



ISSN 1560-5655

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ЭКСПЕРТИЗЫ



# НОВОСТИ НАУКИ КАЗАХСТАНА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

4  
2019



**Национальный центр государственной  
научно-технической экспертизы**

---

**НОВОСТИ НАУКИ  
КАЗАХСТАНА**

**НАУЧНО–ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**№ 4 (142)**

**Алматы 2019**

Научно-технический журнал **«Новости науки Казахстана»** публикует статьи по следующим направлениям фундаментальных и прикладных исследований: технические и сельскохозяйственные науки, науки о Земле, пищевая и перерабатывающая промышленность, экономика, науковедение, стандартизация.

*Журнал основан в 1989 г. и выходит 4 раза в год.*

*Предназначен для профессорско-преподавательского состава Вузов, докторов PhD, магистрантов, студентов и сотрудников научно-исследовательских институтов, предприятий и организаций, а также работников министерств и ведомств*

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

***М.К. Бапиева***, (главный редактор)  
***Л.Н. Гребцова*** (ответственный секретарь)

## **РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

***Р.Г. Бияшев***, д.т.н.; ***К.А. Исаков***, д.т.н.; ***К.Д. Досумов***, д.х.н.;  
***С.Е. Соколов***, акад. МАИН, д.т.н.; ***Б.Р. Ракишев***, акад. НАН РК, д.т.н.;  
***Ж.С. Алимкулов***, д.т.н.; ***М.Т. Велямов***, акад. НАН РК, д.б.н.;  
***З.С. Абишева***, проф., член-корр. НАН РК, д.т.н.;  
***Ю.А. Юлдашбаев***, д.с.- х.н. (Россия);  
***М.А. Рахматуллаев***, д.т.н. (Узбекистан);  
***А. Сладковски***, д.т.н., (Польша);  
***Д. Пажес*** (Франция)

Республика Казахстан, 050026, г. Алматы,  
ул. Богенбай батыра, 221  
Тел/факс: +8 727 378-0517, 378-0539 (вн.125),  
e-mail: bapiyeva@inti.kz, grebtsova\_l@inti.kz  
www.vestnik.nauka.kz

## СОДЕРЖАНИЕ

### ЭКОНОМИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>Ашикбаева А.М., Кунанбаева Д.А., Дауитбаева М.Е.</i><br>Стратегия индустриально-инновационного развития<br>нефтегазового сектора Республики Казахстан..... | 12 |
|---|----|

### КИБЕРНЕТИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>Урматова А.Н.</i> Применение принципа гидродинамического<br>установления ламинарного движения газов в каналах на<br>основе уравнений Навье-Стокса..... | 22 |
|---|----|

### БИОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Абишева Г.Ж., Текебаева Ж.Б., Бисенова Г.Н., Уразова М.С.,<br/>Абилхадиров А.С., Абитаева Г.К., Сармурзина З.С.</i> Оценка<br>терапевтического действия биопрепарата против возбудителя<br>аэромоноза рыб<br>в лабораторных условиях..... | 34 |
|--|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Утеулин К.Р., Агапов О.А., Федорина О.А., Атагаев А.Б.,<br/>Ахтаева Н.З.</i> Влияние несимметричного<br>диметилгидразина на анатомические параметры<br>злаков в условиях эксперимента ..... | 45 |
|--|----|

### ХИМИЯ. ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

|   |    |
|---|----|
| <i>Джураев Х.Ф., Гафуров К.Х., Мухаммадиев Б.Т.,<br/>Мирзаева Ш.У.</i> Сверхкритическая CO <sub>2</sub> экстракция<br>глицирризиновой кислоты из лакричного корня:<br>оптимизация условий экстракции, используя RSM<br>(response surface methodology) ..... | 55 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Рахимова Б.У., Кудайбергенов К.К., Акназаров С.Х.,<br/>Мансуров З.А., Савицкая И.С., Головченко О.Ю.,<br/>Смагулова Г.Т.</i> Наноцеллюлоза: характеристика,<br>модификация и биосовместимость ..... | 72 |
|--|----|

*Юров В.М., Сыздыкова А.Ш., Балтабеков А.С.,  
Платонова Е.С., Гученко С.А., Лауринас В.Ч.*  
Многоэлементные функциональные покрытия  
для предприятий Казахстана ..... 92

## **ГОРНОЕ ДЕЛО**

*Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж.* Конструктивные  
особенности и технология изготовления алмазных  
породоразрушающих инструментов с раздельной  
системой промывочных каналов ..... 105

## **МЕТАЛЛУРГИЯ**

*Исабаев С.М., Жинова Е.В., Жилина И.М.*  
Гидрометаллургическая переработка огарков  
восстановительного обжига из руды месторождения  
Ушкатын-3 ..... 114

## **ТРАНСПОРТ**

*Биниязов А.М., Денисов А.С., Кожинская А.В.,  
Сарсенбаева Л.Х., Биниязов Е.М.* Требования к  
диагностическим параметрам работающего масла  
автомобильных дизельных двигателей ..... 127

## **ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ**

*Акназаров С.Х., Амзеева Ұ.М., Бексейтова К.С., Нуралы А.М.,  
Мутушев А.Ж., Жиенбаева С.Т., Байысбаева М.П.,  
Молдақұлова З.Н.* Создание технологии и рецептуры  
пшеничного хлеба с добавлением энтеросорбирующих  
пищевых волокон ..... 137

*Мамаева Л.А., Жумалиева Г.Е., Муратбекова К.М.,  
Ербулекова М.Т.* Влияние плодов шиповника на физико-  
химические показатели кексов ..... 146

*Нуралы А.М., Акназаров С.Х., Алимарданова М.К., Амзеева У.М., Азаткызы С., Бакиева В.М., Шунекеева А.*  
Разработка технологии функционального кисломолочного продукта с использованием энтеросорбирующих пищевых волокон ..... 154

*Муслимов Н.Ж., Сакенова Б.А., Темирова И.Ж., Альдиева А.Б.* Исследование влияния переэтерифицированных жиров на реологические свойства теста..... 161

*Ботбаева Ж., Коптлеуова Т., Байкенов А., Байгенжинов К., Издибаева Г., Елеукенова К.* Технологические аспекты производства безглютеновых сухих смесей из различных видов отечественного сыря .....167

## **СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО**

*Кожаметов М.К., Абутова Р.* Инновационная адаптивная агронанотехнология..... 180

*Алимкулов Ж.С., Велямов М.Т., Сарманкулов Т.М., Жумалиева Т.М.* Комбикорма на основе кормовых добавок из отходов переработки винограда с вводом природных минералов для ягнят и овец ..... 187

## **ЭКОЛОГИЯ. СТРОИТЕЛЬСТВО**

*Шустов А. И., Огарь Н. П., Кысыков В. А., Попов Н.Н., Горбунова Н.Ф.* К необходимости разработки концепции глобальных экологических проблем Каспийского моря .... 201

*Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С., Баймаканов Н.* Повышение экологической безопасности путем моделирования устойчивости дамб..... 215

## МАЗМҰНЫ

### ЭКОНОМИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>Ашиқбаева А.М., Кунанбаева Д.А., Дәуітбаева М.Е.</i><br>Қазақстан Республикасының мұнай-газ секторының<br>индустриялық-инновациялық даму стратегиясы ..... | 12 |
|---|----|

### КИБЕРНЕТИКА

|   |    |
|---|----|
| <i>Урматова А.Н.</i> Навье-Стокс теңдеулері негізінде<br>каналдарда газдардың ламинарлық қозғалысын<br>гидродинамикалық орнату принципін қолдану..... | 22 |
|---|----|

### БИОЛОГИЯ

|   |    |
|---|----|
| <i>Абишева Ф.Ж., Текебаева Ж.Б., Бисенова Г.Н.,<br/>Уразова М.С., Абилхадиров А.С., Абитаева Г.К.,<br/>Сармурзина З.С.</i> Лаборатория жағдайында балықтарда ауру<br>тудыратын аэромонозға қарсы биопрепаратты терапиялық<br>бағалау..... | 34 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| <i>Утеулин К.Р., Агапов О.А., Федорина О.А., Атагаев А.Б.,<br/>Ахтаева Н.З.</i> Сараптама жағдайында дақылдардың<br>анатомиялық параметрлеріне симметриялық емес<br>диметилгидразиннің әсері ..... | 45 |
|--|----|

### ХИМИЯ. ХИМИЯЛЫҚ ТЕХНОЛОГИЯ

|  |    |
|--|----|
| <i>Джураев Х.Ф., Гафуров К.Х., Мухаммадиев Б.Т.,<br/>Мирзаева Ш.У.</i> Аса сыни CO <sub>2</sub> лакталған тамырдан<br>глицирризин қышқылын экстракциялау:<br>RSM (response surface methodology)..... | 55 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Рахимова Б.У., Кудайбергенов К.К., Акназаров С.Х.,<br/>Мансуров З.А., Савицкая И.С., Головченко О.Ю.,<br/>Смагулова Г.Т.</i> Наноцеллюлоза: сипаттамалары,<br>модификациясы және биосыйымдылық ..... | 72 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Юров В.М., Сыздыкова А.Ш., Балтабеков А.С.,<br/>Платонова Е.С., Гученко С.А., Лауринас В.Ч.</i> Қазақстан<br>кәсіпорындарына арналған көп элементті функционалдық<br>жабындар..... | 92 |
|---|----|

## **ТАУ - КЕН ІСІ**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж.</i> Сұйық жүйесі бөлінген<br>алмас бұрғы құралының құрылым өзгешелігі<br>және жасау технологиясы ..... | 105 |
|---|-----|

## **МЕТАЛЛУРГИЯ**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Исабаев С.М., Жинова Е.В., Жилина И.М.</i> Үшқатын-3<br>кен орнының рудасынан гидрометаллургиялық жолмен<br>шырақ алу..... | 114 |
|---|-----|

## **КӨЛІК**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Биниязов А.М., Денисов А.С., Кожинская А.В.,<br/>Сарсенбаева Л.Х., Биниязов Е.М.</i> Автомобиль дизельді<br>қозғалтқыштарының жұмыс істеп тұрған майының<br>диагностикалық параметрлеріне қойылатын талаптар ... | 127 |
|---|-----|

## **ТАМАҚ ӨНЕРКӘСІБІ**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Акназаров С.Х., Әмзеева Ұ.М., Бексейтова К.С., Нұралы Ә.М.,<br/>Мутушев А.Ж., Жиенбаева С.Т., Байысбаева М.П.,<br/>Молдақұлова З.Н.</i> Энтеросорбциялық тағамдық<br>талшықтарды бидай нанына қосу рецептурасын<br>және технологиясын құру ..... | 137 |
|---|-----|

|   |     |
|---|-----|
| <i>Мамаева Л.А., Жумалиева Г.Е., Муратбекова Қ.М.,<br/>Ербулекова М.Т.</i> Кекстің физикалық-химиялық<br>көрсеткіштеріне итмұрын жемісінің әсері..... | 146 |
|---|-----|

|   |  |
|---|--|
| <i>Нұралы Ә.М., Акназаров С.Х., Алимарданова М.К.,<br/>Амзеева У.М., Азатқызы С., Бакиева В.М., Шунекеева А.</i><br>Энтеросорбциялық тағамдық талшықтарды |  |
|---|--|

қолдану арқылы функционалды сүт өнімдерінің  
технологиясын жасау ..... 154

*Муслимов Н.Ж., Сакенова Б.А., Темирова И.Ж.,  
Альдиева А.Б.* Қамырдың реологиялық қасиеттеріне қайта  
этерификацияланған майлардың әсерін зерттеу..... 161

*Ботбаева Ж., Коптлеуова Т., Байкенов А., Байгенжинов К.,  
Издиебаева Г., Елеукенова К.* Отандық шикізаттың әр түрінен  
глютенсіз құрғақ қоспа өндірудің технологиялық  
аспектілері ..... 167

### **АУЫЛ ЖӘНЕ ОРМАН ШАРУАШЫЛЫҒЫ**

*Қожахметов М.К., Абутова Р.* Инновациялық бейімделген  
агронанотехнология ..... 180

*Алимкулов Ж.С., Велямов М.Т., Сарманкулов Т.М.,  
Жумалиева Т.М.* Жүзімді қайта өңдеу қалдықтарынан  
өндірілген табиғи минералдары бар жемшөп  
қоспалары негізіндегі қозылар мен қойларға  
арналған құрама жем ..... 187

### **ЭКОЛОГИЯ. ҚҰРЫЛЫС**

*Шустов А. И., Огарь Н. П., Кысыков В. А., Попов Н.Н.,  
Горбунова Н.Ф.* Каспий теңізінің жаһандық  
экологиялық проблемаларының тұжырымдамасын  
әзірлеу қажеттілігіне..... 201

*Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С., Баймаканов Н.*  
Бөгеттің тұрақтылығын модельдеу арқылы экологиялық  
қауіпсіздікті арттыру ..... 215

## CONTENT

### ECONOMY

|   |    |
|---|----|
| <i>Ashikbayeva A.M., Kunanbayeva D.A., Dautbayeva M.Ye.</i><br>Strategy of industrial-innovative development of the oil<br>and gas sector in the Republic of Kazakhstan ..... | 12 |
|---|----|

### CYBERNETICS

|  |    |
|--|----|
| <i>Urmatova A. N.</i> Application of the hydrodynamic<br>establishment principle of laminar gases motion<br>in channels on the basis of Navier-Stokes equations..... | 22 |
|--|----|

### BIOLOGY

|  |    |
|--|----|
| <i>Abisheva G.Zh., Tekebaeva Zh.B., Bissenova G.N.,<br/>Urazova M.S., Abilchadirov A.S., Abitaeva G.K.,<br/>Sarmurzina Z.S.</i> Evaluation of the therapeutic action<br>of the biological preparation against the causer aeromonosis<br>of fish in the laboratory conditions ..... | 34 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Uteulin K.R., Agapov O.A., Fedorina O.A., Atagaev A.b.,<br/>Ahtaeva N.Z.</i> Influence of unsymmetrical dimethyl<br>hydrazine on anatomic parameters of cereal under<br>experimental conditions..... | 45 |
|---|----|

### CHEMISTRY. CHEMICAL TECHNOLOGY

|  |    |
|--|----|
| <i>Dzhuraev H.F. Gafurov, K.H., Muhammad, B.T., Mirzaev U.Sh.</i><br>Supercritical CO <sub>2</sub> glycyrrhizic acid extraction from licorice<br>root: optimization of extraction conditions using<br>RSM (response surface methodology) ..... | 55 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Rakhimova B.U., Kudaibergenov K.K., Aknazarov S.H.,<br/>Mansurov Z.A., Savitskaya I.S., Golovchenko O.Yu.,<br/>Smagulova G.T.</i> Nanocellulose: characteristics,<br>modification and biocompatibility ..... | 72 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <i>Yurov V.M., Syzdykova A.Sh., Baltabekov A.S., Platonova E.S., Guchenko S.A., Laurinas V.Ch.</i> Multi--element functional coatings for enterprises of Kazakhstan ..... | 92 |
|---|----|

### **MINING**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Mendebaev T.N., Smashov N.Zh.</i> Design features and manufacturing technology of diamond rock-cutting tools with separate system flushing channels ..... | 105 |
|--|-----|

### **METALLURGY**

|  |     |
|--|-----|
| <i>Isabayev C.M., Zhinova E.V., Zhilina I.M.</i> Hydrometallurgical processing of candle ends during recovery roasting of the ores from Ushkatyn-3 ore-field ..... | 114 |
|--|-----|

### **TRANSPORT**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Biniyazov A.M., Denisov A.S., Kosinskaya A.V., Sarsenbaeva L.Kh., Biniyazov E.M.</i> The requirements for diagnostic parameters of the working oil automotive diesel engines ..... | 127 |
|---|-----|

### **FOOD INDUSTRY**

|   |     |
|---|-----|
| <i>Ahnazarov S.Kh., Amzeeva U.M., Bekseytova K.S., Nuraly A.M., Matushev A.Zh., Zhiyenbaeva S.T., Bayesbaeva M.P., Moldakulova Z.N.</i> Creation of technology and recipe for wheat bread with addition of enterosorbers food fiber ..... | 137 |
|---|-----|

|  |     |
|--|-----|
| <i>Mamayeva L.A., Zhumaliyeva G.E., Muratbekova K.M., Yerbulekova M.T.</i> Influence of fruit vintage on physical and chemical indexes of cacks..... | 146 |
|--|-----|

|   |  |
|---|--|
| <i>Nuraly A.M., Aknazarov S.H., Alemardanova M.K., Amzeeva U.M., Azatkyzy S., Bakieva V.M., Shunekeeva A.</i> |  |
|---|--|

Development of technology for functional fermented-milk product with the use of enterosorbing food fiber ..... 154

*Muslimov N.Zh., Sakenova B.A., Temirova I.Zh., Aldieva A.B.*  
Research of the influence of trans-eterified fats on the rheological properties of the dough ..... 161

*Botbaeva J., Koptleuova T., Baikenov A., Baigenzhinov K., Izdibaeva G., Yeleukenova K.* Technological aspects of the production of clear-free dry mixtures from different types of domestic raw materials ..... 167

## **AGRICULTURE AND FORESTRY**

*Kozhakhmetov M.K., Abutova R.* Innovative adaptive agronomic nanotechnology ..... 180

*Alimkulov J.S., Velyamov M.T., Sarmankulov T.M., Zhumalieva T.M.* Fodders based on additives from grape processing waste with the input of natural minerals for lambs and sheep ..... 187

## **ECOLOGY. CONSTRUCTION**

*Shustov A.I., Ogar N.P., Kysykov V.A., Popov N.N., Gorbunova N.F.* On the need to develop the concept of global environmental problems of the Caspian sea ..... 201

*Aldungarova Tulebekova A., Baimakanov N.* Increase of ecological safety by modeling the stability of dams ..... 215

# ЭКОНОМИКА

---

---

МРНТИ 06.71.03

*А.М. Ашикбаева<sup>1</sup>, Д.А. Кунанбаева<sup>1</sup>, М.Е. Дауитбаева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан

## СТРАТЕГИЯ ИНДУСТРИАЛЬНО-ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ НЕФТЕГАЗОВОГО СЕКТОРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

---

---

**Аннотация.** Нефтехимический кластер во многом предопределяет дальнейшее развитие экономики Казахстана. В соответствии со Стратегией индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2010-2018 гг. нефтегазовый сектор должен стать наиболее значимой составляющей экономического роста, позволяющей решить стратегические задачи до 2020 г. В республике отсутствует производство необходимое для морских нефтяных разработок, для этого требуется создание мощностей по выпуску труб нефтяного сортамента, скважинного оборудования, специальных печей подогрева, нагревателей, охладителей, дегидраторов, обессоливающих установок, оборудования по контролю конденсации и стабилизации газа, компрессоров, оборудования по закачке воды, реагентов и другой продукции. В результате проведенного анализа выяснилось, что сегодня свыше 600 предприятий обрабатывающего сектора экономики страны обладают необходимым производственным и кадровым потенциалом для выполнения заказов нефтегазодобывающей отрасли. Около 50 из наиболее крупных машиностроительных предприятий выпускают продукцию для нефтегазового сектора, а 29 имеют возможность для увеличения своих экспортных резервов.

**Ключевые слова:** инновационное развитие, нефтегазовый сектор, ресурсосбережение, инвестиции.

• • •

**Түйіндеме.** Мұнай-химия кластері Қазақстан экономикасының одан әрі дамуында шешуші рөл атқарады. Қазақстан Республикасының 2010-2018 жылдарға арналған Индустриалды-инновациялық даму стратегиясына сәйкес, мұнай-газ секторы 2020 жылға дейін стратегиялық міндеттерді шешуге мүмкіндік беретін экономикалық өсудің маңызды құрамдас бөлігі болуға тиіс. Республикада оффшорлық мұнай жобаларына арналған өндіріс жок: мұнай құбырлары, құбырлар, арнайы жылыту пештері, жылытқыштар, салқындатқыштар, дегидраторлар, тұзсыздандыру қондырғылары, газды конденсациялауға арналған жабдық, газ тұрақтандыру қондырғылары және су айдау қондырғылары өндірісі үшін қажет реагенттер мен басқа да өнімдер. Талдау нәтижесінде еліміздің экономикасының өңдеуші секторында 600-ден астам кәсіпорынның мұнай-газ саласының тапсырыстарын орындау

үшін қажетті өндірістік және кадрлық ресурстарға ие екендігі анықталды. 50-ге жуық ірі машина жасау кәсіпорындары мұнай-газ саласы үшін өнім шығарады, 29-ы экспорттық резервтерін ұлғайтуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** инновациялық даму, мұнай-газ секторы, резервтік қорлар, инвестициялар

• • •

**Abstract.** The petrochemical cluster largely predetermines the further development of the economy of Kazakhstan. In accordance with the Industrial Innovative Development Strategy of the Republic of Kazakhstan for 2010-2018, the oil and gas sector should become the most significant component of economic growth, allowing tackle strategic tasks until 2020. There is no production for offshore oil projects in the republic that is necessary to create facilities for the production of oil tubular goods, downhole equipment, special heating furnaces, heaters, coolers, dehydrators, desalting plants, gas condensation control equipment, gas stabilization equipment, water injection equipment, reagents and other products. As a result of the analysis, it was revealed that nowadays more than 600 enterprises in the manufacturing sector of the country's economy have the necessary production and human resources to fulfil orders from the oil and gas industry. About 50 of the largest machine-building enterprises produce products for the oil and gas sector, and 29 have the potential to increase their export reserves.

**Keywords:** Strategy, sustainable development, economic growth, innovative development, oil and gas sector, resource saving, investment.

**Введение.** 10 января 2018 г. Указом главы государства была утверждена Стратегия индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 гг., что стало, по существу, началом нового этапа экономических преобразований. Производство конкурентоспособных и экспортноориентированных товаров в обрабатывающей промышленности, эффективное использование научного потенциала в развитии инновационной сферы должны стать основными приоритетами диверсификации казахстанской экономики и ее отхода от сырьевой направленности.

Алгоритм, по которому выстраивается работа по реализации подготовительного этапа Стратегии, таков:

- 1) проведение конъюнктурных, маркетинговых исследований отраслей экономики в целях определения их конкурентоспособности;
- 2) подготовка, переподготовка кадров и формирование нового формата менеджеров;
- 3) обеспечение системной работы созданных институтов развития;

4) создание эффективной инновационной инфраструктуры и развитие научно-производственной системы вокруг базовых отраслей экономики [1].

Институциональное обеспечение, на наш взгляд, является одним из первоочередных вопросов любой реформы.

Тесное переплетение науки и производства – определяющий фактор индустриально-инновационного развития. Инструментами таких отношений должны стать помимо уже созданных финансовых институтов развития Центр маркетинговых и аналитических исследований, Фонд науки, Центр инжиниринга и трансферта технологий, деятельность которых позволит сформировать благоприятные условия для трансферта и последующего внедрения передовых зарубежных технологий, отечественных разработок и иных инновационных продуктов [2].

**Методы исследований.** Нефтехимический кластер во многом предопределяет дальнейшее развитие экономики Казахстана. В соответствии со Стратегией индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2010-2018 гг. нефтегазовый сектор должен стать наиболее значимой составляющей экономического роста, позволяющий решить стратегические задачи республики до 2020 г. В последние годы увеличение добычи углеводородных ресурсов предопределило увеличение отходов производства, выбросов в атмосферу, что оказало отрицательное влияние на состояние экосистемы [3]. Это свидетельствует о необходимости принятия экстренных мер по защите особо важных объектов, имеющих исключительное влияние на состояние экономики и экологии.

Одной из основных парадигм развития современного общества является парадигма обеспечения устойчивости такого развития. Устойчивым является развитие, при котором современное поколение членов общества удовлетворяет свои материальные и духовные потребности (расходуя, в частности, природные ресурсы), не лишая будущие поколения их права на такое удовлетворение. Устойчивость развития общества обеспечивается только в том случае, когда развитие опирается на три взаимосвязанные «опоры» – устойчивую экономику, устойчивое природопользование, устойчивую социальную среду [4]. Нефтегазовый сектор Казахстана не случайно выбран объектом исследования. С одной стороны – это локомотив развития экономики Республики Казахстан, а с другой – масштабные проекты освоения новых месторождений и развития нефтяной промышленности увеличивает нагрузку на окружающую среду [5].

За последние 12 лет в минерально-сырьевой комплекс привлечено более 86 млрд. долл. инвестиций. За этот же период налоговые поступления и платежи по контрактным обязательствам составили порядка 33,6 млрд. долл., отчисления на развитие социальной сферы и местной инфраструктуры – более 1,5 млрд. долл., на обучение казахстанских специалистов направлено около 0,4 млрд. долл. [6]. Специфика мирового рынка, а также современные черты мировой экономики влияют на стратегию ресурсных стран, таких как Казахстан. Будучи одной из богатейших стран мира по запасам как не возобновляемых, так и возобновляемых природных ресурсов, Казахстан продолжает оставаться страной с ресурсорасточительной экономикой. Ресурсоемкость единицы ВВП в 3-4 раз выше аналогичного показателя в Японии, США, социально - и технологически развитых странах ЕС [7].

Сегодня стратегия Казахстана направлена на дальнейшее развитие нефтегазового сектора страны, усиление работ по прогнозированию и выявлению новых перспективных месторождений нефти и газа, ускорение их разведки, разработки и ввода в эксплуатацию [8]. Вместе с тем, усиление глобализации способствует обострению экологической проблемы в мире, что ставит перед Казахстаном серьезные задачи в нефтяной сфере. Казахстан, подобно развитым странам, стремится перейти к сокращению удельных объемов образования отходов (загрязняющих эмиссий) и их негативного влияния на окружающую среду на всех этапах жизненного цикла.

Отношение государства к проблемам охраны окружающей среды отражается в Конституции Республики Казахстан, законах РК и нормативных правовых актах. Экологическая политика Казахстана наиболее четко сформулирована в Экологическом кодексе Республики Казахстан. При формировании экологической политики важнейшим является уровень конкретного предприятия. Здесь конкретизируются положения межгосударственной, национальной, региональной и отраслевой экологической политики. Особую актуальность данный уровень приобретает в связи с внедрением на предприятиях систем экологического менеджмента. Экологическая политика является неотъемлемым элементом системы экологического менеджмента, определяя приоритетные направления действий по повышению экологичности предприятий [9]. В соответствии с новыми требованиями экологической безопасности и современными тенденциями в области экологического менеджмента для многих нефтедобывающих пред-

приятий, особенно мелких, входящих в более крупные вертикально интегрированные компании, необходима сбалансированная экологическая политика [10].

Следующие направления экологизации экономического развития состоят в широком развитии малоотходных и ресурсосберегающих технологий. Цель развития малоотходных и ресурсосберегающих технологий – создание замкнутых технологических циклов с полным использованием поступающего сырья и отходов. Перспективным подходом к формированию малоотходных систем производства могут стать территориально-производственные комплексы с их широкими возможностями по обмену сопряженной продукции и отходами, замкнутостью отдельных производственных циклов [11].

Традиционным способом охраны окружающей среды являются прямые природоохранные мероприятия. Они стали практически первым ответом на деградацию природы в результате техногенного развития экономики. Ограниченность в экономике ресурсов, инвестиций делает необходимым выбор тех или иных приоритетов в эколого-экономической политике [12]. Наиболее распространено сейчас требование резкого увеличения затрат на охрану природы. При этом часто сравнивают доли таких средств с общей суммой инвестиций в экономику, валовым национальным продуктом и т.д. Но под затратами на охрану природы подразумеваются только затраты на прямые природоохранные мероприятия. Необходимо использовать капитальные вложения также на структурную перестройку, развитие малоотходных технологий, и лишь затем, во вторую очередь, на прямые природоохранные мероприятия. При таком подходе во многом теряет смысл и вопрос о величине требуемых инвестиций на охрану природы [13]. Инвестируя ресурсосберегающую структурную перестройку экономики, добиваясь её экологизации, устойчивости и сокращения природоемкости, тем самым минимизируются затраты на ликвидацию негативных экологических последствий техногенного экономического развития [14].

Следует отметить, что наличие богатой ресурсной базы пока не стало фактором и стимулом экономического процветания Казахстана, хотя хорошая конъюнктура мировых цен на минеральное и углеводородное сырье помогла обеспечить положительное сальдо внешнеторгового баланса Казахстана. В значительной мере спровоцированная не умелым или сознательно деструктивным государственным управлением структурная перестройка экономики привела

к упадку перерабатывающих отраслей и уничтожению самых передовых технологий [15].

Стратегические задачи индустриально-инновационного развития Казахстанского ТЭК таковы:

- наращивание объемов добычи нефти и газа в первую очередь за счет привлечения иностранных капиталов и передачи в управление иностранным инвесторам наиболее перспективных месторождений;
- повышение объемов добычи на Тенгизском и Карачаганакском месторождениях;
- освоение и разработка каспийского шельфа;
- совершенствование системы управления нефтегазовым комплексом и завершение процесса его приватизации при сохранении государственного контроля;
- выход на мировые рынки с помощью трубопровода Тенгиз - Новороссийск (КТК); поиск альтернативных транспортных путей и развитие внутренней трубопроводной сети; строительство новых перерабатывающих предприятий и другие [16], (Таблица 1).

**Таблица 1 - Список нефтеперерабатывающих предприятий в РК**

| НПЗ                 | Контролирующий акционер | Мощности по переработке, млн. т | Объем переработки (2015 г.), млн. т | Глубина переработки (2015г.), % | Область               | Ввод в эксплуатацию, год |
|---------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Атырауский НПЗ      | КазМунай-Газ            | 4,9                             | 4,868                               | 59,2                            | Атырауская            | 1945                     |
| Павлодарский НХЗ    | КазМунай-Газ            | 6,0                             | 4,811                               | 72,5                            | Павлодарская          | 1978                     |
| Шымкентский НПЗ     | Petro-Kazakhstan        | 5,2                             | 4,493                               | 75                              | Южно-Казахстанская    | 1985                     |
| мини-НПЗ, г. Аксай  | Конденсат               | 0,6                             | н/д                                 | н/д                             | Западно-Казахстанская | 1998                     |
| мини-НПЗ, г. Актобе | Актобе нефтепереработка | 0,3                             | н/д                                 | 62                              | Актюбинская           | 2011                     |

Как известно, в развитых странах, огромное значение придается переработке сырой нефти в готовое к употреблению топливо – бензин, керосин, мазут, а также в различные химические продукты. Убедительно и многократно доказано, что экспорт продуктов нефтепереработки гораздо эффективнее вывоза сырой нефти [17]. К сожалению, с этих позиций Казахстан никак нельзя признать передовой страной.

