel T., Phys. Rev. Lett. 90(9): (2003), 095501.

УДК 004.9, 004.5, 004.41/.42, 004.43  
МРНТИ 50.41.25

## СИСТЕМА ВИЗУАЛИЗАЦИИ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТЫХ ПАТОЛОГИЙ В РАМКАХ ТРЕНИРОВОЧНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

ЦОЙ Д.Д.<sup>1</sup>, ДАЙНЕКО Е.А.<sup>1,2</sup>, ИПАЛАНОВА М.Т.<sup>1</sup>, ДАЙНЕКО Р.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Международный университет информационных технологий

<sup>2</sup>Институт прикладных наук и информационных технологий

**Аннотация:** Данная статья посвящена теме использования виртуальной реальности в области медицинского образования и ее проблемам. Авторы сделали обзор на существующие проекты и изучили практику применения этой технологии среди учащихся медицинских школ, университетов и других организаций, связанных со здравоохранением и образованием. Было разработано приложение с использованием технологии виртуальной реальности, позволяющее визуализировать сердечно-сосудистые патологии. В качестве платформы разработки был выбран игровой движок Unity 3D. Основной функционал был написан на C#. Графические модели создавались при помощи 3DsMAX. В качестве устройства виртуальной реальности использовались очки виртуальной реальности Oculus Rift. В статье рассмотрен процесс разработки представленного приложения, его функционал, а также пользовательский интерфейс.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, 3D-моделирование, Unity3D, C# (CSharp), медицина

## ВИРТУАЛДЫ НАҚТЫЛЫҚТЫ ОҚЫТУ АРҚЫЛЫ КАРДИОВАСКУЛЯРЛЫҚ ПАТОЛОГИЯЛАРДЫ ВИЗУАЛИЗАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІ

**Аңдатпа:** Бұл мақала медициналық білім саласындағы виртуалды шындықты қолдануға және оның проблемаларына арналған. Авторлар қолданыстағы жобаларды қарап шықты және денсаулық сақтау мен білім беруге байланысты медициналық мектептерде, университеттерде және басқа ұйымдарда осы технологиялардың пайдаланылуын талдады. Виртуалды шындық технологиясын қолдана отырып бағдарламалық жасақтама жасалды, ол жүрек-тамыр патологияларын визуализациялауға мүмкіндік тудырады. Unity 3D ойын қозғалтқышы даму платформасы ретінде таңдалды. Негізгі функционал C # -де жазылған. Графикалық модельдер 3DsMAX көмегімен жасалды. Виртуалды шындық құралы ретінде Oculus Rift виртуалды шындық көзiлдiрiгi қолданылды. Мақалада ұсынылған қосымшаның даму процесi, оның функционалдығы, сондай-ақ пайдаланушы интерфейсі сипатталған.

**Түйінді сөздер:** виртуалды шындық, 3D модельдеу, Unity3D, C # (CSharp), медицина

## VISUALIZATION SYSTEM OF CARDIOVASCULAR PATHOLOGIES WITHIN THE TRAINING APPLICATION OF VIRTUAL REALITY

**Abstract:** This article is devoted to the use of virtual reality in the field of medical education and its problems. The authors reviewed existing projects and analyzed the application of these technologies among medical schools, universities and other organizations related to health and education. A

*software application was developed using virtual reality technology, which allows visualization of cardiovascular pathologies. The Unity 3D game engine was chosen as the development platform. The main functionality was written in C#. Graphic models were created using 3DsMAX. As a virtual reality device, Oculus Rift virtual reality glasses were used. The article describes the development process of the presented application, its functionality, as well as the user interface.*

**Key words:** *virtual reality, 3D modeling, Unity3D, C# (CSharp), medicine*

## Введение

Сегодня трудно себе представить нашу жизнь без информационных технологий. Они стали важной частью нашей повседневной жизни, значительно упрощая некоторые ее моменты. Более того, данная интеграция усиливается день ото дня. С развитием ИКТ мы получаем доступ к все более увеличивающемуся числу новых средств, которые ускоряют, удешевляют и делают более удобными некоторые ежедневные процессы. Одной из новейших технологий разработки является виртуальная реальность (VR), генерируемая с помощью компьютера трехмерная среда, в которой пользователь может взаимодействовать, полностью или частично погружаясь в неё.

Технологии виртуальной реальности применяются во всех сферах человеческой деятельности – образование, реклама, маркетинг, туризм, музеи и т.д.

В медицине применение виртуальной реальности – это не только следование современному модному тренду, но и жизненная необходимость. Данная технология способна обеспечить безопасную и экономически эффективную обучающую среду, где студенты-медики могут практиковать реальные навыки и манипуляции. Они могут совершать ошибки без всяких последствий, не боясь причинить вред пациенту, в то время как их преподаватели могут сконцентрироваться на процессе обучения, а не на состоянии пациента.

Данная статья посвящена разработке программного приложения с использованием технологии виртуальной реальности, которое позволяет визуализировать сердечно-сосудистые патологии.

## Основная часть

Дополненная и виртуальная реальность обрели свою популярность не так давно. Но как идея они возникли в конце 60-х годов. Первая теория была об искусственной реальности и проблемах ее создания. Позже появилась концепция дополненной реальности (AR), которая позволяла не воссоздавать, а обогащать существующую реальность искусственными объектами. Одним из основоположников виртуальной реальности является Томас А. Фернесс III. Это изобретатель, пионер виртуальной реальности. Он внес существенный вклад в развитие технологии человеко-компьютерного интерфейса, за это он получил звание «дедушка VR». Так же Томас А. Фернесс III первым предложил использовать VR в военных целях [1]. Другим человеком, существенно повлиявшим на развитие VR является художник Дэвид Эм. Он был первым человеком, создавшим навигационный виртуальный мир. Виртуальный тур внутри этого мира позволил увидеть улицы города в разных режимах. Его идеи актуальны и сейчас, потому как навигация в виртуальном мире очень популярна и востребована и помогает людям с физическими заболеваниями [2]. Несмотря на то, что первые зачатки данных технологий были разработаны еще в 1960-х гг., глобальное внимание VR получила после представления миру Oculus Rift. Его создателем является изобретатель Палмер Лаки. Именно с приходом на рынок этого устройства виртуальная реальность перестала быть технологией далекого будущего. Главной целью Палмера Лаки является развитие технологии и ее распространение на уровне использования смартфонов [3].

Как уже было написано выше, проблема отсутствия хорошего визуального и практического учебного материала существует и ограничивает возможности студентов и молодых специалистов. Во многом эта проблема связана с отсутствием доверия к виртуальным инструментам. Люди всё ещё боятся технологий. При этом эффективность таких инструментов растёт с годами. Несколько исследований доказывают, что опыт, который был получен благодаря использованию VR и AR, является равным реальному.

Подготовка медицинских/хирургических процедур часто является сложной задачей, требующей высокого уровня восприятия когнитивных и сенсомоторных навыков. Медицинское обучение на практике было общепринятым методом на протяжении веков, однако сегодня использование интеллектуальных систем и/или симуляторов виртуальной реальности стало широко распространённой альтернативой.

Многие медицинские образовательные учреждения разрабатывают собственные комплексы тренажеров, позволяющих студентам тренироваться. Также широко известны такие платформы и приложения как Eprocrates, Medscape, Touch surgery, Orcahealth и множество других.

Например, Eprocrates [1] позволяет терапевтам и другим медицинским работникам определить дозировку препаратов, их взаимодействие, узнавать новости медицинского мира. Также приложение помогает определить диагноз на основе имеющихся данных. Приложение содержит большой объем информации из авторитетных источников. Medscape – онлайн-платформа для врачей, пациентов и всех медработников [2]. Позволяет получить подборку новостей, статей и прочие данные с помощью персонализированного подхода. Touch surgery – приложение, содержащее более чем 200 хирургических симуляций по 14 специализациям [3]. Пользователь может провести «операцию» в интересующем его отделе с наглядной демонстрацией и точным описанием всех действий. Orcahealth позволяет пользователям узнать больше о том, что про-

исходит за стенами клиник [4]. В течение взаимодействия с приложением люди получают актуальную информацию о том, что происходит в процессе лечения или обследования. Игровая форма улучшает пользовательский опыт. Также существует раздел, где есть возможность задавать вопросы, на которые ответят реальные врачи. Медицинские работники имеют возможность общения с коллегами со всего света.

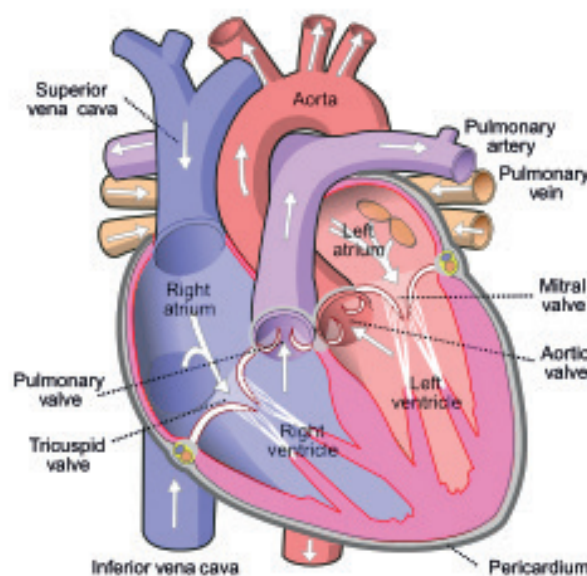


Рис. 1 – Строение сердца

Данные проекты уже используются различными медицинскими и образовательными учреждениями и уже демонстрируют довольно хорошие показатели. Многие из них используются в постоперационный период в целях реабилитации.

Так, в [5] авторы сделали анализ и обзор на существующие проекты использования VR в медицине и хирургии. Они определили, что эта комбинация обладает огромным потенциалом именно в качестве учебного пособия, поскольку позволяет изучать строение человеческого тела во всех, даже самых мелких деталях. В [6] был создан проект, который помогает медицинским работникам тренировать свои навыки путем визуализации и тестирования внутри приложения. Так, например, пользователи могут в подробностях изучить составные части черепа, получить различную информацию, которая затем мо-

жет быть применена в работе. Создатели [7] представляют виртуальную альтернативу для работников, обучающихся стоматологии. Их проект является дешевой, но не менее эффективной альтернативой специальным аппаратам для развития практических навыков. [8] – это система, позволяющая отточить своё мастерство работникам неотложной помощи. Она предлагает множество инструментов для обучения и позволяет снизить затраты на повышение квалификации персонала.

Все имеющиеся на данный момент работы можно разделить на две категории. Первая касается применения VR для реабилитационных нужд, вторая касается обучения персонала. После ознакомления со всеми этими статьями легко понять, что виртуальная реальность как инструмент обучения является одной из лучших, а главное доступных технологий. Её использование эффективно, дешевле, чем эксплуатация специализированного учебного оборудования, и более безопасна как для студентов, так и для пациентов. Но немаловажным являются показатели пользы от практического использования. Ключевым свойством виртуальной реальности является погружение пользователей в виртуальную среду. Оно позволяет создателям, разработчикам и всем, кто связан с этой технологией, создавать интересные среды, которые будут восприняты человеческим мозгом как настоящие, действительные. Эта функция применяется во многих различных ситуациях. Самая важная часть VR – это то, что опыт, который будет получен в ней, будет реальным, а риски будут сведены к минимуму по сравнению с настоящим процессом. Например, молодой и неопытный хирург может совершить ошибку, которая может спровоцировать неминимизируемые последствия для здоровья пациента. Тем не менее, тренировка навыков – важная часть становления молодых специалистов, потому что только так они способны обрести необходимые знания и опыт. VR допускает совершение ошибок, но без каких-либо рисков для здоровья и жизни реальных людей. Таким образом, молодой специалист получает необходимые знания, и ход настоящей опе-

рации будет для него не новым событием, а уже отработанной ситуацией.

Наиболее распространенным недостатком приведенных здесь проектов является то, что многие из них не проходят реального длительного тестирования. Обычно их реальная эффективность проявляется в способе тестирования приложения контрольной группой, которая может быть любого размера, 10 или 100 человек. Это не позволяет сделать объективную оценку эффективности приложения, потому что результат может оказаться просто статистическим.

Таким образом, проекты с использованием технологии виртуальной реальности помогают будущим врачам оттачивать свои знания и навыки, получать самую актуальную информацию о том, что происходит в медицинской сфере во всем мире. Актуальные данные и возможность обмена опытом с зарубежными коллегами – это верный путь к улучшению медицинской системы мира и нашей страны в частности.

### **Используемые технологии**

Реализация программного приложения основана на интеграции между очками виртуальной реальности Oculus Rift и игровым движком Unity Game Engine [9].

В качестве инструмента разработки был выбран игровой движок Unity, поддерживающий на сегодняшний день большое количество платформ и библиотек для разработки 3D-игр. Редактор Unity имеет простой, легко настраиваемый Drag&Drop интерфейс, состоящий из различных окон, благодаря чему можно производить отладку игры прямо в редакторе. Движок поддерживает язык программирования C#. Физические расчёты производит физический движок PhysX от NVIDIA.

В качестве средства виртуальной реальности были выбраны очки виртуальной реальности Oculus Rift [10]. Они обладают такими свойствами, как высокое качество картинки, хороший эффект погружения, идеальный трекинг головы и тела, позволяющими переносить точные движения, совершенные в реальном мире, в виртуальный мир.

Основной функционал был написан на C#. Графические модели создавались при помощи среды 3dsMAX.

### Разработка программного приложения

На данный момент приложение представляет из себя сцену с сердцем, внешний вид которого близок к анатомическому. Помимо сердца сцена снабжена пользовательским интерфейсом, который позволяет с ним взаимодействовать. Меню приложения содержит окно с описанием состояний сердца, необходимых диагностических анализов и рисков, которые связаны с одним из трёх заболеваний, в качестве четвертого состояния сердца приведен здоровый орган. Эти заболевания представлены панелью внизу окна и при нажатии каждой из них сердце начинает двигаться в соответствии с физиологическими данными. Также меняется звук сердцебиения и поверхность самого сердца.

В приложении имеется возможность рассмотреть сердце в разрезе. При включении одного из четырех состояний можно увидеть движение мышцы. Рассмотреть сердце в разрезе и целиком можно на рисунке 2 и рисунке 3.

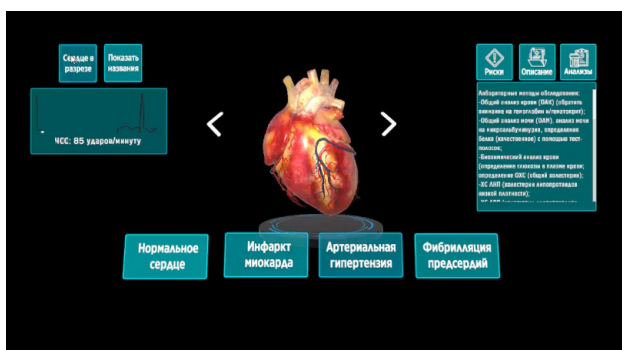


Рис. 2 – Скриншот приложения: сердце целиком



Рис. 3 – Скриншот приложения: сердце в разрезе

Размер смоделированного сердца удобен для пользователя, так как позволяет рассмотреть части сердца во всех деталях. Анимация миокарда включает в себя не только реалистичные движения самой мышцы, но и клапанов, и предсердий. В совокупности анимация, звук и текстуры модели представляют собой удобное и наглядное пособие для пользователей.

### Заключение

В работе показано, что современные технологии могут применяться и быть полезными везде. Вопрос в том, чтобы выбрать подходящий способ сделать это. Все проекты, которые были совместно исследованы, показали хорошие показатели. Авторами было разработано программное приложение, позволяющее визуализировать.

Авторы доказывают, что AR и VR полезны не только в сфере развлечений, но и в образовании. Они решают проблему визуальных аспектов невидимых процессов. В заключение следует понимать, что использование VR для визуализации сердечных заболеваний поможет хирургам в образовании и практике.

### ЛИТЕРАТУРА

1. "Point of Care Medical Applications | Epocrates." Epocrates.Com, 2019, [www.epocrates.com/](http://www.epocrates.com/). Accessed 5 Oct. 2019.
2. "Latest Medical News, Clinical Trials, Guidelines – Today on Medscape." Medscape.Com, 31 Dec. 1999, [www.medscape.com/](http://www.medscape.com/). Accessed 11 Sept. 2019.
3. Touchsurgery.com. (2019). [online] Available at: <https://www.touchsurgery.com/> [Accessed 12 Sep. 2019].

4. Orcahealth.com. (2019). Orca Health. [online] Available at: <https://orcahealth.com/> [Accessed 9 Sep. 2019].
5. Monsky, W.L., James, R. and Seslar, S.S. (2019). Advances in Nursing Education and Research. Anatomy & Physiology: Current Research, [online] 9(1), pp.1–5. Available at: <https://www.longdom.org/abstract/virtual-and-augmented-reality-applications-in-medicine-and-surgery-the-fantastic-voyage-is-here-25534.html> [Accessed 1 Dec. 2019].
6. Ziegler, Rolf. A Virtual Reality Medical Training System. edited by Nicholas Ayache. Lecture Notes in Computer Science, International Conference on Computer Vision, Virtual Reality, and Robotics in Medicine ed., Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, 1995, [link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-49197-2](http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-49197-2). Accessed 27 Sep. 2019.
7. Louis Gómez Chova, et al. Inexpensive Dentistry Training Using Virtual Reality Tools. // INTED2016, The 10th annual International Technology, Education and Development Conference ed., Valencia, Iated Academy, 2016, [library.iated.org/view/PAVALOIU2016INE](http://library.iated.org/view/PAVALOIU2016INE). Accessed 2 Sep. 2019.
8. Ferracani, Andrea, et al. “Natural and Virtual Environments for the Training of Emergency Medicine Personnel.” Universal Access in the Information Society, vol. 14, no. 3, 1 Aug. 2014, pp. 351–362, [link.springer.com/article/10.1007%2Fs10209-014-0364-1](http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10209-014-0364-1), 10.1007/s10209-014-0364-1. Accessed 2 Sep. 2019.
9. Unity. (2019). Company - Unity. [online] Available at: <https://unity3d.com/company> [Accessed 12 Nov. 2019].
10. Oculus.com. (2019). Oculus Rift S: VR-гарнитура для ПК | Oculus. [online] Available at: [https://www.oculus.com/rift-s/?locale=ru\\_RU](https://www.oculus.com/rift-s/?locale=ru_RU) [Accessed 27 Nov. 2019].