В республике всего 3 нефтеперерабатывающих завода (НПЗ) – Атырауский, Павлодарский и Шымкентский, и их суммарная мощность относительно невелика 18,5 млн.т сырой нефти в год. Фактически же они перерабатывают ее гораздо меньше, так в 2017 г. – 9.14 млн. т [18,19].

Инновационность принимаемых решений можно выразить через отношение патентованных технических решений, используемых в процессе добычи нефти к общему объему решений во всех технологических процессах по добыче нефти. В последние годы Казахстан развивался весьма активно. Экономический рост сопутствовался уменьшением безработицы и увеличением реальной прибыли населения. Казахстан входит в группу лидеров стран СНГ согласно объему и качеству проводимых реформ и показателям экономического развития [20].

Государство поменяло подходы к формированию стратегического развития, и начало уделять большее внимание стабильному развитию человеческого капитала. Структура экономики, которая сложилась в течении последних несколько лет дала возможность обеспечить положительную динамику экономического роста государства; сформировать условия с целью вхождения во всемирную экономику и иметь право участвовать в ряде международных организаций; сформировать денежные резервы. К 2010 г. Республика Казахстан вошла в число стран с положительными темпами роста [21,22].

За это время было создано более 400 тыс. рабочих мест, валовые международные резервы и активы Национального фонда увеличились в 25 раз. В итоге сформировавшаяся модель экономического развития стала базой для проведения экономических реформ. Казахстан, пребывающий в преддверии нового экономического цикла направил собственные средства в развитие условий сбалансированного социально-экономического и человеческого фактора, разрешение вопросов индустриализации и модернизации экономики, увеличению производительности применения природных ресурсов и вероятно конкурентоспособных сфер экономики [23]. Макроэкономическое регулирование заложило надёжную основу с целью осуществления приоритетных направлений форсированного индустриально-инновационного развития. Складывающееся состояние, определяемое признаками увеличения ВВП, степени инфляции, динамики международных валютных запасов и т.д., отображают качество финансового развития, и объясняют тенденции формирования социальной сферы [24].



\* оперативные данные

Расчёты Ranking.kz на основе данных КС МНЭ РК

Рисунок 1 – Валовой внутренний продукт методом производства в текущих ценах в период с 2010 по 2018 гг. (трлн.тг)

В 2011 г. увеличение реального ВВП составило 7,5%, розничный товарооборот вырос на 12,5%, реальное увеличение муниципальных затрат – 11%, при этом реальное увеличение затрат домашних хозяйств – 10,96% [25, 26].

**Выводы.** Главной характерной чертой дальнейшего десятилетия для Казахстана становится системное и структурное изменение экономики на базе установленных стратегических проектов, а также пятилетнего проекта форсированного индустриально-инновационного развития 2010-2018 гг. Национальный проект форсированного индустриально-инновационного развития республики в 2010–2018 гг. (ГП ФИИР) и Схема индустриализации предоставляют направление стабильного и сбалансированного роста экономики посредством диверсификации и увеличения конкурентоспособности [27]. В 2011 г. в не сырьевой сектор экономики республики было дополнительно привлечено приблизительно \$2 млрд. зарубежных инвестиций, то, что разрешило гарантировать введение в процесс десятки объектов промышленной программы, инфраструктуры и общих компаний. Единым признаком производительности ГП ФИИР считается производительность труда. В данном направлении проект «Дорожная карта бизнеса-2020» ориентирована на стимулирование государственного предпринимательства и деловой активности в фазе посткризисного развития [28].

## Список литературы

1 Ашикбаева А.М. Научно-методические основы оценки эффективности природоохранной деятельности ВИНК РК // г. Москва, РУДН, 2013.- с.38-50.

2 Ахметов Д.К. Приоритеты индустриальной стратегии Казахстана // Стратегия и приоритеты экономической политики современной России. – М.: Институт экономики РАН, 2003.

3 Аманиязова Г.Д., Джолдасбаева Г.У. Экономика нефтедобывающих предприятий: Учебное пособие. – Алматы: Экономика, 2011.

4 Акимова Т.А. О новых целях и измерениях в экономике развития // Кто есть, кто в экономике природопользования: Энциклопедия – Москва: ЗАО «Издательство «Экономика». – 2009. – С. 136–158

5 Акимова Т.А. Экология: человек - экономика - биота - среда: учеб. для студентов вузов / Т. А. Акимова, В. В. Хаскин; предисл. Я. Д. Вишняков. - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. - 495 с

6 Бобылев С.Н. Индикаторы устойчивого развития: региональное измерение: пособие по региональной экологической политике – М.: Акрополь, ЦЭПР, 2007. – 60 с.

7 Бобылев С.Н., Гирусов Э.В., Перелет Р.А. Экономика устойчивого развития: учебн. пособие. – М.: Ступени, 2004. – 303 с.

8 Бобылев, С.Н. Экономика природопользования: учеб. / С. Н. Бобылев, А. Ш. Ходжаев. - М.: ИНФРА-М, 2010. - 501 с.

9 Боссель Х. Показатели устойчивого развития: теория, методика, практическое использование: отчет, представленный на рассмотрение Балатонской группы. – Тюмень: Ин-т проблем освоения Севера СО РАН, 2001. – 122 с.

10 Гальперин, М.В. Экологические основы природопользования: учеб. / М. В. Гальперин. - 2-е изд., испр. - М.: Форум, 2009. - 256 с.: ил. - (Профессиональное образование).

11 Голуб А.А., Струкова Е.Б. Экономика природных ресурсов. М.: 1998

12 Гирусов Э.В. Экология и экономика природопользования. / Под ред. проф. Э. В. Гирусова. - М.: Закон и право, ЮНИТИ, 1998

13 Дугалова Г.Н. Управление в нефтегазовом секторе: Учебное пособие. – Алматы: Экономика, 2007.

14 Закон Республики Казахстан от 13 октября 2003 г. № 487-II «О внесении изменений и дополнений в некоторые законодательные акты Республики Казахстан по вопросам предпринимательства».

15 Закон Республики Казахстан от 24 июня 2010 . № 291-IV «О недрах и недропользовании».

16 Кенжегузин М.Б. Экономика Казахстана на пути преобразований. – Алматы, ИЭ МОП РК, 2001.

17 Падалко О.В., Псарева Н.Ю. Охрана окружающей среды и региональная промышленная политика // Ученые записки Российской академии предпринимательства. 2012.- № 31

18 Псарева Н.Ю. Холдинговые отношения: теоретические и ме-

тодологические аспекты. – М.: ИД «Высшее образование и наука», 2003.

19 Расчеты экономической эффективности новой техники. Справочник. /Под.ред. д.э.н. проф. Великанова К.М./. Л.: Машиностроение. -1975.

20 Сулейменов А. Индустриально-инновационное развитие РК // National Digital History

21 Технология переработки нефти/Под ред. О.Ф.Глаголевой и В.М.Капустина. – М.: Химия, КолосС, 2007.

22 Указ Президента Республики Казахстан от 23 августа 2000 года № 402 «О Национальном фонде Республики Казахстан».

23 European Environmental Agency/ EEA core set of indicators. Guide. / 2005.- 38p.p.

24 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Mineral Oil and Gas Refineries. - European IPPC Bureau at the Institute for Prospective Technological Studies. -2003.- [Электронный ресурс]: <http://eippcb.jrc.es>

25 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Economics and Cross-Media Effects - European IPPC Bureau at the Institute for Prospective Technological Studies. – 2006. [Электронный ресурс]: <http://eippcb.jrc.es>

26 Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on Best Available Techniques for Energy Efficiency. IPPC Bureau at the Institute for Prospective Technological Studies. – 2009. [Электронный ресурс]: <http://eippcb.jrc.es>

27 National Round Table on the Environment and the Economy, Canada/ Calculating eco-efficiency indicators: a workbook for industry/- 2002.

28 United Nations Conference on Trade and Development/A Manual for the Preparers and Users of Eco-Efficiency Indicators/United Nations Publications. – 2003.

**Ашикбаева А.М.** - кандидат экономических наук, доктор PhD, и.о. доцента, e-mail: [asem747474@mail.ru](mailto:asem747474@mail.ru)

**Кунанбаева Д.А.** - доктор экономических наук, профессор, e-mail: [dusekul.kunanbaeva@kaznu.kz](mailto:dusekul.kunanbaeva@kaznu.kz)

**Дәуітбаева М.Е.** - магистрант MBA, e-mail: [dauitbaevame@mail.ru](mailto:dauitbaevame@mail.ru)

А.Н. Урматова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский университет им. М.О. Ауэзова,  
г. Шымкент, Казахстан

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРИНЦИПА ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО УСТАНОВЛЕНИЯ ЛАМИНАРНОГО ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВ В КАНАЛАХ НА ОСНОВЕ УРАВНЕНИЙ НАВЬЕ-СТОКСА

---

---

**Аннотация.** В колонных тепло- и массообменных установках в качестве насадочного элемента выходят пластины, цилиндры, сферы и другие тела. Газ или жидкость, поступающие на переработку в этих устройствах, проходит многоступенчатое взаимодействие как между собой, так и с границами каналов и насадок. Поэтому возникает проблема решения соответствующих модулирующих уравнений, сочетания числовых схем их решений. В этом случае особую актуальность приобретает вопрос устойчивости уравнений Навье-Стокса в решении переменных Гельмгольца, отражающий законы сохранения фаз и движения непрерывности, которые являются физически удобными и комфортными для отражения динамических функций в многоступенчатом канале. Таким образом, начиная с какой-либо стадии связи, распространение динамических характеристик прекращает изменение. Для решения задачи можно получить практическое заключение. Так при доказательстве того, что движение газа будет установлено после определенной стадии  $n$  канала, в дальнейшем не решится соответствующее уравнение, и можно считать, что распределение будет одинаковым, начиная со стадии  $n+1$ . Применение такого эффекта позволяет экономить расчетную работу, особенно для длинных многоступенчатых каналов сложной формы.

**Ключевые слова:** уравнения Навье-Стокса, уравнения Рейнольдса, течение Пуазейля, ламинарный режим, ламинарное движение газов.

• • •

**Түйіндеме.** Колонналы жылу және массаауысу құрылғыларында саптамалық элемент ретінде пластиналар, цилиндрлер, сфералар мен өзге де денелер кездеседі. Осы құрылғыларда өңдеуге түсіп отырған газ немесе сұйықтық өзара да, каналдар мен саптамалар шекараларымен де көпсатылы өзара әрекеттесуден өтеді. Сондықтан сәйкес модельдейтін теңдеулердің шешілуі, олардың шешімдерінің сандық сызбаларының үйлесу мәселелері туындайды. Бұл жағдайда Навье-Стокс теңдеулерінің көпсатылы каналда динамикалық функцияларды көрсету үшін физикалық жағынан ыңғайлы және жайлы болып табылатын, фазалар мен үздіксіздік қозғалысының сақталуы заңдарын қамтып көрсететін Гельмгольц айнымалыларымен шешудегі орнықтылық мәселесі ерекше өзектілікке ие болады. Осылайша, байланыс-

тың әлдебір сатысынан бастап динамикалық сипаттамалардың таралымы өзгерісін тоқтатады. Осыдан есепті шығару үшін практикалық қорытынды алуға болады: егер біз, мысалы, каналдың белгілі бір  $n$  сатысынан кейін газдың қозғалысы орнатылатынын дәлелдесек, онда келесіде сәйкес теңдеуді шешпесек те болады, яғни  $n+1$ -сатысынан бастап таралым бірдей болады деп есептейміз. Осындай әсердің қолданысы есептеу жұмысын, әсіресе күрделі пішінді ұзын көпсатылы каналдар үшін, үнемдеуге мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** Навье-Стокс теңдеулері, Рейнольдс теңдеулері, Пуазейль ағымы, ламинарлық режим, газдардың ламинарлық қозғалысы.

• • •

**Abstract.** In heat and mass transfer towers the nozzle elements are plates, cylinders, spheres and other bodies. Gas or liquid entering the processing on these devices undergo multi-stage interaction both with each other and with the boundaries of the channels and nozzles. Therefore, there is a problem of solving the corresponding modulating equations, a combination of numerical schemes of their solutions. In this case, the question of stability of the Navier-Stokes equations in the solution of Helmholtz variables, reflecting the laws of phase conservation and continuity motion, which are physically convenient and comfortable for the reflection of dynamic functions in a multistage channel, becomes particularly relevant. Thus, starting from any stage of communication, the propagation of dynamic characteristics stops the change. To solve the problem, we can get a practical conclusion: if we prove, for example, that the gas motion will be established after a certain stage  $n$  of the channel, then in the future we will not solve the corresponding equation, we can assume that the distribution will be the same, starting from the stage  $n+1$ . The use of this effect allows you to save the calculation work, especially for long multistage channels of complex shape.

**Keywords:** Navier-Stokes equations, Reynolds equations, Poiseuille flow, laminar regime, vorticity.

**Введение. Моделирование ламинарного движения газов в каналах.** Многоступенчатые каналы с насадками регулярного расположения имеют различные конструкции, которые меняются согласно требованиям реализуемых процессов. Однако динамика потоков в каналах разных форм может быть описана одними и теми же уравнениями (Навье-Стокса в ламинарном режиме и Рейнольдса в турбулентном) и она определяется граничными условиями на элементах насадок, стенках аппарата и геометрией взаимного расположения этих элементов. Математическое моделирование динамики газового потока наиболее полно можно проводить, используя уравнения Навье-Стокса (ламинарный режим) и Рейнольдса (турбулентный режим). Имеется большое количество работ по моделированию течения газа в каналах сложной формы, методика исследования которых

удобна для изучения динамики потоков в массообменных аппаратах. Большинство тепло- и массообменных аппаратов с многоступенчатым взаимодействием фаз работают со скоростями газа, при которых реализуется турбулентный режим. Например, в зигзагообразном канале аппаратов с вертикальными решетками (АВР) [1] среднерасходная скорость колеблется в пределах  $1 \div 6$  м/с. Рассчитывая число Рейнольдса для наиболее распространённых размеров канала получим

$$\text{Re} = \frac{U_0 d}{\nu} = \frac{(1 \div 6) \cdot 0,1}{1,73 \cdot 10^{-5}} = 3284 \div 19700,$$

где  $U_0$  - среднерасходная скорость, м/с;  
 $d$  - характерный линейный размер канала, м;  
 $\nu$  - коэффициент кинематической вязкости, м<sup>2</sup>/с;  
 Re - число Рейнольдса.

Согласно классификации течений газов в каналах, для таких чисел критерия Рейнольдса принято течение называть турбулентным. Однако, рассмотрение ламинарного течения ( $\text{Re} < 2300$ ) имеет самостоятельное значение в силу следующих обстоятельств: хотя уравнение Навье-Стокса, составляющее основу математической модели течения газов в ламинарном режиме и уравнения Рейнольдса для турбулентного течения различны, общим для этих режимов является наличие вихревых и застойных зон, начального и стабилизированного участков, также идентичными являются граничные условия. Ламинарный режим является относительно простым течением, математические вопросы существования единственности решения, сходимости численных методов хорошо разработаны. Рассмотрим ламинарное течение газового потока в многоступенчатом канале.

Основными уравнениями, описывающими плоское течение несжимаемой ньютоновской вязкой жидкости с постоянными свойствами при отсутствии внешних сил, являются два уравнения сохранения количества движения и одно уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

где  $\nu$  - кинематический коэффициент вязкости, м<sup>2</sup>/с. Строгий математический вывод уравнений (1)-(3) имеется во многих работах по механике жидкости и газа. Здесь только отметим их физическую сущность - они являются проекциями векторного уравнения (второго закона Ньютона), причем вязкие силы связаны со скоростью деформаций линейным ньютоновым законом для касательных напряжений. Уравнение (3) отражает неразрывность рассматриваемой среды в двухмерном пространстве. Для задачи механики жидкости и газа применяются два принципиально различных подхода: эйлерова система координат и лагранжева система координат. Вышеприведенные уравнения записаны в неподвижной эйлеровой системе, относительно которой движется газ (жидкость).

Лагранжево описание, в котором система координат движется вместе с жидкостью, можно использовать как вспомогательное. Уравнения (1)-(3) являются уравнениями математической физики в частных производных. Они отражают два наиболее общих закона движения сплошных сред – сохранения количества движения и сплошности (неразрывности) среды. Класс задач, описываемых ими, чрезвычайно широк, а различие между ними будет определяться начальными и граничными условиями относительно неизвестных  $u$ ,  $v$ ,  $p$ . Если для  $u$ ,  $v$  во многих случаях будут достаточными условия прилипания на твёрдой границе канала  $u=0$ ,  $v=0$ , то для  $p$  постановка граничных условий затруднительна. Давление  $P$  характеризуется хаотическими ударами колеблющихся молекул газа (жидкости) о стенки канала и условие на твёрдой границе для него оказывается неоднозначным [2]. Данное обстоятельство может быть преодолено исключением давления из соответствующих уравнений: продифференцируем (1) по  $y$ , (2) по  $x$  и вычтем результаты. Введя функцию напряженности вихря (в дальнейшем -завихренность) по формуле

$$\omega = \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x},$$

получаем уравнение переноса вихря, имеющее параболический тип:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = -u \frac{\partial \omega}{\partial x} - \vartheta \frac{\partial \omega}{\partial y} + \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (4)$$

Введем также функцию тока соотношениями

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial y} &= u, \\ \frac{\partial \psi}{\partial x} &= -\vartheta. \end{aligned} \quad (5)$$

Уравнение для  $\omega$  можно записать как уравнение Пуассона, имеющее эллиптический тип:

$$\Delta \psi = \omega. \quad (6)$$

Таким образом, система (1)-(3), записанная в терминах «скорость-давление» может быть записана в терминах «функция тока - вихрь»:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \omega, \quad (7)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + u \frac{\partial \omega}{\partial x} + \vartheta \frac{\partial \omega}{\partial y} = \nu \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right) \quad (8)$$

Уравнение неразрывности (3) будет удовлетворяться тождественно, т.к.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \vartheta}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{\partial \psi}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( -\frac{\partial \psi}{\partial x} \right) = \frac{\partial^2 \psi}{\partial x \partial y} - \frac{\partial^2 \psi}{\partial y \partial x} \quad (9)$$

и для аналитических функций смена порядка дифференцирования справедлива.

В уравнение переноса вихря (9) входят нестационарный член  $\frac{\partial \omega}{\partial t}$ , конвективные члены  $u \frac{\partial \omega}{\partial x}$ ,  $\vartheta \frac{\partial \omega}{\partial y}$ , а также  $\nu \Delta \omega$ , связанный с вязкой диффузией. Это уравнение нелинейно из-за конвективных членов, т.к. в силу соотношений

$$u = \frac{\partial \psi}{\partial y}, \vartheta = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (10)$$

и уравнения (7)  $u, \vartheta$  представляют собой функции зависимой переменной  $\omega$ . Оно является параболическим по времени, и для него

необходимо начальное условие. Уравнение (7) для функции тока является эллиптическим, поэтому для него ставится задача с граничными условиями, которая в данном разделе будет решена численно итерационными методами.

Решение стационарных задач динамики вязкой несжимаемой жидкости большей частью основано на использовании метода установления и применении явных и неявных схем для системы (7-8).

Среди явных схем часто используются двухслойные по времени схемы с симметричной аппроксимацией первых производных центральными разностями и решением (8) на каждом временном слое с помощью метода Зейделя, а также трехслойная схема, в которой конвективные члены аппроксимируются по схеме «крест», а диффузионные - по схеме Дюфорта – Франкеля [3].

Неявные схемы, как правило, основаны на применении метода дробных шагов [4]. Общая структура таких схем для уравнений (7-8) может быть представлена, например, в виде

$$\begin{aligned}
 \frac{\omega^{n+1/2} - \omega^n}{0,5\tau} &= L_{1\omega}\omega^{n+1/2} + L_{2\omega}\omega^n, \\
 \frac{\omega^{n+1} - \omega^{n+1/2}}{0,5\tau} &= L_{1\omega}\omega^{n+1/2} + L_{2\omega}\omega^{n+1}, \\
 \frac{\psi^{s+1/2,n+1} - \psi^{s,n+1}}{0,5\sigma} &+ \\
 + L_{1\psi}\psi^{s+1/2,n+1} + L_{2\psi}\psi^{s,n+1} &= \omega^{n+1}, \\
 \frac{\psi^{s+1,n+1} - \psi^{s+1/2,n+1}}{0,5} &+ \\
 + L_{1\psi}\psi^{s+1/2,n+1} + L_{2\psi}\psi^{s+1,n+1} &= \omega^{n+1}.
 \end{aligned} \tag{11}$$

где  $L_{1\omega}, L_{2\omega}, L_{1\psi}, L_{2\psi}$  - разностные одномерные операторы:

$$\begin{aligned}
 L_{1\omega} &= \frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} - \frac{\delta \psi}{\delta y} \frac{\delta \omega}{\delta x}, L_{2\omega} = \frac{\delta^2 \omega}{\delta y^2} + \frac{\delta \psi}{\delta x} \frac{\delta \omega}{\delta y}, \\
 L_{1\psi} &= \frac{\delta^2 \psi}{\delta x^2}, L_{2\psi} = \frac{\delta^2 \psi}{\delta y^2}.
 \end{aligned}$$

В этих формулах  $\tau$  - временной шаг,  $\sigma$  - итерационный параметр,  $s, s+1/2, s+1$  - итерационные индексы при решении уравнения Пуассона из (7-8) на  $(n+1)$ -временном слое итерационным методом;  $\frac{\delta^2}{\delta x^2}, \frac{\delta^2}{\delta y^2}, \frac{\delta}{\delta x}, \frac{\delta}{\delta y}$  - разностные операторы, аппроксимирующие соответствующие вторые и первые производные. Первое уравнение (7-8) используется для нахождения значений  $\omega$ , а второе - значений  $\psi$  на последующем временном слое. Аппроксимация вторых производных, как правило, симметричная, а аппроксимация первых производных в уравнении для  $\omega$  проводится или симметричными разностями, или односторонними разностями «против потока» с учетом знака скорости. Нужно отметить, что схема «против потока» была удачно применена даже для решения турбулентного обтекания тел, т.к. обеспечивала абсолютную устойчивость разностной схемы [5]. Хорошо зарекомендовала себя схема с применением монотонной аппроксимации:

$$\left. \begin{aligned} & \omega^{n+1} - \omega^n + \frac{u - |u|}{2} \left( \frac{\delta \omega}{\delta x} \right)^+ + \frac{u + |u|}{2} \left( \frac{\delta \omega}{\delta x} \right)^- + \\ & + \frac{v - |v|}{2} \left( \frac{\delta \omega}{\delta y} \right)^+ + \frac{v + |v|}{2} \left( \frac{\delta \omega}{\delta y} \right)^- = \\ & = \frac{1}{\text{Re}} \left( \frac{1}{1 + \frac{|u|h}{2}} \frac{\delta^2 \omega}{\delta x^2} + \frac{1}{1 + \frac{|v|l}{2}} \frac{\delta^2 \omega}{\delta y^2} \right) \end{aligned} \right\}$$

где  $h$  и  $l$  - шаги сетки по  $x$  и  $y$ ,

$$\begin{aligned} \left( \frac{\delta \omega}{\delta x} \right)^+ &= \frac{\omega_{i+1,j}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+1}}{h}, \quad \left( \frac{\delta \omega}{\delta x} \right)^- = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i-1,j}^{n+1}}{h}, \\ \left( \frac{\delta \omega}{\delta y} \right)^+ &= \frac{\omega_{i,j+1}^{n+1} - \omega_{i,j}^{n+1}}{l}, \quad \left( \frac{\delta \omega}{\delta y} \right)^- = \frac{\omega_{i,j}^{n+1} - \omega_{i,j-1}^{n+1}}{l}. \end{aligned} \tag{14}$$

Разностные уравнения (11) обычно приводятся к трехдиагональному виду и совместно с соотношениями, аппроксимирующими граничные условия, решаются методом прогонки [6,7]. При решении стационарных задач методом установления может применяться либо поочередное решение уравнений (11) (без внутренних итераций для определения  $\Psi$ ), либо одновременное решение соответствующих уравнений из (11) для совместного нахождения  $\omega$  и  $\Psi$  с помощью векторной прогонки. Трудности, связанные с постановкой граничных условий для уравнений вихря заключаются в том, что обычные граничные условия прилипания на твердых стенках для Навье-Стокса уравнения дают условия только для  $\Psi$ . Для численного решения уравнения для  $\omega$  формально требуются граничные условия для вихря. Эти условия могут быть получены на каждом временном слое либо приближенно на границе области, либо путем интегрирования уравнения для  $\omega$  только в области, расположенной внутри основной области интегрирования.

**Применение принципа гидродинамического установления.**

Длина большинства каналов с многоступенчатым взаимодействием фаз эксплуатируемых в настоящее время колонных массообменных аппаратов велика и сквозной расчет динамических характеристик численными методами требует очень большого объема памяти компьютера и времени счета. Из-за многократного повторения вычислительных процедур при этом происходит накопление погрешностей округления, что в конечном итоге может привести к искажению конечного численного решения. Для решения этой проблемы использован следующий прием, который можно назвать принципом гидродинамического установления, известный для прямых цилиндрических труб: профиль скорости, заданный на входе в канал (например, прямоугольный или параболический), развиваясь по течению, через определенное расстояние достигает такой формы, которую можно считать установившейся. Этот прием вписывается в рамку идеи о представлении аппарата как совокупности нескольких каналов. Для многоступенчатых каналов, в которых проведены расчеты динамических характеристик газового потока, принцип установления означает следующее:

1. Пусть  $\varphi(x, y)$ - одна из динамических характеристик в КМВФ. Обозначим через  $\varphi_{i,j}^{(k)}$  ее значения в узлах конечно-разностной сетки

в момент времени  $t_k$ . На входе в КМВФ задавали значения  $\varphi_{0,j}^{(k)}$ , определяющие форму входного профиля. В расчетах ламинарного и турбулентного режимов на входе задавались прямоугольная и параболическая профили. На других сечениях разностной сетки в начальный момент времени задавали такие значения динамических функций, которые обеспечивали постоянство расхода по всем горизонтальным сечениям канала.

2. Проводим одну итерацию по соответствующей формуле расчета и находим  $\varphi_{i,j}^{(1)}$  для одной ступени контакта.

3. Для продолжения итерации во второй ступени контакта значения  $\varphi_{i,j}^{(1)}$  при  $i=n$  (на выходе из 1-ступени контакта) передаются значениям  $\varphi_{0,j}^{(2)}$  для 2-ступени контакта.

4. Находим значения  $\varphi$  для второй ступени контакта.

5. Если значения  $\varphi$  для двух следующих друг за другом ступеней контакта совпадают с заданной точностью, то итерации заканчиваются, и значения  $\varphi$  на последней ступени контакта могут быть приняты за установившиеся значения динамических характеристик на стабилизированном участке канала.

Таким образом, всю длину КМВФ можно представить как совокупность начального и стабилизированного участков, причем длина стабилизированного участка оказывается гораздо больше длины начального участка. Такой эффект установления известен для цилиндрических труб: входной профиль скорости, развиваясь по течению, через определенное расстояние от входа устанавливается, приобретая форму параболы, т.е. реализуется течение Пуазейля. Длина начального участка зависит от формы входного профиля (прямоугольная, трапециевидная, параболическая и т.д.). При работе КМВФ в двухфазном режиме входной участок существует и для жидкости, длина которого также зависит от степени равномерности подачи жидкости из распределительных устройств. Например, при противотоке жидкость стекает вниз через распределительные устройства, обеспечивающие достаточную равномерность и существует определенное расстояние, после которого ее распределение можно считать установившемся. На рисунке 1 приведена схема принципа установления при обтекании элементов в КМВФ.

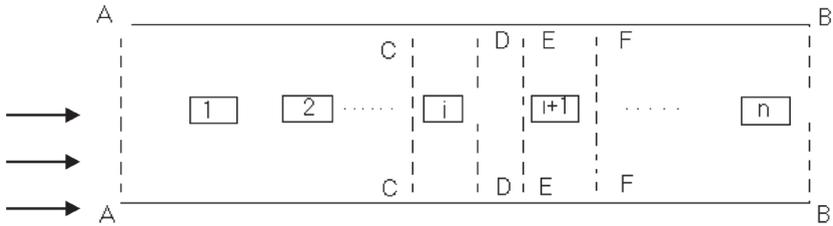


Рисунок 1 – Ось абсцисс - продольное направление, ось ординат- поперечное направление к потоку, 1,2,..., n - обтекаемые элементы.

Областью течения в наших задачах являются КМВФ с регулярным расположением элементов, определяющих многоступенчатость взаимодействия фаз. Поэтому «принцип установления» в задачах означает одинаковое распределение динамических характеристик для всех ступеней контакта, которые будут рассчитываться только для одной ступени.

Поток, входя в канал (сечение А-А), движется в продольном направлении, обтекая на своем пути регулярно расположенные элементы контактной зоны 1,2,...,n . С течением достаточного большого времени  $T$ , за которое поток, развиваясь в своем течении, обтекает несколько элементов, все гидродинамические характеристики установятся. Для цилиндрических прямых каналов известен эффект выхода течения на динамически стабилизированный участок, длина которого приблизительно равна  $40d$ , где  $d$  – диаметр канала. Численными экспериментами, проведенными для канала с параллельными полками и для зигзагообразного канала в [8, 1] установлено существование начального (А-С) и стабилизированного участков (С-В), причем длина С-В гораздо больше, чем А-С. В данном случае можно говорить об установлении по скорости и завихренности начиная с элемента  $i$  с некоторой точностью  $\varepsilon$ . Существующие тепло- и массообменные аппараты используют не один, а несколько рядов параллельно установленных каналов [9-10], поэтому при моделировании течений в них возникает вопрос о взаимном влиянии нескольких потоков. В этом случае также основными уравнениями математической модели являются с соответствующими граничными и начальными условиями, а также с условиями сопряжения:

$$\begin{cases} \frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial y} \frac{\partial \omega}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \Delta \omega \\ \Delta \psi = \omega \end{cases} \quad (15)$$

$$U_s = ku_0, \vartheta_s = 0, \omega_s = z(\psi_s, \psi_{s-1}, \psi_{s+1}) \quad (16)$$

где  $k$  - коэффициент уменьшения, зависящий от разброса общего расхода газа;

$S$  - кривая, которую можно считать линией симметрии между двумя рядами потоков, обтекающих 2 ряда элементов насадок;

$z = z(\psi_s, \psi_{s-1}, \psi_{s+1})$  - функция, в общем случае получаемая

трехточечной аппроксимацией граничного условия  $\frac{\partial \psi}{\partial n} /_s = 0$  для функции завихренности. При обтекании первой и последней гирлянды влияние твердых стенок канала моделируем условиями прилипания  $u = 0, \vartheta = 0$ , а для вихря  $\omega$  воспользуемся условием непротекания газа на границе канала или разделяющей линии

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = 0. \quad (17)$$

Представление граничного условия для  $\omega$  в виде (17) имеет свои особенности: функция  $\omega$  не входит в (17) в явном виде. Поэтому для получения граничных условий для функции завихренности нужно использовать другие дополнительные соображения. Например, используя уравнение Пуассона  $\Delta \psi = \omega$  вплоть до границы, можно получить граничные условия разной точности и порядка аппроксимации. Другим путем получения граничных условий для завихренности является разложение функции тока в ряд Тейлора в ближайшей граничной точке стенок или насадок и использование условий прилипания или невозмущенности линии тока соответственно.

В дальнейшем используются уравнения Навье-Стокса (15), где будут меняться только формы обтекаемых элементов насадок и соответствующие граничные условия. При этом выработана общая методика решения задач, основываясь на уравнениях Навье – Стокса.

В качестве характерных величин для многоступенчатого канала принимаем следующие величины:  $u_0$  –среднерасходоная скорость газа, м/с;  $d$  - ширина входа канала, м; динамическая или кинематическая вязкости газов. Все остальные характерные величины будут производными от этих величин. Получим следующие соотношения

$$x = \bar{x}L, y = \bar{y}L, u = \bar{u}u_0, \vartheta = \bar{\vartheta}u_0, t = t \frac{d}{u_0}, \psi = \bar{\psi}du_0, \omega = \bar{\omega} \frac{u_0}{d}. \quad (18)$$

В дальнейшем черточки над переменными будут опущены. Система (15) является системой смешанного типа: первое уравнение,

относительно функции тока относится к эллиптическому типу, второе, относительно вихря – параболическому.

**Выводы.** Имеется большое количество работ по аналитическому и численному решению таких систем. Вводя определенные упрощения и допущения, удастся привести их к виду, который в некоторых простых случаях удастся решить аналитически и найти  $\psi(x, y)$  и  $\omega(x, y)$  в виде сходящихся рядов или комбинации специальных функций. Однако, для общей постановки задачи наиболее универсальным методом является метод конечных разностей, наиболее полно изложенный, например в работах [3,4].

### Список литературы

- 1 Балабеков О.С. Гидродинамика, массообмен и пылеулавливание при противоточных и прямоточных двухфазных капельных и пленочных течениях в слое подвижной насадки: Автореф. дис. докт. – М., 1985.- 40с.
- 2 Волненко А.А. Научные основы разработки и расчета вихревых массообменных и пылеулавливающих аппаратов: Автореф. дис. докт. - Шымкент, 1999.- 40с.
- 3 Исмаилов Б.Р., Балабеков О.С. Аэродинамические характеристики потоков в многоступенчатых каналах колонных аппаратов. // Докл.НАН РК.- Алматы.- 2001.-4.-С.108-115.
- 4 Госмен А.Д., Пан В.М., Ранчел А.К. и др. Численные методы исследования течений вязкой жидкости.-М.: Мир, 1972.- 324с.
- 5 Григорян Л.Г. Гидродинамика, массо-и теплообмен при взаимодействии жидкости и газа на вертикальных контактных решетках колонных аппаратов: Дис. ...д-ра техн.наук.-Л.,1986.- 333с.
- 6 Роуч П. Вычислительная гидродинамика. -М.: Мир,1980.- 616с.
- 7 Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкости. В 2-х т.т.-М.: Мир, 1991.- 342с.
- 8 Годунов С.К., Рябенский В.С. Разностные схемы.-М.: Наука,1973.-294с.
- 9 Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. –М.: Наука,1978.-386с.
- 10 Аэров М.Э., Тодес О.М. Гидравлические и тепловые основы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем.-Л.: Химия, 1968.- 512с.

**Урматова А.Н.** - PhD, старший преподаватель, e-mail: aурmatova@bk.ru

# БИОЛОГИЯ

МРНТИ 34.27.51; 69.09.41

Г.Ж. Абишева<sup>1</sup>, Ж.Б. Текебаева<sup>1</sup>, Г.Н. Бисенова<sup>1</sup>, М.С. Уразова<sup>1</sup>,  
А.С. Абилхадиров<sup>1</sup>, Г.К. Абитаева<sup>1</sup>, З.С. Сармурзина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Республиканская коллекция микроорганизмов,  
г. Нур-Султан, Казахстан

## ОЦЕНКА ТЕРАПЕВТИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ БИОПРЕПАРАТА ПРОТИВ ВОЗБУДИТЕЛЯ АЭРОМОНОЗА РЫБ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований по использованию биопрепарата молочнокислых бактерий против возбудителя аэромоноза у рыб. Цель работы – провести терапевтическую оценку влияния биопрепарата против возбудителя аэромоноза рыб в лабораторных условиях. Для определения антибиотических свойств разработанного биопрепарата на основе молочнокислых бактерий (*Lactobacillus fermentum* 24с, *Pediococcus pentosaceus* 10/9к, *Lactobacillus paracasei* 9с) была создана лабораторная модель, где в качестве инфекционного агента был взят штамм *Aeromonas punctata*, известный как возбудитель аэромоноза рыб. В качестве основного объекта экспериментов по изучению антимикробной эффективности биопрепарата выступили годовики карпов и сазанов. В результате влияния биопрепарата против возбудителя аэромоноза рыб было выявлено снижение смертности рыб на 40% по сравнению с группой где не вводился биопрепарат.

**Ключевые слова:** молочнокислые бактерии, аэромоноз рыб, аквакультура, биопрепарат, антибиотик

•••

**Түйіндеме.** Мақалада сүтқышқылды бактериялардың консорциумынан құралған балықтарда кездесетін аэромоноз қоздырғыштарына қарсы зерттеу жұмыстарының нәтижелері көрсетілген. Жұмыстың мақсаты – аэроманоз қоздырғыштарына қарсы биопрепараттың әсерін лабораториялық жағдайда бағалау. Сүтқышқылды бактериялар (*Lactobacillus fermentum* 24с, *Pediococcus pentosaceus* 10/9к, *Lactobacillus paracasei* 9с) негізінде жасалынған биопрепараттың антибиотикалық құрамын анықтау барысында лабораториялық үлгісі жасалынды. Тәжірибиелік жұмыста биопрепараттың әсерін зерттеу кезінде карп және сазан балықтары алынды. Нәтижесінде аэромоноз қоздырғышына қарсы биопрепараттың әсерінен балықтар өлімі биопрепарат қолданылмаған топтағы балықтарға қарағанда 40 пайызға дейін азайды.

**Түйінді сөздер:** сүтқышқылды бактериялар, балықтардың аэромонозы, аквамәдениет, биопрепарат, антибиотик.

• • •

**Abstract.** The article presents the results of research on the use of a biological product of lactic acid bacteria against the aeromonas pathogen in fish. The purpose of the work is to conduct a therapeutic assessment of the effect of a biological product against the pathogen of fish aeromonosis in laboratory conditions. To determine the antibiotic properties of the developed biological product based on lactic acid bacteria (*Lactobacillus fermentum* 24c, *Pediococcus pentosaceus* 10/9k, *Lactobacillus paracasei* 9c), a laboratory model was created, where the *Aeromonas punctata* strain known as the causative agent of aeromonosis was taken as an infectious agent. The main object of experiments on the study of the antimicrobial effectiveness of a biological product were carp and carp yearlings. As a result of the influence of a biological preparation against the pathogen of fish aeromonosis, fish mortality was reduced by 40% compared with the group where no biological preparation was administered.

**Keywords:** lactic acid bacteria, aeromonosis, aquaculture, biological product, antibiotic.

**Введение.** Инфекционные заболевания относятся к наиболее опасным болезням рыб и сопровождаются большими потерями рыбопродукции. Данная проблема актуальна во многих странах, занимающихся аквакультурой, поэтому защита рыб от бактериальных заболеваний является важным вопросом ихтиопатологической науки [1,3,8,9]. Рыбное хозяйство одно из тех отраслей экономики страны, которое находится в постоянном контакте с мировым рынком и различными международными организациями. Продукция, вырабатываемая из рыбы и морских животных, является источником ценных белков, жиров, макро- и микроэлементов, водо- и жирорастворимых витаминов, потребление которых необходимо для нормального развития и функционирования организма человека, укрепления его здоровья, повышения работоспособности, профилактики старения и серьезных заболеваний.

Важный вклад рыбное хозяйство вносит в обеспечение национальной продовольственной безопасности. Масса среднестатистического потребления рыбных продуктов значительна: в общем балансе потребления животных белков, включая мясные, молочные продукты и яйца, рыбные белки сегодня составляют около 10%, а в мясном балансе - не менее 25%. Однако интенсификация рыбоводства и продолжающийся в настоящее время рост уровня загрязнения окружающей среды способствуют резкому увеличению числа бактериальных болезней прудовых рыб - объектов аквакультуры. Если не так давно ихтиопатологи сталкивались с тремя-четырьмя бактери-

альными болезнями, то теперь их количество увеличилось, и список этот далеко не окончательный. Сейчас актуальной на современном этапе интенсивного рыбоводства является профилактика заболеваний, вызываемых граммотрицательными и другими микроорганизмами и аэромонадами. Нередко пораженная рыба является источником серьезных заболеваний человека и животных. У пораженной рыбы резко снижаются вкусовые качества, товарный вид, питательная ценность, что приводит к ее порче, и тем самым наносится большой экономический ущерб. Аэромонад является частью общемировой экологической проблемы, опосредованно связанной с деятельностью человека, всевозрастающим использованием в пище пресноводных рыб и других гидробионтов, контаминированных этим возбудителем. Рыба и рыбопродукты, содержащие возбудитель аэромоназа, представляют серьезную опасность для человека и животных .

Факторами, сдерживающими успешное развитие пресноводного рыбоводства, являются заболевания различной этиологии, наносящие существенный ущерб отрасли. Наибольшую опасность, бесспорно, представляют инфекционные заболевания, в число которых входит аэромонад. В связи со сложившейся в стране ситуацией, уровень ихтиопатологических исследований оказался недостаточно высоким, что обусловлено сокращением численности ветврачей-ихтиопатологов, отсутствием диагностической техники на местах. Ошибки в постановке диагноза нередко приводят к неправильному выбору лекарственных средств и как следствие - ухудшению эпизоотической ситуации. Касаясь непосредственно бактериальных болезней рыб, данные исследования были направлены на совершенствование лечения и профилактики самого распространенного заболевания, которым является аэромонад . Основным возбудителем при данной болезни признан микроорганизм *Aeromonas hydrophila*. Эту бактерию в различные годы обозначали: *Bast. cyprinidae*, *Achromobacter punctatum*, *Aerom.punctat* .

Аэромонад – болезнь, вызываемая вирулентными микроорганизмами рода *Aeromonas*: *A.hydrophila*, *A.caviae*, *A.sobria* в сочетании с неблагоприятными условиями окружающей среды и нарушениями зооигиенических норм содержания и кормления рыб. Данное заболевание встречается повсеместно, нанося рыбоводческим хозяйствам значительный экономический ущерб. При возникновении указанного

заболевания карпов, на неблагополучное рыбоводческое хозяйство и естественные рыбохозяйственные водоемы накладывают карантин; проводят мероприятия направленные на ликвидацию болезни. Чаще всего применяется комплексный метод: проводят летование прудов и одновременно выполняют ветеринарно-санитарные и рыбоводно-мелиоративные мероприятия согласно действующей инструкции [5-7, 10]. При этом проводят мероприятия по выявлению и уничтожению источника инфицирования, разрыву цепи передачи возбудителя, повышению устойчивости рыб к заболеванию и созданию условий, препятствующих возникновению и развитию заболевания, применяют лечебно-профилактические средства [11-13]. Для лечения и профилактики аэромоноза карпов в рыбоводческих хозяйствах применяют антибиотики широкого спектра действия и другие антисептические средства: левомицетин, хлортетрациклин, тетрациклин, фуразолидон которые проявляют антимикробное действие на *A. hydrophila*. Далее в порядке убывающей активности следуют фурациллин, стрептомицин, метиленовый синий [18-21]. В настоящее время неуклонное развитие аквакультуры обеспечивается внедрением высокоинтенсивных методов выращивания рыб. При этом они обуславливают резкий рост эпизоотической значимости условно-патогенных возбудителей, появление ранее неописанных инфекционных и инвазионных агентов. Кроме того, в последние годы возникли проблемы, связанные с интенсивным трансграничным обменом гидробионтами. Он приводит к контакту паразитов с ранее несвойственными им хозяевами и формированию паразитарных систем, нехарактерных для данного региона и конкретного рыбоводного предприятия. Поэтому закономерно повышение требований к пониманию механизмов возникновения и развития заболеваний культивируемых гидробионтов и обеспечению их контроля [14-17].

С этой точки зрения ассоциативные заболевания относятся к актуальным, но малоизученным аспектам охраны здоровья рыб. Контроль этих опасных патологий связан с рядом принципиальных трудностей. Слабо изучены механизмы формирования и развития ассоциативных инвазий и инфекций. Имеются сложности в диагностике этих заболеваний. Они объясняются необходимостью комплексного использования паразитологических и микробиологических методов исследований. Терапия ассоциативных заболеваний затруднена раз-

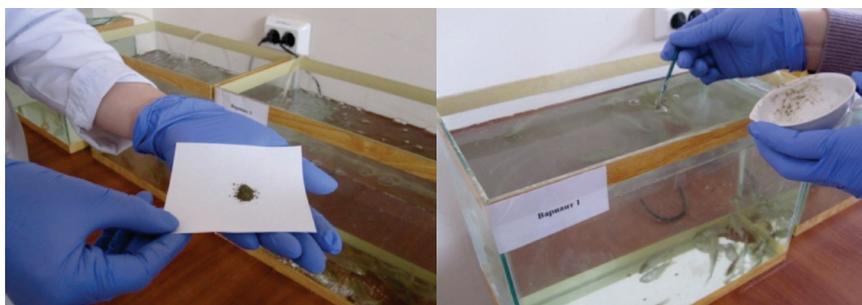
личным уровнем чувствительности к лекарственным препаратам филогенетически удаленных друг от друга групп паразитов.

Основой рыбного промысла пресных водоемов Казахстана являются различные карповые виды. Лишь в Каспийском море на западе Казахстана карп по значимости уступает место ценным осетровым видам рыб. Большинство водоемов Северного Казахстана замкнутые и мелкие, в зимнее время в них нередки заморные явления. С целью поддержания рыбного промысла данные водоемы нуждаются в ежегодном зарыблении. И здесь предпочтительным видом в силу непривередливости и большой скорости роста является сазан. В регионе действуют несколько прудовых хозяйств, ориентированных на выращивание и поддержание маточного поголовья сазана. Одним из таких хозяйств является Майбалыкский рыбапитомник, предоставляющий безвозмездно в рамках Меморандума на протяжении уже двух лет для исследований карпов и сазанов различных возрастных групп. В этом году в начале марта были вывезены из прудхоза годовики сазана и карпа, которые относятся к одному виду *Cyprinus carpio*.

**Цель работы** – провести оценку влияния биопрепарата против возбудителя аэромоноза рыб в лабораторных условиях.

**Методы исследований.** Для определения антибиотических свойств разработанного биопрепарата на основе молочнокислых бактерий (*Lactobacillus fermentum* 24с, *Pediococcus pentosaceus* 10/9к, *Lactobacillus paracasei* 9с) была создана лабораторная модель, где в качестве инфекционного агента был взят штамм *Aeromonas punctata*, находящийся на хранении в музее Республиканской коллекции микроорганизмов и известный как возбудитель аэромоноза рыб. В качестве основного объекта экспериментов по получению модели заболевания и изучению антимикробной эффективности биопрепарата выступили годовики карпов и сазанов (один вид *Cyprinus carpio*), безвозмездно предоставленные специально для исследований Майбалыкским рыбапитомником. Общая продолжительность эксперимента составила 34 дн.

В эксперименте были задействованы три опытные и одна контрольная группа. Здоровые годовики сазанов и карпов были размещены в аквариумах, оснащенных системами фильтрации и аэрации, объемом 20 л, по 10 экз. в каждом. В начале эксперимента производили замер основных параметров рыбы (размер, вес) с вычислением средних значений [1,2] (рисунок 1,2).



а – суточная доза корма на один аквариум, б – внесение биопрепарата  
Рисунок 1 – Аквариумы с годовиками *Cyprinus carpio*



а  
б  
Рисунок 2 – Подготовка биопрепарата перед введением в аквариум.

Описание групп:

1. Опытная группа (1-й аквариум) – биопрепарат в виде кормовой добавки, в концентрации  $1,0 \times 10^7$  КОЕ/мл, доставлялся рыбам в течение 10 дн. до заражения, а также после заражения бактериальным агентом на протяжении всего срока эксперимента;

2. Опытная группа (2-й аквариум) – пробиотик не вводился рыбам, ни до, ни после заражения болезнетворным агентом. На 3-й день после заражения разово ввели антибиотик на основе амоксициллина в концентрации 125 мкг;

3. Опытная группа (3-й аквариум) – в данной группе не производили введение ни пробиотика, ни антибиотика, ни до, ни после заражения болезнетворным агентом, в целях получения сравнительных данных по терапевтическому эффекту и общей гибели рыб при аэромонозе в лабораторных условиях;

4. Контрольная группа (4-й аквариум) – эта группа была взята для получения сравнительных данных по набору веса и размеров рыбы. В данной группе на протяжении всего эксперимента проводили кормление коммерческим кормом Color Scale (Китай), заражение не производилось [3,4].

В течение всего срока проведения эксперимента велось наблюдение за сеголетками карпа, регистрировали отклонения в поведении, появление клинических признаков заболеваний, а также производился учет гибели рыб. После заражения ежедневно производился осмотр кожных покровов, глазных яблок и жабр.

**Результаты и обсуждение исследований.** Результаты крупномасштабных исследований по микробиому различных представителей ихтиофауны в последнее десятилетие доказали, что лактобактерии являются представителями нормальной микрофлоры кишечника рыб. Более ранние исследования, основанные на простом выделении лактобактерий из кишечника рыб, не давали полного представления об их месте и роли в кишечном микробиоценозе рыб. Использование лактобактерий в производстве пробиотических биопрепаратов всегда предпочтительней вследствие их биобезопасности как для животного организма так и для окружающей среды. Биопрепараты на основе антагонистически активных лактобактерий способны существенно снизить применение химических веществ, используемых для охраны здоровья и увеличения поголовья рыбы в рыбных хозяйствах.

Сеголетки карпа помещали в заранее подготовленные аквариумы, по 10 особей в каждом, при этом был произведен замер их основных биометрических показателей. В течение суток в целях акклиматизации корм рыбам не давали, на вторые сутки была осуществлена первая подкормка, при этом в первый аквариум вводили разработанный биопрепарат в виде кормовой добавки.

Заражение *Aeromonas punctata* осуществлялось на 11 день эксперимента методом *per os*, суточной культурой патогена в концентрации  $1,0 \times 10^{-5}$  КОЕ/мл, по 200 мкл на 1 особь. После заражения рыбы возвращались в соответствующий аквариум для дальнейшего наблюдения.



Рисунок 3 – Заражение рыбы возбудителем аэромоназа *Aeromonas punctata*.

Первые случаи гибели годовиков сазана наблюдались уже на 3-й день после заражения во всех трех опытных группах. Кроме того, в поведении большинства рыб были замечены отклонения, которые выражались в малой подвижности рыб. Наблюдалась дезориентация некоторых рыб, которые не сопротивлялись движению воды в аквариуме, заданному фильтром, порой поток воды проносил их по периметру всего аквариума. В основном такие отклонения наблюдались во 2-й и 3-й опытных группах. Погибшие рыбы удалялись из аквариумов сразу после засвидетельствования гибели.

На 3-й день после заражения во второй аквариум в качестве терапевтического средства был введен антибиотик Амоксицилин. И если до его введения смертность рыбы составляла 20% (2 рыбки), то уже после введения антибиотика гибель рыб в данном аквариуме прекратилась. Общая смертность в первом аквариуме, куда вводился разработанный биопрепарат в качестве кормовой добавки, составила 30% к последнему дню эксперимента. Видимых нарушений у рыб в поведении, а также в физиологии к концу эксперимента в данной группе не было выявлено.

В третьем опытном аквариуме, где не проводились внесение терапевтических средств, гибель к концу эксперимента составила 70% рыб. При этом у всех выживших годовичков сазана были видимые отклонения от нормы: выпучивание глаз, разбухание брюшка, деформация позвоночника по типу скручивания. Все эти признаки свидетельствовали о развитии аэромоназа рыб (рисунок 4).



Рисунок 4 – Деформация позвоночника у рыб из 3-й группы, зараженных *Aeromonas punctata*

В контрольном аквариуме не были засвидетельствованы случаи гибели рыбы, а также какие-либо отклонения от нормы в поведении и физиологии.

Ниже приводится сравнительная таблица по биометрическим показателям рыб.

**Таблица 1 - Сравнение исходных и конечных значений биометрических показателей годовиков карпа в опытных и контрольной группах**

| № группы | Исходные биометрические показатели |                        |                          | Конечные биометрические показатели |                        |                          |
|----------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|------------------------------------|------------------------|--------------------------|
|          | Вес, г (сред.)                     | Длина тела, см (сред.) | Ширина груди, см (сред.) | Вес, г (сред.)                     | Длина тела, см (сред.) | Ширина груди, см (сред.) |
| 1        | 5,8±0,38                           | 7,6±0,15               | 2,0±0,05                 | 5,9±0,33                           | 7,7±0,14               | 2,1±0,09                 |
| 2        | 5,8±0,42                           | 7,7±0,21               | 2,0±0,05                 | 5,8±0,56                           | 7,7±0,32               | 2,0±0,13                 |
| 3        | 5,9±0,37                           | 7,7±0,15               | 2,1±0,05                 | 5,5±0,60                           | 7,6±0,38               | 2,0±0,09                 |
| 4        | 6,3±0,33                           | 7,8±0,10               | 2,3±0,04                 | 6,4±0,79                           | 7,9±0,48               | 2,4±0,14                 |

По исследованиям выявлена небольшая положительная динамика роста массы и размеров рыб в 1, 2 и 4 аквариумах. Явно это прослеживается в 1-й группе, где в качестве кормовой добавки рыбам вводился биопрепарат, рост показателей в среднем равен 0,1 г по массе и 1 мм по размерам, также подобную картину мы видим и в 4-й группе. Во второй группе, где проведена лекарственная терапия антибиотиком, положительную динамику можно наблюдать только в росте показателей стандартного отклонения, также в среднем примерно на 0,1. Отрицательная динамика роста биометрических показателей наблюдается лишь в третьей группе, где показатель смертности составил – 70%.

**Выводы.** Полученные данные по эксперименту на лабораторной модели аэромоноза годовиков сазана и карпа, свидетельствуют о терапевтическом действии разработанного биопрепарата на основе молочнокислых бактерий, которое выражалось в снижении смертности рыб от заболевания, наряду с действием антибиотика Амоксициллина, на 40% по сравнению с группой, где терапия не проводилась. Кроме того, при внесении биопрепарата не были выявлены патологии у рыб от перенесенного заболевания и прослеживалась положительная динамика роста основных биометрических показателей, что говорит об его профилактическом действии.

### Список литературы

1 *Афанасьев В.И.* Источники и факторы, способствующие заболеванию карпа аэромонозом // Тезисы докладов VII Всесоюз. совещ. по параз. и болезням рыб. - Л.: Зоол. ин-т, Ихтиол. комис., 1979. - С. 4-5.

2 *Гаврилин К.В.* Опыт использования препаратов «Антибак» в борьбе с бактериозами // Рыбоводство. - 2006. - № 3. - С. 50-51.

3 *Скачков Д. П., Борисова М.Н.* Современные методы терапии некоторых гельминтозов карпа // Тезисы докладов международной конференции «Проблемы охраны здоровья рыб в аквакультуре». - М., 2000. - С. 117-118.

4 *Скурат Э.К., Сиволицкая В.А., Дегтярик С.М.* Пробиотик - препарат для профилактики бактериальных заболеваний рыб // Тезисы докладов международной конференции «Проблемы охраны здоровья рыб в аквакультуре». - М., 2000. - С. 114- 115.

5 *Давыдов О.Н.* Биологические препараты и химические вещества в аквакультуре / О.Н. Давыдов, А.В. Абрамов, Л.Я. Куровская. - К.: Логос, 2009. - 307 с.

6 *Tejpal Dahiya\*, S.K. Gahlawat, Sihag R.C.* Elimination of Pathogenic Bacterium (*Micrococcus* sp.) by the Use of Probiotics // Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 12 (2012). – P. 185-187.

7 *Tatsuro HAGI & Takayuki HOSHINO* Screening and Characterization of Potential Probiotic Lactic Acid Bacteria from Cultured Common Carp Intestine // Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry 73 (7). - 2009. – P.1479-1483.

8 *Давыдов О. Н., Абрамов А. В., Куровская Л.Я.* Биологические препараты и химические вещества в аквакультуре. - К:Логос, 2009. - 307 с.

9 *Панин А.Н., Серых Н.И., Гараев И.М., Малик Е.В.* Формирование кишечного биоценоза у подсосных поросят путем примене-

ния жидкого пробиотического препарата Лактицид //Тез.докл. 2-ой междунар.н.-п.конферен., М., 1997.- С.67-68.

10 Мохнач В.О., Литвинов М.А., Борисов Л.Б., Матыко Н.А., Смирнова-Иконникова М.И. Антибактериальные свойства йодистого крахмала и его компонентов. Микробиология, 1960. - № 29, С.451.

11 Бауер О.Н. Лечение краснухи карпов антибиотиками. Науч.-техн.бюл. ВНИОРХ, 1997, 5, С.68-69.

12 Брагин Н.И. Краснуха карпов и пути ее ликвидации в прудовых хозяйствах Краснодарского края. Науч.труды Краснодар. науч.-иссл.вет.станции, 1971, 4, С.382-385.

13 Бричук П.Ф. Опыт борьбы с краснухой карпов. Тез.докл. на науч. методич. произв.совещ. по болезням рыб, М., 1967.-С.25-27.

14 Сергеев Е.П., Можаяев Е.А. Санитарная охрана водоемов. М., Медицина, 1979. Канаев А.И. Ветеринарная санитария в рыбоводстве. М., Колос, 1973.-С.31- 59.

15 Бермант М.В., Подзорова А.А. К вопросу чувствительности *Aeromonas hydrophila*, выделенных от карпов, к некоторым антибактериальным препаратам. V Всесоюзный симпозиум по инфекц. болезням рыб. Тез.докладов, Москва, 1986.-С.12.

16 Мохнач В.О., Литвинов М.А., Борисов Л.Б., Матыко Н.А., Смирнова-Иконникова М.И. Антибактериальные свойства йодистого крахмала и его компонентов. Микробиология, 1960.-№ 29.- С.451.

17 Кирпичников В.С., Факторович К.А., Бабушкин Ю.П., Нонбург Е.А. Селекция карпа на устойчивость к краснухе. Изв. Гос.НИОРХ, 1971.- С.140-153.

18 Сергеев Е.П., Можаяев Е.А. Санитарная охрана водоемов. М., Медицина, 1979.

19 Осетров В.С. Аэромоназ карпов. Справочник по болезням рыб, М., Колос, 1989.- С.88-90.

20 Радбиль О.С. Фармакотерапия в гастроэнтерологии. Медицина, М., 1991.С.398- 402.

21 Скурат Э.К., Куликова А.Н., Сиволецкая В.А., Папкиаури А.А., Ремко Л.Н. Комбинированные лечебные препараты рыбоводству. V Всесоюз.симпоз. по инф.бол.рыб.; Тез.докл. М., 1986.-С.93-94.

**Абишев Г.Ж.** - магистр технологических наук, e-mail: g.galiya@list.ru

**Текебаева Ж.Б.** - магистр технических наук, e-mail: j.tekebaeva@mail.ru

**Бисенова Г.Н.** - кандидат сельскохозяйственных наук,  
e-mail: bisenovag84@mail.ru

**Уразова М.С.** - кандидат биологических наук, e-mail: maira\_01@mail.ru

**Абилхадиров А.С.** - магистр ветеринарных наук, e-mail: Good\_alien@mail.ru

**Абитаева Г.К.** - PhD по биологии, e-mail: j.tekebaeva@mail.ru

**Сармурзина З.С.** - кандидат биологических наук, e-mail: sarmurzina@list.ru

К.Р. Утеулин<sup>1</sup>, О.А. Агапов<sup>2</sup>, О.А. Федорина<sup>2</sup>,  
А.Б. Атагаев<sup>3</sup>, Н.З. Ахтаева<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии и биотехнологии растений, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Научно-исследовательский центр «Фарыш-Экология», г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан

---

## ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИЧНОГО ДИМЕТИЛГИДРАЗИНА НА АНАТОМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЗЛАКОВ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТА

---

**Аннотация.** Исследована анатомическая структура проростков злаков, выращенных на образцах почвы, загрязненных несимметричным диметилгидразином (НДМГ). Показано, что на загрязненных образцах почвы НДМГ 5 и 25 мг/кг, уменьшается толщина ризодермы и первичной коры корней проростков неустойчивого к НДМГ окультуренного злака *Triticum aestivum*, сорт Саратовская-29 и, напротив, увеличивается толщина ризодермы и первичной коры корней проростков устойчивого к НДМГ дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme*. Таким образом, защитная реакция проростков злаков на стрессовый фактор - загрязнения почвы НДМГ, включает в себя изменения анатомической структуры корня. Устойчивость проростков дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme* к загрязнениям почвы НДМГ обеспечена увеличением толщины тканей корня растения: ризодермы и первичной коры. Изменения количественно-анатомических параметров ризодермы, первичной коры, центрального цилиндра корня, эпидермиса листа высоко чувствительного и неустойчивого к НДМГ окультуренного злака *Triticum aestivum*, сорт Саратовская-2 могут служить биоиндикаторами загрязнений образцов почвы НДМГ.

**Ключевые слова:** несимметричный диметилгидразин, проростки злаков, *Triticum aestivum*, сорт Саратовская-29, *Agropyron pectiniforme*.