УДК 551.582; 551.583  
МРНТИ 44.01.94; 28.17.23

# ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ПОДБОРУ СХЕМ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ МИКРОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В РЕГИОНЕ ЦЕНТРАЛЬНАЯ АЗИЯ

ЮНИЧЕВА Н.Р.<sup>1</sup>, БОСТАНБЕКОВ К.А.<sup>2</sup>, АЛИМОВА А.Н.<sup>2</sup>, ВИТКОВСКАЯ И.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий

<sup>2</sup>Сэтбаев университети

**Аннотация:** С целью выбора схемы параметризации микрофизических процессов и процессов в пограничном слое атмосферы в регионе Центральной Азии проведены расчеты разности наблюдаемых и моделируемых метеорологических параметров для 4-х климатических сезонов за 2000-2016 годы. Данные наблюдений, находящиеся в свободном доступе, заимствованы из глобальных архивов Метеорологического Офиса Великобритании и лаборатории приповерхностной гидрологии Принстонского университета США. Граничные и начальные условия для региональной климатической модели задавались на основе набора данных реанализа ERA-Interim. Результаты численных экспериментов представлены в виде карт среднемноголетней сезонной изменчивости приземной температуры на уровне 2 м и осадков в пределах домена Центральная Азия. Рассмотрены три комбинации схем микрофизики и пограничного слоя: одномоментная схема микрофизики Томпсона, использующая 5 классов гидрометеоров в сочетании с двумя схемами пограничного слоя атмосферы (YSU и MYJ) и схема WRF Single Moment с 6 классами гидрометеоров в сочетании со схемой YSU. Получено, что данные моделирования с использованием схем параметризации для пограничного слоя MYJ PBL и микрофизики Thompson лучше, чем другие, согласуются с данными наблюдений за осадками и температурой приземного слоя.

**Ключевые слова:** климат, изменение климата, моделирование, схемы параметризации, приземная температура, атмосферные осадки

## NUMERICAL EXPERIMENTS ON THE SELECTION OF PARAMETRIZATION SCHEMES OF MICROPHYSICAL CLIMATE SYSTEM PROCESSES IN THE CENTRAL ASIA REGION

**Abstract:** In order to select a parameterization scheme for microphysical processes and processes in the atmospheric boundary layer in the Central Asian region, the difference between the observed and simulated meteorological parameters was calculated for 4 separate climatic seasons for 2000-2016. Publicly available observational data is borrowed from the global archives of the Meteorological Office UK and the Near-Surface Hydrology Laboratory at Princeton University USA. The boundary and initial conditions for the regional climate model were set on the basis of the ERA-Interim reanalysis data set. The results of numerical experiments are presented in the form of maps of the mean annual seasonal variability of the surface temperature at the level of 2 m and precipitation for the Central Asia domain. Three combinations of microphysics and boundary layer schemes are considered: the Thompson one-phase microphysics scheme using 5 classes of hydrometeors in combination with two atmospheric boundary layer schemes (YSU and MYJ) and the WRF Single Moment scheme with 6 classes of hydrometeors combined with the YSU scheme. It was found that simulation data using

*parametrization schemes for the MYJ PBL boundary layer and Thompson microphysics are better than others in agreement with the data on precipitation and surface layer temperature.*

**Key words:** *climate, climate change, modeling, parameterization schemes, surface temperature, precipitation*

## ОРТАЛЫҚ АЗИЯ АЙМАҒЫНДАҒЫ КЛИМАТТЫҚ ЖҮЙЕНІҢ МИКРОФИЗИКАЛЫҚ ПРОЦЕСТЕРДІҢ ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ СЫЗБАСЫН ТАҢДАУ БОЙЫНША САНДЫҚ ЭКСПЕРИМЕНТТЕР

**Аңдатпа:** Орта Азия аймағындағы атмосфералық шекара қабатындағы процестердің және микрофизикалық процестердің параметрлендіру сызбасын таңдау мақсатында 2000-2016 жылдарға арналған 4 климаттық кезең үшін бақыланған және модельделген метеорологиялық параметрлер арасындағы айырмашылық есептеулері жүргізілді. Бақылау деректері жалпыға қолжетімді Ұлыбритания метеорологиялық кеңсесінің жаһандық мұрағатынан және Принстон университетінің беттік гидрологиялық зертханадан алынды. Аймақтық климаттық модельдің шектік пен бастапқы шарттары ERA-Interim реанализ мәліметтерінің негізінде белгіленді. Сандық эксперименттердің нәтижелері Орталық Азия домен шегіндегі жауын-шашынның 2м деңгейіндегі және жауын-шашынның орташа жылдық маусымдық өзгерісінің картасы түрінде ұсынылған. Микрофизиканың және шекаралық қабат сызбаларының үш комбинациясы қарастырылады: екі атмосфералық шекара қабатының сызбасымен (YSU және MYJ) гидрометеорлардың 5 классын қолданатын, Томпсонның бір моментті микрофизикалық сызбасы және YSU сызбасымен бірге гидрометеорлардың 6 классымен WRF Single Moment сызбасы. MYJ PBL және Thompson микрофизикасының шекаралас қабатының параметрлеу сызбаларын қолданғандағы модельдеу мәліметтері басқаларға қарағанда, тиімді және бақылаудың жауын-шашын мен жер қабатының температурасы туралы деректерге сәйкес екендігі анықталды.

**Түйінді сөздер:** *климат, климаттың өзгеруі, модельдеу, параметрлеу сызбалары, жер бетінің температурасы, атмосфералық жауын-шашын*

### Введение

Количественная оценка будущих климатических изменений, а также соответствующих последствий является актуальной задачей при современных изменениях климата и рисков, вызванных этими изменениями. Для решения задачи прогнозных оценок будущих параметров климата необходимо использовать численное моделирование климатической системы с помощью глобальных климатических моделей, основой которых являются глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана [1].

Глобальные и региональные гидродинамические модели являются одним из основных инструментов для изучения изменений

климата под воздействием антропогенных и природных факторов. Глобальные модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) используются для изучения прошлого и текущего климата, на их основе получены проекции будущих климатических изменений. МОЦАО постоянно совершенствуются, дополняются различными модулями, их пространственное разрешение в настоящее время еще недостаточно для корректного описания региональных особенностей атмосферных процессов, связанных с неоднородностями подстилающей поверхности, таких как орография, характеристики почвы и растительности, очертания береговых ли-

ний и т.п. Для устранения этих недостатков при моделировании регионального климата применяют мезомасштабные гидродинамические модели, имеющие более высокое пространственное разрешение и учитывающие локальные климатообразующие факторы. Усовершенствование моделей климата требует формулирования более точных моделей конкретных физических процессов, определяющих динамику климатической системы.

Региональное моделирование климата состоит в интегрировании региональной климатической модели (РКМ) с использованием на боковых границах области исследования выходных данных глобальных климатических моделей. Региональная климатическая модель для выбранного домена исследований требует настроек путем варьирования эмпирических коэффициентов в схемах параметризации, использования различных схем, описывающих микрофизику, особенности подстилающей поверхности, потоки коротковолновой и длинноволновой радиации и т.п.

### Область исследования

Численные расчеты проводились для домена Центральной Азии, определенно-го научной группой Science Advisory Team (SAT). Территория выбранного региона обширна, простирается на тысячи километров по Евразии, содержит большое количество рек и озёр. Рельефность поверхности изменяется от высоких гор до низменностей, лежащих ниже уровня моря. Включает несколько климатических зон, внутри которых приблизительно однородный климат по всей их протяжённости.

### Материалы и методы

Одной из целей численных экспериментов является оценка того, насколько модель адекватно отражает процессы, происходящие в атмосфере, на суше и водной поверхности, при их взаимном влиянии, определение возможных причин возникающих ошибок, а также ограничения модели. Результаты наземных наблюдений используются для верификации модели, а моделирование, в дальнейшем, поз-

воляет получить характеристики сред для неизученных ситуаций.

Результаты численных экспериментов по подбору схем параметризации микрофизических процессов и процессов в пограничном слое атмосферы, наилучшим образом описывающие компоненты климатической системы в регионе Центральной Азии, представлены в виде карт среднемноголетней сезонной изменчивости приземной температуры и атмосферных осадков. Были рассчитаны и проанализированы разности наблюдаемых и расчетных полей для 4-х отдельно взятых климатических сезонов. В качестве данных наблюдений использовались два глобальных архива: данные Метеорологического Офиса, Великобритания (CRU - Climatic Research Units), с пространственным разрешением  $0,5^\circ$  [2]; данные лаборатории приповерхностной гидрологии Принстонского университета США, с пространственным разрешением  $0,25^\circ$  [3]. Граничные и начальные условия для региональной климатической модели задавались на основе набора данных повторного анализа ERA-Interim.

Подбор параметров выполнялся для региональной климатической модели WRF (Weather Research and Forecasting), являющейся системой для прогнозирования погоды и моделирования атмосферных процессов, пригодная как для оперативных, так и для исследовательских целей. Модель WRF представляет собой систему взаимодействующих модулей: модуль, обеспечивающий подготовку начальных и граничных данных. Система является эффективным инструментом для разработки методов ассимиляции данных, параметризации процессов подсеточного масштаба, прогноза погоды и моделирования регионального климата [4-7].

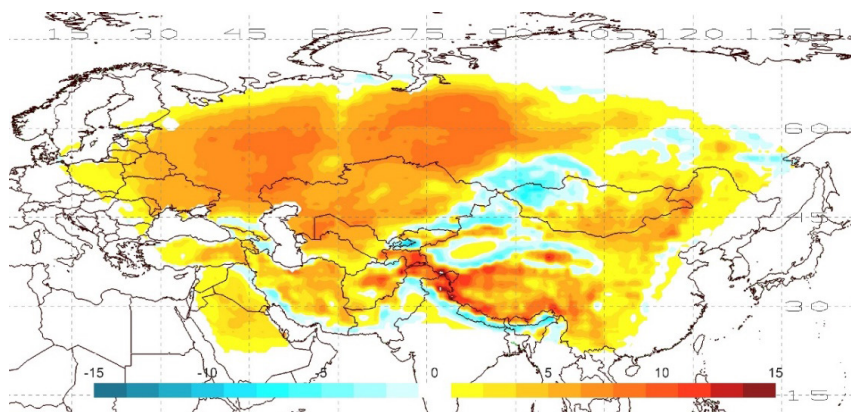
Рассматриваются три различных варианта задания параметров модели WRF:

- (1) микрофизика WSM6 в комбинации с YSU PBL схемой пограничного слоя;
- (2) комбинация схемы планетарного пограничного слоя MYJ PBL в сочетании с микрофизикой Томпсона (Thompson microphysics);

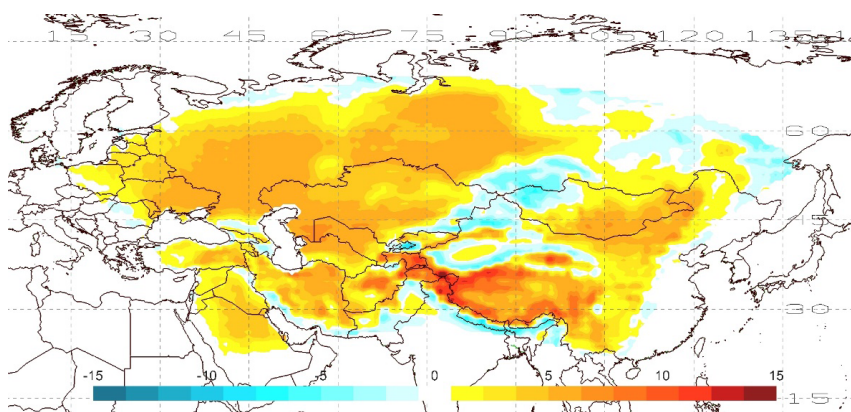
(3) микрофизика, что и в варианте 2, но параметры пограничного слоя задаются по схеме YSU PBL.

С целью оценки точности воспроизведения параметров климатической системы моделью РКМ проведен анализ разницы полей приземной температуры между данны-

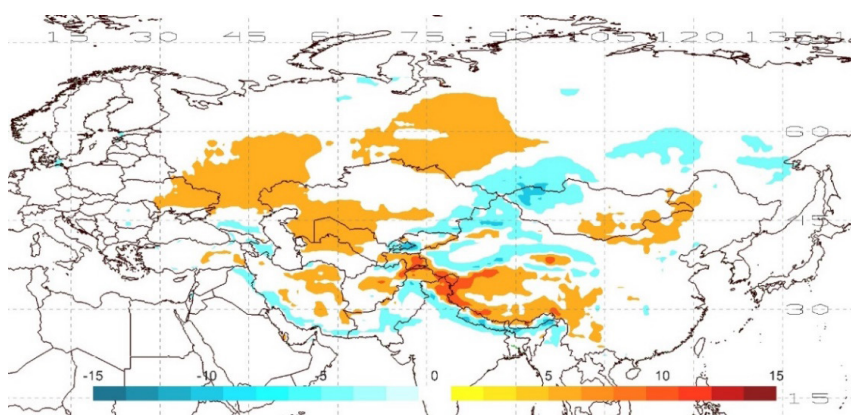
ми наблюдений из архива CRU и расчетами по модели WRF с граничными и начальными условиями ERA-Interim для вышеуказанных схем параметризации для зимнего, осеннего и летнего периодов. Результаты проведенного анализа представлены на рисунках 1-3.



а) схема параметризации 1

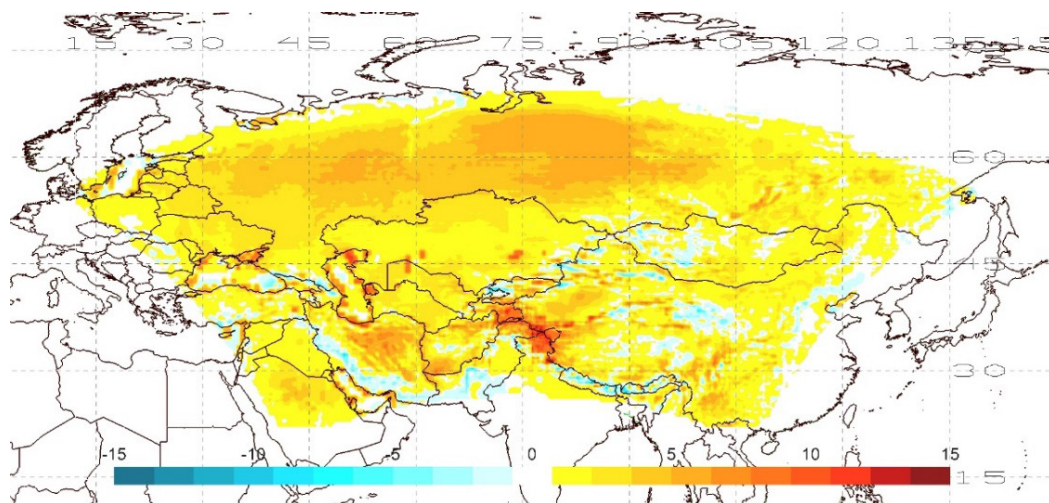


б) схема параметризации 2

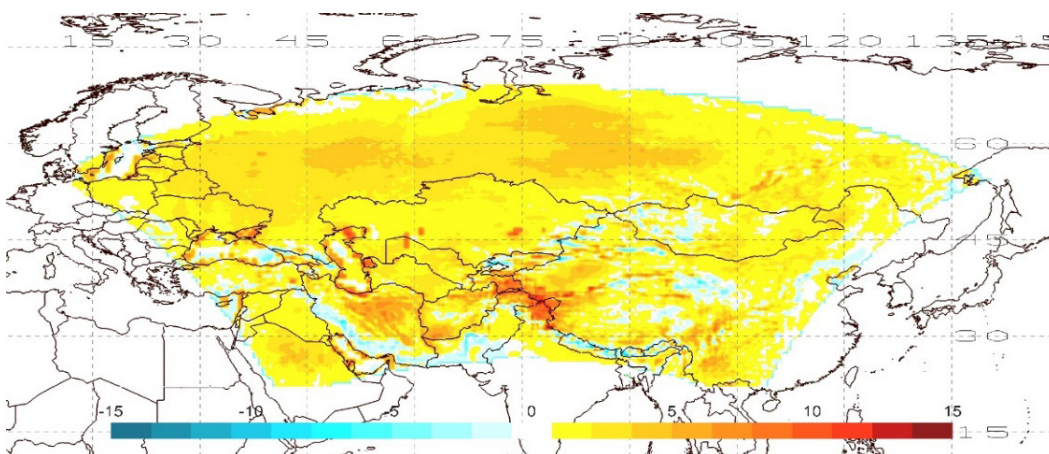


в) схема параметризации 3

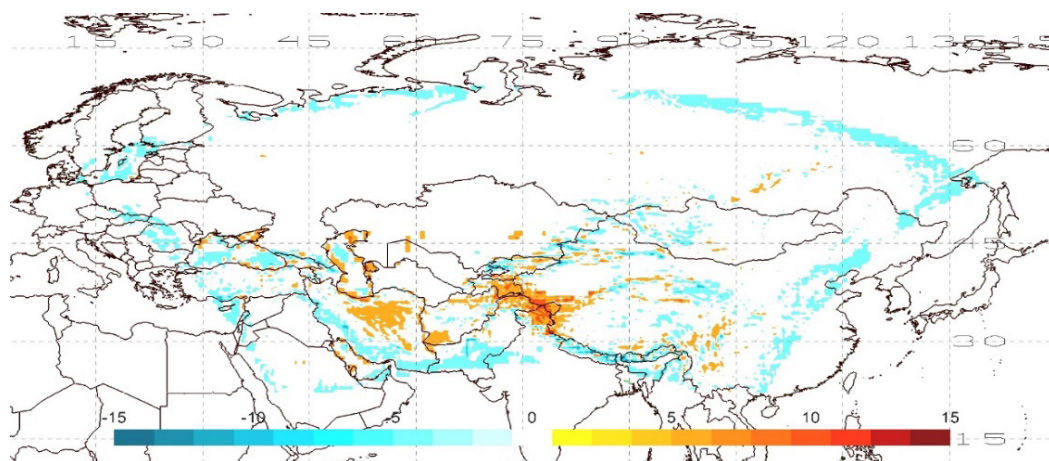
Рис.1 – Разница расчетной и наблюдаемой среднесезонной приземной температуры (2000-2016 гг.) в зимний период (декабрь, январь, февраль)