• • •

**Түйіндеме.** Симметриялық емес диметилгидразинмен ластанған (СЕДМГ) топырақ үлгілерінде есірілген дақылдар өскіндерінің анатомиялық құрылымы зерттелген. СЕДМГ ластанған топырақ үлгілерінде 5 және 25 мг/кг Саратов сұрыпты, *Triticum aestivum* мәдениленген дақылдың СЕДМГ-ге төзімсіз өскіндер тамырының ризодермасының және алғашқы тамырының қалыңдығының

---

*Источники финансирования исследований. Республиканская бюджетная программа 008. Republican budget program 008. «Прикладные научные исследования в области космической деятельности». Научно-технический проект: «Исследование природы загрязнения растений несимметричным диметилгидразином и токсичными продуктами его трансформации». Республиканское государственное предприятие. Научно-исследовательский центр «Фарыш-Экология». Аэрокосмический комитет Министерства оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.*

азаятыны және керісінше жабайы өсетін *Agropyron pectiniforme* дақылына СЕДМГ-ге тұрақты өскіндер тамырының ризодерма қалыңдығы және алғашқы тамырының қалыңдығының үлкейетіні көрсетілді. Осылайша стрестік фактор – топырақтың СЕДМГ ластануына өскіндердің қорғаныс реакциясы тамырдың анатомиялық құрылымының өзгеруінен тұрады. Жабайы өсетін дақыл *Agropyron pectiniforme* өскіндерінің НДМГ топырақтың ластануына тұрақтылығы өсімдік тамырының тінінің жуандығының өсуімен: ризодерма және алғашқы қабықтың өсуімен қамтамасыз етіледі. Ризодерманың, алғашқы қабықтың, тамырдың орталық цилиндрінің, жоғары сезімтал жапырақ эпидермисінің және СЕДМГ-ге төзімсіз мәдениленген дақыл *Triticum aestivum*, Саратовская-2 сұрыбы СЕДМГ топырақ үлгісінің ластануының биоиндикаторы ретінде қызмет етеді.

**Түйінді сөздер:** Симметриялық емес диметилгидразин, астық өскіндері, *Triticum aestivum*, Саратовская-29 сұрыбы, *Agropyron pectiniforme*.

• • •

**Abstract.** We have researched anatomical structure of cereal seedlings grown at soil samples contaminated by unsymmetrical dimethyl hydrazine (UDMH). It was demonstrated that at soil samples, contaminated by (UDH): 5 mg/kg and 25 mg/kg nonresistant to UDMH, were used to cultivate cereal *Triticum aestivum*, variety *Saratovskaya-29* had depleted thickness of rizodermis and primary cortex of seedling roots, on the contrary resistant to UDMH wild-growing type of cereal *Agropyron pectiniforme* had increased thickness of rizodermis and primary cortex of seedling roots/ In view of this, defense reaction of cereal seedlings to stress factor, the soil contaminant UDMH, includes changes in anatomical structure of the root. The resistance seedlings of wild-growing type of cereal *Agropyron pectiniforme* to soil contaminant UDMH is ensured by increasing thickness of the plant root tissues: rizodermis and primary cortex. Changes in quantitative-anatomical parameters of rizodermis, primary cortex, root central tube, leaf epidermis of highly sensitive and nonresistant to (UDH) cultivated cereal *Triticum aestivum*, variety *Saratovskaya-2* can be served as biological indicators of soil samples contamination by UDMH.

**Keywords:** Unsymmetrical dimethyl hydrazine (UDH), anatomy, seedlings, *Triticum aestivum*, variety *Saratovskaya-29*, *Agropyron pectiniforme*.

**Введение.** Несимметричный диметилгидразин (UDMH) широко используется в качестве жидкого ракетного топлива в космических, ракетных системах. В Казахстане падение первых ступеней ракет, запущенных с космодрома Байконур, сопровождается разливом от 0,6 до 4 т несгоревшего топлива, из которых 10–30 кг достигают земли и впоследствии распространяются в почве и воде [1]. Подсчитано, что негативное влияние космической деятельности распространяется до 500 тыс. км<sup>2</sup> или 19% территории Республики [2] с хрупкой и уникальной экосистемой [3,4]. Согласно данным исследований образцов

почвы районов падения ступеней ракет, UDMH и продукты его трансформации могут сохраняться в почве течение 30 лет [5].

Доказано, что НДМГ является летучим, высокотоксичным, канцерогенным и мутагенным веществом [6], которое может вызывать опухоли легких, печени, пищеварительной системы, и кожи [7]. Очевидно, что НДМГ переносится в организм человека по пищевой цепи: загрязненная почва, вода, воздух, → растения → растительноядные животные → продукты питания → человек. Однако в данной цепи звено – растения на образцах почвы загрязненных НДМГ изучено недостаточно. Воздействие НДМГ на окружающую среду является важной проблемой гигиены труда [8].

**Цель исследования** - установление изменений количественно-анатомических параметров проростков пшеницы Саратовская-29 и их сравнение с подобными изменениями дикорастущего злака пырея гребневидного на образцах почвы, загрязненной НДМГ. Изучение анатомической структуры является одним из доступных и признанных методов выявления защитных возможностей растений к стрессовым факторам окружающей среды.

**Объекты исследований.** Мягкая пшеница (*Triticum aestivum*), сорт Саратовская-29, пырей гребневидный (*Agropyron pectiniforme*), лист, корень проростков.

**Методы исследования.** В работе использованы известные методы прорастания семян [9] и изучения фитотоксичности почвы [10-12]. Эксперименты проводили в чашках Петри. В каждую чашку Петри, заполненную образцом серо-бурой супесчаной почвы массой 50 г вносили раствор НДМГ объемом 20 мл в определенной концентрации и тщательно перемешивали. Использованы три концентрации НДМГ в образцах почвы: 1; 5 и 25 мг/кг.

Отобраные для опыта семена (по 20 шт.) размещались равномерно в чашки Петри с опытными (с НДМГ) и контрольными образцами почвы. Проращивание семян проводилось при температуре + 23°C. На 14-е сутки проведена оценка анатомической структуры проростков.

Фиксацию растений проводили в 70% спирте. Анатомические препараты готовили с помощью микротомы с замораживающим

---

\*\*\* При обсуждении влияния НДМГ на биологические объекты в период времени более суток, термин НДМГ следует использовать как собирательный, он включает НДМГ и широкий ряд продуктов его трансформации: метилгидразин (МГ), триметилгидразин (ТМГ), нитрозодиметиламин (НДМА), N,N – диметиламин (ДМА), метан, азот, аммиак и другие.

устройством ТОС-2, срезы заключали в глицерин в соответствии с общепринятыми методиками Прозиной М.Н. [13], Барыкиной Р.П. [14]. Толщина анатомических срезов равна 10 мкм. Подготовлено более 50 временных препаратов. Для количественного анализа проведено измерение морфометрических показателей с помощью компьютерной программы. Микрофотографии сделаны на микроскопе МС-300 (увеличение  $\times 180$ ). В работе использован НДМГ (98%, без примесей) чистый, фирмы Sigma-Aldrich.

**Результаты и обсуждение. Изменение анатомических показателей корня проростков мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) Саратовская-29 на образцах почвы, загрязненных НДМГ**

Исследована анатомическая структура корня проростков мягкой пшеницы (*Triticum aestivum*) Саратовская-29 на образцах почвы, с внесенным НДМГ в концентрациях: 1; 5 и 25 мг/кг. Получены следующие результаты. Корень проростка пшеницы покрыт ризодермой (покровно-всасывающей тканью), которая представлена слоем клеток, плотно расположенными по отношению друг к другу. Толщина ризодермы корней проростков пшеницы равна  $0,16 \pm 0,01$  мм на контрольном образце почвы и  $0,18 \pm 0,01$ ;  $0,14 \pm 0,01$  и  $0,11 \pm 0,01$  мм на образцах почвы с содержанием НДМГ 1; 5 и 25 мг/кг, соответственно. То есть, при относительно низком содержании НДМГ 1 мг/кг в образце почвы толщина ризодермы увеличивается, и при большем содержании уменьшается относительно контроля. Вероятно, изменения анатомических параметров тканей растений сопряжены с усилением или угнетением и их функций. Так, например, НДМГ в низких концентрациях стимулирует и в высоких концентрациях ингибирует проницаемость ризодермы для веществ из внешней среды.

Под ризодермой расположена первичная кора, которая занимает большую часть объема корня. Первичная кора корней проростков пшеницы состоит из экзодермы, мезодермы и эндодермы. Первичная кора выполняет запасующую функцию, в мезодерме проходит обмен веществ и накопление различных метаболитов. А также первичная кора выполняет транспортную функцию, обеспечивает транспорт воды и минеральных веществ от всасывающего слоя экзодермы к проводящему центральному цилиндру [15]. Толщина первичной коры корня проростков пшеницы составляет  $1,01 \pm 0,06$  мм на контрольном образце почвы и  $1,04 \pm 0,02$ ;  $0,86 \pm 0,04$  и  $0,86 \pm 0,02$  мм на образцах почвы с содержанием НДМГ 1; 5 и 25 мг/кг, соответственно. То есть,

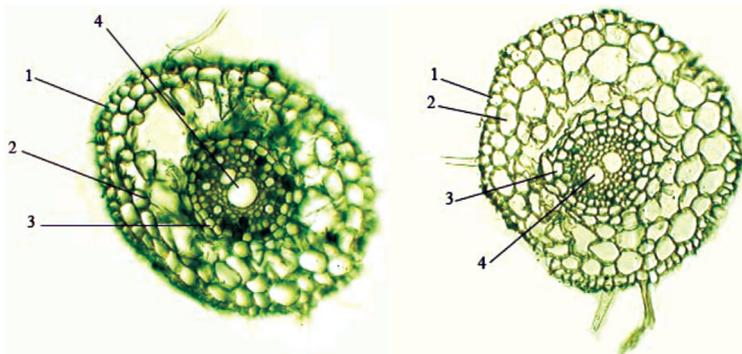
при относительно низком содержании НДМГ 1 мг/кг в образце почвы толщина первичной коры не изменяется, и при большем содержании НДМГ (5 и 25 мг/кг) уменьшается относительно контроля.

Под мезодермой, расположен слой плотно сомкнутых клеток эндодермы.

Клетки эндодермы участвует в регуляции поступления воды и минеральных веществ в центральный цилиндр, сплошным слоем окружают его [15]. При внесении в образцы почвы различных концентраций НДМГ изменения толщины слоя клеток эндодермы корня проростков пшеницы не обнаружены. Как известно, центральный цилиндр корня сформирован следующими тканями: флоэма (функция -транспорт продуктов фотосинтеза) и ксилема (функция-транспорт воды и минеральных солей), паренхима (функция-запасание питательных веществ и воды) и перицикл (функция формирование боковых корней) [15].

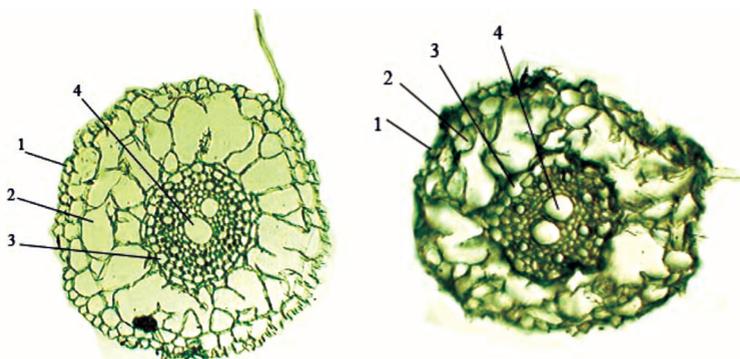
Диаметр центрального цилиндра корня проростков пшеницы равен  $1,27 \pm 0,06$  мм на контрольном образце почвы и  $1,35 \pm 0,01$ ;  $1,01 \pm 0,04$  и  $1,01 \pm 0,08$  мм на образцах почвы с содержанием НДМГ 1; 5 и 25 мг/кг, соответственно. Вероятно, НДМГ в относительно низких концентрациях (1 мг/кг) стимулирует и в больших концентрациях (5 и 25 мг/кг) ингибирует функции центрального цилиндра.

Анатомическое строение корня проростков пшеницы *Triticum aestivum*, сорт- Саратовская-29 продемонстрировано на рисунке 1.



1- ризодерма, 2- мезодерма 3- эндодерма, 4-ксилема. Контроль.

1-ризодерма, 2- мезодерма 3- эндодерма, 4-ксилема. НДМГ (1 мг /кг) внесен в образцы почвы.



1-ризодерма, 2- мезодерма 3- эн-  
додерма, 4-ксилема. НДМГ (5 мг /кг)  
внесен в образцы почвы.

1-ризодерма, 2- мезодерма 3- эндо-  
дерма, 4-ксилема. НДМГ (25 мг /кг)  
внесен в образцы почвы.

Рисунок 1 – Анатомическая структура проростков корня пшеницы  
*Triticum aestivum*, сорт – Саратовская-29

Таким образом, в настоящем исследовании показано, что толщина тканей (ризодермы, первичной коры, центрального цилиндра) корня проростков пшеницы Саратовская-29 относительно контроля увеличивается или не меняется в образцах почвы с относительно низкой концентрацией НДМГ 1 мг/кг и уменьшается при относительно высоких концентрациях НДМГ 5 и 25 мг/кг в образцах почвы. Очевидно, изменения структуры тканей корня проростков пшеницы, тестируют изменения их функций.

**Изменения анатомических показателей листа проростков пшеницы (*Triticum aestivum*), Саратовская-29 на образцах почвы, загрязненных НДМГ.** Лист проростков пшеницы снаружи покрыт эпидермисом, толщина верхнего эпидермиса на контрольном образце почвы равна  $0,161 \pm 0,008$  мм и на загрязненном образце почвы НДМГ (25,0 мг/кг) –  $0,165 \pm 0,008$  мм. Толщина нижнего эпидермиса на контрольном образце почвы равна –  $0,169 \pm 0,008$  мм и на загрязненном образце почвы НДМГ (25,0 мг/кг)  $0,199 \pm 0,016$  мм. То есть, покровная ткань листа проростков пшеницы утолщена на образцах почвы, с относительно высоким содержанием НДМГ (25 мг/кг). На образцах почвы с относительно низким содержанием НДМГ 1 и 5 мг/кг толщина покровной ткани листа проростков пшеницы не менялась относительно контроля.

Как известно, эпидермис полифункционален, но важнейшей его функцией является защита растений от неблагоприятных внешних факторов и регуляция газо- и парообмена. Вероятно, утолщение эпидермиса листа пшеницы в присутствии НДМГ (25 мг/кг) и летучих продуктов его окисления связано, прежде всего, с его защитной функцией. Кроме этого, элементы эпидермиса принимают участие в фотосинтезе, поглощении воды, питательных веществ и синтезе различных соединений [15].

**Заключение.** Ранее было показано, что внесенный в образцы почвы НДМГ в концентрациях 1 и 5 мг/кг стимулирует в два раза и в концентрации 25 мг/кг слабо ингибирует всхожесть семян дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme*. Тогда, как всхожесть семян окультуренного злака *Triticum aestivum*, сорт – Саратовская -29 не менялась на образцах почвы с содержанием НДМГ 1 мг/кг. Всхожесть семян пшеницы уменьшалась на 50 и 68%, соответственно на образцах почвы с содержанием НДМГ 5 и 25 мг/кг. Окультуренный злак - *Triticum aestivum*, Саратовская-29 принят как неустойчивый, а дикорастущий злак *Agropyron pectiniforme* как устойчивый злак к загрязнению почвы НДМГ [16].

В работе исследована анатомическая структура окультуренной пшеницы Саратовская-29, а также проведено сравнение изменений количественно-анатомических параметров проростков *Triticum aestivum*, сорт Саратовская -29 и *Agropyron pectiniforme* на образцах почвы загрязненных НДМГ (таблица 1). Данное сравнение проведено с целью установления анатомической защитной реакции растения на стресс - загрязнение почвы НДМГ.

**Таблица 1 - Изменения толщины тканей корня и листа проростков мягкой пшеница (*Triticum aestivum*), сорт Саратовская -29 и пырея гребневидного (*Agropyron pectiniforme*) на образцах почвы загрязненных НДМГ**

|                   | НДМГ в образце почвы, мг/кг  |               |               |
|-------------------|------------------------------|---------------|---------------|
|                   | 1                            | 5             | 25            |
|                   | Толщина ризодермы корня      |               |               |
| Неустойчивый злак | Увеличивается                | Уменьшается   | Уменьшается   |
| Устойчивый злак   | Увеличивается                | Увеличивается | Увеличивается |
|                   | Толщина первичной коры корня |               |               |
| Неустойчивый злак | Не меняется                  | Уменьшается   | Уменьшается   |
| Устойчивый злак   |                              | Увеличивается | Увеличивается |

|                   | Диаметр центрального цилиндра корня |               |               |
|-------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|
| Неустойчивый злак | Увеличивается                       | Уменьшается   | Уменьшается   |
| Устойчивый злак   | Не меняется                         | Не меняется   | Уменьшается   |
|                   | Толщина верхнего эпидермиса листа   |               |               |
| Неустойчивый злак | Нет отличий                         | Нет отличий   | Увеличивается |
| Устойчивый злак   | Увеличивается                       | Увеличивается | Увеличивается |

**Примечание.** Неустойчивый к НДМГ злак – окультуренная мягкая пшеница (*Triticum aestivum*), сорт Саратовская -29. Устойчивый к НДМГ злак – дикорастущий злак пырей гребневидный (*Agropyron pectiniforme*). Результаты исследований изменений количественно-анатомических показателей тканей проростков *Agropyron pectiniforme* опубликованы в статье [16] и использованы для обсуждения в настоящей работе.

Согласно данным, представленных в таблице, на образцах почвы с содержанием НДМГ 5 и 25 мг/кг, толщина ризодермы и первичной коры корня устойчивого злака увеличивается и неустойчивого злака уменьшается. Вероятно, увеличение толщины ризодермы и первичной коры корня сопряжено с усилением функций этих тканей, обеспечивает устойчивость растения злака к НДМГ. По направлению изменений количественных параметров центрального цилиндра корня устойчивый злак не отличается от неустойчивого на образцах почвы с содержанием НДМГ 25 мг/кг. В этих условиях, диаметр центрального цилиндра корня устойчивого и неустойчивого злаков уменьшается. Однако на образцах почвы с 5 мг/кг НДМГ диаметр центрального цилиндра устойчивого злака увеличивается, а неустойчивого злака уменьшается.

Толщина верхнего эпидермиса листа устойчивого и неустойчивого злаков увеличивается в условиях загрязнения почвы НДМГ 25 мг/кг. Однако на образцах почвы с меньшим содержанием НДМГ (1 и 5 мг/кг) толщина эпидермиса устойчивого злака увеличивается и не меняется неустойчивого злака. На основании анализа полученных результатов сформулированы выводы и основные результаты настоящих исследований.

**Выводы, основные результаты.** Изменения количественно-анатомических параметров ризодермы, первичной коры, центрального цилиндра корня, эпидермиса листа проростков высоко чувствительного и неустойчивого к НДМГ окультуренного злака *Triticum aestivum*, сорт Саратовская-2 могут быть использованы для биоиндикации загрязнений образцов почвы НДМГ.

На образцах почвы, с содержанием НДМГ 5 и 25 мг/кг, толщина ризодермы и первичной коры корней проростков неустойчивого к НДМГ окультуренного злака *Triticum aestivum*, сорт Саратовская-29 уменьшается и, напротив, толщина ризодермы и первичной коры корней проростков устойчивого к НДМГ дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme* увеличивается. Защитная реакция проростков дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme* на стрессовый фактор - загрязнения почвы НДМГ, в отличии включает в себя изменения анатомической структуры корня: увеличение толщины ризодермы и первичной коры. Устойчивость проростков дикорастущего злака *Agropyron pectiniforme* к загрязнениям почвы НДМГ обеспечена изменениями анатомической структуры: увеличением толщины ризодермы и первичной коры корня.

Данные результаты могут быть учтены при изучении физиолого-биохимических основ устойчивости растений к НДМГ.

### Список литературы

1 Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Y. A QSAR/QSTR study on the environmental health impact by the rocket fuel 1,1-dimethyl hydrazine and its transformation products. Environ. Health Insights 2008, 1.

2 Суйменбаев Б.Т., Максим Д.Г., Куликов Ф.А. (1997) Экологическая безопасность эксплуатации ракетно-космических комплексов. – М.: МАИ, 1997. - 43 с.

3 Carlsen L., Kenesova O.A., Batyrbekova S.E. A preliminary assessment of the potential environmental and human health impact of unsymmetrical dimethylhydrazine as a result of space activities. Chemosphere 2007, 67, 1108–1116.

4 Giles J. Study links sickness to Russian launch site. Nature 2005, 433.

5 The International Science and Technology Center (ISTC). System Analysis of Environmental Objects in the Territories of Kazakhstan, which Suffered Negative Influence through Baikonur Space Port Activity; Final Technical Report of ISTC k451.2; Center of Physical-Chemical Methods of Analysis, Al-Farabi Kazakh National University in Almaty, Kazakhstan, 2006

6 Carlsen L., Kenessov B.N., Batyrbekova S.Y., Kolumbaeva S., Shalakhmetova T.M. Assessment of the mutagenic effect of 1,1-dimethyl hydrazine. Environ. Toxicol. Pharmacol. 2009, 28, 448–452. [CrossRef] [PubMed]

7 Choudhary G., Iiansen H., Donkin S., Kirman C. Toxicol-

logical profile for hydrazines. *US Dep. Health Hum. Serv.* 1997, 5, 1–185

8 Yang Shu\_De, Xu Wen\_Zhong, Liu Shi\_Rui, Zhang Tong, and MA\_Mi Selection of UDMH tolerant variant lines of an aquatic reed. *Chinese Journal of Plant Ecology* >> 2005, Vol. 29 >> Issue (5): 781-784. doi: 10.17521/cjpe.2005.0103

9 Карпин В.И., Переправо Н.И., Золотарев В.Н., Рябова В.Э., Шамсутдинова Э.З., Козлова Т.В. Методика определения силы роста семян кормовых культур М.: Изд-во РГАУ – МСХА, 2012. – 16 с

10 Минеева В.Г. Практикум по агрохимии..– Изд. 2-е. – М.: МГУ, 2001. – 689 с

11 Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология. – Изд. 3-е.- М., 2009. - 352 с.

12 Пиртахия Н.В. Биоиндикация химического загрязнения в системе гигиенического мониторинга почвы //Мат. Пленума Научного Совета по экологии человека и гигиене окружающей среды РАМН и МЗ Российской Федерации. 17-19 декабря 2003.

13 Прозина М.Л. Ботаническая микротехника.- М., 1960. – 280 с.

14 Барыкина Р.П. и др. Справочник по ботанической микротехнике. Основы и методы. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 312 с

15 Лотова Л.И. Морфология и анатомия высших растений М: Эдиториал УРСС, 2001. — 528 с. ISBN 5-8360-0140-5

16 Агапов О.А, Федорина О.А., Атыгаев А.Б., Утеулин К.Р., Жексенбай А., Казкеев Д., Алдасугурова Ч.Ж., Курбатова Н.В. Влияние несимметричного диметилгидразина на всхожесть семян, рост и анатомические параметры проростков дикорастущих видов растений// *Новости науки Казахстана*. 2019. - № 1. - С. 210-222.

**Утеулин К.Р.** - доктор биологических наук, ассоциированный профессор, e-mail: gen\_uteulink@mail.ru

**Агапов О.А.** - магистр, заместитель начальника отдела экологических программ, e-mail: agaole@mail.ru

**Федорина О.А.** - кандидат биологических наук, ведущей научный сотрудник, e-mail: olga\_fedorina64@mail.ru

**Атагаев А.Б.** - научный сотрудник отдела экологических программ, e-mail: newanuar@gmail.com

**Ахтаева Н.З.** - кандидат биологических наук, e-mail: akhtaeva74@gmail.com

МРНТИ 61.39.81, 64.29.23

*Х.Ф. Джураев<sup>1</sup>, К.Х. Гафуров<sup>1</sup>, Б.Т. Мухаммадиев<sup>1</sup>,  
Ш.У. Мирзаева<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Бухарский инженерно-технологический институт,  
г. Бухара, Узбекистан

## СВЕРХКРИТИЧЕСКАЯ СО<sub>2</sub> ЭКСТРАКЦИЯ ГЛИЦИРРИЗИНОВОЙ КИСЛОТЫ ИЗ ЛАКРИЧНОГО КОРНЯ: ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ЭКСТРАКЦИИ, ИСПОЛЬЗУЯ RSM (RESPONSE SURFACE METODOLOGY)

---

---

**Аннотация.** Экстракция глицирризиновой кислоты (ГК) из корней солодки проводилась СК-СО<sub>2</sub> с этанолом, в качестве соразтворителя. Опыты и моделирование обозначались через RSM. Экстракт корней солодки анализировался хроматографией и ААС. Дизайн RSM применялся для оптимизации переменных СКЭ и выхода ГК. Максимальный выход ГК наблюдается при условиях 10 МПа, 90,8 и 48,2<sup>о</sup>С, 92 мин. и поток 1,70 и 1,50 мл/мин. СО<sub>2</sub> с помощью RSM, соответственно. Согласно RSM R<sup>2</sup> и модифицированный R<sup>2</sup> модель равна 96,1% и 93,2% соответственно. Точность модели выхода ГК подтверждается триплетными опытами, дающие средний выход экстракции равной 52,2±1,2% соответственно для RSM.

**Ключевые слова:** СК флюидная экстракция, RSM, корень солодки, моделирование.

• • •

**Түйіндеме.** Қызыл мия тамырынан ГҚ экстракциясы СК-СО<sub>2</sub> этанолмен еріткіш ретінде жүргізілді. Тәжірибелер мен модельдеу RSM арқылы жасалды. Қызыл мия тамырының сығындысына хроматография және ААС-пен талдау жасалды. RSM дизайны ауыспалы шектен асқан экстракциясын оңтайландырып, ГҚ шығуына қолданылды. ГҚ ең көп шығуы RSM көмегімен 10 МПа, 90,8 және 48,2<sup>о</sup>С, 92 мин және 1,70 и 1,50 мл/мин СО<sub>2</sub> жағдайында тиісінше бақыланады. RSM R<sup>2</sup> және жетілдірілген R<sup>2</sup> сәйкес модель 96,1% және тиісінше 93,2 % тең болады. ГҚ шығу моделінің нақтылығы RSM-ге сәйкес 52,2±1,2 % -ға тең экстракцияның орташа шығуын беретін триплеттік тәжірибемен дәлелденеді.

**Түйінді сөздер:** шектен асқан флюидтік экстракция, RSM, қызыл мия тамыры, модельдеу.

• • •

**Abstract.** Extraction of GA from licorice roots was carried out by SK-CO<sub>2</sub> using ethanol as a solvent. Experiments and simulations were designated through RSM. The licorice root extract was analyzed by chromatography and AAS. The RSM design was used to optimize the variables of the SLE and the output of the HA.

The maximum GA yield is observed under conditions of 10 MPa, 90.8 and 48.2°C, 92 min and a flow of 1.70 and 1.50 ml/min of CO<sub>2</sub> using RSM, respectively. According to RSM R<sup>2</sup> and the modified R<sup>2</sup> model is 96.1% and 93.2%, accordingly. The accuracy of the GA yield model is confirmed by triplet experiments giving an average extraction yield of 52.2±1.2%, respectively, for RSM.

**Keywords:** SC fluid extraction, RSM, licorice root, modeling.

**Введение.** Лакрица (солодка) является важным растением, которое используется с давних времен в Узбекистане, для приготовления национальной сладости «нишолла». Корни этого растения богаты глицирризиновой кислотой (ГК) (рисунок 1), которая обладает сладким вкусом и, поэтому показательно превосходит сахарозу в 300 раз.



Рисунок 1 - Корень солодки

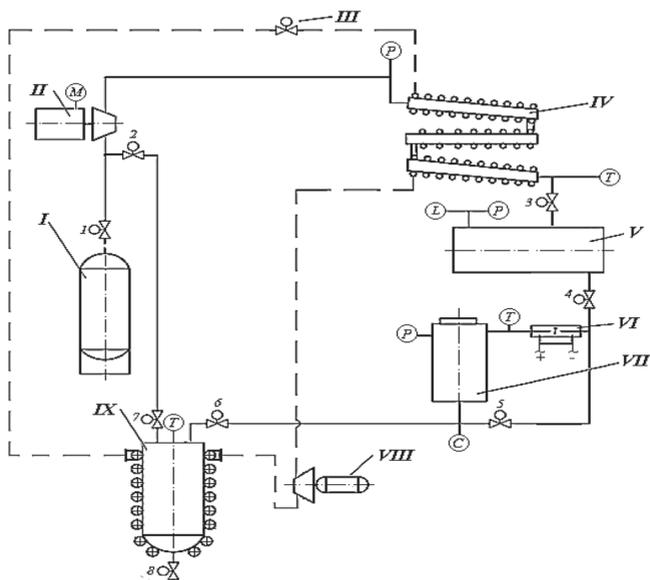
Экстракцию ГК можно проводить паровой дистилляцией, обычными растворителями. В последнее время с точки зрения экологической безопасности для выделения растительных ингредиентов, в том числе ГК, начали использовать CO<sub>2</sub> в сжиженном и флюидном (СК-CO<sub>2</sub>) состояниях [1-3]. Некоторые преимущества СКЭ заключаются в высокой скорости процесса, незначительной времени экстракции и низкой температуры предотвращающей различные химические изменения ГК, простота и полное удаление экстракта, высокой селективности процесса. Следовательно, СКЭ является удобным методом, по сравнению с традиционными методами, CO<sub>2</sub> является лучшим экстрагентом СКЭ из-за низких критических точек ( $T_k=31,1$  °C,  $P_k=73,8$  бар), низких температур экстракции. Для улучшения экстрагирующих свойств неполярной CO<sub>2</sub> добавляется полярный растворитель этанол [1].

**Цель работы** - экстрагирование ГК, как основного компонента корня солодки посредством СК-CO<sub>2</sub> с добавлением в качестве модификатора этанола, используя СКФ. Отличие этого исследования от известных в литературе данных заключается в дизайне эксперимен-

тов по моделированию и оптимизации выхода экстракции. Инновацией является оптимизация параметров процесса через RSM, где максимальный выход достигается оптимизацией условий экстракции. Предполагаемый оптимальный выход при специфических условиях подтверждается трехкратными экспериментами (ЧИП) в данном исследовании [2-4].

**Методы исследования.** Лакрица культивировалась на опытном поле Бухарского инженерно-технологического института. Высушенные корни подвергали лепесткованию. Коммерческая  $\text{CO}_2$  99 % чистотой Союза производителей  $\text{CO}_2$  экстрактов «Межрегиональный научно-производственный центр «Экстракт продукт»» использовалась для СКЭ. Стандартная ГК (чистота  $\geq 95\%$ ) получения из ИПС (г. Ташкент) и эталон (чистоты  $>99,9\%$ , Merck) использовался для хроматографического анализа.

**Сверхкритическая экстракция.** СКЭ проводилась в лабораторной установке (рисунок 2).



I-баллон с сжиженным  $\text{CO}_2$ ; II- компрессор; III- дроссельный вентиль; IV-конденсатор; V-ёмкость; VI-теплообменник; VII-экстрактор; VIII-компрессор теплового насоса; IX-сепаратор с подогревателем экстракта

Рисунок 2 - Устройство и принцип работы лабораторной установки для  $\text{CO}_2$ -экстракции ингредиентов из растительного сырья

Лабораторная установка для  $\text{CO}_2$ -экстракции ингредиентов из растительного сырья работает следующим образом: предварительно измельчённое растительное сырьё загружается в сетчатую кассету, которая устанавливается в экстрактор VII. После герметизации экстрактора, технологическая система с продуктом продувается газобразным  $\text{CO}_2$  для удаления воздуха [5,6].

Диоксид углерода из баллона I передается компрессору II при открытой арматуре 1 и закрытой 2 (при первом запуске установки).  $\text{CO}_2$ , сжатый компрессором II, проходит через конденсатор IV, где охлаждается рабочим агентом теплового насоса, переходит в жидкое состояние ( $P_1=8\text{...}10$  МПа и  $t_1=25\text{...}30^\circ\text{C}$ ) и накапливается в ёмкости для экстрагента V при открытом вентиле 3. При этом давление экстрагента при входе в конденсатор и его температура при выходе из конденсатора измеряются манометром и термометром ТСМ, соответственно. Давление и уровень в ёмкости V измеряется датчиком давления и уровня, и сигналы передаются в регулируемую систему для управления работой вентиля 3.

Для проведения процесса экстракции жидкий экстрагент при открытом вентиле 4 проходит через электрический нагреватель VI, где переходит в сверхкритическое состояние ( $P_2=8\text{...}10$  МПа и  $t_2=35\text{...}70^\circ\text{C}$ ) и подается на верх экстрактора VII, где установлен датчик температуры, который подает сигнал в регулируемую систему электрического нагревателя для регулирования температуры экстрагента. Расход экстрагента регулируется вентилем 4. Пройдя через слой растительного сырья, экстрагент извлекает растворимые компоненты (например, виноградное масло) и выводится из нижней части экстрактора, т.е. экстракция осуществляется путем настаивания в течение некоторого времени (время отстаивания зависит от вида экстрагируемого сырья) при закрытом вентиле 5. Если по технологии экстрагирования требуется проточная экстракция, тогда процесс происходит при открытом вентиле 5. После достижения времени процесса вентиль 5 закрывается и открывается дроссельный вентиль 6. При прохождении через этот дроссель давление и температура мисцеллы снижаются ниже критических параметров ( $P_3=5,0\text{...}5,5$  МПа и  $t_3=25\text{...}30^\circ\text{C}$ ) и диоксид углерода переходит в газообразное состояние.

В сепараторе-испарителе IX происходит осаждение растворённого в экстрагенте экстракта, где необходимо поддержание температуры ( $t_4=25\text{...}30^\circ\text{C}$ ). Температура поддерживается при помощи рабочего агента теплового насоса, служащего для змеевикового по-

догревателя сепаратора-испарителя тепловым агентом. При этом осажденный экстракт удаляется со дна сепаратора-испарителя при открытом вентиле 8, газообразный диоксид углерода выводится с верху сепаратора-испарителя при открытом вентиле 7. Газообразный  $\text{CO}_2$  проходит через вентиль 2, сжимается до рабочего давления в компрессоре и цикл повторяется.

В технологической схеме дополнительно подключен тепловой насос для охлаждения экстрагента в конденсаторе IV и для поддержания необходимой температуры экстракта в сепараторе-испарителе IX. Рабочий агент – сжимается в компрессоре теплового насоса VIII, проходит через змеевик сепаратора-испарителя IX, отдает свое тепло и охлаждаясь, выходит из змеевика сепаратора-испарителя, проходя через дроссельный вентиль III, где теряет давление. Охлажденный рабочий агент входит в рубашку конденсатора IV, где забирая тепло от экстрагента, испаряется, и в газообразном состоянии приходит в компрессор и цикл повторяется. Таким образом, в роли конденсатора теплового насоса вступает змеевик сепаратора-испарителя IX, здесь рабочий агент, отдавая свою теплоту, поддерживает необходимую температуру для отделения экстрагента от экстракта и конденсируется, а в роли испарителя теплового насоса вступает рубашка конденсатора IV, где рабочий агент, забирая теплоту от экстрагента, испаряется.

**Эксперименты и статистический анализ данных.** RSM – дизайн применяется в вопросах моделирования, где на отклик (30  $\epsilon$ ) (зависимые переменные) влияют различные факторы (независимые переменные) через установление математических и статистических методов и предположений процедур оптимизации процесса. Этот метод требует несколько экспериментов для расчёта параметров и их взаимодействий. Он является дешёвым и не требует большего времени, по сравнению с другими подходами [7,8].

В данном исследовании дизайн опытов составлялся через CCD (control composite design) с 4 факторами: давление, температура, скорость подачи  $\text{CO}_2$  и динамическое время в пяти уровнях (-2, -1, 0, +1, +2) и  $\alpha < 2$  Matlab прозрачной версии. Кодированные значения и реальное значение любого кода сведены в таблице 1. Регрессионный метод граничной поверхности применяется в CCD для введения данных в квадратичную модель и определения числа тестов состоящих из: 2K тест относится к аксиальным точкам на расстоянии (a) от центральной точки. У RSM, число опытов равно 31 для 4-х независимых переменных. Экспериментальный дизайн полностью рандомизирован как ука-

зывается, центр теста (0, 0, 0, 0) повторяется семь раз. Обозначенные опыты и их результаты указывающие выход (уравнение (1)) и потерю (уравнение (2)) для ГК в различных условиях СКЭ сведены в таблице 2. Объем потребленной  $\text{CO}_2$  на количество экстрагированной ГА также показаны в таблице. Применяя мультиплетный регрессионный анализ к этим опытным данным полиноминое уравнение второго порядка является выходом для потери ГК (%).  $P$  – значение комбинаций независимых переменных определяет значимость коэффициента регрессии. Если значение  $P$  – здесь меньше, чем указанный доверительный уровень, то это можно объяснить тем, что исследуемый фактор является статистически значимым. В этом исследовании, переменные с  $p \leq 0,001$ ,  $0,01 < p \leq 0,01$  и  $p > 0,01$  считаются высоко значимыми, значимыми и незначимыми, соответственно предполагаемый выход и потеря (%) ГК моделью RSM представлены в таблице 2 для сравнения. Оптимальные условия получаются для максимального выхода экстракции ГК посредством RSM – предсказания. Достоверность RSM в моделировании оптимального выхода ГК оценивается через триплетные эксперименты.

**Таблица 1 - Независимые переменные и их уровни для CCD в RSM дизайне**

|    | Давление<br>1] | Температура<br><b>T</b> | Скорость потока<br>$\text{CO}_2$ , min] | Т, время (мин.)<br><b>T</b> |
|----|----------------|-------------------------|---|-----------------------------|
|    | <b>P</b>       |                         | <b>Q</b>                                | <b>T</b>                    |
| -2 | 10             | 40                      | 0,5                                     | 4                           |
| -1 | 15             | 50                      | 0,9                                     | 6                           |
| 0  | 20             | 60                      | 1,3                                     | 8                           |
| +1 | 25             | 70                      | 1,7                                     | 1                           |
| +2 | 30             | 80                      | 2,1                                     | 2                           |

Для того, чтобы оценить правильность модели рассчитывается таблица анализа переменных (ANOVA). В этом анализе, если  $p$  – значение из любого источника является меньше, чем установленный доверительный уровень ( $p \leq 0,001$ ), можно будет заявить, что эта предложенная регрессионная модель является статистически значимой, т.е. модель является правильной. В этой же таблице сумма квадратичных ошибок состоит из суммы потерь. Общая ошибка зависит от точности метода определения путём повторных опытов. Сумму абсолютной степени ошибки следовало бы рассматривать как более выс-

\*\*\*Обозначения:  $P$  (MPa) – давление экстракции,  $q$  (мл/мин) – скорость потока  $\text{CO}_2$ ,  $R$  (%) – выход,  $t$  (min) – продолжительность экстракции,  $E$  (°C) – температура экстракции.

шую, чем сумма потери степени чувствительности, для подходящей чувствительности теста [9].

**Таблица 2 - Экспериментальные и предсказанные выходы ГК – экстракцией**

| №  | D  | T  | Q  | t  | Выход с суперкритической флюидной экстракцией (мг/г) | Выход с RSM (мг/г) | Извлечение (%) с суперкритической флюидной экстракцией (мг/г) | Извлечение (%) с RSM (мг/г) | Израсходованная CO <sub>2</sub> в суп. фл. экс. (мл) | Извлеченная ГК с суперкритической флюидной экстракцией |
|----|----|----|----|----|--|--------------------|---|-----------------------------|--|--|
| 1  | 1  | 1  | -1 | 1  | 17.63  | 19.38              | 43.93   | 48.35                       | 91   | 35.33  |
| 2  | 0  | 0  | 0  | 2  | 21.64  | 20.83              | 53.78   | 51.88                       | 156  | 43.26  |
| 3  | -1 | -1 | 1  | -1 | 14.59  | 14.94              | 36.27   | 37.24                       | 102  | 29.17  |
| 4  | -1 | -1 | 1  | 1  | 20.88  | 21.32              | 51.91   | 53.11                       | 170  | 41.75  |
| 5  | 0  | 0  | 0  | 0  | 19.72  | 20.5               | 49.03   | 51.06                       | 104  | 39.44  |
| 6  | 1  | -1 | 1  | -1 | 18.52  | 19.23              | 46.00   | 47.90                       | 102  | 37.00  |
| 7  | 0  | 0  | -2 | 0  | 18.76  | 19.15              | 46.64   | 47.71                       | 40   | 37.51  |
| 8  | 0  | 0  | 0  | 0  | 20.83  | 20.50              | 51.78   | 51.06                       | 104  | 41.65  |
| 9  | 0  | 0  | 0  | -2 | 12.04  | 11.54              | 29.91   | 28.78                       | 52   | 24.05  |
| 10 | 0  | 0  | 2  | 0  | 20.03  | 21.85              | 49.78   | 54.41                       | 168  | 40.04  |
| 11 | 1  | -1 | -1 | -1 | 18.85  | 17.88              | 46.85   | 44.55                       | 54   | 37.68  |
| 12 | 0  | 0  | 0  | 0  | 21.51  | 20.50              | 53.46   | 51.06                       | 104  | 43.00  |
| 13 | 0  | 0  | 0  | 0  | 20.64  | 20.50              | 51.31   | 51.06                       | 104  | 41.27  |
| 14 | 2  | 0  | 0  | 0  | 19.23  | 18.01              | 47.79   | 44.88                       | 104  | 38.44  |
| 15 | 1  | 1  | 1  | -1 | 15.51  | 17.85              | 39.04   | 44.48                       | 102  | 31.40  |
| 16 | -1 | -1 | -1 | 1  | 18.50  | 19.00              | 45.97   | 49.77                       | 90   | 36.97  |
| 17 | -2 | 0  | 0  | 0  | 9.49   | 9.40               | 23.59   | 23.47                       | 104  | 18.97  |
| 18 | -1 | -1 | -1 | -1 | 13.68  | 13.59              | 33.99   | 33.89                       | 54   | 27.34  |
| 19 | -1 | 1  | -1 | -1 | 6.86   | 8.69               | 17.04   | 21.71                       | 54   | 13.70  |
| 20 | 0  | 0  | 0  | 0  | 21.08  | 20.50              | 52.39   | 51.06                       | 104  | 42.14  |
| 21 | -1 | 1  | 1  | 1  | 16.88  | 16.43              | 41.95   | 40.94                       | 170  | 33.74  |
| 22 | -1 | 1  | 1  | -1 | 10.09  | 10.04              | 25.06   | 25.06                       | 102  | 20.15  |
| 23 | 1  | -1 | -1 | 1  | 19.99  | 20.78              | 49.68   | 51.77                       | 90   | 39.96  |
| 24 | 0  | -2 | 0  | 0  | 21.23  | 21.40              | 52.78   | 53.31                       | 104  | 42.45  |
| 25 | 1  | 1  | -1 | -1 | 15.21  | 16.50              | 37.80   | 41.11                       | 54   | 30.40  |
| 26 | 0  | 0  | 0  | 0  | 20.52  | 20.50              | 51.00   | 51.06                       | 104  | 41.03  |
| 27 | 1  | 1  | 1  | 1  | 22.57  | 20.75              | 54.11   | 51.70                       | 170  | 43.52  |
| 28 | -1 | 1  | -1 | 1  | 14.18  | 15.08              | 35.25   | 37.59                       | 90   | 28.35  |
| 29 | 0  | 2  | 0  | 0  | 15.80  | 15.13              | 39.27   | 37.71                       | 104  | 31.58  |
| 30 | 0  | 0  | 0  | 0  | 19.53  | 20.50              | 48.53   | 51.06                       | 104  | 39.03  |
| 31 | 1  | -1 | 1  | 1  | 19.34  | 22.13              | 48.08   | 55.11                       | 170  | 38.67  |

**Результаты и их обсуждение.** RSM представляет полиномиальную модель 2-го порядка, для объяснения вариации скорости извлечения ГК в зависимости от действующих переменных. Коэффициенты регрессии 2-го порядка модели основаны на кодированных переменных и  $t$  и  $P$  значения, соответствующие каждому коду, сведены в таблице 4. Анализ есть чип через кодированные переменные. В этом анализе, если  $P$  – значение меньше, чем указанный доверительный уровень, то можно аргументировать, что изучаемый фактор является статистически достоверным. Линейные термы температуры, давления и динамического времени, квадратичные термы динамического времени и давления с  $P \leq 0,001$  высоко достоверны. Линейный терм потока  $\text{CO}_2$ , квадратичный терм температуры и термы взаимодействия  $t - p$  и  $g$  - динамическое время с  $0,001 < p < 0,01$  значимы, в то время как переменные с  $p > 0,01$  являются незначимыми. Применением множественного регрессионного анализа к экспериментальным данным можно получить полиномиальные уравнения 2-го порядка (3). Рассчитанный коэффициент детерминации ( $R^2$ ) и подобранный коэффициент ( $\text{Adj } R^2$ ) соответственно равны 96,64 % и 93,22%. Данные значения указывают на хорошее совпадение этой предложенной модели с экспериментальными данными, которые равны 93,22% переменных могли быть открыты полученной моделью через уравнение

$$R=51$$

**Таблица 4 - Коэффициенты регрессии предложенной полиномиальной модели 2-го порядка для ГК**

| Начало    | Коэффициент | Коэффициент экстракции | t-значение | D-значение |
|-----------|-------------|------------------------|------------|------------|
| Константа | 51.043      | 0.938                  | 54.43      | 0.000      |
| P         | 5.353       | 0.506                  | 10.57      | 0.000      |
| T         | -3.900      | 0.506                  | -7.7       | 0.000      |
| Q         | 1.675       | 0.506                  | 3.31       | 0.004      |
| T         | 5.773       | 0.506                  | 11.40      | 0.000      |
| D × D     | -4.222      | 0.464                  | -9.10      | 0.000      |
| T × T     | -1.388      | 0.464                  | -2.99      | 0.009      |
| Q × Q     | -1.092      | 0.464                  | -2.35      | 0.013      |
| t × t     | -2.683      | 0.464                  | -5.78      | 0.000      |
| T × D     | 2.194       | 0.620                  | 3.54       | 0.003      |
| Q × D     | -0.748      | 0.620                  | -1.21      | 0.246      |
| D × t     | -2.164      | 0.620                  | -3.49      | 0.003      |
| Q × T     | 1.398       | 0.620                  | 2.25       | 0.039      |
| T × t     | 1.611       | 0.620                  | 1.26       | 0.019      |
| Q × t     | 0.783       | 0.620                  | 1.26       | 0.225      |

**RSA.** 3-D (форма поверхности отклика) и 2- D (форма contour) диаграммы поверхность отклика составлена для определения влияния действующих переменных на извлечение ГК. Форма поверхности отклика составлена с помощью смещения отклика (ось Z) против двух независимых переменных (x и y координаты). Две другие независимые переменные считаются постоянными на 0 уровне.

**Влияние P и T на извлечение ГК.** В общем, P имеет двоякий эффект на экстракцию. Давление вызывает сокращение объёма и увеличивает плотность CO<sub>2</sub>. Увеличение плотности сокращает расстояние между молекулами и увеличивает взаимодействие между молекулами растворителя и растворенного вещества. Это явление усиливает растворимость СК-Ф при экстракции и способствует быстрой извлечению [10].

Возрастание давления уменьшает коэффициент диффузии и массопереноса, поэтому это имеет отрицательное влияние на скорость извлечения. Поверхность и её вид извлечения ГК как функции P и T при фиксированном времени динамической экстракции (80 мин.) и фиксированной скорости потока СК-CO<sub>2</sub> (1,3 мл/мин.) показана на рисунке 3 а, б. Как видно из рисунка, постоянная температура и возрастание давления, в 10 МПа ведет к динамичному эффекту в возрастании плотности и растворяющей силы, следовательно к увеличению извлечения ГК. Мощность давления, уменьшение диффузии и коэффициента массопереноса становится более важным, и увеличение давления уменьшает извлечение ГК. Как видно из таблицы 4 низкие значения давления имеют положительный эффект (положительный линейный эффект давления ( $P \leq 0,001$ )) положительный эффект взаимодействия T-P ( $P \leq 0,01$ ) на % извлечения ГК. При высоких давлениях, отрицательный квадратичный эффект давления и негативный эффект взаимодействия P – динамическое время извлечения ГК станут важными факторами ( $P \leq 0,001$  и  $P \leq 0,01$ ) соответственно. и с увеличением давления уменьшается % извлечения.

Увеличение T улучшает давление паров растворителя, в общем, поэтому оно увеличивает выход экстракции до определённого специфического состояния (ретроградная растворимость). Следовательно, дальнейшее возрастание температуры выше ретроградной растворимости приводит к понижению плотности СК-CO<sub>2</sub> и уменьшению растворимости вещества. Этот эффект уменьшает извлечение. Удобный двоякий эффект по правой и левой стороне термодинамического ретроградного явления является очевидным для влияния T на выход экстракции ГК при

давления

МПа).

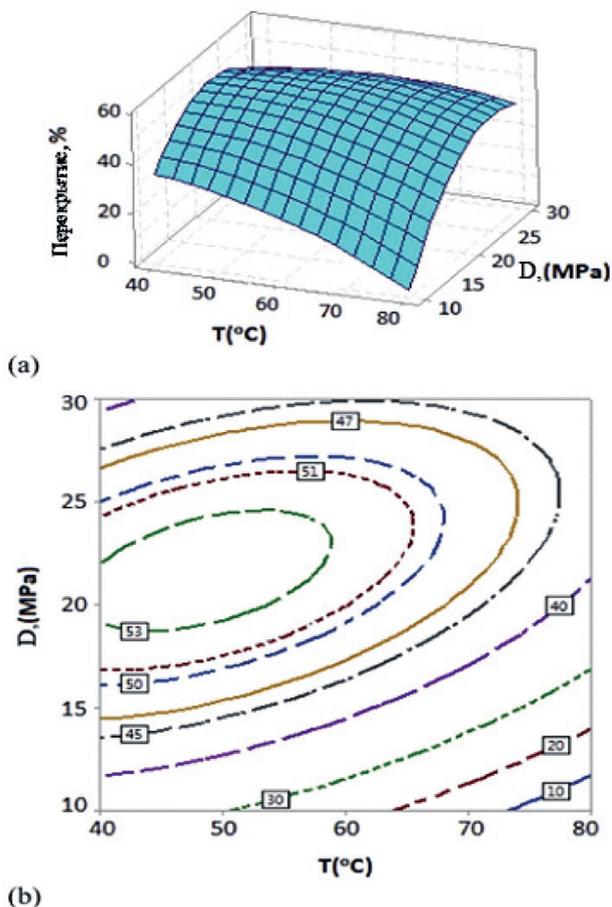


Рисунок 3 - Поверхность отклика (а) и вид контура для экстракции ГК, как функции кодированных значений РН и Т при скорости потока СК-СО<sub>2</sub> 1,3 мл/мин. и динамическом времени 80 мин.

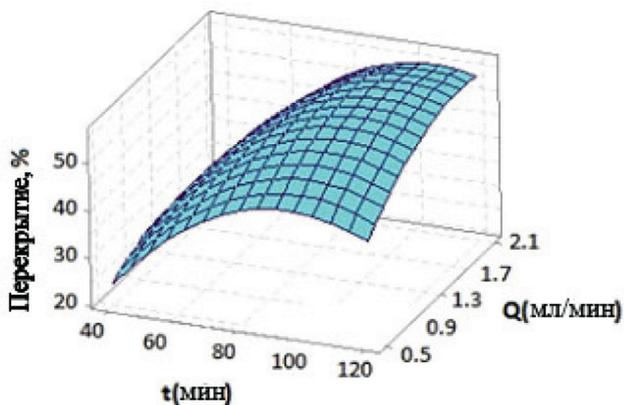
Согласно доминанте этих двух удобных эффектов около точки ретроградной растворимости, Т могла иметь различное влияние на экстракцию. Явление ретроградной растворимости вполне очевидно для растворения ГК из растительных корней солодки [14].

Явление интерсекции является одним из наиболее важных для растворимости. Фактически, различные изотермы объединяются и обращаются (инверсия) в процесс растворимости (поведение). При давлениях низших, эффект низкой плотности становится больше, чем эффект высокого давления паров, поэтому растворимость вещества (солют) и извлечение солюта уменьшается, в то время как при давлениях выше, чем при скрещивающемся (crossover) давлении, в давлении появляется концепция ретроградной температуры. Как видно из рисунка 3 возрастание  $T$  от  $40^{\circ}\text{C}$  до  $80^{\circ}\text{C}$  приводит к уменьшению выхода экстракции при давлениях не ниже чем давление в 10 МПа.

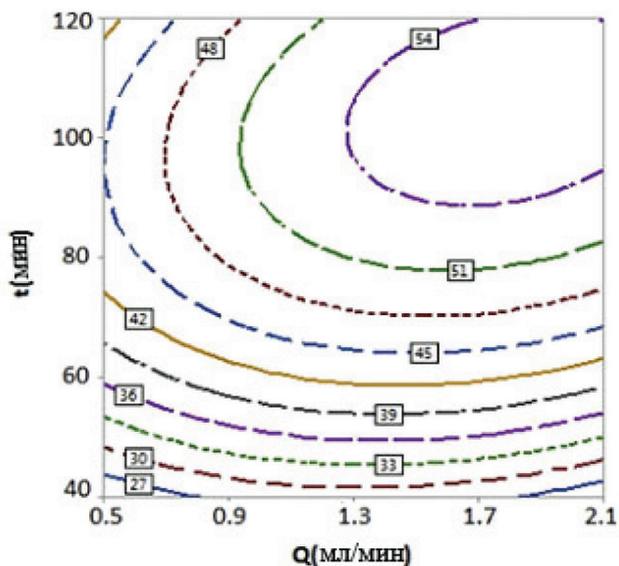
В таблице 4,  $P \leq 0,001$  для линейного эффекта  $T$  подтверждается это явление. При давлениях выше, чем давление возрастания  $T$  при постоянном  $P$ , благодаря импакт увеличению летучесть сомота приводит к высокому извлечению вплоть до ретроградной температуры. Этот эффект встречается благодаря положительному эффекту взаимодействия между  $T$  и  $P$  на % выхода ГК при доверительном уровне  $P \leq 0,01$ . За ретроградной температурой, эффект низкой плотности становится выше, чем эффект высокого давления паров и снова уменьшается растворимость и извлечение солюта.

**Влияние скорости патока  $\text{CO}_2$  и динамического времени на извлечение ГК.** Увеличение скорости потока СК- $\text{CO}_2$  уменьшает прочность плёнки вокруг твёрдых частиц и увеличивает коэффициент массопереноса плёнки. Устойчивый массоперенос вокруг твёрдых частиц и форма устойчивости сводится к трансмиссии сомота через матрикс к СК – флюид и является незначительной, а следовательно идет возрастание экстракционного выхода ГК. Повышение скорости потока  $\text{CO}_2$  уменьшает среднее остаточное время экстракции клеток, уменьшает проникновение и ведёт к слабому контакту между твёрдым материалом и флюидом, которое ведёт к уменьшению извлечения ГК.

Влияние скорости потока  $\text{CO}_2$  и динамического времени на выход ГК при заданных  $T$  ( $60^{\circ}\text{C}$ ) и  $P$  (10 МПа) показано на рисунке 4, где повышение скорости потока увеличивает выход ГК при постоянном динамическом времени. Оказалось, что эффект уменьшения прочности пленки массопереносающего слоя является выше по сравнению с уменьшающим эффектом остаточного времени. Положительный линейный эффект скорости потока СК- $\text{CO}_2$  ( $0,001 \leq P < 0,01$ ) на отклики переменных показано в таблице 4.



(a)



(b)

Рисунок 4 - Поверхность отклика и вид контура на экстракционный выход как функция кодированных значений скорости потока  $\text{CO}_2$  (мл/мин.) и динамического времени (мин.) при  $P=10$  МПа и  $T=60^\circ\text{C}$ .

В течении динамического времени свежий растворитель проходит через лепестки солодки в фиксированный сосуд. Поскольку сила движения эффективного массопереноса существует между свежим флюидом и образцом, увеличение динамического времени улучшает извлечение ГК вплоть до максимального значения. Более того, если сила движения уменьшается, то не рекомендуется высокое динамическое время, поэтому извлечение больше не возрастает.

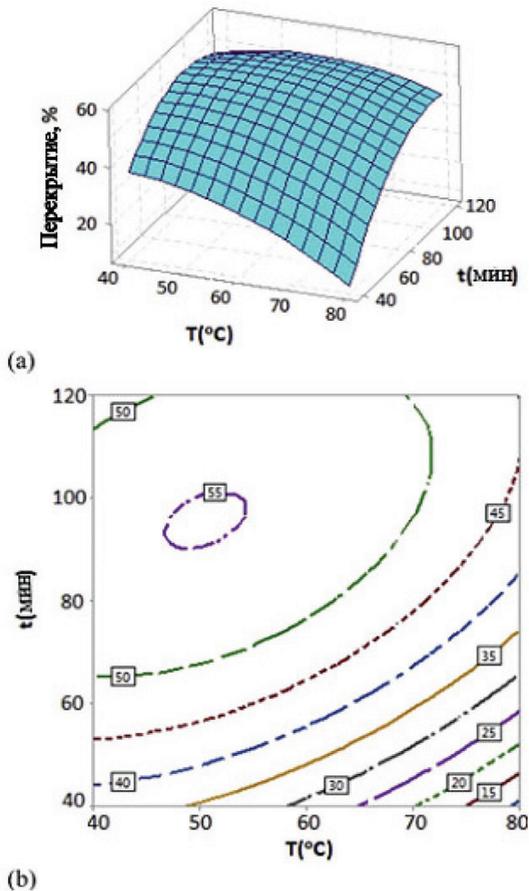


Рисунок 5 - Зависимость поверхности (а) и контура (б) для извлечения ГК как функция кодированных значений  $T$  (°C) и динамического времени (мин.) при  $P=10$  МПа и скорости потока  $CO_2$  1,3 мл/мин.

Влияние динамического времени и  $T$  на извлечение ГК при фиксированной скорости потока  $\text{CO}_2$  (1,3 мл/мин.) и  $P$  (10 МПа) показано на рисунке 5 положительный линейный эффект динамического времени ( $P \leq 0,001$ ) на выход ГК показано в таблице 4. Повышение динамического времени оказывает отрицательный квадратичный эффект ( $P \leq 0,01$ ), а негативный эффект взаимодействия  $P$  – динамическое время ( $P \leq 0,001$ ) более важен. Подобные результаты получены в данном исследовании, где наблюдается, что после некоторого времени (103 мин.) выход ГК сколько-нибудь не увеличивается и начинает падать. Уменьшение выхода относится к тому факту, что после достижения максимального извлечения при оптимальных условиях 10 МПа, 60,2°C, 103 мин. и 1,74 мл/мин. с помощью RSM извлечение ГК уменьшается благодаря потери силы движения массопереноса (различие концентрации ГК между мобильной фазой (СК- $\text{CO}_2$ ) и стационарной фазой (лепестки солодки) в трубке. Таким образом, уменьшение извлечения, кажется, ожидаемо и практически логично в смысле явления переноса. Такой же упомянутый эффект предсказывается RSM, в котором свойства полиномиального уравнения 2-го порядка указывают на негативные термы  $T$ , квадратичной  $T$ ,  $P$  и динамического времени, а также влияние взаимодействия  $P$  – динамического времени.

**Основные и взаимодействующие эффекты факторов.** Благодаря присутствию мультивариантного эффекта, действующего на выход, основной эффект, (рисунок 6), получается с помощью модели RSM. Этот плот показывает средний отклик на уровне каждого фактора и применяется в предсказании величины основных эффектов. То, что скорость потока  $\text{CO}_2$  ( $Q$ ) и динамическое время (мин.) имеет позитивный эффект и, что  $T$  имеет отрицательный эффект и, что  $P$  сначала имеет положительный, а затем негативный эффект на выход ГК показано на рисунке 6. Эффект взаимодействия между операционными переменными (полученные из RSM) показан на рисунке 6, где отклонение параллельных линий указывает на эффекты взаимодействий. Как показывает таблица 4 взаимодействия  $T$  –  $P$  и  $p$  – динамическое время имеют позитивное и негативное значение эффекта ( $0,001 \leq P < 0,01$ ), соответственно, на выход экстракции [11-14].