а) схема параметризации 1

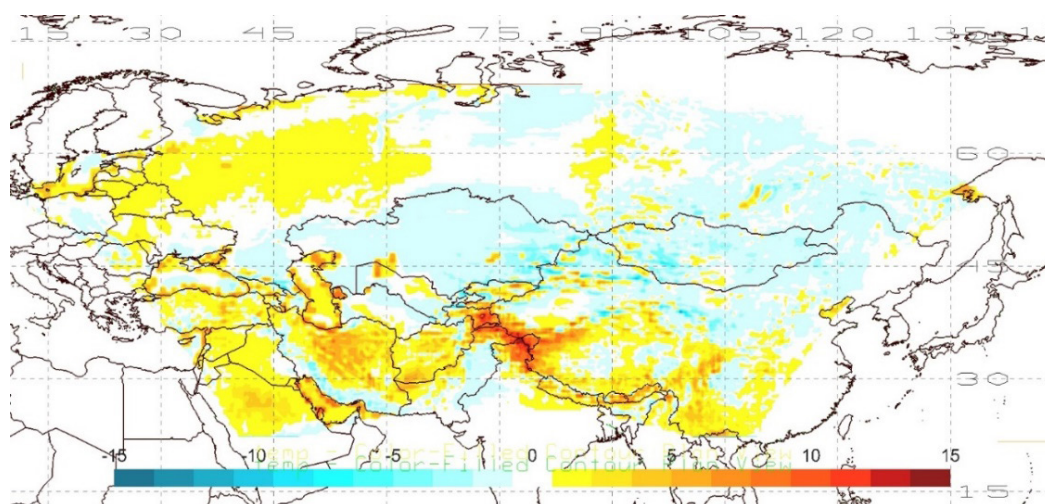


б) схема параметризации 2

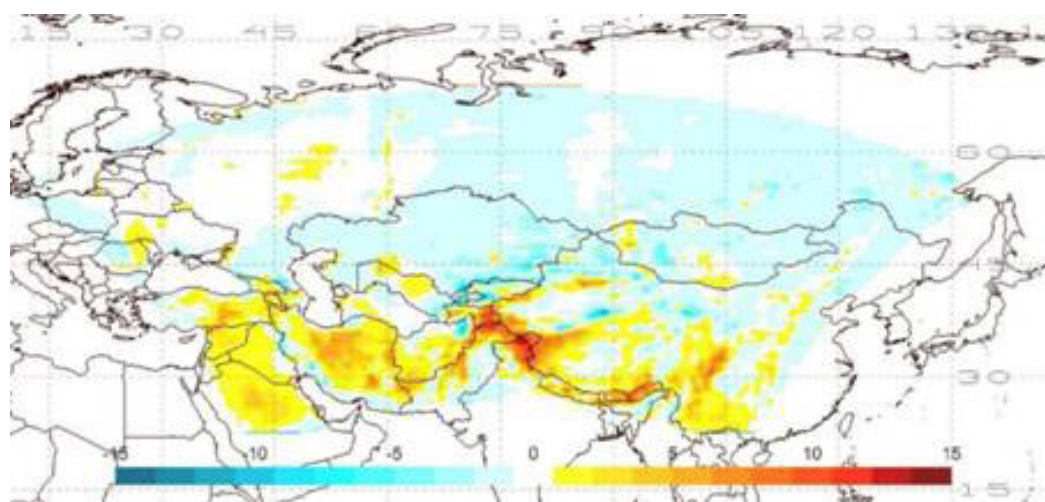


в) схема параметризации 3

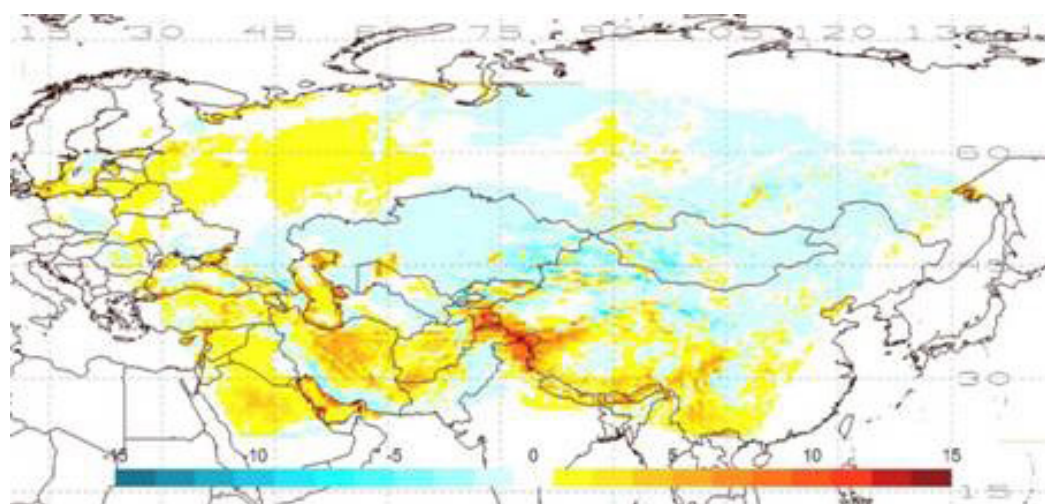
Рис. 2 – Разница расчетной и наблюдаемой среднесезонной приземной температуры (2000-2016 гг.) в осенний период (сентябрь, октябрь, ноябрь)



а) схема параметризации 1



б) схема параметризации 2



в) схема параметризации 3

Рис. 3 – Разница расчетной и наблюдаемой среднееголетней приземной температуры (2000-2016 гг.) в летний период (июнь, июль, август)

### Результаты и обсуждение

Для всех проведенных численных экспериментов с различными схемами параметризации получено превышение температуры приземного слоя (положительной разности расчетных и наблюдаемых данных) в зимний период на 2-3°C в северных регионах рассматриваемого домена. Возможно эта ситуация вызвана тем, что данные реанализа ERA-Interim, которые используются в качестве граничных условий для региональной модели, сами по себе завышают температуру приземного слоя в зимний период.

Это связано с тем, что в холодное время года, когда земная поверхность покрыта снегом, меняется альбеда для длинноволновой и коротковолновой радиации, а эти процессы к настоящему времени не столь хорошо изучены. Попытка параметризации этого процесса, предпринятая в работе [8], не привела к значимому уменьшению разницы расчетных и измеренных температур. Завышенная приземная температура в горных районах связана с тем, что там практически отсутствуют наземные метеорологические станции, следовательно, не представляется возможным в настоящее время получить объективную информацию на основе наблюдательной сети. Это также объясняется и высокой изменчивостью орографии (резким изменением высоты в горных районах), а также интенсивными конвективными процессами с образованием облачности. Как видно из рис. 1, в холодный сезон наилучшее соответствие расчетных и наблюдаемых значений получено в численном эксперименте с использованием схемы параметризации 3 (эксперимент 3).

В осенний и весенний период также наблюдается положительная разница расчетных и наблюдаемых температур для схем параметризации 1 и 2, в меньшей степени. Применение схемы параметризации 3 позволило получить наиболее удовлетворительный результат (рис.2).

Для летнего периода наилучшее соответствие модельных расчетов и данных наблюдений получено при использовании схемы параметризации 2.

Результаты моделирования на основе региональной климатической модели сопоставлены с набором данных наблюдений для сезонной среднемесячной температуры воздуха и осадков. Также проведено статистическое сравнение результатов численных экспериментов с данными из набора наблюдений CRU, рассчитаны среднеквадратическая ошибка и коэффициент корреляции для всего домена Центральная Азия и трех его поддоменов.

Субдомены были выбраны на основе классификации климата, предложенной в работе [8] и представлены на рисунке 4. Первый поддомен – это территория с влажным и холодным континентальным климатом на западе Европы и сухим, очень холодным суббореальным климатом в средних и восточных районах Сибирского плато. Второй субдомен представляет собой сухую среднеширотную пустыню и степь, т.е. засушливый и полусухой климат в середине Центральной Азии. Третий поддомен охватывает Гималаи и Тибетское плато и представляет климат высокогорья.

Сравнение данных повторного анализа ERA-Interim и результатов расчетов с помощью РКМ показали, что модель лучше воспроизводит поле приземной температуры, особенно в северной части домена в холодный период. Расчеты по региональной климатической модели дают более низкие поля температур, чем данные наблюдений в течение всех сезонов вокруг горных и высокогорных областей, таких как Гималаи и плато Тибета. Отклонения расчетной приземной температуры от наблюдаемой, видимо, определяются тем, что входные данные повторного анализа ERA-Interim уже содержат ошибки, что в свою очередь связано с очень редкой наблюдательной сетью в горных районах и отсутствием надежных данных. В других частях домена региональная модель климата дает лучшие результаты по отношению к данным наблюдений за температурой, чем данные повторного анализа.

Проведено сравнение средних многолетних сезонных значений приземной температуры воздуха (2000-2016 гг.) для всей территории исследуемого домена (табл. 1) по данным архивов наблюдений CRU и Принстонского университета, реанализа ERA-Interim и результатам расчетов по PKM WRF.

Как видно из таблицы 1 региональная

модель климата дает более близкие значения температуры воздуха на уровне 2 м, по сравнению с наблюдаемыми данными, чем результаты реанализа ERA-Interim для всех сезонов года. Общая невязка для усредненной по домену многолетней температуры воздуха, рассчитанной по модели и наблюдениям, не превышает 2,0°C.

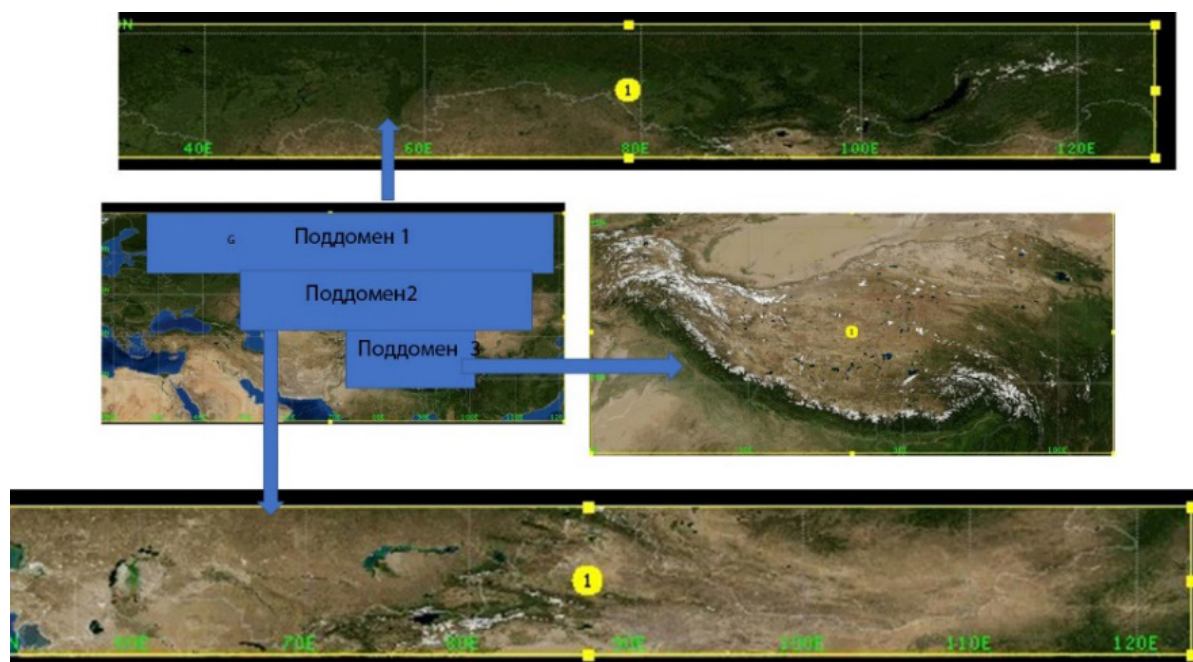


Рис. 4 – Расположение поддоменов в домене Центральная Азия

Таблица 1 – Средние многолетние значения температуры воздуха по моделям и данным наблюдений

| Модели и наблюдения  | Средние многолетние сезонные значения приземной температуры (°C), (2000-2016) |       |       |       |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                      | Зима                                                                          | Весна | Лето  | Осень |
| ERA-Interim          | -3,44                                                                         | 7,98  | 20,27 | 8,61  |
| PKM WRF (ERA, exp 2) | -8,13                                                                         | 5,36  | 19,51 | 5,65  |
| CRU                  | -7,38                                                                         | 6,76  | 19,52 | 6,92  |
| Princeton Univ.      | -7,68                                                                         | 6,09  | 19,12 | 6,70  |

Для оценки точности воспроизведения внутригодовой изменчивости температуры воздуха были рассчитаны среднемесячные значения по моделям и данным наблюдений с 2000 по 2016 гг.

Для трех поддоменов на основе средне-

месячных значений за период 2000-2016гг. рассчитаны минимальные, максимальные и средние температуры приземного слоя по данным наблюдений и численных экспериментов. Результаты расчетов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты расчетов и данные наблюдений температуры воздуха, осредненных за период 2000-2016 гг.**

| Под- домен | Минимальная температура, К |      |      |      | Максимальная температура, К |      |      |      | Средняя температура, К |      |      |      |
|------------|----------------------------|------|------|------|-----------------------------|------|------|------|------------------------|------|------|------|
|            | Obs                        | Exp1 | Exp2 | Exp3 | Obs                         | Exp1 | Exp2 | Exp3 | Obs                    | Exp1 | Exp2 | Exp3 |
| 1          | 248                        | 241  | 242  | 245  | 285                         | 297  | 297  | 296  | 276                    | 272  | 273  | 274  |
| 2          | 251                        | 249  | 250  | 252  | 299                         | 302  | 302  | 301  | 281                    | 279  | 279  | 280  |
| 3          | 255                        | 242  | 242  | 242  | 280                         | 280  | 280  | 280  | 268                    | 263  | 264  | 265  |

Из данных таблицы 2 видно, что в первом поддомене модель на 3-5 градусов занижает минимальные температуры по сравнению с наблюдаемыми, завышает максимальные температуры на 11-12 градусов, а средние значения занижает на 2-4 градуса по сравнению с наблюдениями. Во втором поддомене рассчитанные максимальные и минимальные температуры отличаются на 1-3 градуса от измеренных, отличие средних значений не превышает 1-2 градусов. В третьем поддомене значительные различия получены только для минимальных температур.

Следует отметить, что модельные расчеты со схемой параметризации (Exp3) лучше,

чем другие схемы параметризации соответствуют данным наблюдений.

Для трех поддоменов также были рассчитаны корреляции данных наблюдений и численных экспериментов. Как видно из рисунков 5-10, в поддоменах 1 и 2 корреляция между расчетами и наблюдаемыми данными составляет 0,96-0,97, (рис. 5,7) хотя в холодный период, расчеты дают более низкую температуру (рис. 6,8,). Для горных районов поддомена 3 корреляция снижается, а в зимний период отмечаются значительные расхождения в температуре воздуха, что, как уже упоминалось, связано с высокой орографической неоднородностью местности и отсутствием надежных данных наблюдений.

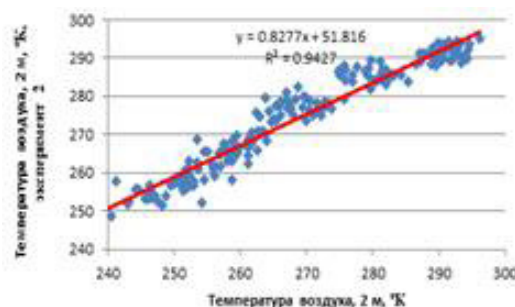
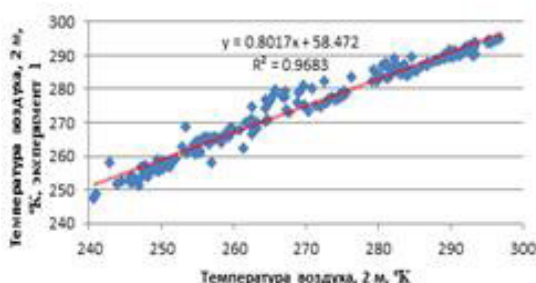


Рис. 5 – Корреляция расчетной и наблюдаемой температуры воздуха в поддомене 1

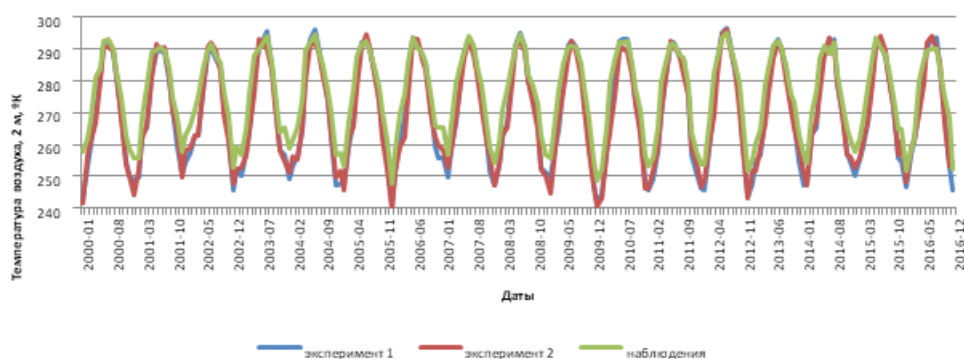


Рис. 6 – Среднемесячная температура воздуха по данным наблюдений и численных экспериментов в поддомене 1 (2000-2016 гг.)