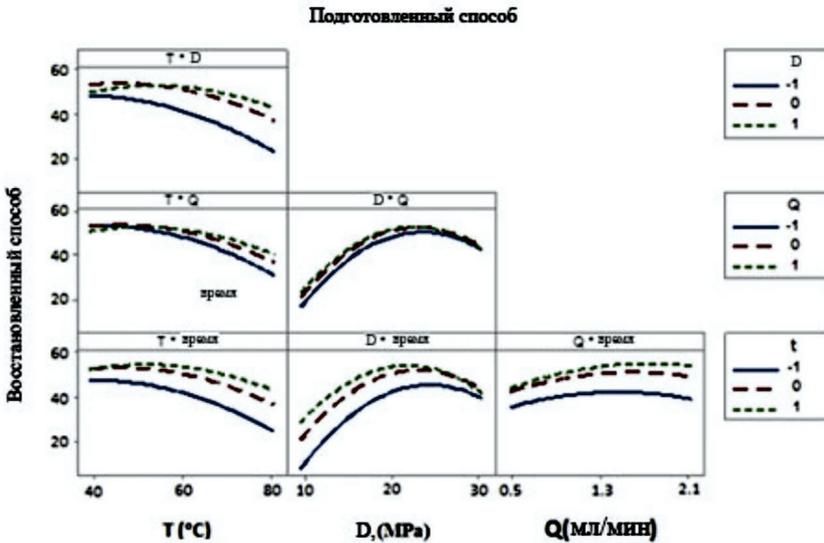
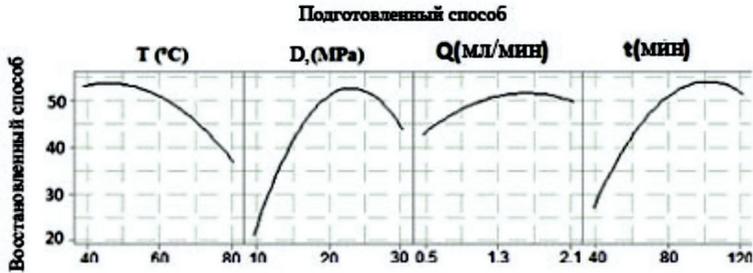


Рисунок 6 - Эффекты взаимодействий между операционными параметрами на извлечение ГК, полученные с помощью модели RSM

**Оптимизация операционных условий с помощью RSM.** Модель RSM предсказывает оптимальные условия для СК – флюидной экстракции ГК. Максимальное извлечение ГК 56,18% (выход 2,20% (v/v)) предсказывается через модель RSM при оптимальных операционных условиях: 21,0 МПа, 60°С, 1,70 мл/мин. и 100/мин.

**Заключение.** Экстракция ГК из корней солодки сопровождается с помощью СКФЭ метода. Адаптированный RSM эффект 4-х независимых переменных (P, T, скорость потока CO<sub>2</sub> и динамическое время) оценивалась в пяти уровнях и выходом является модель 2-го порядка с R<sup>2</sup>=96,60%. RSA подтверждает, что данные адекватно совпадают с полиномальной моделью 2-го порядка. Оптимальные операционные условия должны быть 10 МПа, 60,0°C, 1,74 мл/мин. и динамическое время 100 мин. предсказывается с помощью RSM. Применяя эти операционные условия, получается, что максимальный выход ГК должен быть 56,4%. Максимум оптимизации для выхода ГК равна 55,4% при 10 МПа, 55,6°C, 150 мл/мин. Эти предсказания двух моделей подтверждаются триплетными опытами дающими средний выход 55,2±1,4% и 54,4±1,3% для RSM и GA соответственно как наблюдалось, имеется хорошее совпадение между двумя методами оптимизации.

**Замечание:** Для того, чтобы рассчитать правильность модели, анализ табличных переменных (ANOVA), потеря чувствительности теста и остаточный плот принимается в дополнительном файле.

### Список литературы

1 Ghoreishi S.M., Heydari E. Extraction of epigallocatechin 3-gallate from green tea via supercritical fluid technology neural network modeling and response surface optimization, J. Supercrit. Fluids 74, (2013).- P.128-136.

2 Ghoreishi S.M., Heydari E. Extraction of epigallocatechin gallate from green tea via modified supercritical CO<sub>2</sub>: experimental, modeling and optimization, J. Supercrit. Fluids 72, (2012).- P.36-45.

3 Гафуров К.Х., Сафаров А.Ф. Математическая модель механического расчета деталей и узлов экспериментальной установки CO<sub>2</sub>-экстракции // материалы респ.конф. «Современные проблемы моделирования механических и технологических процессов основанных на высоких технологиях» - Бухара-2013.- С.262-264

4 Гафуров К.Х., Мирзаева Ш.У., Мухаммадиев Б.Т. Кинетика экстракции сверхкритической CO<sub>2</sub> с соразворителем жиросодержащих материалов из семян дыни, Бутлеровские сообщения, № 11, том 48, г. Казань, 2016.- С. 35-39.

5 Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х., Мирзаева Ш.У., Шарипова М.Ф. Скорость экстракции липидов из семян дыни сверхкритической CO<sub>2</sub> с соразворителем, Химический журнал Казахстана, Алматы, 2016.- С.169-176.

6 Мирзаева Ш.У., Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х., Рузиева К.Э., Ахмедов В.Н. Моделирование разных режимов экстракции системой растворителей этанол+CO<sub>2</sub>, Ученый XXI века, изд-во ООО «Коллоквиум», г. Йошкар-Ола, 2017.-№ 1-3- С.44-48.

7 Bogdanovich et. Al. A. Supercritical carbon dioxide extraction of *Trigonellagoenum-graccum* L. Seed`s: process optimization using response surface methodology. *The jour. Super. Fluids*.07. 2016.- P.44-50.

8 Сафаров А.Ф., Гафуров К.Х. Применение сжиженного углекислого газа как растворителя для получения экстрактов из растительного сырья (обзор). *Бухара*. 2014. -117 с.

9 Мухаммадиев Б.Т., Гафуров К.Х. Perspectives of extraction with CO<sub>2</sub>. *Развитие науки и технологий. БИТИ*. 2015.- №4. -С.153-159.

10 Ghoreishi et. al. S.M. Response surface optimization of essential oil and diosgenin extraction from *Inbutisterrestis* via supercritical fluid technology. *Chem. Ing. Technol*. 2012.- 35 (1).- P.133-141.

11 Kaufmann et. al. B. Influence of plant extraction processes. *Phytohem. Anal*. 18. 2007. -P.70-76.

12 Kraulis P., Venskutionis P.R. Optimization of supercritical carbon dioxide extraction of amaranth seeds by response surface methodology and characterization of extracts is plated from different plant cultivars. *Jour. Supercrit. Fluids*. 2013.- Vol.73.- P.178.

13 Matlab H., Sadat Z., Hezave A. Training cascade-formed back propagation network modeling of spearmint oil extraction in a packed bea using SC-CO<sub>2</sub>. *Jour. Supercrit. Fluids*. 2013.- Vol.73. -P.108.

14 Mokhtari L., Ghoreishi S.M. Supercritical carbon dioxide extraction of trans-anethole from *Foeniculum vulgare* (fennel) seeds: Optimization of operating conditions through response surface methodology and genetic algorithm *Jour. Supercrit. Fluids*. 2019. -Vol.30.- P.21.

*Б.У. Рахимова<sup>1</sup>, К.К. Кудайбергенов<sup>1</sup>, С.Х. Акназаров<sup>1</sup>, З.А. Мансуров<sup>1</sup>,  
И.С. Савицкая<sup>1</sup>, О.Ю. Головченко<sup>1</sup>, Г.Т. Смагулова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан

## **НАНОЦЕЛЛЮЛОЗА: ХАРАКТЕРИСТИКА, МОДИФИКАЦИЯ И БИОСОВМЕСТИМОСТЬ**

---

---

**Аннотация.** Наноцеллюлоза привлекла большое внимание ученых благодаря своим замечательным физико-химическим и биологическим свойствам, которые обусловили широкие возможности ее применения в биомедицине. Приводится обзор свойств и направления применения четырех различных типов наноцеллюлозы: нанокристаллы целлюлозы (КНЦ), нанофибриллы целлюлозы (НФЦ), нанокристаллоидные волокнистые целлюлозы и бактериальная целлюлоза (БЦ). На основе анализа последних научных достижений обсуждаются перспективы развития биомедицинских материалов на основе наноцеллюлозы. Особое внимание уделено отдельным исследованиям по созданию макроскопических биоматериалов из наноцеллюлозы (например, кровеносных сосудов и заменителей мягких тканей; материалов для восстановления кожи и костной ткани и антимикробных материалов). Рассмотрены отличительные особенности различных наноцеллюлоз и целлюлозы, спорные аспекты применения наноцеллюлозы в биомедицине.

**Ключевые слова:** целлюлоза, нанокристаллы целлюлозы, нанофибриллы целлюлозы, бактериальная наноцеллюлоза, нанокристаллоидная волокнистая целлюлоза, биомедицинское применение.

• • •

**Түйіндеме.** Наноцеллюлоза өзінің тамаша био-физикалық қасиеттері мен биомедицинада қолдану мүмкіндіктерінің арқасында ғалымдардың назарына ілікті. Мақалада наноцеллюлозаның төрт түрі қолданылып, қасиеттеріне шолу жасалған: нанокристалды целлюлоза (НКО), нанофибрилді целлюлоза (НФЦ), нанокристаллоидты талшықты целлюлоза және бактериялық целлюлоза (БЦ). Соңғы ғылыми жетістіктерді талдау барысында наноцеллюлоза негізінде биомедициналық материалдарды дамыту жинақталады және талқыланады. Макроскопиялық биоматериалдар деңгейінде биомедицина саласындағы наноцеллюлозаның жеке зерттеулеріне ерекше назар аударылды (мысалы, қан тамырлары мен жұмсақ ұлпаларды алмастырғыштар; тері мен сүйек тіндерін қалпына келтіруге арналған материалдар және микробқа қарсы материалдар). Түрлі наноцеллюлоза мен целлюлозаның айрықша ерекшеліктері, биомедицинада наноцеллюлозаны қолдану мәселелері қарастырылды.

**Түйінді сөздер:** целлюлоза, целлюлоза нанокристалдары, нанофибрилді целлюлоза, бактериялық наноцеллюлоза, нанокристаллоидты талшықты целлюлоза, биомедициналық қолдану.

• • •

**Abstract.** Nanocellulose attracted a great attention of scientists due to its remarkable biophysical properties and applications in Biomedicine. The article provides an overview of the properties and application of four different types of nanocellulose: cellulose nanocrystals (NCC), cellulose nanofibrils (NFC), nanocrystalloid fibrous cellulose and bacterial cellulose (BC). The development of biomedical materials based on nanocellulose is summarized and discussed based on the analysis of the latest scientific achievements. Special attention is paid to individual studies of nanocellulose in the field of Biomedicine at the level of macroscopic biomaterials (for example, blood vessels and soft tissue substitutes; materials for skin and bone restoration and antimicrobial materials). The distinctive features of different nanocellulose and cellulose, the use of nanocellulose in Biomedicine.

**Keywords:** cellulose, cellulose nanocrystals, cellulose nanofibrils, bacterial nanocellulose, nanocrystalloid fibrous cellulose, biomedical application.

**Введение.** Целлюлоза является одним из наиболее распространенных биополимеров на земле, встречается у высших растений, некоторых видов бактерий, водорослей, грибов и оболочников [1]. Такие свойства, как гидрофильность, механическая прочность, возможности химической модификации и биосовместимость, сделали целлюлозу интересным полимером для применений в биомедицине [2]. Особое внимание заслуживает наноструктурированная целлюлоза. Этот материал состоит из целлюлозных фибрилл или кристаллитов, имеющих по меньшей мере одно измерение по наноразмерной шкале. Он сочетает в себе свойства целлюлозы с особыми свойствами наноструктурированных материалов, такими как высокая удельная поверхность и отличительные структурные характеристики. В зависимости от метода обработки, используемого для получения наноматериала, свойства nanoцеллюлозы, такие как размер волокна и поверхностный заряд могут сильно различаться [3].

В последнее десятилетие в исследованиях nanoцеллюлозы произошли огромные успехи, однако, использование nanoцеллюлозы в биомедицинской области еще требуют дальнейшего развития, особенно в области взаимодействия с биологическими системами. Это, в свою очередь, будет способствовать разработке новых nanoцеллюлозных материалов для применения в биомедицинской области [4].

**Различия между целлюлозой и nanoцеллюлозой.** Природными источниками при получении целлюлозы являются волокна некоторых растений. Это сложные биоконпозиты, которые встречаются в природе. Элементарное растительное волокно представляет со-

бой отдельную ячейку, обычно длиной от 1 до 50 мкм и диаметром приблизительно 10–50 мкм. Одиночное волокно похоже на микроскопическую полую трубку, в которой стенка из клеток окружает центральный просвет. Клеточная стенка волокна состоит из внешней первичной Р–стенки и внутренней вторичной S–стенки. Тонкая Р–стенка (толщиной ~ 100–200 нм) содержит рыхлую сеть из микрофибрилл. S–стенка имеет толщину 3–6 мкм и состоит из трех слоев: S1, S2 и S3 [5–6]. Слои S1 и S3 имеют наноразмеры, а слой S2 имеет толщину примерно 2–5 мкм. Доминирующий слой S2 состоит из ряда спирально намотанных целлюлозных микрофибрилл (ЦМФ), которые ориентированы под острым углом к оси волокна (рисунок 1).

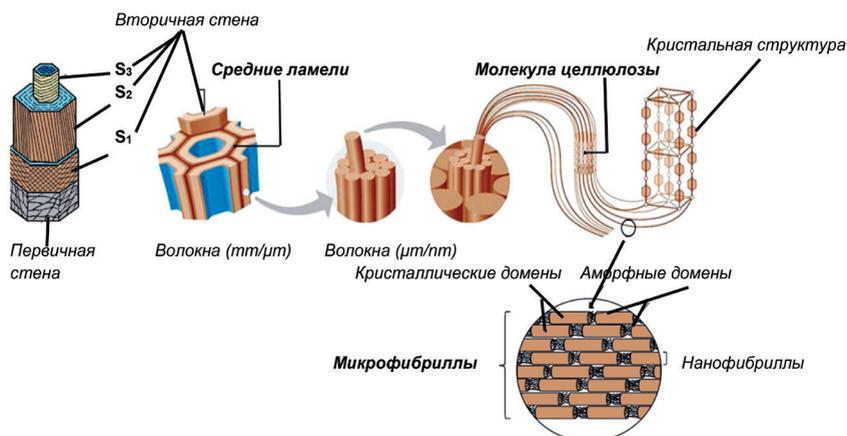


Рисунок 1 - Структура целлюлозы в клеточной стенке древесины [8].

ЦМФ – клеточная стенка, содержащая аморфную матрицу, состоящую из лигнина, гемицеллюлоз, белков, экстрактивных органических веществ и т.д. ЦМФ и гемицеллюлозы связаны друг с другом водородными связями. С другой стороны, гемицеллюлозы более прочно связаны между собой лигнином через одновалентные связи, то есть гемицеллюлозный компонент является стабилизатором между целлюлозой и лигнином. ЦМФ с диаметром в 10–30 нм, состоящий из 30–100 целлюлоз, может привести к увеличению длины молекул [5-8].

Структура и химический состав растительных волокон отличаются один от другого и зависят от вида, возраста, роста и климата.

Это приводит к значительному изменению характеристик волокон и ведёт к трудностям, связанным с установлением стандарта качества [9–11]. Изменчивость структуры и состава волокон растений вносят вклад в механические свойства и прочность целлюлозы.

Целлюлоза представляет собой полукристаллический поликарбонат, состоящий из ангидроглюкозных звеньев (АГЗ), связанных химическими  $\beta$ -1,4-гликозидными связями. Два повторяющихся АГЗ показаны на рисунке 2. Каждая такая единица содержит три гидроксильные функциональные группы: одну первичную и две вторичные группы. Благодаря экваториальному положению гидроксильных групп, АГЗ может образовывать водородные связи. Внутренние водородные связи препятствуют свободному вращению глюкопиранозных колец вокруг химических гликозидных связей, что способствует повышению прочности целлюлозных цепей [12]. Сильная система внутри- и межмолекулярных водородных связей кристаллитов делает их высокоупорядоченными, жесткими и сильными целлюлозными компонентами, недоступными для воды и химических реагентов. С другой стороны, очень слабые водородные связи в некристаллических аморфных доменах способствуют увеличению гидрофильности и доступности целлюлозных материалов.

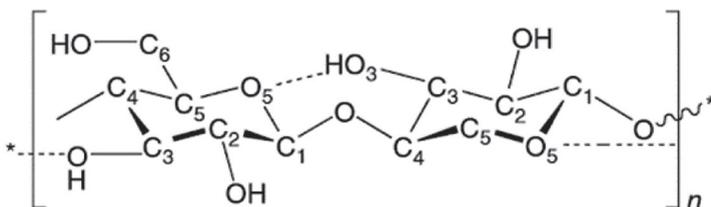


Рисунок 2 – Одно повторяющееся звено целлюлозной цепи, показывает направленность 1-4 связи и внутренней связи водорода [13].

Рентгеновские исследования подтверждают, что кристаллиты целлюлозы могут встречаться в четырех основных полиморфных формах: I, II, III и IV. Майер и Миш разработали первую модель моноклинной элементарной ячейки для кристаллической структуры нативной целлюлозы (C1). Позднее было обнаружено, что алломорф C1 может существовать в двух различных кристаллических формах: I $\alpha$ , содержащую триклинную элементарную ячейку с одной цепью, и I $\beta$ ,

содержащую моноклинную элементарную ячейку с двумя цепями. Целлюлоза I $\alpha$  и I $\beta$  сосуществуют в различных пропорциях, которые зависят от происхождения целлюлозы, например, I $\alpha$  является преобладающей формой у водорослей и бактерий, в то время как I $\beta$  является основной формой у высших растений [13-17]. Целлюлоза II может быть получена из целлюлозы I путем регенерации; считается наиболее стабильной кристаллической формой [2, 16]. Целлюлоза III $_1$  и III $_2$  может быть получена из целлюлозы I и целлюлозы II путем обработки аммиаком [18]. Целлюлоза IV может быть получена путем модификации целлюлозы III [18]. Морфология и кристаллическая структура целлюлозных фибрилл варьируется в зависимости от источника целлюлозного материала и используемого процесса экстракции; например, древесно-целлюлозные волокна имеют относительно низкое кристаллическое содержание (43–65%), в то время как кристалличность целлюлозных фибрилл, экстрагированных из водоросли могут достигать 100% [16,19]. Возможные переходы между различными полиморфами целлюлозы представлены схематически на рисунке 3.

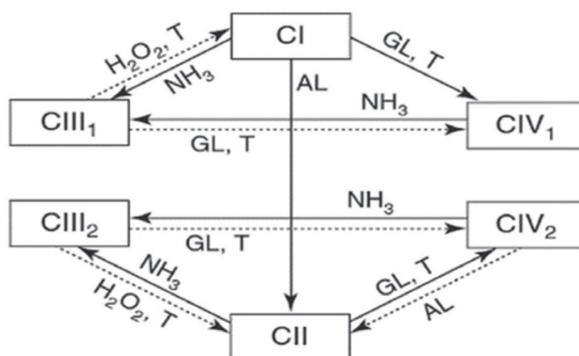


Рисунок 3 - Схема фазового перехода между различными кристаллическими алломорфами целлюлозы CI (нативная целлюлоза), CII (целлюлоза), CIII $_1$  и CIII $_2$  (целлюлоза III $_1$  и III $_2$ ) и CIV $_1$  и CIV $_2$  (целлюлоза IV $_1$  и IV $_2$ ) [20,21].

**Наноцеллюлоза** – это волокно, которое можно извлечь из целлюлозы. Особое внимание уделяется размеру наноцеллюлозного волокна, которой обычно менее 100 нм в диаметре и несколько микро-

метров в длине. Наноцеллюлоза – это биоразлагаемое нановолокно, низкой плотностью (около  $1,6 \text{ г/см}^3$ ) и высокой прочностью [20-21]. В частности, она имеет достаточно высокую жесткость до 220 ГПа. Кроме того, наноцеллюлоза обладает высокой прочностью на растяжение (до 10 ГПа), что выше, чем у чугуна, а ее отношение прочности к массе в 8 раз выше, чем у нержавеющей стали. Кроме того, наноцеллюлоза прозрачной и реакционноспособных поверхностных гидроксильных групп, функционализируется с различными поверхностными свойствами [16,22-24].

Наноцеллюлозу можно разделить на четыре основных типа: нанокристаллическая нанофибриллированная, бактериальная и нанокристаллоидная волокнистая целлюлоза. Хотя все типы схожи по химическому составу, они различаются по морфологии, размеру частиц, кристалличности и некоторым свойствам из-за различий в источниках и методах извлечения [16,18].

**Нанокристаллическая целлюлоза** - известна как нанокристаллы целлюлозы или целлюлозные нановискеры и представляет собой наноцеллюлозу с высокой прочностью, которая обычно извлекается из целлюлозной фибриллы кислотным гидролизом [22,23]. Она имеет короткое стержнеобразной формы или усов форму с 2-20 нм в диаметре и 100-500 нм в длину. Кроме того, содержит 100% химического состава целлюлозы в основном в кристаллических областях (высокая кристалличность около 54–88%) [16,18]. На рисунке 4 приведена схема получения нанокристаллической целлюлозы, которая может быть извлечена из целлюлозных фибрилл кислотным гидролизом. Аморфные части гидролизуются и удаляются кислотой, в то время как кристаллические части все еще сохраняются [23,16].

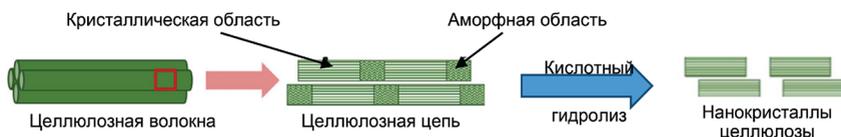


Рисунок 4 - Схема получения нанокристаллической целлюлозы, которая извлечена из целлюлозных цепей с использованием кислотный гидролиз аморфных областях

**Нанофибриллированная целлюлоза** - известна как целлюлозная микрофибрилла, микрофибриллированная целлюлоза, целлюлозное нановолокно, целлюлозная нанофибрилла, или нанофибриллярная целлюлоза, является длинной, гибкой и запутанной наноцеллюлозой, которая может быть извлечена из целлюлозных фибрилл механическими методами. Имеет длинные фибриллярные формы со 1–100 нм до 500–2000 нм в диаметре. [23,24]. Кроме того, она содержит 100% целлюлозы в химическом составе кристаллических и аморфных областях [25,26]. На рисунке 5 показана схема нанофибриллярной целлюлозы, которая извлечена из целлюлозных цепей путем отщепления волокон с действием на продольную ось, с использованием механического процесса [16]. В сравнении с нанокристаллической целлюлозой, нанофибриллированная целлюлоза имеет большую длину с высоким соотношением длины к диаметру, высокую удельную поверхность и высокий уровень гидроксильных групп, которые легко вступают в модификацию поверхности [18].

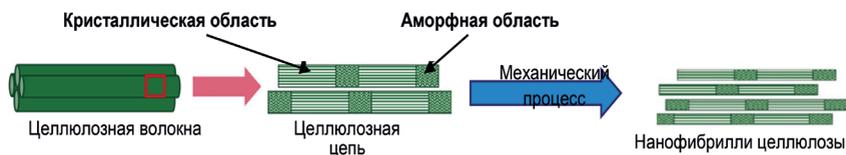


Рисунок 5 - Схема получения нанофибриллированной целлюлозы, которая может быть извлечена из целлюлозных цепей с использованием механического процесса расщепления волокна до нанометрового диаметра

**Бактериальная наноцеллюлоза** - это другой вид наноцеллюлозы, который отличается от нанокристаллической целлюлозы и нанофибриллированной целлюлозы. Нанокристаллические и нанофибриллированные целлюлозы могут извлекаться из лигноцеллюлозной биомассы (нисходящий процесс), но бактериальная наноцеллюлоза производится бактериями главным образом, с помощью *Gluconacetobacter xylinus* от нескольких дней до двух недель (восходящий процесс) [25–27]. Как таковая, бактериальная наноцеллюлоза всегда находится в чистом виде без других компонентов из лигноцеллюлозной биомассы, таких как лигнин, гемицеллюлоза, пектин и т.д. Бактериальная наноцеллюлоза имеет тот же химический состав, что и два вида других наноцеллюлоз. Морфология ее похожа на скру-

ченную ленту со средним диаметром 20–100 нм и длиной несколько микрометров с большой удельной поверхностью [25–27].

**Нанокристаллоидная волокнистая целлюлоза (НКНЦ)** - была разработана Ван де Веном и его коллегами. Она может быть извлечена из целлюлозной цепи методом химической обработки, но не кислотным гидролизом и не механическим методом. Стоит отметить, что НКНЦ состоит из цепи целлюлоз, которые могут быть расщеплены и выступают из обоих концов кристаллической области, как показано на рисунке 6 [28–29]. НКНЦ имеет высокую кристалличность в основном в виде стержня, аналогично нанокристаллической целлюлозе, но та содержит как кристаллическую так и аморфную части, подобно нанофибриллированной целлюлозе. НКНЦ состоит из различных видов производных в зависимости от его выступающих хвостов, на которые влияют различные химические реакции [28–30].

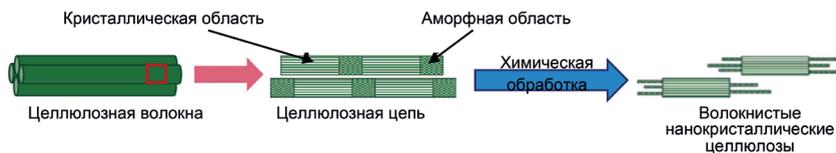


Рисунок 6 - Схема получения нанокристаллоидной волокнистой целлюлозы, которая может быть извлечена из целлюлозных цепей путем химической обработки. Аморфные части растворяются, в то время как расщепление некоторых аморфных цепей выступает на обоих концах в виде кристаллических областей.

**Модификация поверхности наноцеллюлозы.** Физико–химические свойства наноцеллюлозы могут быть изменены путем изменения характеристик удельной поверхности, которые, в свою очередь, могут быть использованы для разработки конкретных применений [31,16]. Модификация удельной поверхности нанофибрилл и нанокристаллов может быть достигнута либо путем прямой химической модификации, либо путем физического взаимодействия или адсорбцией молекул на фибриллярной или кристаллической поверхности [33].

Наноцеллюлоза может быть химически модифицирована путем введения поверхностных зарядов или ковалентно связанных молекул. Поверхностные заряды обычно вводятся во время приготовления на-

ноцеллюлозы, как часть фазы предварительной обработки, где добавление отталкивающего заряда облегчает процесс фибрилляции. Химические модификации используют преимущества гидроксильных групп на поверхности целлюлозы. Например, этерификация гидроксильных групп с помощью эпоксипропилтриметиламмоний хлорида (ЭПТМАХ) приводит к образованию гидроксипропилтриметиламмониевых (ГПТМА) групп на фибриллах наноцеллюлозы [34]. Монохлоруксусные натриевые соли превращают гидроксильные группы в карбоксиметильные группы путем ацилирования [35], в то время как опосредованное окисление обычно используется для селективного окисления гидроксильных групп целлюлозы до карбоксилатов [32,36]. Введение молекул или макромолекул через ковалентные связи при адсорбции или физическом воздействии обычно происходит позже в процессе производства с целью улучшения свойств наноцеллюлозы или достижения новых свойств [18]. Например, адсорбция поверхностно-активных веществ на поверхности наноцеллюлозы используется для улучшения ее диспергируемости в органических средах, а добавление гидрофобных молекул было изучено с целью улучшения совместимости НФЦ с неполярными полимерами [37]. Другие модификации были использованы для придания наноцеллюлозе специфических функций для использования в биомедицинских применениях.

Посредством введения флуоресцентных молекул на поверхность, наноцеллюлоза может быть преобразована в функциональную наночастицу с флуоресцентной меткой. Ожидается, что флуоресцентная модификация на наноцеллюлозе позволяет использование ее в биомедицинских областях, таких как оптическое биоизображение, биосенсор и фотодинамическая терапия. Но с другой стороны, она используется различными методами флуоресценции – наноцеллюлоза с флуоресцентной меткой легче прослеживается и оценивается на токсичность и биологическую активность в материалах. Со времени первой флуоресцентной маркировки на НКЦ с молекулой флуоресценции 50–изотиоцианата (ФИТЦ) все больше и больше исследований сосредоточены на этой теме [39]. На сегодняшний день были предприняты попытки ковалентно прикрепить различные флуоресцентные молекулы на поверхности НКЦ, в том числе ФИТЦ, изотиоцианат [38], пиреновые красители [40], терпиридин и его производные и т.д. [41–46]. На рисунке 7 приведены структуры некоторых флуоресцентных молекул, которые были привиты на НКЦ.

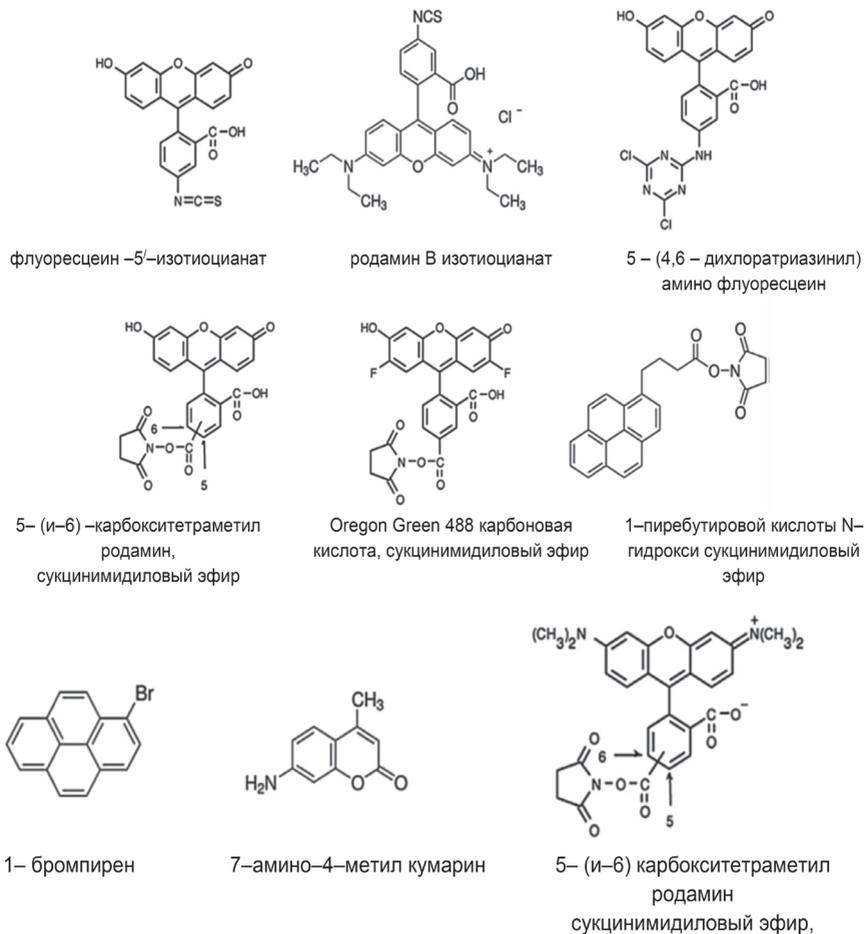


Рисунок 7 - Химическая структура некоторых флуоресцентных меченых молекул, привитых на НКЦ.