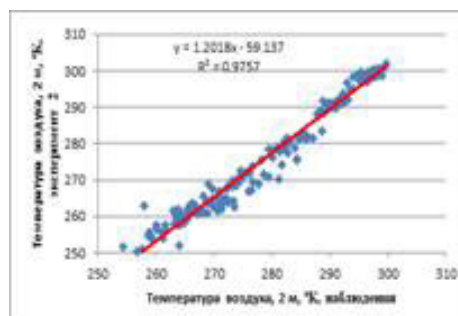
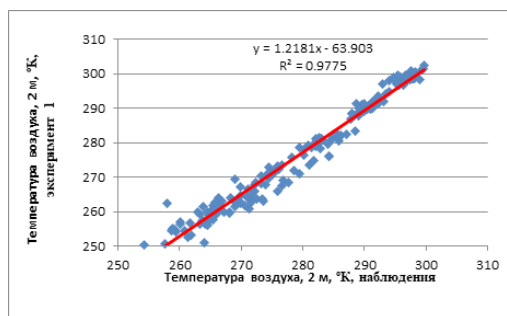


Рис. 7 – Корреляция расчетной и наблюдаемой температуры воздуха в поддомене 2

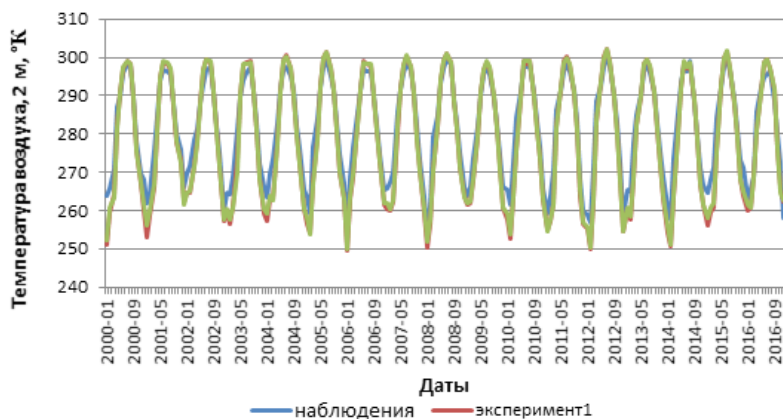


Рис. 8 – Среднемесячная температура воздуха по данным наблюдений и численных экспериментов в поддомене 2 (2000-2016 гг.)

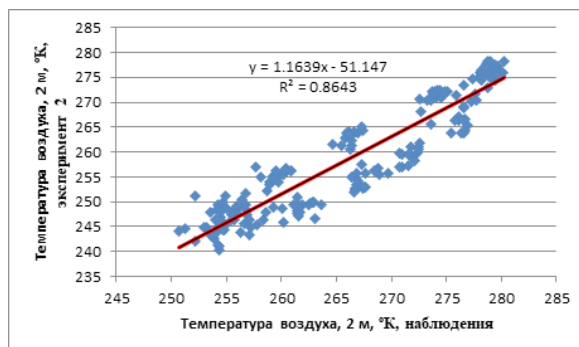
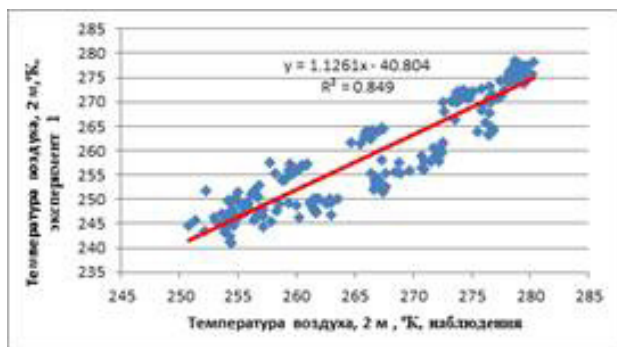


Рис. 9 – Корреляция расчетной и наблюдаемой температуры воздуха в поддомене 3

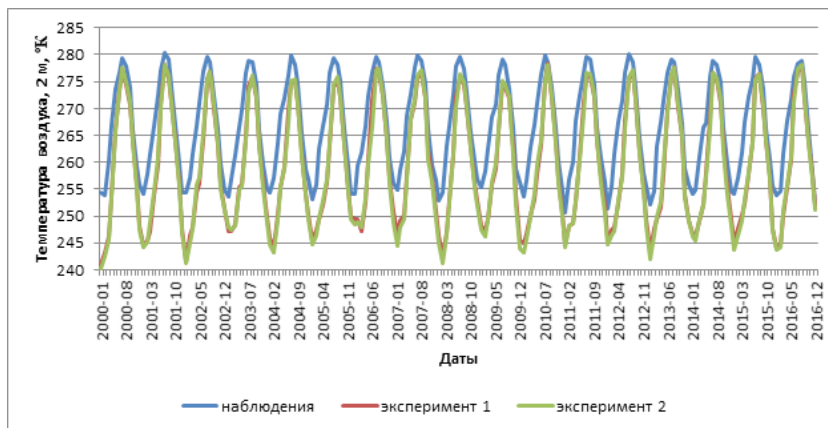
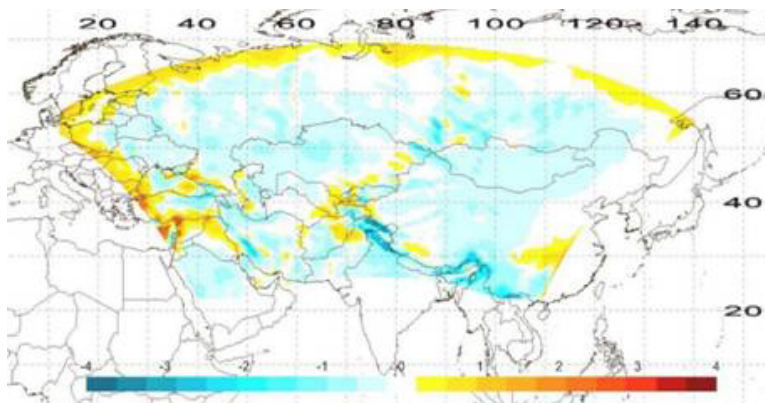


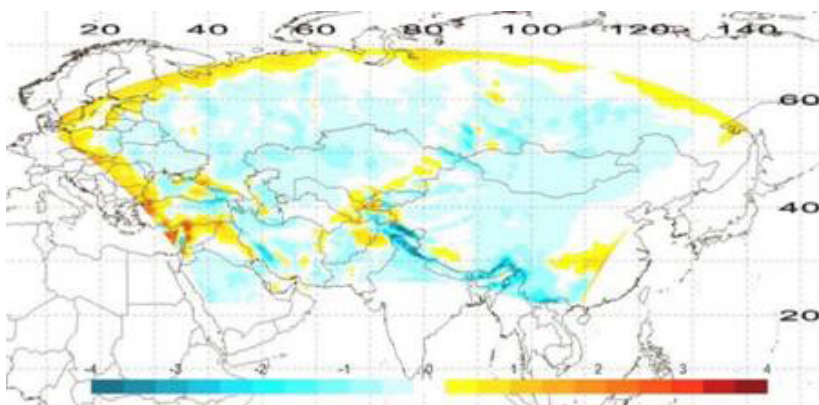
Рис. 10 – Среднемесячная температура воздуха по данным наблюдений и численных экспериментов в поддомене 2 (2000-2016 гг.)

На рисунках 11-14 дано сравнение разности средних многолетних осадков за период 2000-2016 гг. по данным моделирования и наблюдений для 3 схем параметризации. Для всех сезонов, исключая лето, прослеживается превышение рассчитанных осадков над наблюдаемыми в западных и северных частях исследуемой территории. В то же время отмечается их недоучет на юге, исключая южную

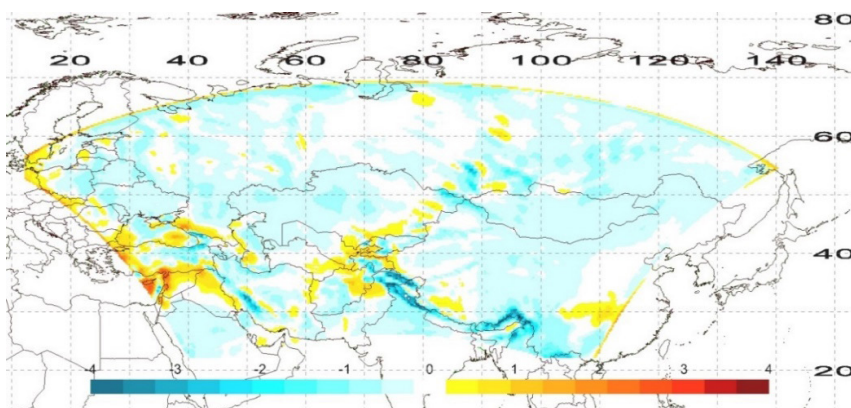
часть региона азиатских муссонов (Гималаи и другие горные районы). Расчеты с использованием схемы 3 показывают лучший результат по сравнению со схемами 1 и 2, при этом разница со схемой 2 незначительна. В некоторых случаях возникают аномалии на северных и восточных границах домена, что, вероятно, связано с недостаточной шириной релаксационной зоны.



а) схема параметризации 1

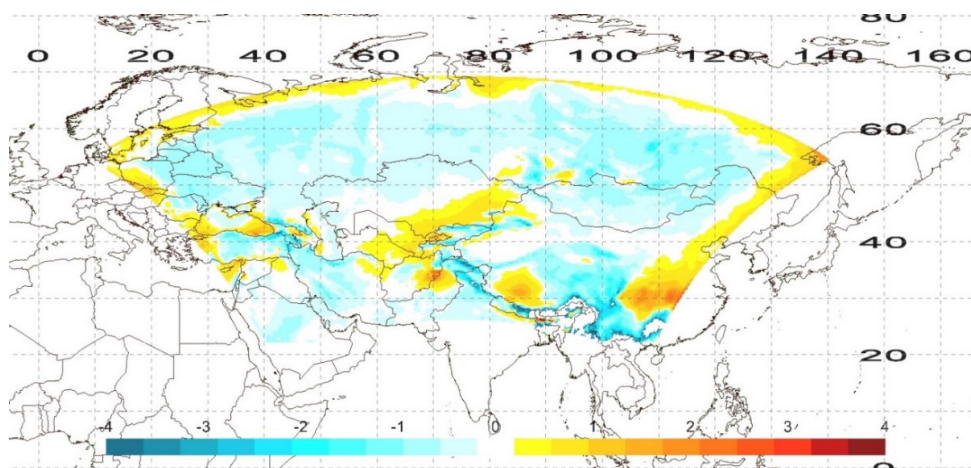


б) схема параметризации 2

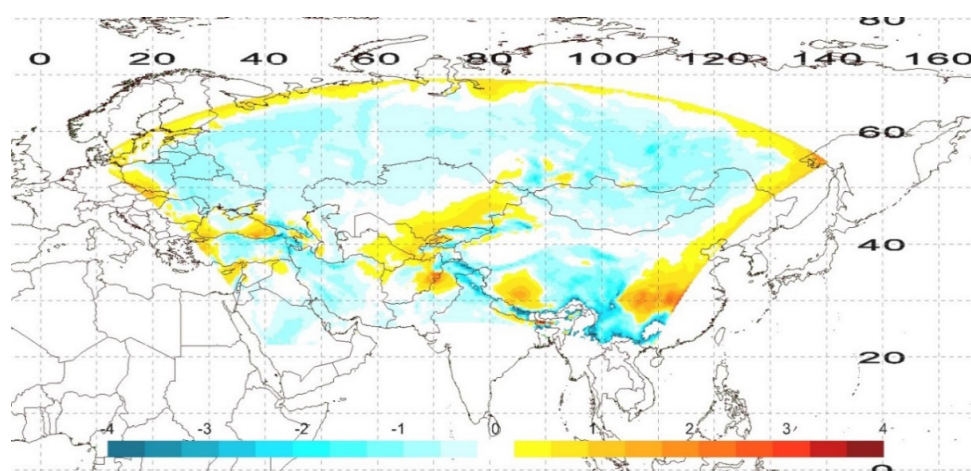


в) схема параметризации 3

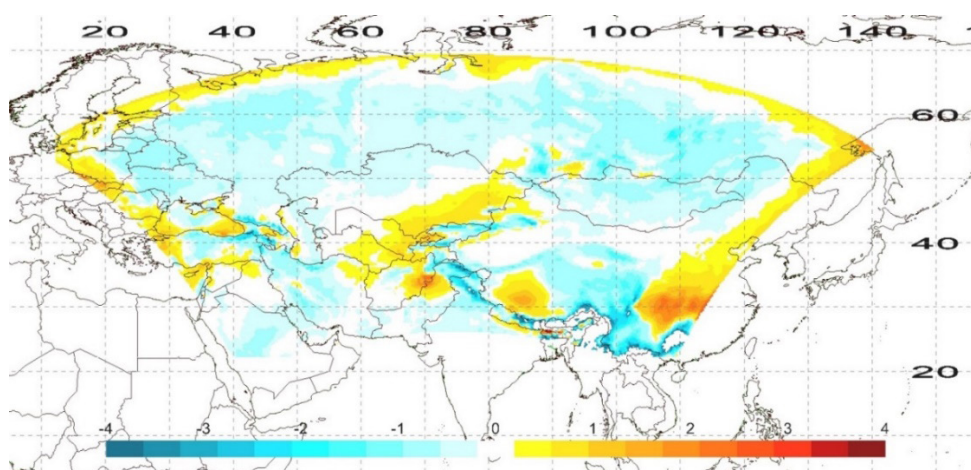
Рис. 11 – Разница расчетных и наблюдаемых среднемноголетних осадков (мм/сут) (2000-2016гг.) в зимний период (декабрь, январь, февраль)



а) схема параметризации 1

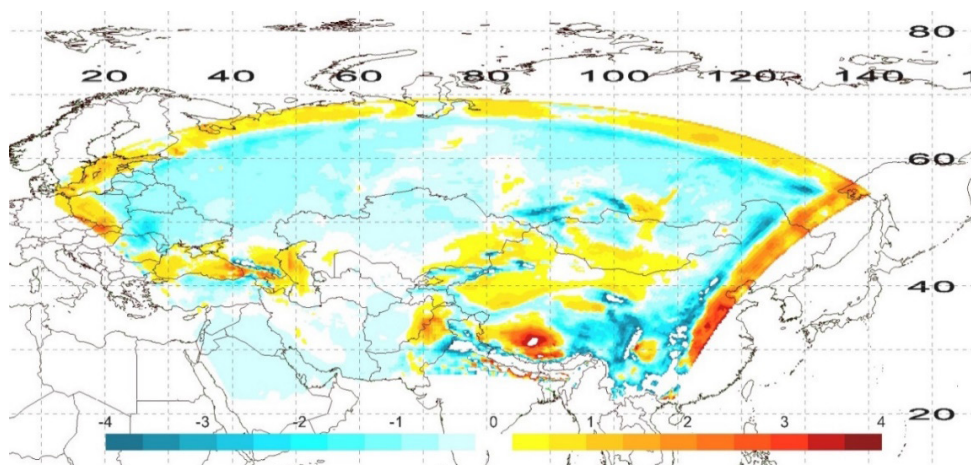


б) схема параметризации 2

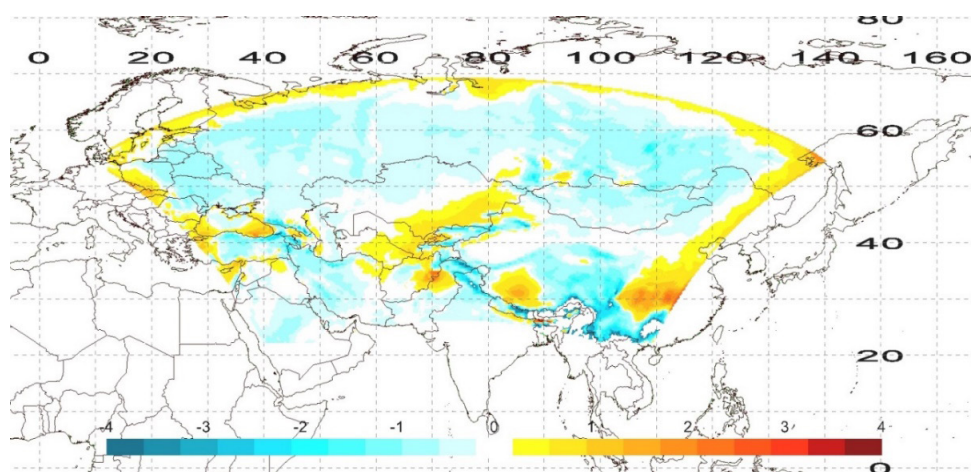


в) схема параметризации 3

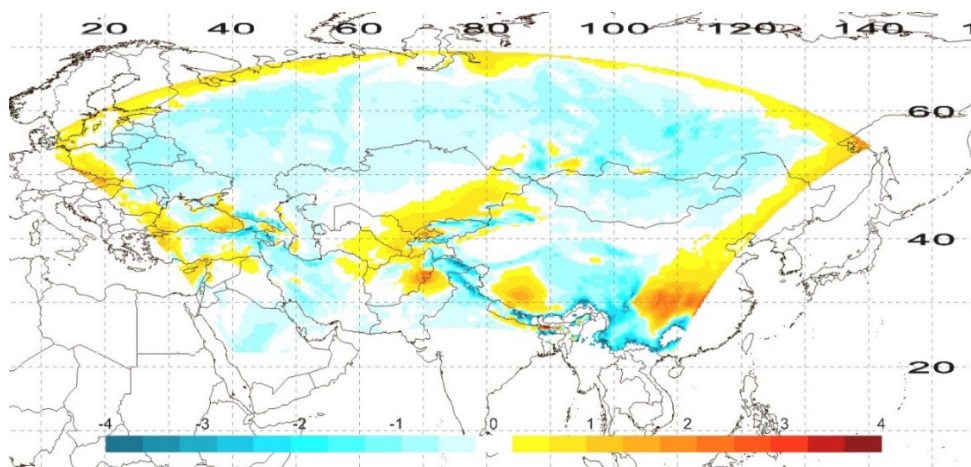
Рис. 12 – Разница расчетных и наблюдаемых среднесезонных осадков (мм/сут) за (2000-2016гг.) в весенний период (март, апрель, май)



а) схема параметризации 1

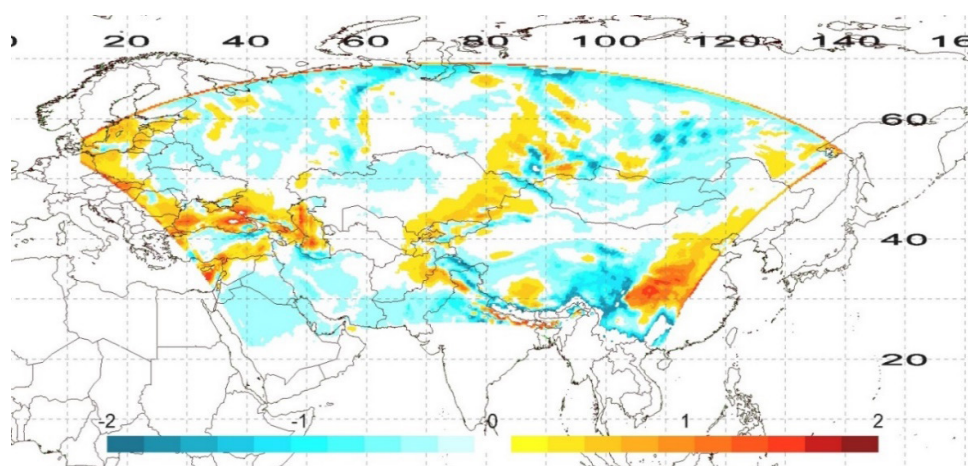


б) схема параметризации 2

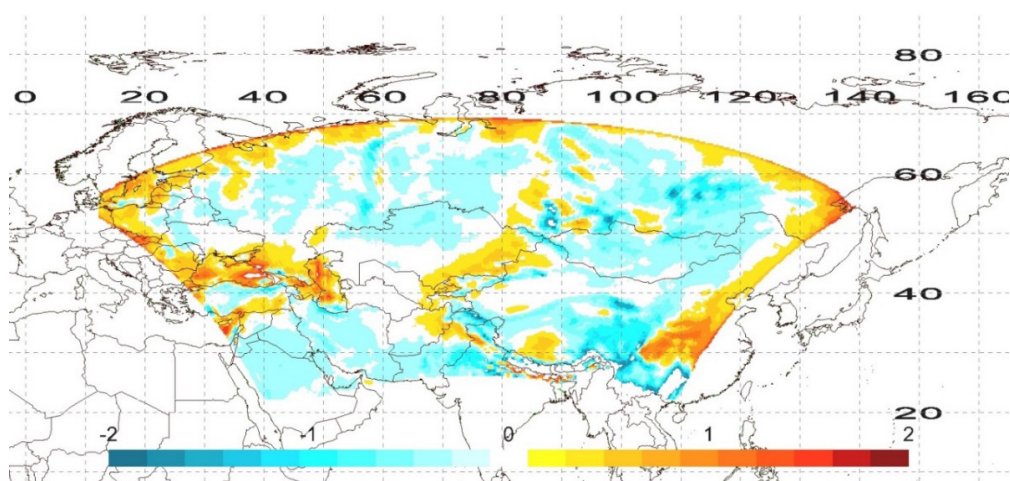


в) схема параметризации 3

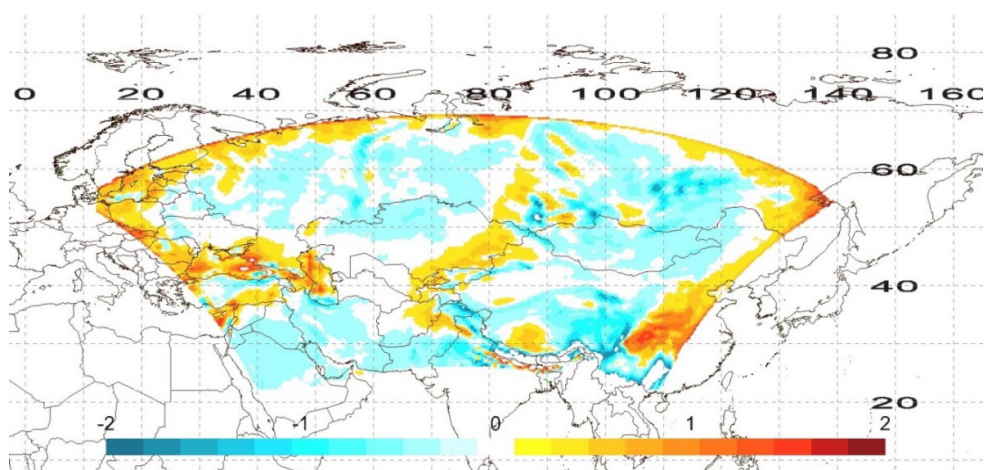
Рис. 13 – Разница расчетных и наблюдаемых среднееголетних осадков (мм/сут) за (2000-2016гг.) в летний период (июнь, июль, август)



а) схема параметризации 1



б) схема параметризации 2



в) схема параметризации 3

Рис. 14 – Разница расчетных и наблюдаемых среднемноголетних осадков (мм/сут) за (2000-2016 гг.) в осенний период (сентябрь, октябрь, ноябрь)

В течение осени, весны и зимы модель дает значительное превышение осадков в горных районах и регионе азиатских муссонов. Противоположная ситуация наблюдается в летний период. Это объясняется тем, что среднеширотные циклоны летом слабее и реже, преобладают северные фронты, происходит снижение температуры и градиентов давления над Евроазиатским континентом и воздействие на южно-азиатское муссонное понижение.

Для летнего времени осадки, рассчитанные по модели, завышены на большей части исследуемого домена. Их значительное завы-

шение прослеживается в аридных и полумаридных районах, а также во влажных южных частях домена. Для северных и южных частей прослеживается незначительное превышение данных модельных расчетов относительно наблюдаемых.

В таблице 3 даны среднесезонные значения осадков, рассчитанные для исследуемого региона по данным РКМ, реанализа ERA-Interim и данным наблюдений CRU и Принстонского университета. Видно, что данные региональной модели лучше согласуются с данными наблюдений по сравнению с набором ERA-Interim.

**Таблица 3 – Среднесезонные осадки по данным моделей и наблюдений**

| Данные моделей и наблюдений | Среднесезонные сезонные осадки (мм/сутки) |       |      |       |
|-----------------------------|-------------------------------------------|-------|------|-------|
|                             | Зима                                      | Весна | Лето | Осень |
| PKM WRF                     | 1,29                                      | 1,57  | 2,30 | 1,69  |
| ERA-Interim                 | 0,31                                      | 0,45  | 0,82 | 0,45  |
| CRU                         | 0,74                                      | 1,09  | 2,30 | 1,26  |
| Priceton Univ.              | 0,92                                      | 1,51  | 2,02 | 1,30  |

Ошибка среднесезонных значений осадков, рассчитанных по региональной модели, не превышает 1,5 мм/сутки. В таблице 4 приведены статистические характеристики, полученные по модельным расчетам для различных поддоменов.

Корреляция между данными наблюдений и модельными расчетами для различных схем параметризации не столь высока как для приземной температуры воздуха. Для поддомена 1 в зимний период наилучшее соответствие прослеживается с данными эксперимента 3 (параметризация Thomson+YSU). Региональная модель удовлетворительно воспроизводит летние осадки в поддомине 2. В летнее и зимнее время коэффициент корреляции варьируется от 0,82 до 0,94. Поддомен 3 охватывает горную и высокогорную территории. Здесь более низкие коэффициенты корреляции можно объяснить отсутствием надежных данных наблюдений и неполнотой физической картины, происходящих в высокогорных районах процессов, а также сложностью их математического описания.

Таким образом, по результатам численных экспериментов можно сделать вывод о том, что вариант с использованием комбинации схемы планетарного пограничного слоя YSU PBL в сочетании с микрофизикой Томпсона (Thompson microphysics) является наиболее предпочтительным для моделирования климата в пределах домена Центральной Азии. Следует отметить, что результаты с применением той же микрофизики, но со схемой параметризации пограничного слоя MYJ PBL отличаются незначительно.

### Выводы

Проведено тестирование способности модели WRF воспроизведения наблюдаемых параметров климатической системы, таких как температура приповерхностного слоя воздуха на уровне 2 м и осадков в пределах домена Центральная Азия. Оценка сезонной климатологии выбранного региона выполнена для традиционных сезонов года (зима, весна, лето, осень). В качестве начальных и граничных условий для региональной модели

Таблица 4 – Сезонные статистические показатели

| Сезоны     | Показатель                 | ERA-Interim | WRF (exp1) | WRF (exp2) | WRF (exp3) |
|------------|----------------------------|-------------|------------|------------|------------|
| Поддомен 1 |                            |             |            |            |            |
| Зима       | Систематическое отклонение | - 0,53      | 0,33       | 0,35       | 0,30       |
|            | Корреляция                 | 0,61        | 0,88       | 0,94       | 0,93       |
| Весна      | Систематическое отклонение | - 0,57      | 0,53       | 0,55       | 0,54       |
|            | Корреляция                 | 0,81        | 0,76       | 0,84       | 0,81       |
| Лето       | Систематическое отклонение | -1,41       | 0,09       | 1,04       | 0,98       |
|            | Корреляция                 | 0,86        | 0,88       | 0,92       | 0,89       |
| Осень      | Систематическое отклонение | -0,53       | 0,70       | 0,71       | 0,69       |
|            | Корреляция                 | 0,89        | 0,91       | 0,92       | 0,91       |
| Поддомен 2 |                            |             |            |            |            |
| Зима       | Систематическое отклонение | - 0,19      | 0,48       | 0,57       | 0,57       |
|            | Корреляция                 | 0,90        | 0,82       | 0,94       | 0,91       |
| Весна      | Систематическое отклонение | -0,31       | 0,53       | 0,53       | 0,31       |
|            | Корреляция                 | 0,81        | 0,70       | 0,81       | 0,83       |
| Лето       | Систематическое отклонение | -0,65       | 0,52       | 0,41       | 0,40       |
|            | Корреляция                 | 0,79        | 0,85       | 0,90       | 0,93       |
| Осень      | Систематическое отклонение | -0,27       | 0,43       | 0,37       | 0,32       |
|            | Корреляция                 | 0,81        | 0,71       | 0,87       | 0,86       |
| Поддомен 3 |                            |             |            |            |            |
| Зима       | Систематическое отклонение | 0,22        | 0,64       | 0,44       | 0,39       |
|            | Корреляция                 | 0,67        | 0,61       | 0,62       | 0,59       |
| Весна      | Систематическое отклонение | 0,45        | 0,8        | 0,83       | 0,78       |
|            | Корреляция                 | 0,72        | 0,61       | 0,67       | 0,69       |
| Лето       | Систематическое отклонение | -2,3        | 1,1        | -1,4       | -1,2       |
|            | Корреляция                 | 0,79        | 0,71       | 0,70       | 0,70       |
| Осень      | Систематическое отклонение | -0,72       | 0,47       | 1,32       | 0,98       |
|            | Корреляция                 | 0,76        | 0,64       | 0,74       | 0,72       |

климата за период 2000-2016 гг. были использованы данные ERA-Interim реанализа.

Проведен ряд численных экспериментов на высокопроизводительном вычислительном кластере для тестирования различных схем параметризации микрофизики и процессов, происходящих в пограничном слое с целью выбора такой схемы, которая наилучшим образом воспроизводит основные характеристики климата. Рассмотрены три комбинации схем микрофизики и пограничного слоя: одномоментная схема микрофизики Томпсона, использующая 5 классов гидрометеоров (вода в облаках, осадки, лед в облаках, снег и снежная крупа) в сочетании с двумя схемами пограничного слоя атмосферы (YSU и MYJ) и

схема WRF Single Moment с 6 классами гидрометеоров в сочетании со схемой YSU.

Из анализа результатов моделирования с использованием региональной климатической модели WRF следует, что модель адекватно описывает атмосферные процессы климатического масштаба и количественно воспроизводит пространственно-временные вариации (многолетние, сезонные, внутригодовые) основных параметров климатической системы. Исключение составляют районы с орографическими неоднородностями – горные и высокогорные районы, что можно объяснить редкостью наблюдательной сети.

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод о том, что данные мо-

делирования с использованием схем параметризации для пограничного слоя MYJ PBL и микрофизики Thompson лучше, чем другие, рассмотренные в настоящем исследовании, согласуются с данными наблюдений за осадками и температурой приземного слоя.

Следует отметить, что численная клима-

тическая модель WRF с подобранными схемами параметризации может быть использована для моделирования проекций будущего климата на территории домена Центральная Азия для различных сценариев содержания парниковых газов в атмосфере.

### Благодарности

Данная работа выполнена при поддержке грантового финансирования научных проектов КН МОН РК №AP05135848 «Моделирование будущего климата Центральной Азии в рамках международного проекта CORDEX (COordinated Regional climate Downscaling EXperiment)».

### ЛИТЕРАТУРА

1. Шерстюков Б.Г., Салугашвили Р.С. Новые тенденции в изменениях климата Северного полушария Земли в последнее десятилетие // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2010. – №175. – С.43-51.
2. Данные метеорологического офиса Climatic Research Unit // [https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru\\_ts\\_4.00/](https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/hrg/cru_ts_4.00/): 30.08.2018
3. Данные лаборатории приповерхностной гидрологии Принстонского университета США // <http://hydrology.princeton.edu/data/>: 30.08.2018
4. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., and Powers J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 2 // [https://arrc.ou.edu/~rockee/NRA\\_2007\\_website/WRF-weather-model-arw\\_v2.pdf](https://arrc.ou.edu/~rockee/NRA_2007_website/WRF-weather-model-arw_v2.pdf): 30.01.2007.
5. Klemp J.B., Skamarock W.C., and Dudhia J. Conservative split-explicit time integration methods for the compressible nonhydrostatic equations // Monthly Weather Review. – 2007. – № 135, 2897-2913.
6. Michalakes J., Dudhia J., Gill D., Henderson T., Klemp J., Skamarock W., and Wang W. The Weather Research and Forecast Model: Software Architecture and Performance // Use of High Performance Computing in Meteorology. – 2005. – PP.156–168.
7. Michalakes, J., Chen S., Dudhia J., Hart L., Klemp J., Middlecoff J., and Skamarock W. Development of a Next Generation Regional Weather Research and Forecast Model // Developments in Teracomputing. – 2001. – PP.269-276 // <https://pdfs.semanticscholar.org/c9cb/ef0374a8417be2804a39a0a77116a39053aa.pdf>: 30.09.2018.
8. Tugba Ozturk, M. Tufan Turp, Murat Türke, M. Levent Kurna Projected changes in temperature and precipitation climatology of Central Asia CORDEX Region 8 by using RegCM4.3.5 // Atmospheric Research. – 2017. –Vol.183. – PP. 296-307

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

УДК 338.28  
МРНТИ 06.52.35

## ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНСТРУМЕНТА ПЛАНИРОВАНИЯ «PRIMAVERA»

ОМАРОВ Т.Ж., ТАЙКУЛАКОВА Г.С.

*Высшая Школа Бизнеса, Алматы Менеджмент Университет*

**Аннотация:** Статья посвящена изучению и использованию на практике современных инструментов планирования и оптимизации проектов, описание шагов планирования и оптимизации проекта из личного опыта. Описываются основные функции программы «Primavera», использовавшиеся на фазах планирования и выполнения проекта, которые способствовали успеху данного проекта, измеряемого следующими показателями: безопасность, временные рамки, бюджет и высокое качество выполнения. Процесс планирования помогает каждому понять и разобраться в сущности задач, с учетом перспективы и факторов неопределённости, чтобы разработать планы предупредительных мероприятий. Основными ключевыми преимуществами использования программы планирования «Primavera» является: снижение рисков срыва сроков выполнения проекта, снижение рисков по превышению затрат, эффективное планирование и управление работами проекта, оптимизация управления всеми ресурсами проекта, чёткое представление о текущем статусе и ходе работ, критические работы проекта, по которым необходимо принять корректирующие меры и направить ресурсы.

**Ключевые слова:** планирование, оптимизация, план, процесс, проект, Primavera, график, временные рамки, качество

## «ПРИМАВЕРА» ЖОСПАРЛАУ ҚҰРАЛДЫ ҚОЛДАНУ АРҚЫЛЫ ЖҰМЫСТАРДЫ ЖОСПАРЛАУ ЖӘНЕ ОҢТАЙЛАНДЫРУ

**Аңдатпа:** Мақала жобаларды жоспарлау мен оптимизациялаудың заманауи құралдарын зерттеуге және практикалық пайдалануға, жеке тәжірибе бойынша жобаны жоспарлау және оңтайландыру қадамдарын сипаттауға арналған. «Primavera» бағдарламасының негізгі функциялары айқындалған, олар жобаны жоспарлау және іске асыру кезеңінде пайдаланылған, осы жобаның сәтті болуына ықпал еткен, келесі көрсеткіштермен өлшенеді: қауіпсіздік, мерзім, бюджет және іске асырудың жоғары сапасы. «Primavera» жоспарлау бағдарламасын қолданудың негізгі басты артықшылықтары: жобаның мерзіміне сәйкес келмеу қаупін азайту, шығындарды асыра пайдалану қаупін азайту, жобалық жұмысты тиімді жоспарлау және басқару, барлық жобалық ресурстарды басқаруды оңтайландыру, жұмыстың қазіргі жағдайы мен барысы туралы нақты түсінік, жобалық жұмыстың маңыздылығы, ол үшін түзету шараларын қабылдау және ресурстарды бағыттау қажет.

**Түйінді сөздер:** жоспарлау, оңтайландыру, жоспар, процесс, жоба, Primavera, кесте, мерзім, сапа

## PLANNING AND OPTIMIZATION USING PLANNING TOOL

**Abstract:** *The article is devoted to the study and practical use of advanced tools for planning and optimization of projects, description of project planning and optimization steps from personal experience. The main functions of Primavera program are described, which were used during the project planning and implementation phases, which contributed to the success of this project, as measured by the following criteria: safety, time frame, budget and high quality of implementation. The main key benefits of using planning software “Primavera” are as follow: reduces the risks of schedule overrun, reduces the risks of project cost overrun, allows effectively plan and manage project activities, optimizes management of all project resources, gives exact understanding of project status and work progress, indicates project critical path where corrective actions are required.*

**Key words:** *planning, optimization, plan, process, project, Primavera, schedule, period, quality*

### Введение

Уважаемый читатель, ответьте пожалуйста на следующий банально повседневный вопрос: за сколько времени можно быстро поменять 4 колеса на вашем автомобиле? Многие оптимисты ответят 20 минут, 40 минут, другие пессимисты скажут пару часов, если повезёт и не будет очереди на посту шиномонтажа. Ответ: в среднем, при хорошо спланированной и оптимизированной работе механиков формулы 1 на это уходит 2,5-3 секунды, рекорд – 1,9 секунды. А сколько уйдёт времени на строительство дома в 200 кв/м? В 2005 году команда волонтеров из США установили мировой рекорд при строительстве дома в 200 кв/м, построив его за 3 часа 26 минут. Для достижения данного рекорда потребовалось 2 года детального планирования и 800 волонтеров, ну и, конечно, командная вера и дух в то, что, казалось бы, невозможное возможным. Далее в этой статье исследуется, как применение инструментов детального планирования, а именно программы «Примавера», помогает основательно спланировать огромный объём работы вплоть поминутно, что не под силу человеческому мозгу на данный момент. В качестве примера приведу иллюстрацию из личного опыта работы с данной программой, которая помогла предприятию значительно оптимизировать время выполнения проекта, улучшить качество работы и сократить затраты, тем самым уложиться в рамки выделенного бюджета.