**Наноцеллюлоза в биомедицине.** Большинство исследований в области биомедицинского использования материалов на основе целлюлозы связаны с бактериальной наноцеллюлозой [47-50]. Это обусловлено тем, что по сравнению с целлюлозой из рас-

тительных источников бактериальная наноцеллюлоза обладает более высокой вододерживающей способностью, высокой кристалличностью, высокой прочностью, более высокой чистотой. Бактериальная наноцеллюлоза имеет уникальную нановолоконную морфологию, которая в некоторой степени имитирует свойства внеклеточного матрикса. Существует несколько возможных причин этого явления: производственные затраты относительно низкие по сравнению с другими биополимерами, целлюлоза широко доступна, источники устойчивы, а материал обладает высокими механическими свойствами, имеет большую удельную поверхность, представляет широкую возможность химических модификаций, является биосовместимым и не обладает токсичностью [4, 51].

**Костная ткань.** Идеальный матрикс для тканевой инженерии костной ткани должен иметь внутриразвитую пористую структуру, хорошие механические свойства и биосовместимость. Кроме того, для достижения лучшей регенерации костной ткани использование биоматрикса создает устойчивую микросреду для поддержания клеток в процессе их роста и образования ткани. Так, в исследованиях *in vitro* показана биосовместимость нанокомпозита гидроксиапатит–бактериальная наноцеллюлоза с различными клетками (клетки костного мозга, клетки почек человека, и др.) [52, 53]. Биоматериал способствует пролиферации и дифференциации клеток. Это указывает на возможность применения данного материала как в тканевой инженерии костной ткани, так и для ее регенерации. В исследовании *in vivo* показано, что мембраны нанокомпозитов гидроксиапатит–бактериальной наноцеллюлозы эффективны в регенерации дефекта бедренной кости крыс [54]. С целью улучшения свойств материалов на основе целлюлозы для использования в инженерии костной ткани были получены новые биокомпозиты наногидроксиапатит–хитозан–КМЦ [55,56] с разным содержанием КМЦ (40,30,15%). Показано, что композитный материал с содержанием КМЦ 30% – перспективный матрикс с трехмерной пористой структурой и высокой прочностью для применения в тканевой инженерии костной ткани. Это подтверждено предварительными испытаниями *in vitro* (мезенхимальные стволовые клетки и клетки остеосаркомы человека) и *in vivo* на крысах. Для использования в качестве каркаса в инженерии костной ткани также рассматривают сульфатированные сетки волоконной целлюлозы [57], обладающие хорошей механической прочностью и удерживающей способностью для дифференциации стволовых клеток костного

мозга крыс. Для улучшения инфильтрации клеток в объем матрикса из бактериальной целлюлозы применяют разные способы повышения ее пористости. Например, использование в качестве порогенов микросфер парафина или крахмала [58,59]. Полученная таким образом микропористая бактериальная наноцеллюлоза представляет потенциальный матрикс для регенерации костной ткани. Применение наноцеллюлозы в клинической практике в качестве материала для замещения костной ткани ограничено вследствие недостаточной остеоинтеграции. Модификация наноцеллюлозы, например, карбонатом стронция  $\text{SrCO}_3$ , позволила получить материал, способствующий образованию новой костной ткани [60].

**Хрящевая ткань.** Высокая прочность во влажном состоянии, пластичность, биосовместимость бактериальной наноцеллюлозы позволяют рассматривать ее в качестве перспективного материала в тканевой инженерии хрящевой ткани. Создание матриксов в инженерии хрящевой ткани важно для поддержания пролиферации клеток и обеспечения их дифференцирующей функции с целью определения формы новой растущей ткани. Была также показана перспективность бактериальной наноцеллюлозы как матрикса в инженерии хрящевой ткани [61,62] и в качестве материала для имплантата мениска [62]. Активацией нетканых волокон наноцеллюлозы в растворе  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  с последующим нанесением слоя фосфата кальция получен новый материал, который может быть использован в качестве функционального матрикса в тканевой инженерии хрящевой ткани [63].

**Кровеносные сосуды.** Разработка материалов, подходящих для замещения мягких тканей – актуальная проблема медицинского материаловедения. Материалы должны обладать сходными механическими свойствами с живой тканью, быть биосовместимыми, препятствовать образованию тромбов, иметь низкую степень кальцификации. Поэтому создание функциональных сосудистых имплантатов маленького диаметра (внутренний диаметр менее 6 мм) чрезвычайно важная проблема инженерии кровеносных сосудов. Требования к искусственным сосудам: функциональный матрикс, обеспечивающий требуемую форму и поддержку для роста клеток, пролиферация сосудистых клеток.

Уникальные свойства бактериальной наноцеллюлозы, такие как высокая пористость, прочность и биосовместимость *in vivo*, способность образовывать разные формы в процессе синтеза делают ее привлекательным и перспективным материалом в области тка-

невой инженерии кровеносных сосудов. Так, было описано получение бактериальной наноцеллюлозы в виде длинных полых труб с внутренним диаметром 1–6 мм [64,65] и применение бактериальной наноцеллюлозы трубчатой формы в качестве протеза сосуда инфра-ренальной аорты на свинках [66]. В работе [67] показано, что биоматериал, полученный из бактериальной наноцеллюлозы, может быть использован в экспериментальной микрохирургии. Высокая механическая прочность материала во влажном состоянии, высокий показатель водоудержания, низкая шероховатость внутренней поверхности максимально подходят для применения в микрохирургии кровеносных сосудов. В экспериментах на крысах был использован этот материал для замены части (4–6 мм) аорты сердца и была выявлена полная совместимость имплантата с живой тканью, что указывает на возможность применения бактериальной наноцеллюлозы для замены кровеносных сосудов. Бактериальную наноцеллюлозу использовали в тканевой инженерии в качестве потенциального каркаса для кровеносных сосудов [68]. Получены сегменты бактериальной наноцеллюлозы полый формы (длина 10 мм, внутренний диаметр 3.0–3.7 мм, толщина стенок 0.6–1.0 мм) для имплантатов при замене сердечных артерий у свиней. Установлено, что бактериальная наноцеллюлоза ускоряет *in situ* регенерацию сосудистой ткани. Также бактериальная наноцеллюлоза может быть использована для модификации поверхности синтетических материалов (например, полиэфиров медицинского класса – ПЭТФ, полициклогесан–диметилентерефталата), используемых при изготовлении сосудистых протезов [69].

**Доставка лекарств.** Целлюлоза имеет долгую историю использования в качестве вспомогательного вещества для контроля скорости высвобождения лекарств и последующей концентрации лекарств. Системы доставки лекарств на основе наноцеллюлозы, исследованные в последние годы, показали многообещающие результаты [52]. Носители лекарств на основе частиц, гидрогелей и мембран наноцеллюлозы были оценены с помощью широкого спектра лекарств и стратегий загрузки [70,71,73]. Тем не менее, потенциальное взаимодействие между наркотиками и наноцеллюлозой, влияние на стабильность лекарственного средства и влияние на высвобождение лекарственного средства все еще нуждаются в исследовании [72].

Целлюлозные материалы широко используются для иммобилизации биоактивных соединений, а также для создания систем доставки лекарственных препаратов. Целлюлозная матрица может быть

представлена эфирами nanoцеллюлозы, сополимерами и смесями полимеров на основе nanoцеллюлозы и ее производных в разных видах и формах, так как имеются сведения о применении волоконных матов АЦ, полученных методом электроспиннинга, [74-76] и мембран из бактериальной nanoцеллюлозы [77] для трансдермальной доставки лекарственных средств и биологически активных веществ [78,79]. В качестве систем доставки лекарственных средств возможно использование целлюлозосодержащих сополимеров и взаимопроникающих полимерных сеток (ВПС) и полу ВПС на основе эфиров целлюлозы. Например, сополимер целлюлозы и поли(L\_лактида) [80]; ВПС на основе КМЦ и полиакриловой кислоты [81], гидроксиэтилцеллюлозы и хитозана [82], МЦ, гидрокси пропилметилцеллюлозы и ПВС [83,84], Na КМЦ и желатина [85], полу\_ВПС на основе КМЦ и полиакриловой кислоты [86], гидроксиэтилцеллюлозы и ПВС [87].

**Ранозаживляющие повязки.** Применение nanoцеллюлозы, особенно БЦ, при лечении ран является популярной областью исследований. Мембраны БЦ обладают многими свойствами, необходимыми для идеальной повязки для ухода за раной (например, высокая влагоудерживающая способность, высокая эластичность и высокая механическая прочность) [88,89]. Было выпущено несколько коммерческих продуктов для обработки ран на основе БЦ, таких как XCell®, Bioprocess® и Biofill® [4]. Было предложено использование НФЦ для лечения ран [90,91]; однако исследования все еще находятся на фундаментальной стадии.

**Антимикробные материалы.** Интерес к использованию nanoцеллюлозы для лечения или профилактики бактериальных инфекций основан на том факте, что она может обеспечить пористую сеть, полезную для потенциального переноса антибиотиков, и может также действовать в качестве физического барьера [51]. Поскольку сама nanoцеллюлоза не обладает антимикробными свойствами, необходимо вводить антимикробные агенты (например, наночастицы серебра, лизоцим). Другой подход состоит в том, чтобы химически модифицировать nanoцеллюлозный материал для получения желаемого антимикробного эффекта. Некоторые примеры исследованных материалов на основе nanoцеллюлозы с антимикробной активностью включают: нановолоконные ткани на основе ацетата целлюлозы, содержащие антимикробный агент N-галамин [92], аминоалкил-привитые пленки БЦ [88], наногибридные материалы с НКЦ, содержащие дендритное наноструктурированное серебро [93] и аминок- модифи-

цированный НФЦ [94]. Изучение биосовместимости nanoцеллюлозы становится обязательным, если необходимо изучить использование nanoцеллюлозы в медицинских целях, таких как описанные выше.

**Заключение.** Nanoцеллюлоза является биоразлагаемой, легко доступной и относительно дешевой. Потребность и спрос на биоразлагаемые и устойчивые природные ресурсы привели к исследованию методов производства и использования nanoцеллюлозы. Nanoцеллюлоза различной формы была произведена с использованием различных прекурсоров и различных методов (химических и механических). Эти nanoцеллюлозы с улучшенными свойствами имеют широкое применение в области биомедицины. Nanoцеллюлозы также использовались в качестве полимерных нанокомпозитов. Большие надежды исследователей связаны с nanoцеллюлозой, которая благодаря своим уникальным свойствам является перспективной для создания бионанокомпозиционных материалов. Химическая модификация nanoцеллюлозы может существенно расширить области ее использования, например, в качестве наносистем для диагностики и терапии особо опасных заболеваний.

### Список литературы

- 1 *Siro I, Plackett D.* Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 2010;17:459–94.
- 2 *Klemm D, Heublein B, Fink HP, Bohn A.* Cellulose: Fascinating biopolymer and Sustainable raw material. *Angew Chem Int Edit* 2005;44:3358–93
- 3 *Habibi Y, Lucia LA, Rojas OJ.* Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. *Chem Rev* 2010;110:3479–500.
- 4 *Jorfi M, Foster EJ.* Recent advances in nanocellulose for biomedical applications. *J Appl Polym Sci* 2015;132.
- 5 *Ioelovich, M.* (2008) Cellulose as a nanostructured polymer: a short review. *Bioresources*, 3 (4), 1403–1418.
- 6 *Ioelovich, M.* (2013) *Plant Biomass as a Renewable Source of Biofuels and Biochemicals*, Saarbrücken Lap Lambert Academic Publishing.
- 7 *Ioelovich, M.* (2013) Nanoparticles of amorphous cellulose and their properties. *Am. J. Nanosci. Nanotechnol.*, 1 (1), 41–45.
- 8 *Preston, R.D.* (1974) *The Physical Biology of Plant Cell Walls*, Chapman & Hall, London.
- 9 *Mariano, M., El Kissi, N., and Dufresne, A.* (2014) Cellulose nanocrystals and related nanocomposites: review of some properties and challenges. *J. Polym. Sci., Part B: Polym. Phys.*, 52, 791–806.

10 de Menezes, A.J., Siqueira, G., Curvelo, A.A.S., and Dufresne, A. (2009) Extrusion and characterization of functionalized cellulose whiskers reinforced polyethylene nanocomposites. *Polymer*, 50 (19), 4552–4563.

11 Kalia, S., Dufresne, A., Cherian, B.M., Kaith, B.S., Avirous, L., Njuguna, J., and Nassiopoulou, E. (2011) Cellulose-based bio- and nanocomposites: a review. *Int. J. Polym. Sci.*, 2011, 1–35.

12 Dufresne, A. (2012) Nano-cellulose: from Nature to High Performance Tailored Materials, Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, MA.

13 Moon, R.J., Martini, A., Nairn, J., Simonsen, J., and Youngblood, J. (2011) Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chem. Soc. Rev.*, 40 (7), 3941–3994.

14 Mtibe, A., Linda, Z., Liganisoa, L.Z., Mathew, A.P., Oksman, K., John, M.J., and Anandjiwala, R.D. (2015) A comparative study on properties of micro and nanopapers produced from cellulose and cellulose nanofibers. *Carbohydr. Polym.*, 118, 1–8.

15 Zimmermann, T., Pohlerand, E., and Geiger, T. (2004) Cellulose fibrils for polymer reinforcement. *Adv. Eng. Mater.*, 9 (6), 754–761.

16 Moon RJ, Martini A, Nairn J, Simonsen J, Youngblood J. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chem Soc Rev* 2011;40:3941–94.

17 Atalla RH, Vanderhart DL. Native cellulose: a composite of two distinct crystalline forms. *Science* 1984;223:283–5.

18 Lavoine N, Desloges I, Dufresne A, Bras J. Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydr Polym* 2012;90:735–64.

19 Ninan N, Muthiah M, Park IK, Elaine A, Thomas S, Grohens Y. Pectin/carboxymethyl cellulose/microfibrillated cellulose composite scaffolds for tissue engineering. *Carbohydr Polym* 2013;98:877–85.

20 Zugenmaier, P. (2001) Conformation and packing of various crystalline cellulose fibers. *Prog. Polym. Sci.*, 26 (9), 1341–1417.

21 Zugenmaier, P. (2008) *Crystalline Cellulose and Cellulose Derivatives: Characterization and Structures*, Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.

22 A. Dufresne, Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial, *Mater. Today* 16(2013) 220–227.

23 A. Dufresne, Nanocellulose: potential reinforcement in composites, *Nat. Polym.*, Vol. 2: Nanocompos. 2 (2012) 1–32.

24 H.P.S. Abdul Khalil, A.H. Bhat, A.F. Ireana Yusra, Green composites from sustainable cellulose nanofibrils: a review, *Carbohydr. Polym.* 87 (2012) 963–979.

25 T. Abitbol, A. Rivkin, Y. Cao, Y. Nevo, E. Abraham, T. Ben-Shalom, S. Lapidot, O. Shoseyov, Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications, *Curr. Opin. Biotechnol.* 39 (2016) 76–88.

26 O. Nechyporchuk, M. Belgacem, J. Bras, Production of cellulose nanofibrils: a review of recent advances, *Ind. Crops Prod.* 93 (2016) 2–25.

27 A. Jozala, L. Lencastre–Novaes, A. Lopes, V. Santos–Ebinuma, P. Mazzola, A. Pessoa–Jr, D. Grotto, M. Gerenutti, M. Chaud, Bacterial nanocellulose production and application: a 10–year overview, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 100 (2016) 2063–2072.

28 T. van de Ven, A. Sheikhi, Hairy cellulose nanocrystalloids: a novel class of nanocellulose, *Nanoscale* 8 (2016) 15101–15114.

29 H. Yang, T. van de Ven, Preparation of hairy cationic nanocrystalline cellulose, *Cellulose* 23 (2016) 1791–1801.

30 A. Tejado, M. Alam, M. Antal, H. Yang, T. van de Ven, Energy requirements for the disintegration of cellulose fibers into cellulose nanofibers, *Cellulose* 19 (2012) 831–842.

31 Klemm D, Schumann D, Kramer F, Hessler N, Hornung M, Schmauder HP, et al. Nanocelluloses as innovative polymers in research and application. *Adv Polym Sci* 2006;205:49–96.

32 Isogai A, Saito T, Fukuzumi H. TEMPO–oxidized cellulose nanofibers. *Nanoscale* 2011;3:71–85.

33 Missoum K, Belgacem MN, Bras J. Nanofibrillated Cellulose Surface Modification: A Review. *Materials* 2013;6:1745–66.

34 Hasani M, Cranston ED, Westman G, Gray DG. Cationic surface functionalization of cellulose nanocrystals. *Soft Matter* 2008;4:2238–44.

35 Eyholzer C, Tingaut P, Zimmermann T, Oksman K. Dispersion and Reinforcing Potential of Carboxymethylated Nanofibrillated Cellulose Powders Modified with 1–Hexanol in Extruded Poly(Lactic Acid) (PLA) Composites. *J Polym Environ* 2012;20:1052–62.

36 Saito T, Kimura S, Nishiyama Y, Isogai A. Cellulose nanofibers prepared by TEMPO–mediated oxidation of native cellulose. *Biomacromolecules* 2007;8:2485–91.

37 Siqueira G, Bras J, Dufresne A. Cellulose Whiskers versus Microfibrils: Influence of the Nature of the Nanoparticle and its Surface Functionalization on the Thermal and Mechanical Properties of Nanocomposites. *Biomacromolecules* 2009;10:425–32.

38 Mahmoud KA, Mena JA, Male KB, Hrapovic S, Kamen A, Luong JHT. Effect of surface charge on the cellular uptake and cytotoxicity of fluorescently labeled cellulose nanocrystals. *ACS Appl Mater Interfaces* 2010;2:2924–32.

39 Dong S, Roman M. Fluorescently labeled cellulose nanocrystals for bioimaging applications. *J Am Chem Soc* 2007;129:13810–1.

40 Zhang L, Li Q, Zhou J, Zhang L. Synthesis and photophysical behavior of pyrene–bearing cellulose nanocrystals for Fe<sup>3+</sup> sensing. *Macromol Chem Phys* 2012;213:1612–7.

41 Hassan ML, Moorefield CM, Elbatal HS, Newkomeb GR, Modarelli DA, Romano NC. Fluorescent cellulose nanocrystals via supramolecular assembly of terpyridine-modified cellulose nanocrystals and terpyridine-modified perylene. *Mater Sci Eng B* 2012;177:350–8.

42 Yang Q, Pan X. A facile approach for fabricating fluorescent cellulose. *J Appl Polym Sci* 2010;117:3639–44.

43 Nielsen LJ, Eyley S, Thielemans W, Aylott JW. Dual fluorescent labelling of cellulose nanocrystals for pH sensing. *Chem Commun* 2010;46:8929–31.

44 Drogat N, Granet R, Morvan CL, Begaud-Grimaud G, Krausz P, Sol V. Chlorin-PEI-labeled cellulose nanocrystals: synthesis, characterization and potential application in PDT. *Bioorg Med Chem Lett* 2012;22:3648–52.

45 Abitbol T, Palermo A, Moran-Mirabal JM, Cranston ED. Fluorescent labeling and characterization of cellulose nanocrystals with varying charge contents. *Biomacromolecules* 2013;14:3278–84.

46 Huang J-L, Li C-J, Gray DG. Cellulose nanocrystals incorporating fluorescent methylcoumarin groups. *ACS Sustain Chem Eng* 2013;1:1160–4.

47 Czaja W.K., Young D.J., Kawecki M., Brown R.M. // *Biomacromolecules*. 2007. V. 8. № 1. P. 1.

48 Petersen N., Gatenholm P. // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2011. V. 91. № 5. P. 1277.

49 Czaja W., Krystynowicz A., Kawecki M., Wysota K., Sakiel S., Wroblewski P., Glik J., Nowak M., Bielecki S. // *Cellulose: Molecular and Structural Biology* / Ed. by R.M. Brown, I.M. Saxena. Berlin: Springer, 2007. Ch. 17.

50 Czaja W., Krystynowicz A., Bielecki S. // *Biomaterials*. 2006. V. 27. № 2. P. 145.

51 Lin N, Dufresne A. Nanocellulose in biomedicine: Current status and future prospect. *Eur Polym J* 2014;59:302–25.

52 Fang B., Wan Y.Z., Tang T.T., Gao C., Dai K.R. // *Tissue Eng. A*. 2009. V. 15. № 5. P. 1091.

53 Zimmermann K.A., LeBlanc J.M., Sheets K.T., Fox R.W., Gatenholm P. // *Mater. Sci. Eng. C*. 2011. V. 31. № 1. P. 43.

54 Saska S., Barud H.S., Gaspar A.M.M., Marchetto R., Ribeiro S.J.L., Messaddeq Y. // *Int. J. Biomater.* 2011. V. 2011. Article ID 175362.

55 Jiang L., Li Y., Wang X., Zhang L., Wen J., Gong M. // *Carbohydr. Polym.* 2008. V. 74. № 3. P. 680.

56 Jiang L., Li Y., Chengdong X. // *J. Biomed. Sci.* 2009. V. 16. P.65.

57 Filion T.M., Kutikov A., Song J. // *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2011. V. 21. № 17. P. 5067.

58 Zaborowska M., Bodin A., Backdahl H., Popp J., Goldstein A., Gatenholm P. // *Acta Biomater.* 2010. V. 6. № 7. P. 2540.

- 59 Backdahl H., Esguerra M., Delbro D., Risberg B., Gatenholm P. // *J. Tissue Eng. Regen. Med.* 2008. V. 2. № 6. P. 320.
- 60 Brandt H., Muller F.A., Greil P. // *Cellulose.* 2008. V. 15. № 2. P. 275.
- 61 Svensson A., Nicklasson E., Harrah T., Panilaitis B., Kaplan D.L., Brittberg M., Gatenholm P. // *Biomaterials.* 2005. V. 26. № 4. P. 419.
- 62 Frank A. Muller F.A., Muller L., Hofmann I., Greil P., Wenzel M.M., Staudenmaier R. // *Biomaterials.* 2006. V. 27. № 21. P. 3955.
- 63 Bodin A., Concaro S., Brittberg M., Gatenholm P. // *J. Tissue Eng. Regen. Med.* 2007. V. 1. № 1. P. 406.
- 64 Eur. Pat. 0396344. 1990.
- 65 Klemm D., Udhardt U., Marsch S., Schumann D. Pat. 2003/0013163 USA. 2003.
- 66 Backdahl H., Risberg B., Gatenholm P. // *Mater. Sci. Eng. C.* 2011. V. 31. № 1. P. 14.
- 67 Klemm D., Schumann D., Udhardt U., Marsch S. // *Progr. Polym. Sci.* 2001. V. 26. № 9. P. 1561.
- 68 Wippermann J., Schumann D., Klemm D., Kosmehl H., Salehi:Gelani S., Wahlers T. // *Eur. J. Vasc. Endovasc. Surg.* 2009. V. 37. № 5. P. 592.
- 69 Charpentier P.A., Maguire A., Wan W. // *Appl. Surf. Sci.* 2006. V. 252. № 18. P. 6360.
- 70 Cozzolino CA, Nilsson F, Iotti M, Sacchi B, Piga A, Farris S. Exploiting the nano-sized features of microfibrillated cellulose (MFC) for the development of controlled-release packaging. *Colloid Surface B* 2013;110:208–16.
- 71 Xiang C, Taylor AG, Hinstroza JP, Frey MW. Controlled release of nonionic compounds from poly (lactic acid)/cellulose nanocrystal nanocomposite fibers. *J Appl Polym Sci* 2013;127:79–86.
- 72 Kolakovic R, Peltonen L, Laukkanen A, Hellman M, Laaksonen P, Linder MB, et al. Evaluation of drug interactions with nanofibrillar cellulose. *Eur J Pharm Biopharm* 2013;85:1238–44.
- 73 Mihranyan A, Andersson SB, Ek R. Sorption of nicotine to cellulose powders. *Eur J Pharm Sci* 2004;22:279–86.
- 74 Suwanton O., Opanasopit P., Ruktanonchai U., Supaphol P. // *Polymer.* 2007. V. 48. № 26. P. 7546.
- 75 Taepaiboon P., Rungsardthong U., Supaphol P. // *Eur. J. Pharm. Biopharm.* 2007. V. 67. № 2. P. 387.
- 76 Suwanton O., Opanasopit P., Ruktanonchai U., Supaphol P. // *Polymer.* 2007. V. 48. P. 7546.
- 77 Trovatti E., Silva N.H.C.S., Duarte I.F., Rosado C.F., Almeida I.F., Costa P., Freire C.S.R., Silvestre A.J.D., Pascoal Neto C. // *Biomacromolecules.* 2011. V. 12. №11. P. 4162.
- 78 Gong K., Rehman I.U., Darr J.A. // *J. Pharm. Biomed. Anal.* 2008. V. 48. № 4. P. 1112.

79 Hussain M.A. // J. Polym. Sci., Polym. Chem. 2008.V. 46. № 2. P. 747.

80 Dong H., Xu Q., Li Y., Mo S., Cai S., Liu L. // Colloids Surf. B. 2008. V. 66. № 1. P. 26.

81 Bajpai A.K., Mishra A. // Polym. Int. 2005. V. 54. №10. P. 1347.

82 Angadi S.C., Manjeshwar L.S., Aminabhavi T.M. // Int. J. Biol. Macromol. 2010. V. 47. № 2. P. 171.

83 Sullad A.G., Manjeshwar L.S., Aminabhavi T.M. // J. Appl. Polym. Sci. 2010. V. 116. № 2. P. 1226.

84 Yerri Swamy B., Venkata Prasad C., Reedy C.L.N., Mallikarjuna B., Chowdoji Rao K., Subha M.C.S. //Cellulose. 2011. V. 18. № 2. P. 349.

85 Rokhade A.P., Agnihotri S.A., Patil S.A., Mallikarjuna N.N., Kulkarni P.V., Aminabhavi T.M. //Carbohydr. Polym. 2006. V. 65. № 3. P. 243.

86 Bajpai A.K., Mishra A. // J. Mater. Sci. Mater. Med.2008. V. 19. № 5. P. 2121.

87 Sullad A.G., Manjeshwar L.S., Aminabhavi T.M. //J. Appl. Polym. Sci. 2010. V. 117. № 3. P. 1361.

88 Fernandes SCM, Sadocco P, Aonso-Varona A, Palomares T, Eceiza A, Silvestre AJD, et al. Bioinspired Antimicrobial and Biocompatible Bacterial Cellulose Membranes Obtained by Surface Functionalization with Aminoalkyl Groups. *ACS Appl Mater Inter* 2013;5:3290–7.

89 Czaja WK, Young DJ, Kawecki M, Brown RM. The future prospects of microbial cellulose in biomedical applications. *Biomacromolecules* 2007;8:1–12.

90 Alexandrescu L, Syverud K, Gatti A, Chinga-Carrasco G. Cytotoxicity tests of cellulose nanofibril-based structures. *Cellulose* 2013;20:1765–75.

91 Kollar P, Závalová V, Hošek J, Havelka P, Sopuch T, Karpíšek M, et al. Cytotoxicity and effects on inflammatory response of modified types of cellulose in macrophage-like THP-1 cells. *Int Immunopharmacol* 2011;11:997–1001.

92 Sun XB, Zhang LF, Cao ZB, Deng Y, Liu L, Fong H, et al. Electrospun Composite Nanofiber Fabrics Containing Uniformly Dispersed Antimicrobial Agents As an Innovative Type of Polymeric Materials with Superior Antimicrobial Efficacy. *ACS Appl Mater Inter* 2010;2:952–6.

93 Xiong R, Lu CH, Zhang W, Zhou ZH, Zhang XX. Facile synthesis of tunable silver nanostructures for antibacterial application using cellulose nanocrystals. *Carbohydr Polym* 2013;95:214–9.

94 Roemhild K, Wiegand C, Hipler UC, Heinze T. Novel Bioactive Amino Functionalized Cellulose Nanofibers. *Macromol Rapid Comm* 2013;34:1767–71.

*В.М Юров<sup>1</sup>, А.Ш. Сыздыкова<sup>2</sup>, А.С. Балтабеков<sup>1</sup>,  
Е.С. Платонова<sup>2</sup>, С.А. Гученко<sup>1</sup>, В.Ч. Лауринас<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Карагандинский государственный университет им. Е.А. Букетова,  
г.Караганда, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский государственный технический университет,  
г. Караганда, Казахстан

---

---

## **МНОГОЭЛЕМЕНТНЫЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЙ КАЗАХСТАНА**

---

---

**Аннотация.** Ограниченность материальных средств в промышленном производстве ставит актуальную задачу создания новых технологий, увеличивающих ресурс работы деталей узлов и механизмов, особенно работающих в экстремальных условиях высоких температур и абразивного износа. Уже в 80-х годах прошлого века стало ясно, что нужно идти не по пути создания специальных сталей и сплавов, а использовать самые современные технологии нанесения покрытий и модификации поверхности деталей различными энергетическими воздействиями. В настоящее время наибольшее распространение получили однофазные покрытия на основе нитридов титана и некоторых других металлов. В тоже время начаты работы по исследованию многоэлементных покрытий, которые обладают рядом уникальных свойств, которые невозможно получить методами традиционной металлургии. Исследование таких покрытий и их свойств (структурных, физико-механических, термических и т.д.) является актуальной задачей практического материаловедения и реального производства.

**Ключевые слова:** защитное покрытие металла, нанокристаллическое покрытие, антикоррозионное покрытие, жаростойкое покрытие, многоэлементное покрытие.