Программное обеспечение «Примавера»

является продуктом компании Primavera Systems Inc, которая в 2008 году была приобретена корпорацией Oracle. Программа даёт возможность создавать и отслеживать высокообъёмные проекты, используя основные элементы управления проектами: график, ресурсы и затраты. Крупные компании получают огромную пользу, применяя такие инструменты планирования. Во-первых, создавая графики и детально планируя каждый шаг проекта, вы убеждаетесь в том, что профессиональные навыки людских ресурсов соответствуют требованиям проекта. Во-вторых, имея людские ресурсы с необходимыми профессиональными навыками, которые проверяют каждый шаг работы в графике, вы будете уверены, что имеющаяся информация является надёжной, что, к примеру, давление для гидроиспытания рассчитано правильно, максимально допустимая коррозия трубопровода не превышает определенного значения, тем самым в дальнейшем все эти факторы способствуют правильному принятию решения.

Начиная с 2014 года мне выпала возможность начать процесс планирования и оптимизации капитального ремонта газотурбинных электростанций (ГТЭС). Из опыта предыдущих лет капитальный ремонт на ГТЭС проводили в течение 2-3 месяцев. Взяв на вооружение и применяя на практике планирование капитального ремонта с «Примавера», также совместно осуществляя подгото-

вательные мероприятия, удалось добиться высоких показателей, уложившись в 21 день, выполняя аналогичные объёмы работ. Изначально определили ключевых людей из разных дисциплин и коллегиально определили время, требуемое для полной подготовки к проведению капитального ремонта. Начали создавать график проекта с нуля, привлекая и рассматривая с ключевыми лицами каждый шаг проекта. Программа позволяет последовательно связать большое количество работ, предлагая 4 вида привязки работ:

1. FS (FinishttoStart) – завершение одной и старт последующей работы.
2. SS (StarttoStart) – следующая работа не может начаться пока не началась предыдущая работа, говоря проще, две работы начинаются одновременно.

3. FF (FinishttoFinish) – следующая работа не может закончиться пока не завершится предыдущая.

4. SF (StarttoFinish) – следующая работа не может завершиться пока не начнётся предыдущая.

Весь планируемый объём работ вносится в график, детально расписывается каждый шаг в зависимости от требования руководства по детализации. В процессе планирования и выстраивания последовательности работ программа визуализирует цепочку работ в виде диаграммы Ганта, наглядно показывая всю последовательность всех запланированных работ [1; 113]. Далее в каждую работу графика закладывается длительность выполнения работы и требуемые ресурсы, исходя из наилучших и наихудших сценариев, выбирая

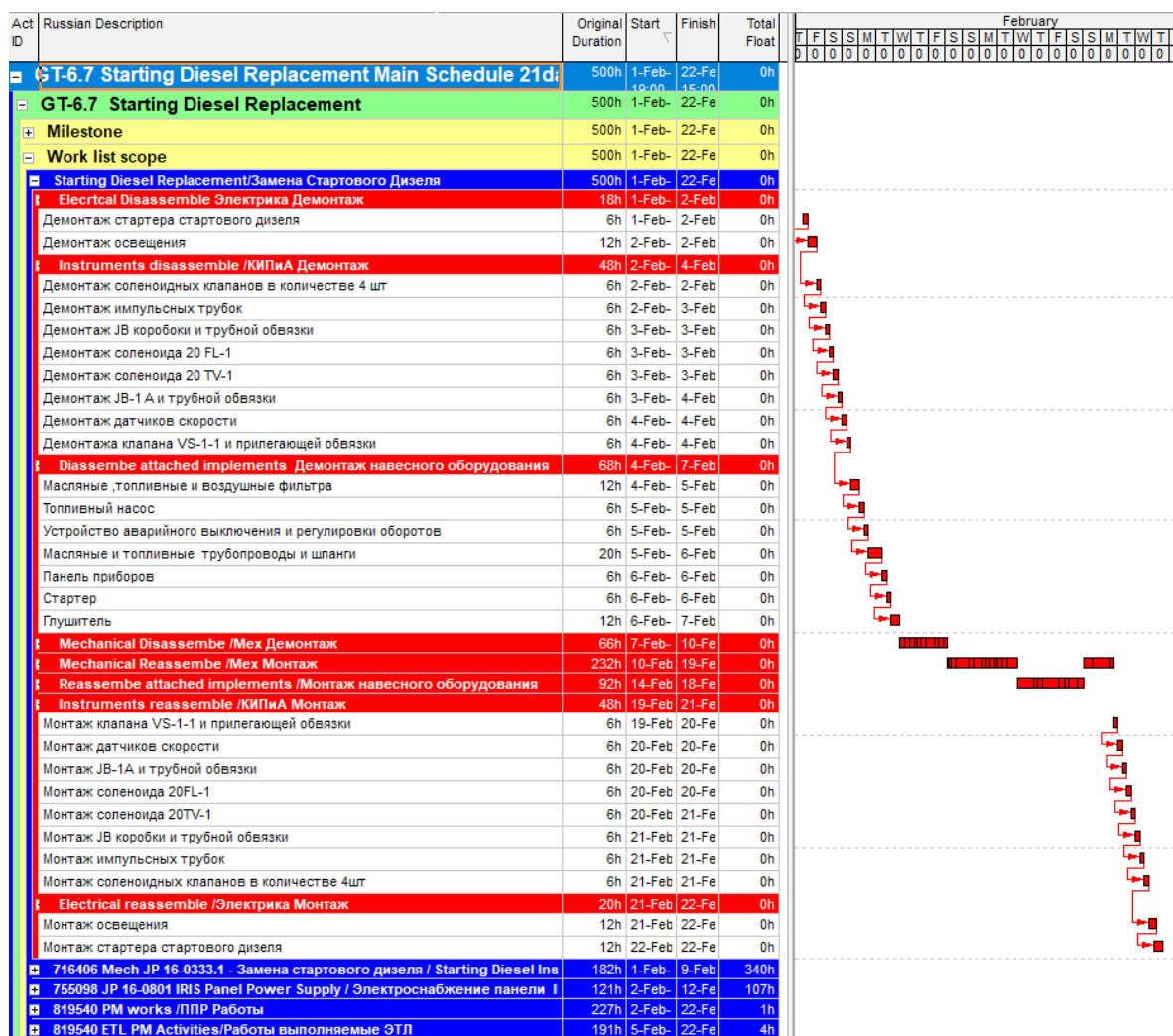


Рис. 1 – График работ с отображением критического пути проекта

средние значения. Построив график всех запланированных работ, в котором правильно выстроена последовательность и логика работ, а также загружены необходимые ресурсы, программа «Примавера» покажет, и Вы сами сможете определить самую длительную по времени работу, называемую критическим путём проекта. В сфере управления проектами критическим путём называют последовательность/цепочку работ проекта от начала до её завершения, позволяя определить самую длительную работу проекта. Другими словами, критический путь показывает самое возможное короткое время, за которое можно завершить проект.

После того, как будет определён критический путь проекта, необходимо сконцентрироваться и приложить все необходимые усилия по его оптимизации, тщательно планируя последовательность и логику. Показав график проекта команде на большом проекторе, в команде начнётся бурное обсуждение по оптимизации критического и околоскритического пути. В ходе выполнения проекта критический путь может меняться, так как

возможно работы пойдут быстрее, чем ожидалось ранее благодаря раннему планированию или же наоборот.

Добавляя в график шаги наихудших сценариев, вы будете уверены, что людские ресурсы запланированы на работы, вероятность появления которых существует. Ниже на рисунке красным цветом показана последовательность самой длительной работы проекта с нулевым запасом времени, так называемым критическим путём проекта. У “Primavera” есть функции по выравниванию назначенных ресурсов, когда ресурсы перегружены по всему проекту. Данная функция по выравниванию ресурсов по всему проекту чрезвычайно полезна, если Вы планируете осуществить большой объём работ с привлечением большого количества людских ресурсов. Выравнивание ресурсов не затрагивает работы критического пути в связи с нулевым запасом времени. Выравнивание ресурсов будет зависеть от выставленных Вами приоритетов на работы. Ниже приведён самый простой пример выставления приоритетов из практики:



Рис. 2 – Пример выравнивания приоритетов

**Пример:** Оборудование #1 – Вы знаете, что будет выполняться большой объём работ и присваиваете ему высокий приоритет. Оборудование #2 – планируются небольшие работы и присваивается низкий приоритет.

**Результат:** бригада слесарей приступит к демонтажу первого оборудования, по завершении которого перейдут на демонтаж второго оборудования, позволив следующей бригаде ремонтников (узких специалистов,

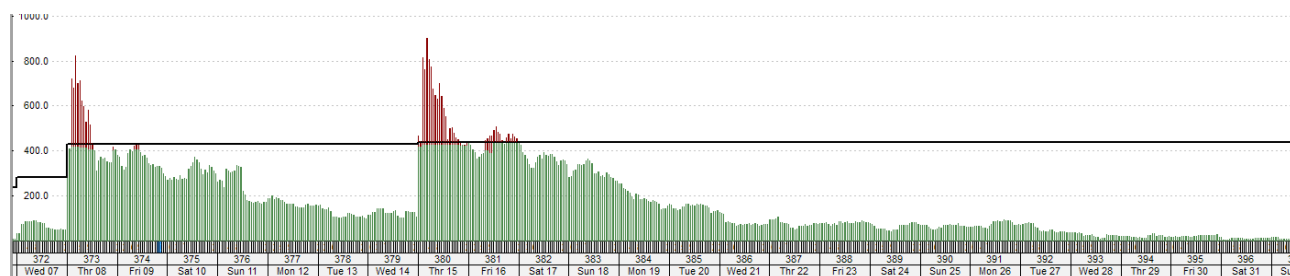


Рис. 3. – Гистограмма загрузки без выравнивания ресурсов

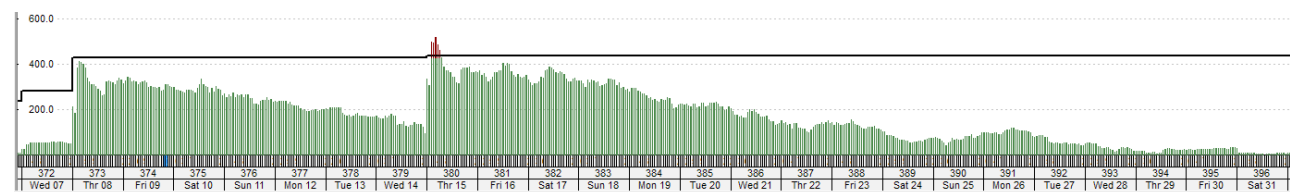


Рис. 4 – Гистограмма загрузки после выравнивания ресурсов

сварщиков) начать работы по инспекции и ремонту первого оборудования. Бригада слесарей, освободившихся от демонтажа второго оборудования, перейдут к сборке первого оборудования с высоким приоритетом, отложив сборку второго оборудования в связи с низкой срочностью возврата оборудования в работу. Таким образом, данная функция позволяет управлять и выравнивать людские ресурсы по мере их приоритетности. Из гистограммы хорошо заметно значительное перераспределение ресурсов после выравнивания ресурсов: до выравнивания пик достигал 800 человек на участке, после выравнивания пик количества требуемого персонала показал 400 человек. Основными загруженными днями (пик) проекта являются 8 и 15 числа.

По завершении стадии планирования и оптимизации, необходимо будет утвердить график планируемых работ с ключевыми лицами/акционерами проекта и зафиксировать целевой график, назначить «baseline» или по-простому заморозить график. Целевой график содержит все запланированные работы проекта, которые были согласованы на стадии планирования и является отправной точкой. Фиксирование целевого графика позволяет команде измерять эффективность и прогресс выполнения работ с изначальными ожиданиями.

Завершив фазы планирования и оптимизации проекта, самое время пожинать плоды от проделанной работы, т.к. именно фаза исполнения покажет, как хорошо или слабо подготовилась команда. В процессе исполнения работ необходимо будет обновлять прогресс выполненных работ за смену, за сутки – это будет зависеть от требования руководства проекта. В моей практике прогресс выполнения работ обновлялся, вносился в программу и пересчитывался непрерывно, и каждые 12 часов предоставлялся отчёт руководству о ходе проведения работ, исходя из последних обновлений и анализа проекта. Согласно отчёта 2018-2019 года с сайта Planning engineer. net компания, которая помогает работодателям управлять вознаграждением сотрудников, а сотрудникам понимать их ценность на рынке труда, то средняя заработная плата инженера по планированию второй категории с опытом работы от 5 до 10 лет в США составляет 6458 долларов, аналогичная позиция в Объединённых Арабских Эмиратах составляет 4 025 долларов.

По Казахстану такая статистика отсутствует на данный момент [2]. Анализ о прогрессе выполнения работы будет в большей степени зависеть от точности введённых данных в программу. По завершении смены, график должен быть обновлён, пересчитан и вы-

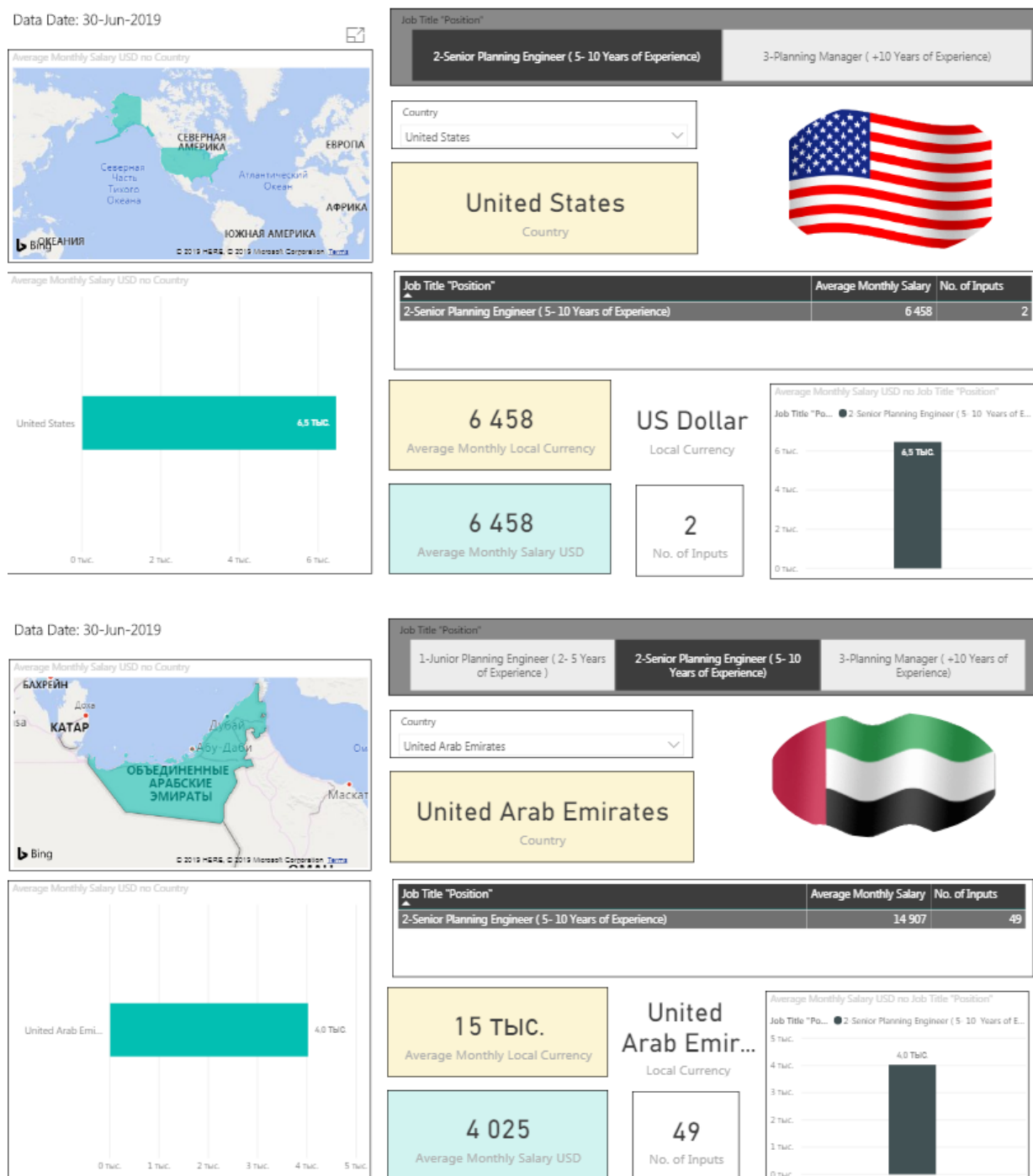


Рис. 5 – Статистика по среднемесячной заработной плате Инженера по планированию

равнен по ресурсам. После этого инженер по планированию приступает к анализу графика, выявляя проблемы, отставания и предоставляя полный отчет руководству, которое на основании представленных данных и опыта будут принимать решения. Из-за масштабности проекта бывает такое, что ключевые люди находятся в удаленных местах, для этого слу-

чая можно высылать отчеты по почте или же воспользоваться функцией «webpublish», которая позволяет публиковать все отчеты и графики с Примаверы на сайт предприятия в режиме онлайн.

Заблаговременный процесс детального планирования обеспечивает раннее вовлечение всех заинтересованных лиц, что приводит

к общему вниманию, созданию синергетической рабочей среды и оптимизированному использованию ресурсов. Инструменты планирования дают возможность сбалансировать бизнес-приоритеты и потребности завода, практические решения хронических проблем, которые исторически подрывали успешность проведения капитальных ремонтов.

Как сказал Елбасы, в своем послании 2014 году, стратегическое планирование в

XXI веке является правилом номер один. Ибо никакой ветер не будет попутным, если страна не знает маршрута и гавани прибытия [4]. Ключевым ресурсом любого производства является время, присутствующее в задаче оптимизированного планирования в различных ипостасях. Мы сможем выполнять больше проектов, этот эффект непосредственно отразится на развитии республики и позволит нам войти в 30 самых развитых стран мира.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коллектив авторов. Планирование и контроль с использованием Primavera Р6.2 Базовый курс. — ЗАО «ПМСОФТ», 2009. — 371 с.
2. Сайт Planning Engineer [Электронный ресурс]. — Режим доступа: свободный - Загл. с экрана. Послание Президента Республики Казахстан Н. Назарбаева народу Казахстана. 17-января 2014 года. [http://www.akorda.kz/ru/special/addresses/addresses\\_of\\_president](http://www.akorda.kz/ru/special/addresses/addresses_of_president)
3. Бобби С.А. Управление Капитальным ремонтом по мировым стандартам. Ориентированный на финансовый результат и сфокусированный на надёжность. Лучшие процессы и практики для последовательно успешных остановов и ремонтов. — Хьюстон, Техас: Еврест Пресс, 2016. — 400 с.
4. Пейдж Дж. С. Руководство по расчетам человеко-часов, требуемых для монтажа оборудования. — Хьюстон, Техас: Гулф Професионал Публишинг. Третья редакция. — 2012. — 212 с.

УДК 004.896  
МРНТИ 28.23.25

## APPLICATION OF DATA ANALYSIS METHODS IN HUMAN RESOURCE MANAGEMENT

UVALIYEVA I., ABYLKASSYMULY B., VAYS Yu.

*D. Serikbayev East Kazakhstan state technical University*

**Abstract:** *The paper describes a model for managing the employee motivation within the quality management system of an organization in the context of human resource management frameworks that consider the organization's employees as both the resource and inner consumer. The expediency has been justified for the identification of the employees' personal values for further establishing the motivation processes within the Quality Management System.*

**Key words:** *human resource management, data analysis, management model, motivation system, identification of personal values, prevailing personal values, QMS, motivation program*

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДАННЫХ В УПРАВЛЕНИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ

**Аннотация:** *В статье описана модель управления мотивацией работников в системе менеджмента качества предприятия в контексте парадигмы управления человеческими ресурсами, рассматривающей персонал организации одновременно в качестве ресурса и внутреннего потребителя. Обоснована целесообразность идентификации персональных ценностей работников для формирования мотивационных процессов в системе менеджмента качества предприятия.*

**Ключевые слова:** *управление человеческими ресурсами, модель управления, анализ данных, мотивационная система, идентификация персональных ценностей, доминирующие персональные ценности, СМК, мотивационная программа*

## АДАМ РЕСУРСТАРЫН БАСҚАРУДА ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНУ

**Аңдатпа:** *Мақалада қызметкерлерді басқару парадигмасы контекстіндегі кәсіпорынның сапа менеджменті жүйесінде қызметкерлерді ынталандыруды басқару моделі сипатталған, ол ұйымның қызметкерлерін ресурс ретінде де, ішкі тұтынушы ретінде қарастырады. Кәсіпорынның сапа менеджменті жүйесінде мотивациялық процестерді қалыптастыру үшін қызметкерлердің жеке құндылықтарын анықтаудың орындылығы дәлелденді.*

**Түйінді сөздер:** *адами ресурстарды басқару, деректерді талдау, басқару моделі, мотивациялық жүйе, жеке құндылықтарды сәйкестендіру, басым жеке құндылықтар, СМЖ, мотивациялық бағдарлама*

## Introduction

The efficient management of human resource processes within the Quality Management System (QMS) today involves their development and functioning in accordance with the human resource management frameworks. However, from the date this conceptual approach has been originated and till now, there is no agreed opinion in both scientific literature and HR practice regarding development of processes for HR staffing and management [1].

The analysis shows that they still do not always use human resources in the most efficient and reasonable manner when designing and operating a set of quality management systems. Meanwhile, production enterprises have sufficient opportunities to identify defects of their QMS, systematically and thoroughly study the actual economic effects of investments spent on their creation and implementation.

The modern HR management within the Quality Management System (QMS) is carried out in the context of the human resource management frameworks that consider the employees as, on one side, the most critical specific resource determining the success and competitiveness of an enterprise, and, on the other side, an internal consumer of the Incentive System (salaries and benefits, career advancement, training programme, significance and prestige value of the work) that is offered to the employees for high quality and productive labour [2].

The following issues hold a specific place among the theoretic and methodical problems of managing the motivation models within the QMS:

- Considering the QMS motivation process from the internal consumer's perspective – employees;
- Development of simple but statistically valid procedures for determining the prevailing personal values and the appropriate motivation methods for the work force;
- Identification of strategies for selecting the motivation programme providing that there is/there is not opinion consistency among the work force.

Thus, it seems appropriate:

- to develop a process model “Employee Motivation Management”;
- to identify a technology for identification of the employee's personal values;
- to determine the prevailing personal values;
- to justify the strategy for selecting the motivation programme providing that there is/there is not opinion consistency among the work force.

Following this approach, KAZ Minerals Aktogay [4] has implemented the process of “Employee Motivation Management” within the QMS. Particularly, we have studied the personal values and motivating factors of employees of the Engineering Department.

## Process model “employee motivation management”

The process model “Employee Motivation Management” [3] clearly identifies the providers and consumers of the motivation processes, their input and output parameters, as well as performance and efficiency indicators, provision of resources for such processes and development of the controlling documents.

The provider of motivation processes is an enterprise that is willing to create conditions as “reward expectations” (salaries and benefits, career advancement, training programme, significance value of the work) for the employees for their labour potential, high quality and efficient labour, and the employees are considered as the internal consumer of such conditions. The extension of agreement between employees' expectations in regard to the reward system and capabilities of the enterprise determines the employees' satisfaction with their own work activities, on one hand, and competitive growth of the enterprise by means of motivated and competent employees capable for high quality and efficient labour, which allows to create products that meet requirements and expectations of consumers, on the other [5].

Therefore, the development of a motivation programme focused on inciting the employees for high quality labour in accordance with the process under consideration shall be based on both the enterprise's capabilities and requests of

the internal consumers, i.e. their personal values that need to be identified.

Thereby, it seems appropriate to develop methods for identification of the employees' personal values and motivating factors, which will allow for both identification of the prevailing personal values of the employees, and establish directions for the motivation programme that meets the employees' requirements and expectations. The proposed procedure and methods for identification of the employees' personal values

and selection of the corresponding motivation strategy can be described as follows.

The Questionnaire comprises 190 pairs of statements corresponding to 20 organizational values (Table1). A sufficiently large questionnaire material (190 pairs of compared statements) that is offered to the respondents will ensure high validity of the used research tool. This is evidenced by the reliability figures (adjusted reliability factor by Spearman–Brown) and validity, which appeared to be statistically significant.

**Table 1 – The organizational values and corresponding statements**

| Organizational values                                    | Corresponding statements                                            |
|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 1. Managing authorities                                  | Opportunity to influence other people or the course of events       |
| 2. Standard activities                                   | Standard activities and implemented procedures                      |
| 3. Deadlines for the obligation fulfilment               | Deadlines to fulfil the obligations                                 |
| 4. Performance                                           | Exact compliance of the activity results with the targets           |
| 5. Comfortable working conditions                        | Convenient and comfortable working conditions                       |
| 6. Professional advancement                              | Opportunities for professional advancement                          |
| 7. Social status                                         | Opportunism to maintain self-concept                                |
| 8. Loyalty of informal group                             | Support of friends                                                  |
| 9. Loyalty of management                                 | Support of management                                               |
| 10. Involvement in management                            | Proximity to the manager                                            |
| 11. Enterprise's customs                                 | Declared principles and values of the enterprise                    |
| 12. Personal safety                                      | Maintaining personal safety, good standing                          |
| 13. Prospects and potential attainments                  | Availability of development prospects within the enterprise         |
| 14. Responsibility for the deliverables                  | Responsibility for the deliverables within the authority            |
| 15. Career                                               | Career opportunities                                                |
| 16. Financial interests                                  | Opportunities to receive the due material remuneration              |
| 17. Creativity and inventions                            | Opportunities for creativity and inventions in the working place    |
| 18. Job enrichment (work expansion)                      | Improving professional skills                                       |
| 19. Opportunities for higher earnings                    | Opportunities to obtain higher-paid employment                      |
| 20. Fairness (transparency) of the material remuneration | Opportunities to receive the remuneration based on the deliverables |

The way this questionnaire works is based on the method of complete paired comparison. An employee is offered to choose one of two values (alternatives) with the same number (Table 2).

For this purpose, he/she compares pair statements in the left (A) and right (B) column and choose the one he/she can sacrifice or neglect.

Table 2 – Questionnaire

| Should I make a choice, I can neglect... |                                                            |                                                                   |
|------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Alternatives                             |                                                            |                                                                   |
| No.                                      | A                                                          | B                                                                 |
| 1                                        | The scope of my duties                                     | The opportunity to influence other people or the course of events |
| 2                                        | The deadlines to fulfil my obligations                     | The workload negotiated previously                                |
| 3                                        | The opportunities to receive the due material remuneration | The fulfilment by others of their obligations                     |
| ...                                      | ...                                                        | ...                                                               |
| 188                                      | The routine course of events in the enterprise             | Involvement in the “inner circle” (a part of the manager’s team)  |
| 189                                      | The scope of my duties                                     | The opportunities to obtain higher-paid employment                |
| 190                                      | My principles                                              | The enterprise’s customs, declared principles and values          |

This approach is based on the statement that it is hard for a person to decide what matters for him/her. However, he/she knows for sure what does not.

#### Calculation of each employee’s score for every value

The obtained scores are recorded in the table for further statistical processing based on the well-known statistical criteria [6]. The data of one testee form one row, data on one value form one column.

The employee’s values shall be ranked. The first rank is the highest and corresponds to the value with the lowest number of points ( $R = 1$ ). The value with the highest number of points is considered as the least important and assigned with rank  $R = n$ , where  $n$  – a number of values studied ( $R = 20$ ).

If a testee consider several values to be equal, than they are assigned with the same rank like sum of the alternative places with their inline arrangement divided by their number (1):

$$R_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^n i}{k}, \quad (1)$$

Where  $R_{ij}$  – a rank of several equal values;  $i$  – places of values with their inline arrangement;  $k$  – a number of equal values;  $n$  – total number of values studied.

The factor of weight ( $g_i$ ) for every value is determined from the proposed questionnaire material by formula (2):

$$g_i = \frac{m - S_i}{0,5m (n - 1)} \quad (2)$$

where  $m$  – number of members of the work group;  $n$  – number of values;  $S_i$  – sum of the rankings  $R_{ij}$  of the group members for every value, which is calculated by formula (3):

$$S_i = \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (3)$$

Highly critical (prevailing) group values are determined ( $g'$ ) by formula (4):

$$g'_i > \frac{1}{n} \quad (4)$$

where  $n$  – number of values.

The type of employee’s motivation intended to meet their prevailing values to be determined. For this purpose, you need determine what type of motivation the prevailing values revealed belong to (Table 3) [7]: motivation focused mainly on the job depth; motivation focused mainly on the social significance of the job; motivation focused mainly on the material significance of the job; motivation focused mainly on the balance of various values.

**Table 3 – Types of motivation and corresponding values**

| Type of motivation                                       |                                         |
|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Focused on the job depth                                 |                                         |
| Interesting and meaningful job                           | Professional development                |
| 2. Standard activities                                   | 6. Professional advancement             |
| 3. Deadlines for the obligation fulfilment               | 13. Prospects and potential attainments |
| 4. Performance                                           | 17. Creativity and inventions           |
| 14. Responsibility for the deliverables                  | 18. Job enrichment (work expansion)     |
| Focused on the social significance of the job            |                                         |
| Career                                                   | Social status and safety                |
| 1. Managing authorities                                  | 5. Comfortable working conditions       |
| 9. Loyalty of management                                 | 7. Social status                        |
| 10. Involvement in management                            | 8. Loyalty of informal group            |
| 15. Career                                               | 11. Enterprise's customs                |
|                                                          | 12. Personal safety                     |
| Focused on the material significance of the job          |                                         |
| Labour compensation and other material benefits          |                                         |
| 16. Financial interests                                  |                                         |
| 19. Opportunities for higher earnings                    |                                         |
| 20. Fairness (transparency) of the material remuneration |                                         |

### Development of the motivation programme

The development of the motivation programme requires to define to what extent the employees agree on the group values, i.e. to determine the consistency of their opinions. When conducting this exercise, there are two possible scenarios and their consequences:

The work group members' opinions are consistent, so a single motivation programme to be developed for this group;

The work group members' opinions are not consistent, and there are employees whose results of the value appraisal differ enormously to the others, which necessitates the development of individual motivation programme for them.

To assess the consistency of opinions of the work group members, the Kendall's coefficient of concordance (consistency) shall be determined (4):

$$W = \frac{2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (4)$$

Here  $S_i$  – the sum of ranks of the group members for every value studied (5):

$$S_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n R_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i = 0,5m(n+1) \quad (5)$$

Where  $m$  – number of the group members;  $n$  – number of values studied;  $T_j$  – index of sameness, which is calculated by formula (6):

$$T_j = \sum_{j=1}^u (t_j^3 - t_j) \quad (6)$$

Where  $t_j$  – number of same ranks of  $j$ -th group member;  $u$  – number of groups with same ranks of  $j$ -th group member.

The Kendall's coefficient of concordance assume a value in the range  $0 \leq W \leq 1$  and is calculated by formula (7):

$$W = \frac{2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{m^2(n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} \quad (7)$$

The consistency of opinions of the group shall be considered as acceptable when value  $W$

$\geq 0,6$ , is statistically significant with confidence probability of  $P = 1 - \alpha$ .

Significance of  $W$  value is assessed against the criteria  $x^2$  by formula (8):

$$x^2 = Wm(n-1) > x^2(1-\alpha)f$$

Where  $W$  – coefficient of concordance;  $m$  – number of work group members;  $n$  – number of values studied;  $f$  – number of degrees of freedom.

If  $x^2 > x^2(1-\alpha)f$ , where  $f = (n-1)$  – number of degrees of freedom, then the coefficient of concordance  $W$  is statistically significant.

If the consistency of the work group members is acceptable and statistically significant, then the motivation programme shall be developed based on the prevailing values revealed.

If the group members' opinions are not consistent, then we need to identify the employees with the opinions different to the others'. For this purpose, we need to calculate the Spearman's rank correlation coefficient for the individual employees' ranks and mean ranks of other employees.

The rank correlation coefficient ( $\rho$ ) is determined by formula (9):

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (R_{ij} - \bar{R}_{(i)})^2}{(n^3 - n) - 0,5 \sum_{j=1}^m T_j}, \quad (9)$$

Where  $R_{ij}$  – the ranks of given employee;  $\bar{R}_{(i)}$  – mean ranks of other employees;  $n$  – number of values studied;  $m$  – number of experts;  $T_j$  – index of sameness.

$\rho \leq 0,5$  means that the ranks of given employee cannot be correlated with general ranks of the group, which makes necessary to study his prevailing value guides and develop an individual motivation programme.

### Simulation exercise

Table 4 shows the results of the personal value analysis completed for employees of the Engineering Department Calculation of weight and group value coefficient showed the following result: the statistically significant (prevailing) values of the Engineering Department employees shall correspond with the inequality  $g_i > 0.05$ .

Table 4 – Value ranks and their statistical processing

| No. of group member, n                          | valuation, n |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       | Tj |
|-------------------------------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|----|
|                                                 | n1           | n2   | n3   | n4   | n5   | n6   | n7   | n8   | n9    | n10  | n11   | n12   | n13  | n14  | n15  | n16  | n17  | n18   | n19  | n20   |    |
| 1                                               | 0            | 11   | 12   | 14   | 10   | 15   | 5    | 16   | 5     | 1    | 18    | 20    | 13   | 16   | 7    | 1    | 9    | 19    | 4    | 2     | –  |
| 2                                               | 0            | 10   | 12   | 14   | 10   | 18   | 3    | 19   | 2     | 0    | 17    | 9     | 13   | 15   | 5    | 4    | 11   | 16    | 8    | 6     | –  |
| 3                                               | 1            | 11   | 15   | 10   | 12   | 16   | 4    | 18   | 3     | 0    | 17    | 20    | 13   | 9    | 2    | 1    | 19   | 13    | 6    | 4     | –  |
| 4                                               | 1            | 10   | 12   | 15   | 16   | 18   | 3    | 17   | 3     | 2    | 20    | 7     | 14   | 9    | 1    | 0    | 11   | 19    | 8    | 0     | –  |
| 5                                               | 1            | 6    | 11   | 12   | 7    | 16   | 5    | 15   | 4     | 3    | 19    | 19    | 10   | 13   | 0    | 0    | 8    | 20    | 2    | 1     | –  |
| 6                                               | 4            | 10   | 12   | 14   | 10   | 18   | 3    | 19   | 0     | 0    | 17    | 15    | 13   | 8    | 2    | 1    | 7    | 16    | 5    | 6     | –  |
| 7                                               | 4            | 8    | 12   | 17   | 9    | 14   | 0    | 16   | 2     | 3    | 18    | 15    | 10   | 5    | 0    | 1    | 11   | 19    | 1    | 2     | –  |
| Ranked values                                   |              |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |    |
| 1                                               | 1            | 11   | 12   | 14   | 10   | 16   | 6,5  | 17   | 6,5   | 2,5  | 18    | 20    | 13   | 15   | 8    | 2,5  | 9    | 19    | 5    | 4     | 12 |
| 2                                               | 1,5          | 10,5 | 13   | 15   | 10,5 | 19   | 4    | 20   | 3     | 1,5  | 18    | 9     | 14   | 16   | 6    | 5    | 12   | 17    | 8    | 7     | 12 |
| 3                                               | 2,5          | 10   | 14   | 18   | 11   | 15   | 6,5  | 17   | 5     | 1    | 16    | 20    | 12,5 | 9    | 4    | 2,5  | 19   | 12,5  | 8    | 6,5   | 18 |
| 4                                               | 3,5          | 11   | 13   | 15   | 16   | 18   | 6,5  | 17   | 6,5   | 5    | 20    | 8     | 14   | 10   | 3,5  | 1,5  | 12   | 19    | 9    | 1,5   | 18 |
| 5                                               | 3,5          | 9    | 13   | 14   | 10   | 17   | 8    | 16   | 7     | 6    | 18,5  | 18,5  | 12   | 15   | 1,5  | 1,5  | 11   | 20    | 5    | 3,5   | 18 |
| 6                                               | 6            | 11,5 | 13   | 15   | 11,5 | 19   | 5    | 20   | 1,5   | 1,5  | 18    | 16    | 14   | 10   | 4    | 3    | 9    | 17    | 7    | 8     | 12 |
| 7                                               | 8            | 10   | 14   | 18   | 11   | 15   | 1,5  | 17   | 5,5   | 7    | 19    | 16    | 12   | 9    | 1,5  | 3,5  | 13   | 20    | 3,5  | 5,5   | 18 |
| Data on the statistical processing of estimates |              |      |      |      |      |      |      |      |       |      |       |       |      |      |      |      |      |       |      |       |    |
| $S_i$                                           | 26           | 73   | 92   | 109  | 80   | 119  | 38   | 124  | 35    | 24,5 | 127,5 | 107,5 | 91,5 | 84   | 28,5 | 19,5 | 85   | 124,5 | 45,5 | 36    | –  |
| $S_i - \bar{S}$                                 | -47,5        | -0,5 | 18,5 | 35,5 | 6,5  | 45,5 | -35  | 50,5 | -38,5 | -49  | 54    | 34    | 18   | 10,5 | -45  | -54  | 11,5 | 51    | -28  | -37,5 | –  |
| $g_i$                                           | 0,08         | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,05 | 0,02 | 0,08 | 0,01 | 0,08  | 0,09 | 0,01  | 0,02  | 0,04 | 0,04 | 0,08 | 0,09 | 0,04 | 0,01  | 0,07 | 0,08  | –  |
| $g_i'$                                          | +            |      |      |      |      |      | +    |      | +     | +    |       |       |      |      | +    | +    |      |       | +    | +     | –  |

In Table 4, the prevailing values of the employees, marked with “+”, comprise: authority ( $g_i = 0.08$ ); social status ( $g_i = 0.08$ ); loyalty of management ( $g_i = 0.08$ ); involvement in management ( $g_i = 0.09$ ); career ( $g_i = 0.08$ ); financial interest ( $g_i = 0.09$ ); opportunities for higher earnings ( $g_i = 0.07$ ); fairness (transparency) of the material remuneration ( $g_i = 0.08$ ).

The determination of the type of motivation has revealed that the motivating factors for the Engineering Department employees are the social (particularly, focus on career) and material significance of the job.

For the development of the motivation programme, the Kendall's coefficient of concordance assume a value in the range  $0 \leq W \leq 1$ . The consistency of opinions of the group members has shown the following result:

$$W = \frac{336008,64}{390264} = 0,86$$

Significance of W value is assessed:

$$\chi^2 = 0.86 \cdot 7(20 - 1) = 114.38 > \chi^2_{0.95;19} = 10.7$$

Thus, the obtained data are statistically significant. The prevailing personal values of the employees are material and career values.

The results showed that development of individual motivation programme for QMS of KAZ Minerals Aktogay is unnecessary since the opinions of the Engineering Department employees is consistent and statistically valid [8].

### Conclusion

The proposed methods for identification of the employees' personal values and motivating factors allow for both identification of the prevailing personal values of the employees (and improve the data reliability), and establish directions for the motivation programme that meets the employees' requirements and expectations.

### REFERENCES

1. Wolniak R. The Level of Maturity of Quality Management Systems in Poland-Results of Empirical Research //Sustainability. – 2019. – T. 11. – №. 15. – C. 4239.
2. Mulvie A. Working with External Quality Standards and Awards: The Strategic Implications for Human Resource and Quality Management. – Routledge, 2018.
3. Kirilina T.Y., Panina O.I. Employee motivation management //Annotation. – 2017. – T. 26. – №. 2017.
4. Official site of KAZ Minerals <https://www.kazminerals.com/> (18.011.2020)
5. Shah N., Irani Z., Sharif A. M. Big data in an HR context: Exploring organizational change readiness, employee attitudes and behaviors //Journal of Business Research. – 2017. – T. 70. – C. 366-378.
6. Gorlenko O., Mozhayeva T. The Process Approach to Management of Enterprise Human Resources //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2016. – T. 124. – №. 1. – C. 012013.
7. Santos G. et al. The main benefits associated with health and safety management systems certification in Portuguese small and medium enterprises post quality management system certification //Safety science. – 2013. – T. 51. – №. 1. – C. 29-36.8.
8. Govreau J. Miners Plan More Projects for 2019 //Engineering and Mining Journal. – 2019. – T. 220. – №. 1. – C. 18-22.



**ФАРИД ФАХРИЕВИЧ УМАРОВ**

*К 75-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ И 50-ЛЕТИЮ  
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ И ОРГАНИЗАЦИОННОЙ  
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ*

Фарид Фахриевич Умаров родился 12 января 1945 года в г. Чирчик Ташкентской области Узбекской ССР. Окончил с отличием инженерно-физический факультет Ташкентского политехнического института (1967 г.) и аспирантуру Института электроники Академии Наук Узбекской ССР (1971 г.). Диссертации на соискание ученой степени кандидата (1975 г.) и доктора (1992 г.) физико-математических наук по специальности 01.04.04 – Физическая электроника защитил на физическом факультете МГУ имени М.В. Ломоносова (Москва, Россия). В 1994 году присвоено ученое звание профессора по кафедре «Физическая электроника и микроэлектронные приборы» Ташкентского Государственного технического университета.

Воспитанник известной во всем мире научной школы по физической электронике академика У.А. Арифова Умаров Ф.Ф. с 1967 по 1993 гг. проработал в Институте электроники Академии Наук Республики Узбекистан в должностях младшего, старшего и ведущего научного сотрудника, а также ученого секретаря института. Научные интересы отличаются широким спектром и связаны с фундаментальными проблемами физики, диагностики и модификации поверхности твердого тела и тонких пленок и моделирования физических процессов на ЭВМ. Совместно с коллегами развиты теория рассеяния атомов и ионов

средних и низких энергий поверхностью кристаллов, исследованы процессы распыления и каналирования на поверхности кристаллов и тонких пленок. Развита теоретическая модель и методы компьютерного моделирования процессов рассеяния, распыления и каналирования атомов и ионов на реальных поверхностях и в приповерхностных слоях твердого тела и покрытиях. Развита новая методика диагностики, модификации и контроля элементного состава, структуры и состояния поверхностей одно- и многокомпонентных кристаллов металлов и полупроводников, актуальные для современной имплантационной металлургии, тонкопленочной технологии, микро- и нанотехнологии.

Автор (совместно с коллегами и учениками) имеет более 350 научных трудов, опубликованных как в нашей стране, так и за рубежом, в том числе 10 монографий и сборников трудов и 40 статей в авторитетных международных научных журналах с высоким импакт-фактором, в том числе в Nucl. Instr. & Meth. in Phys. Res., Rad. Effects & Defects in Solids, Applied Surface Science, Surface and Interface Analysis, Vacuum, Radiation Effects, IEEE, Surface Review and Letters, Surface and Coatings Technology. Соавтор монографии, опубликованной в международном издательстве Elsevier Science Publishers B.V. “Atomic Collisions on Solid

Surfaces”, 1993, North-Holland, 664p., а также четырех глав в тематических монографиях международных издательств: Nova Publishers и Intech Publishers. Монографии, изданные с соавторами в 2017-2019 гг.: “Radiation-stimulated Bulk and Surface Effects in Materials”, Almaty, “Qazaq University”, 2017, 194pp.; “Radiation-stimulated Bulk and Surface Effects in Materials”, USA, Middletown, DE, 2018, 233p; “Radiation-thermal Effects in the single-and multi-component Materials”, Almaty, KazNPU named after Abai, 2019, 303pp.

Научные исследования Ф.Ф. Умарова получили мировое признание. Об этом свидетельствуют ссылки на его научные статьи, визиты в зарубежные научные центры, большое число приглашений для участия с докладами в отечественных и зарубежных научных конференциях. За последние годы им сделаны доклады на различных международных конференциях в Германии, Франции, Италии, Англии, Австрии, Швеции, Дании, США, Египте, Турции, России. Уделяет большое внимание подготовке молодых ученых. Под его руководством подготовлены 3 доктора и 5 кандидатов физико-математических наук, часть из которых работает в зарубежных научных центрах.

В 1993-2003 гг. работал в ГКНТ Республики Узбекистан и по совместительству профессором в Национальном университете Узбекистана и Ташкентском Государственном техническом университете, а также заведующим лабораторией эмиссионной электроники НИИ прикладной физики Национального университета Узбекистана.

В 2003 году переехал с семьей на историческую родину – Республику Казахстан.

В 2003-2004 учебном году работал заведующим кафедрой высшей математики и физики Алматинского технологического университета. С 2004 года по настоящее время работает профессором в Казахстанско-Британском техническом университете. Является энтузиастом физического образования. Уделяет много внимания педагогической деятельности. Читаемые дисциплины – физика, основы нанотехнологий и нанотехнологии и наноматериалы. Вносит значительный вклад в высшее образование на университетском уровне. Пользуется заслуженным уважением среди преподавателей и студентов университета.

Ведет большую научно-организационную работу. Является членом: редколлегии журнала «Вестник КБТУ», Совета Базового факультета, диссертационного совета Ph.D. в Казахском Национальном университете имени аль-Фараби, председателем ГАК в Казахском Национальном Педагогическом университете имени Абая. Поддерживает контакты с научными центрами в России, Узбекистане, США, Германии, Дании, Бельгии.

Признанием научных заслуг профессора Ф.Ф. Умарова является избрание его в 1996 году действительным членом Нью-Йоркской Академии Наук, а в 2009 году – действительным членом Европейской Академии Естественных Наук. Член Американского Нанообщества с 2011 года и «Человек года 2000» (Американский Биографический институт). Награжден Почетными Грамотами ГКНТ Республики Узбекистан, МОН РК, АО «КБТУ» и АО «КазМунайГаз» Республики Казахстан.

*Коллектив АО “КБТУ” и редколлегия журнала “Вестник КБТУ” сердечно поздравляет профессора Фариды Фахриевича Умарова с 75-летним юбилеем и желает дальнейших творческих успехов.*

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- |    |                   |                                                                                                                             |
|----|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Абдыгаликова Г.А. | к.п.н., ст.преподаватель, Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан                            |
| 2  | Абылкасымулы Б.   | магистрант, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева                                |
| 3  | Адилбекова А.О.   | к.х.н., доцент, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                           |
| 4  | Акбасова А.Д.     | д.т.н., профессор, Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави                                               |
| 5  | Алимова А.Н.      | доктор PhD, Сәтбаев университеті                                                                                            |
| 6  | Алтыбай А.        | PhD-докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                            |
| 7  | Амирханов Б.С.    | докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                                |
| 8  | Атанов С.К.       | д.т.н., профессор, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан                                    |
| 9  | Ахат Г.Б.         | магистрант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                                   |
| 10 | Байбазарова Э.А.  | магистр, ст.преподаватель, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                            |
| 11 | Байхамурова М.О.  | PhD-докторант, Казахский Национальный аграрный университет                                                                  |
| 12 | Байшоланова К.С.  | д.э.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, член-корреспондент Российской академии естествознания |
| 13 | Бектенов Н.А.     | д.х.н., профессор, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                    |
| 14 | Бестереков У.     | д.т.н., профессор, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                            |
| 15 | Болысбек А.       | к.т.н., доцент, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                               |
| 16 | Бостанбеков К.А.  | доктор PhD, Сәтбаев университеті                                                                                            |
| 17 | Бржанов Р.Т.      | к.т.н., профессор, академик МАИН, Каспийский государственный университет технологии и инжиниринга им. Ш. Есенова, г. Актау  |
| 18 | Бримжанова С.С.   | докторант, Костанайский государственный университет им. А. Байтурсынова                                                     |

- |    |                     |                                                                                                                           |
|----|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19 | Вайс Ю.             | к.т.н, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева                                   |
| 20 | Витковская И.С.     | к.ф.-м.н., ВНС, Институт информационных и вычислительных технологий                                                       |
| 21 | Гагарина Л.Г.       | д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Россия                               |
| 22 | Дайнеко Е.А.        | PhD, проректор, Международный университет информационных технологий, Институт прикладных наук и информационных технологий |
| 23 | Дайнеко Р.А.        | МНС, Институт прикладных наук и информационных технологий                                                                 |
| 24 | Дарменбаева А.С.    | д.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                     |
| 25 | Джомартова Ш.А.     | д.т.н., профессор Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                       |
| 26 | Джумагалиева А.М.   | магистр, ст.преподаватель, Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан                         |
| 27 | Джурахалов А.А.     | д.ф.-м.н., профессор, университет Антверпена, Бельгия                                                                     |
| 28 | Ертаева А.Б.        | докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                              |
| 29 | Есентаева А.А.      | докторант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                                  |
| 30 | Есимова О.А.        | к.х.н., доцент, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                         |
| 31 | Жаныс А.Б.          | PhD, ст.преподаватель, Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан                             |
| 32 | Жолмагамбетова Б.Р. | докторант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева                                                         |
| 33 | Жумабай Б.Ж.        | магистрант, Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави                                                    |
| 34 | Жусупбеков А.Ж.     | д.т.н., профессор, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева                                                 |
| 35 | Зуева Е.А.          | PhD-докторант, магистр, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                 |
| 36 | Ивахненко А.П.      | PhD, профессор, АО «Казахстанско-Британский технический университет»                                                      |
| 37 | Ипалакова М.Т.      | к.т.н., и.о. ассоц.профессора, Международный университет информационных технологий                                        |

- |    |                     |                                                                                                                                                                      |
|----|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 38 | Исмухамедова А.М.   | докторант, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева                                                                          |
| 39 | Кантарбаева С.М.    | магистр, ст.преподаватель, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                     |
| 40 | Кемелбекова М.И.    | магистрант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                                    |
| 41 | Керимкулова М.Ж.    | к.х.н., и.о. доцента, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                                                              |
| 42 | Кубаев К.Е.         | Академик МАИ, к.т.н., д.э.н., член-корр. Российской академии естествознания, профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, директор Центра инноваций |
| 43 | Кудайбергенова Р.М. | PhD-докторант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                                 |
| 44 | Кулажанова А.С.     | ст.преподаватель, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                              |
| 45 | Кыдыралиева А.      | PhD-докторант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                                                                         |
| 46 | Қазизханова Б.Қ.    | магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                                                                        |
| 47 | Құмарғалиева С.Ш.   | к.х.н., доцент, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                                                                    |
| 48 | Маканова Л.К.       | магистрант, Инновационный Евразийский университет, г. Павлодар                                                                                                       |
| 49 | Масалимова Б.К.     | к.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                                |
| 50 | Мусабеков К.Б.      | д.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                                                                                 |
| 51 | Мухамеджанова Г.С.  | ст.преподаватель, университет «Нархоз»                                                                                                                               |
| 52 | Надилов К.С.        | д.х.н., профессор, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                                                                                     |
| 53 | Назарбекова А.Н.    | магистрант, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                                    |
| 54 | Нифонтов Ю.А.       | д.т.н., профессор, Санкт-Петербургский государственный морской технический университет                                                                               |
| 55 | Нурдиллаева Р.Н.    | к.х.н., и.о. профессора, Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави                                                                                  |
| 56 | Нуржигитова А.Т.    | магистр, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                                       |
| 57 | Нурлыбаева А.Н.     | PhD, д.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                                                                                           |

- |    |                     |                                                                                                 |
|----|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 58 | Омаров А.Р.         | доктор PhD, ст.преподаватель, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева            |
| 59 | Омаров Т.Ж.         | магистрант, Алматы Менеджмент университет                                                       |
| 60 | Оразғали Д.Т.       | магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                   |
| 61 | Пазылова Д.Т.       | докторант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                        |
| 62 | Петрожицкий Д.В.    | ВНС, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Россия                   |
| 63 | Петропавловский И.  | д.т.н., профессор, Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва |
| 64 | Рамазанов Н.С.      | магистр, Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан                 |
| 65 | Расулов А.М.        | д.ф.-м.н., профессор, Ферганский Политехнический институт, Узбекистан                           |
| 66 | Сагитова Г.К.       | ст.преподаватель, университет «Нархоз»                                                          |
| 67 | Садиева Х.Р.        | к.т.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                           |
| 68 | Саинова Г.А.        | д.т.н., профессор, ГНС, Международный казахско-турецкий университет им. Х.А. Ясави              |
| 69 | Сатиев Н.Б.         | магистрант, АО «Казахстанско-Британский технический университет»                                |
| 70 | Слюсарь В.В.        | к.т.н., доцент, Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград, Россия        |
| 71 | Сугурбекова Г.К.    | д.х.н., СНС, Национальная лаборатория Астана, Назарбаев Университет                             |
| 72 | Тайкулакова Г.С.    | доцент, Алматы Менеджмент Университет                                                           |
| 73 | Танырбергенова Г.К. | магистр, ст.преподаватель, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева               |
| 74 | Тикебаев Т.А.       | PhD, ассистент-профессор, АО «Казахстанско-Британский технический университет»                  |
| 75 | Тлеуленова Г.Т.     | ст.преподаватель, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева                        |
| 76 | Тлеуов А.С.         | профессор, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                        |
| 77 | Тлеуова С.Т.        | к.т.н., доцент, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова                   |

- |    |                  |                                                                                                   |
|----|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 78 | Токмагамбетов Н. | PhD, и.о.доцента, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                               |
| 79 | Толешев А.Т.     | магистрант, Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфулина, г. Нур-Султан                 |
| 80 | Турсынбай Н.Ф.   | магистр, ст.преподаватель, Казахский Агротехнический университет им. С. Сейфуллина, г. Нур-Султан |
| 81 | Увалиева И.М.    | PhD, доцент, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева     |
| 82 | Умаров Ф.Ф.      | д.ф.-м.н., профессор, АО "Казахстанско-Британский технический университет"                        |
| 83 | Цой Д.Д.         | МНС, Международный университет информационных технологий                                          |
| 84 | Шолақ А.А.       | к.т.н., профессор, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати                          |
| 85 | Шорманов Т.С.    | докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби                                      |
| 86 | Юничева Н.Р.     | к.т.н., доцент, ВНС, Институт информационных и вычислительных технологий                          |
| 87 | Ядгаров И.Д.     | д.ф.-м.н., Институт ионно-плазменных и лазерных технологий Академии наук Республики Узбекистан    |

**ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD  
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК  
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

|                         |                                                            |
|-------------------------|------------------------------------------------------------|
| Ответственный за выпуск | Есбергенов Досым Бектенович                                |
| Редакторы               | Далабаева Айсара Касымбековна<br>Садганова Эльмира Абуовна |
| Компьютерный дизайн     | Аязбаева Зарина Козубековна                                |
| Компьютерная верстка    | Елеманова Дана Каиркельдыевна                              |

Подписано в печать 17.03.2020 г.  
Тираж 300 экз. Формат 60x84 1/16.  
Бумага тип. Уч.-изд.л. 15 Заказ №143

Редакция журнала «Вестник КБТУ» не несет ответственность за содержание публикуемых статей. Содержания статей целиком принадлежат авторам, и размещаются в журнале исключительно под их ответственность.

Издание Казахстанско-Британского технического университета  
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59