• • •

**Түйіндеме.** Өнеркәсіптік өндірістегі материалдық құралдардың шектеулілігі тораптар мен тетіктердің, әсіресе жоғары температура мен абразивтік тозудың экстремалды жағдайларында жұмыс істейтін бөлшектердің жұмыс ресурсын ұлғайтатын жаңа технологиялар жасаудың өзекті міндетін алға қояды. Өткен ғасырдың 80-ші жылдарында арнайы болаттар мен қорытпаларды жасау жолымен емес, оларға қаптамаларды қаптаудың ең заманауи технологияларын және бөлшектердің бетін түрлі энергетикалық әсерлер-

мен түрлендіруді пайдалану қажеттігі айқын бола бастады. Қазіргі уақытта титан нитридтеріне және кейбір басқа металдарға негізделген бір фазалық қаптамалар көп таралған. Сонымен қатар, дәстүрлі металлургия әдістерімен алынуы мүмкін емес бірнеше қасиетке ие көп элементті қаптамаларды зерттеу жұмыстары басталды. Мұндай қаптамаларды және олардың қасиеттерін зерттеу (құрылымдық, физикалық-механикалық, жылу және т.б.) тәжірибелік материалтану мен нақты өндірістің өзекті міндеті болып табылады.

**Түйінді сөздер:** металл қорғағыш жабыны, нанокристалды жабыны, коррозияға қарсы жабыны, ыстыққа төзімді жабыны, көп элементті жабыны.

• • •

**Abstract.** The limited material resources in industrial production poses the urgent task of creating new technologies that increase the service life of parts of components and mechanisms, especially those working under extreme conditions of high temperatures and abrasive wear. As early as in the 1980s, it became clear that it was not necessary to follow the path of creating special steels and alloys, but to use the most modern technologies for applying coatings and modifying the surface of parts deploying various energetic treatments. Currently, the most common ones are single-phase coatings based on titanium nitrides and some other metals. At the same time, they began studying multi-element coatings, which have a number of unique properties that can not be obtained by the methods of traditional metallurgy. The study of such coatings and their properties (structural, physicomechanical, thermal, etc.) is an urgent task of practical materials science and real production.

**Keywords:** multi-element coating, structure, microhardness, friction, surface, plasma, magnetron.

**Введение.** Цель работы - показать и заинтересовать казахстанские предприятия возможностью технологии нанесения сверхтвердых нанокристаллических покрытий с высокими показателями износостойкости и термостабильности на детали механизмов и машин энергетического, горно-добывающего комплексов, машиностроения, а также нанесения антикоррозионных, антифрикционных, жаростойких и других специальных покрытий на детали механизмов и машин указанных выше отраслей народного хозяйства. Ранее была подробно описана технология нанесения антикоррозионных покрытий на детали горношахтного оборудования [1]. В промышленном секторе Казахстана ощущается дефицит специальных сталей и сплавов, которые могли бы отвечать возрастающим потребностям производства

с возрастающими технологическими нагрузками, иногда приближающимися к экстремальным (высокие температуры, давления, удары и пр.). В то же время износу подвергается только поверхностный слой детали (составляющий иногда несколько микрон), а в отход производства отправляются целые тонны дефицитного металла.

Уже в конце прошлого века во всех промышленно развитых странах началось сокращение производства специальных сталей, и вместо этого начали развиваться технологии нанесения специальных покрытий на более дешевые сорта стали [2-8]. Это только малая толика этих публикаций. Чтобы не отвлекаться при изложении затронутого вопроса, основные публикации приведены в работах [9-13].

**Методы исследования.** Ионно-плазменные покрытия наносились на установке ННВ-6.6ИИ на модельные образцы и реальные детали. Для получения многоэлементных покрытий использовалось одновременное распыление катодов различного химического состава. В исследованиях использовался оптический металлографический микроскоп «Эпиквант». Электронно-микроскопическое исследование проводилось на растровом электронном микроскопе MIRA 3 фирмы TESCAN. Детектор вторичных электронов позволяет получать изображения с топографическим контрастом. А система рентгеновского энергодисперсионного микроанализа

X-Act позволяет локально определять элементный состав на поверхности образца. Исследование фазового состава и структурных параметров образцов проводилось на дифрактометре XRD-6000 на  $\text{CuK}\alpha$ -излучении. Измерение толщины покрытий проводилось с помощью многофункционального растрового электронного микроскопа с интегрированной системой фокусированного ионного пучка Quanta 200 3D. Для исследования поверхности покрытий в наномасштабе использовался атомно-силовой микроскоп NT-206. Микротвердость определялась на микроскопе HVS-1000A. Для определения нанотвердости полученных покрытий использовалась зондовая лаборатория Ntegra с индентором Берковича.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На рисунке 1 в качестве примера, показаны, АСМ, а на рисунке 2 – РЭМ покрытий Cr-Ni-Ti-Fe+Al, полученные в среде аргона и азота. На рисунке 3 показаны РФЭС покрытия, полученные в среде аргона и азота.

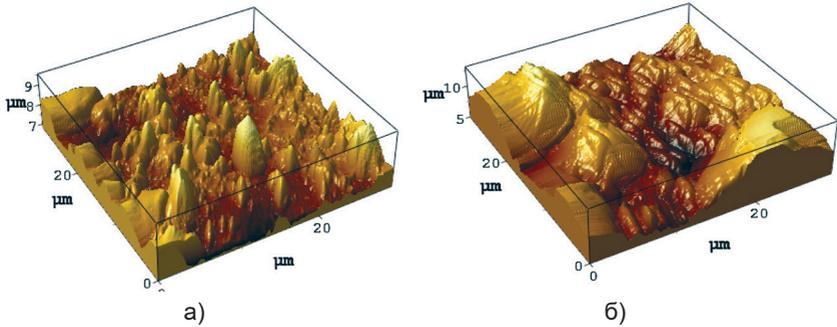


Рисунок 1 - АСМ-изображения покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Al в среде аргона (а) и азота (б)

Сравнивая АСМ-изображения покрытий, легированных Zr и Al, видим, что формирование структуры покрытий происходит по одному и тому же механизму.

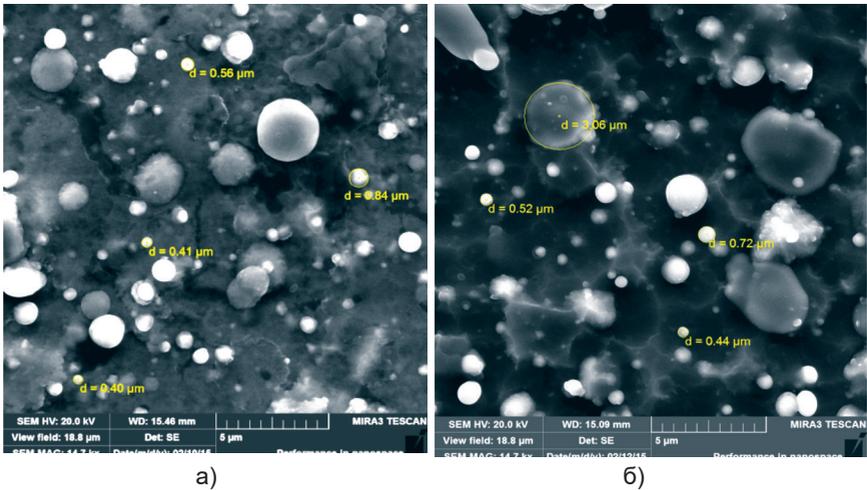


Рисунок 2 - REM-изображения покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Al в среде аргона (а) и азота (б)

В таблице 1 приведены значения микротвердости  $\mu$  и коэффициента  $f$  трения для покрытий, полученных при различных временах  $t$  напыления.

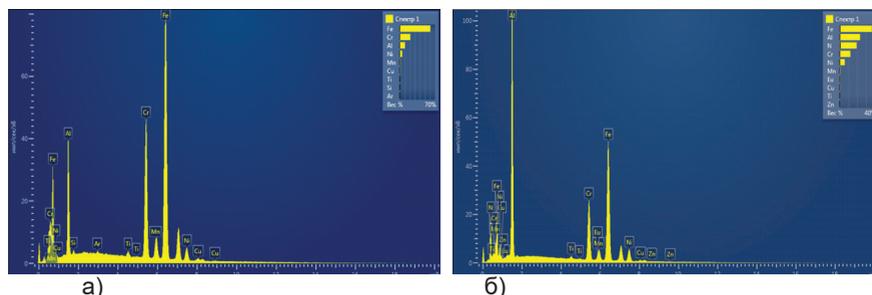


Рисунок 3 - РФЭС покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Al в среде аргона (а) и азота (б)

**Таблица 1 - Микротвердость и коэффициенты трения покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Al**

| Покрытие               | t, мин. | $\mu$ , МПа | f (по меди) | f (по алюминию) |
|------------------------|---------|-------------|-------------|-----------------|
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (аргон) | 10      | 292,5       | 0,193       | 0,264           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (аргон) | 20      | 356,7       | 0,198       | 0,323           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (аргон) | 30      | 393,5       | 0,203       | 0,367           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (аргон) | 40      | 416,2       | 0,206       | 0,426           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (азот)  | 10      | 391,7       | 0,230       | 0,325           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (азот)  | 20      | 404,7       | 0,263       | 0,366           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (азот)  | 30      | 436,9       | 0,283       | 0,374           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al (азот)  | 40      | 474,4       | 0,294       | 0,337           |

Современный уровень развития машиностроения в промышленно развитых странах характеризуется переходом от традиционных высокотемпературных видов химико-термической обработки, таких как цементация и нитроцементация, к процессам азотирования. Этому в существенной степени способствуют новые разработки в области ионно-плазменного азотирования (ИПА), которые позволяют избавиться от таких недостатков газового азотирования, как большая длительность и трудоемкость процесса, повышенная хрупкость слоя, недостаточная контактная выносливость упрочненного материала, нестабильность получаемых результатов. Параметром, характеризующим интенсивность процесса ИПА, является плотность потока диффундирующего в сталь азота, которая является функцией параметров разряда (плотности тока и напряжения) и заданного расхода азота и может изменяться в ходе процесса по любому алгоритму в зависимости от марки стали и требований к азотированному слою. Для каждой марки стали существует определённый диапазон значений плотности потока азота, обеспечи-

вающий предельную концентрацию азота в  $\alpha$ -твёрдом растворе. При этом на поверхности не образуется нитридный  $\gamma'$ -слой, замедляющий диффузию азота вглубь металла. Получение в поверхностном слое стали предельной (по растворимости) концентрации азота  $C_{\alpha}^N$  обеспечивает ускоренный рост зоны внутреннего азотирования. С другой стороны, в зависимости от температуры процесса и суммарной площади поверхности изделий, заданной плотности потока азота соответствует определённое время, в течение которого азот эффективно поглощается поверхностью деталей без образования белого слоя. Проводилось азотирование с использованием плазмогенератора ПИНК на установке ННВ-6.6 И1 при мощности разряда - 15 кВт, при этом максимальное напряжение горения разряда не более 700 В. Температура детали или подложки поддерживалась равной 400°C. Полученные результаты представлены в таблице 2. Из данной таблицы видно, что азотирование покрытий приводит к увеличению микротвёрдости в среднем на 30%.

**Таблица 2 - Микротвёрдость покрытия до и после азотирования**

| Покрытие               | Микротвёрдость, МПа |                    |
|------------------------|---------------------|--------------------|
|                        | до азотирования     | после азотирования |
| Cr-Ni-Ti-Fe Zr         | 477,2               | 630,0              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Cu-Al) | 406,3               | 520,1              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al)    | 474,4               | 621,5              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Fe-Al)    | 401,9               | 530,6              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Cu         | 543,1               | 695,2              |

Основное влияние ионной бомбардировки на свойства покрытий осуществляется на стадии их зарождения вследствие релаксации напряжений в области ионного удара и перестройки кристаллической структуры. При этом на поверхности образуются точечные дефекты, которые являются активными центрами адсорбции. Важную роль также играет, подвижность адатомов на поверхности (поверхностная диффузия), которая усиливается при низкоэнергетической бомбардировке растущей пленки ионами инертного газа.

Облучение покрытий ионами аргона проводилось с помощью многоамперного источника ионов с полым катодом. Ток в дуге составлял 1 А, а потенциал на подложке поддерживался равным 300 В. Результаты эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Микротвердость покрытия до и после облучения

| Покрытие               | Микротвердость, МПа |                 |
|------------------------|---------------------|-----------------|
|                        | до облучения        | после облучения |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Zr         | 477,2               | 514,8           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Cu-Al) | 406,3               | 485,2           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al)    | 474,4               | 476,1           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Fe-Al)    | 401,9               | 475,6           |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Cu         | 543,1               | 585,7           |

Увеличить количество образующихся точечных дефектов можно либо увеличением энергии потока ионов, либо увеличением плотности тока ионов. Одновременно с образованием дефектов идет и обратный процесс их рекомбинации – «отжиг», который снижает концентрацию дефектов. В результате этих двух процессов устанавливается равновесное количество центров зародышеобразования, на которое можно влиять, изменяя параметры ионного облучения.

Из таблицы 3 следует, что кроме покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) микротвердость остальных покрытий возрастает. Однако увеличение микротвердости меньше, чем при азотировании. Покрытие Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) оказывается «радиационно стойким», что может быть использовано при строительстве атомных электростанций, где широко используется сталь 12X18H10T. Такое поведение покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) связывается с его ярко выраженной глобулярной структурой. Наличие такой системы «шаров» приводит к упругому рассеянию ионов аргона, так что локальная деформация оказывается незначительной.

Проблема повышения надёжности исполнительных механизмов приборов в таких условиях тесно связана с вопросами триботехники, с исследованиями контактного взаимодействия взаимно перемещающихся твёрдых тел, в результате которого в зоне контакта возникают силы трения. Современная трибология располагает рядом фундаментальных теоретических и экспериментальных закономерностей, которые, могут позволить в ближайшие годы успешно решать задачи в области сухого трения. На сегодняшний день особое внимание уделяется таким разделам и направлениям трибологии и триботехники как:

- разработка научных основ и практических рекомендаций, необходимых для создания износостойких антифрикционных материалов, новых технологий упрочнения и нанесения покрытий;

- создание и оптимальное использование универсальных и целевых установок машин трения при исследованиях по трибологии и в практических задачах триботехники для оценки и выбора оптимальных материалов в конкретных служебных условиях.

В связи с указанными выше направлениями на передний план выдвигаются следующие проблемы:

- повышение работоспособности материалов и узлов трения в широком диапазоне температур;

- обеспечение минимального сопротивления движению деталей подшипников скольжения;

- обеспечение экономически целесообразной долговечности узлов трения или, по возможности, равной износостойкости по сравнению с другими частями приборов при работе в различных средах;

- обеспечение минимальной разницы коэффициентов трения покоя и движения, уменьшение их величины до минимума в конкретных парах трения.

Для преодоления этих проблем необходимо решить весьма важную задачу триботехники - повысить, в частности, несущую способность и долговечность подшипников скольжения (как одного из ответственных элементов исполнительных механизмов приборов) за счёт новых технологий и материалов, а также обеспечить оптимизацию формы и качества поверхностей трения. Сравнительно недавно вышла в свет книга под редакцией академика РАН Фролова В.К. «Современная трибология», где приведен ретроспективный анализ истории развития в XX - начале XXI века основных направлений трибологии - науки о трении, износе и смазке машин. В этой работе вопросы сухого трения рассматриваются, в основном, в рамках теории пластической деформации и механики твердых тел. Вопросам, связанных с учетом физических свойств контактирующих поверхностей в процессах трения пока уделяется недостаточное внимание. Исключения составляют работы по синергетике трибологических систем.

В таблице 4 представлены экспериментальные данные по коэффициентам трения полученных покрытий с использованием различных материалов в качестве пар трибосопряжения.

**Таблица 4 - Коэффициенты трения покрытий, полученных при напылении в течение 10 мин. в газовой среде азота**

| Покрытие               | Коэффициент трения |       |          |
|------------------------|--------------------|-------|----------|
|                        | нержавеющая сталь  | медь  | алюминий |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Cu-Al) | 0,092              | 0,218 | 0,378    |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Fe-Al)    | 0,076              | 0,322 | 0,471    |
| Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al)    | 0,085              | 0,230 | 0,325    |
| 12X18H10T+Zr           | 0,112              | 0,274 | 0,402    |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Cu         | 0,118              | 0,192 | 0,406    |

Сухое трение играет большую роль в авиационной, космической технике, в вакуумных устройствах. Использование обычных смазок в узлах трения, работающих в условиях космического вакуума неприемлемо. Вследствие высокой упругости паров большинство жидкостей и смазок в вакууме испаряется и теряет свои смазывающие свойства. Действие температуры еще более усугубляет этот процесс.

Работу узлов трения без смазки в вакууме следует рассматривать как взаимодействие поверхностей при сухом трении. В этом случае в отличие от узлов жидкостного трения контактирующие поверхности не разделены искусственно созданной масляной пленкой, частично или полностью устраняющей контакт между ними. Однако нельзя считать, что несмазанные маслом поверхности вступают в непосредственный контакт друг с другом. В реальных условиях поверхность узлов трения может быть покрыта окисной пленкой, которая возникает при их изготовлении, примесью чужеродных металлов, структурными дефектами и т.д. В космосе начинает играть роль модификация поверхности за счет облучения частицами высокой энергии.

Антифрикционные характеристики узлов трения определяются свойствами поверхностного слоя деталей. Поэтому экономически и технически оправданным является подход к выбору материала катодов, при котором их механическая прочность определяется свойствами конструкционного материала, а специальные свойства поверхности обеспечиваются формированием на ней тонких слоёв-покрытий толщиной, близкой к величине максимально допустимого износа. Нанесение износостойких антифрикционных многослойных покрытий не только увеличивает надёжность и долговечность узлов, но и снижает затраты на дефицитные и дорогостоящие

ящие материалы, уменьшает расходы на обслуживание и ремонт оборудования.

Полученные экспериментальные результаты показывают хорошие антифрикционные характеристики исследованных покрытий в трибосопряжениях с нержавеющей сталью. Наилучшими антифрикционными характеристиками в трибосопряжениях с нержавеющей сталью обладают покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) и Cr-Ni-Ti-Fe+(Fe-Al). Как было отмечено выше, промышленным предприятиям Центрального Казахстана необходимы разнообразные покрытия. Это жаростойкие покрытия деталей с высокими температурами эксплуатации для тепловых электростанций, упрочняющие покрытия инструмента горнодобывающего оборудования для переработки горных пород, а также антикоррозионные покрытия деталей шахтного оборудования, работающего в агрессивных водах. Результаты проведенных экспериментов по жаростойкости исследованных покрытий представлены в таблице 5.

**Таблица 5 - Потеря массы покрытия, полученного в среде аргона, после термической обработки при 600 °С в течение 100 ч**

| Покрытие                       | Масса окислевшегося покрытия, мг |
|--------------------------------|----------------------------------|
| Образец без покрытия, сталь 45 | 56,8                             |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Zr                 | 24,4                             |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Zn-Cu-Al           | 14,4                             |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Fe-Al              | 5,6                              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Zn-Al              | 14,2                             |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Al                 | 4,8                              |
| Cr-Ni-Ti-Fe+Cu                 | 2,7                              |

В таблице 6 приведена жаростойкость некоторых деталей ТЭЦ с такими покрытиями и увеличение их ресурса работы. К горным машинам для подземной добычи угля и других полезных ископаемых относятся выемочные машины, механизированные крепи, бурильные машины, погрузочные и буропогрузочные машины и вспомогательное оборудование разных видов.

Рабочими инструментами выемочных машин являются режцовый и шарошечный инструмент. Силовые подсистемы выемочных комбай-

нов содержат шнековые, барабанные, цепные, роторные и фрезерные исполнительные органы. Очистные, проходческие комбайны и струговые установки также содержат большую номенклатуру металлических деталей, изготовленных из сталей и сплавов различных марок.

**Таблица 6 - Увеличение ресурса работы некоторых деталей ТЭЦ**

| Деталь   | Покрытие       | Увеличение ресурса работы |
|--|----------------|---------------------------|
| Роторы, диски, лопатки, болты, бандажы, гайки, шпильки и другие детали, работающие до 780 °С (Сталь 15Х12ВНМФ)                           | Cr-Ni-Ti-Fe+Cu | в (2-3)                   |
| Бандажи, диафрагмы, болты, гайки, шпильки и другие высоконагруженные детали, работающие при 600 °С (Сталь 20Х12ВНМФ, 15Х12ВНМФ, 8ХПНМФБ) | Cr-Ni-Ti-Fe+Cu | в (3-4)                   |
| Покровка для дисков и роторов, лопатки, болты с длительным сроком службы при температурах до 600 °С (Сталь- 08Х16Н13М2Б)                 | Cr-Ni-Ti-Fe+Cu | в (3-4)                   |

Наибольшему механическому износу подвергаются детали очистных и проходческих комбайнов, а также струговых установок. В таблице 7 представлены результаты испытаний нитрид-титановых покрытий и покрытий Cr-Ni-Ti-Fe+Ti на тангенциальных резцах очистных и проходческих комбайнов. Для их изготовления используют высоколегированные стали: хромокремнемарганцевые (35ХГСА и др.), хромоникелевые (45ХН и др.) и т.д.

**Таблица 7 - Упрочняющие покрытия на тангенциальных резцах очистных и проходческих комбайнов**

| Деталь             | Покрытие        | Увеличение ресурса работы |
|--------------------|-----------------|---------------------------|
| РКС-1И-02 (35ХГСА) | TiN             | в (2-2,5) раз             |
| РКС-1И-02 (35ХГСА) | Cr-Ni-Ti-Fe+Ti  | в (4-5) раз               |
| РКС-2 (45ХН)       | TiN             | в 3 раза                  |
| РКС-2 (45ХН)       | Cr-Ni-Ti-Fe+Ti  | в 5 раз                   |
| RG401-12 (35ХГСА)  | TiN             | в (2-2,5) раз             |
| RG401-12 (35ХГСА)  | Cr-Ni-Ti-Fe +Ti | в (4-5) раз               |
| РД32-70 (35ХГСА)   | TiN             | в (2-2,5) раз             |
| РД32-70 (35ХГСА)   | Cr-Ni-Ti-Fe+Ti  | в (4-5) раз               |

Аналогичные результаты были получены и на резцах стругов СТВ-03, СТВ-04, РД42-115.

### **Выводы.**

1. Показано, что все исследованные покрытия по микротвердости не уступают большинству распространенных в промышленности сталей. Наилучший результат достигается для покрытий Cr-Ni-Ti-Fe+Zr и Cr-Ni-Ti-Fe+Cu, нанесенных в среде азота на сталь 45;

2. Установлено, что нанотвердость покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Ti, полученного в среде азота превосходит большинство известных материалов, используемых как упрочняющие и абразивные покрытия. Нанотвердость покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+Ti, полученного в среде аргона близка к нанотвердости чистого титана;

3. Показано, что покрытие Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) оказывается «радиационно стойким», что может быть использовано при строительстве атомных электростанций, где широко используется сталь 12X18H10T. Такое свойство покрытия связано с его ярко выраженной глобулярной структурой, приводящей к упругому рассеянию ионов аргона, обуславливающей незначительную локальную деформацию;

4. Установлено, что наилучшие антифрикционные характеристики в трибосопряжениях с нержавеющей сталью имеют покрытия Cr-Ni-Ti-Fe+(Zn-Al) и Cr-Ni-Ti-Fe+(Fe-Al);

5. Результаты испытаний нитрид-титановых покрытий и покрытий Cr-Ni-Ti-Fe+Ti на тангенциальных резцах очистных и проходческих комбайнов показали увеличение срока службы резцов в 4-5 раз, что приводит к существенному экономическому эффекту.

Авторы статьи осуществляют следующие работы:

- нанесение упрочняющих и износостойких покрытий до детали диаметром до 200 мм и длиной до 250 мм;

- нанесение жаростойких и антифрикционные покрытий до детали диаметром до 200 мм и длиной до 250 мм;

Применяются вакуумные ионно-плазменные технологии нанесения функциональных покрытий на промышленные детали. Имеется опытно-производственный участок по изготовлению установок по вакуумным ионно-плазменным, магнетронным и другим технологиям.

### **Список литературы**

1 Платонова Е.Н., Сыздыкова А.Ш., Гученко С.А., Завацкая О.Н., Касымов С.С., Лауринас В.Ч., Юров В.М. Коррозионно-стойкие многоэлементные покрытия // *Новости науки Казахстана*, 2018, №4. - С. 154-165.

2 Азаренков Н.А., Соболев О.В., Погребняк А.Д., Береснев В.М. *Инженерия вакуумно-плазменных покрытий*. – Харьков: Изд-во ХНУ им. Карамзина, 2011. – 344 с.

3 Панин В.Е., Сергеев В.П., Панин А.В. Наноструктурирование поверхностных слоев конструкционных материалов и нанесение наноструктурных покрытий. - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. - 254 с.

4 Погребняк А.Д., Шпак А.П., Азаренков Н.А., Береснев В.М. Структура и свойства твердых и сверхтвердых нанокompозитных покрытий // Успехи физических наук. - 2009. - Т. 179. - № 1. - С. 35-64.

5 Табаков В.П., Чихранов А.В. Износостойкие покрытия режущего инструмента, работающего в условиях непрерывного резания. - Ульяновск: УлГТУ, 2007. - 255 с.

6 Veprek S., Veprek-Heijman M., Karvankova P., Prochazka J. Different approaches to superhard coatings and nanocomposites // Thin Solid Films. - 2005. - Vol. 476. - P. 1-29.

7 Zhang Y.S., Han Z., Wang K., Lu K. Friction and wear behaviors of nanocrystalline surface layer of pure copper //Wear, 2006. - V. 260. - P. 942-948.

8 Verma N., Cadambi S., Jayarama V., Biswas S.K. Micromechanisms of damage nucleation during contact deformation of columnar multilayer nitride coatings // Acta Materialia, 2012. - Vol. 60. - P. 3063-3073.

9 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А., Завацкая О.Н. Структура и свойства многофазных ионно-плазменных покрытий. - Караганда: Изд-во Казахстанско-Российского ун-та, 2013. - 150 с.

10 Юров В.М., Лауринас В.Ч., Гученко С.А. Поверхностное натяжение упрочняющих покрытий // Упрочняющие технологии и покрытия, 2014. - № 1. - С.33-36.

11 Сыздыкова А.Ш., Еремин Е.Н., Гученко С.А. Структура и свойства стальных покрытий, легированных титаном // Вестник КарГУ. Физика, 2015, № 1(77). - С. 36-45

12 Еремин Е.Н., Сыздыкова А.Ш., Юров В.М., Гученко С.А. Исследование многоэлементных ионно-плазменных покрытий, полученных при одновременном распылении катодов в аргоне // Омский научный Вестник, 2015. - № 2(140). - С. 22-25.

13 Гученко С.А., Сыздыкова А.Ш., Касымов С.С., Юров В.М. Структурно-фазовый состав и свойства многоэлементных покрытий // Вестник ГУ имени Шакарима города Семей, 2018, №4(84). - С. 11-14.

**Юров В.М.** - кандидат физико-математических наук, доцент,  
e-mail: exciton@list.ru

**Сыздыкова А.Ш.** - магистр, e-mail: aigul.syzdikova@gmail.com

**Балтабеков А.С.** - кандидат физико-математических наук, e-mail: abskargu@mail.ru

**Платонова Е.С.** - магистр, e-mail: danilina1969@list.ru>

**Гученко С.А.** - магистр, e-mail: guchen@mail.ru

**Лауринас В.Ч.** - кандидат физико-математических наук, профессор,  
e-mail: vitas-laurinas@rambler.ru

Адрес разработчиков: Республика Казахстан, 100028, г. Караганда,  
ул. Университетская 28, e-mail: exciton@list.ru.

# ГОРНОЕ ДЕЛО

---

---

МРНТИ 52.13.07

Т.Н. Мендебаев<sup>1</sup>, Н.Ж. Смашов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-внедренческий центр «АЛМАС», г. Алматы, Казахстан

## КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ АЛМАЗНЫХ ПОРОДОРАЗРУШАЮЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ С РАЗДЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ ПРОМЫВОЧНЫХ КАНАЛОВ

---

---

**Аннотация.** Проблемы алмазного бурения глубоких скважин – сохранность заданного направления, энергозатраты растущие с глубиной и получения информативного геологического материала керна. Они обусловлены усложнением условий работы инструмента на забое, свойствами горных пород, в особенности трещиноватости. Из анализа источников информации следует, что решение проблем возможно с привлечением новых ресурсов, физических эффектов, вложением их в конструктивную схему инструментов, пересмотром технологии изготовления. Создана схема с гидродинамическим эффектом разрушения горных пород направленной струей рабочей жидкости, повышением интенсивности выноса шлама, обеспечивающие благоприятные забойные условия работы инструмента. Разработана технология изготовления инструментов, основанная на поэтапном выполнении операции – вакуумная фильтрация алмазов с холодным прессованием и горячее прессование. По данным экспериментов, в сопоставимых условиях опытные образцы инструментов имеют близкие показатели работы с серийными коронками  $NQ$ , при заметно меньших значениях осевой нагрузки и частота вращения, основных причин искривление скважин и рост энергозатрат.

**Ключевые слова:** бурение, породоразрушающий инструмент, бурение скважин, алмазный инструмент, схема бурения, технология бурения.

• • •

**Түйіндеме.** Терең ұңғыларды алмас құралдармен бұрғылау тәсілінің күрделі мәселесі – оның жобадағы бағытын сақтау, қуат шығыны және толық мәлімет беретін тау жыныстарын алу. Олар ұңғы табанындағы құралдың жұмыс жағдайының күрделенуіне, тау жыныстарының қасиеттеріне, әсіресе жарықшақтарына байланысты болып отыр. Ақпарат көздеріндегі мәліметтерді талдай келе мәселені алмас құралдарының құрылым сызбаларына жаңа физикалық заңдылықтарды енгізу, жасау технологиясына өзгеріс енгізу арқылы шешуге болатыны анықталды. Алмас құралының ұңғы табанындағы жұмыс жағдайын жақсарту бойынша оның сызбасына тау жыныстарын қысымды сұйықпен бұзатын тәсіл енгізілген, солай аталған мәселелерді түбегейлі шешуге болады. Тәсілді іске асыру үшін алмасты вакуум инфилтрациясын

және қуат қысымымен, одан кейін ыстық қысыммен пісіретін технологияның сызбасы дайындалған. Зертханада жүргізілген тәжірибе жұмыстарының деректері бойынша жаңа технологиямен жасалынған, сұйықтың қысымымен тау жыныстарын бұзатын алмас құралдарының үлгілерінің жұмысы ұңғы табанына түсетін жүктеме және айналу жылдамдығы азайтылған жағдайда жүреді. Көрсеткіштері жалпы қолданыстағы NQ алмас құралдарымен бірдей. **Түйінді сөздер:** бұрғы, тау жынысын бұзатын құрал, Ұңғымаларды бұрғылау, алмас құрал-сайман, бұрғылау схемасы, бұрғылау технологиясы.

• • •

**Abstract.** The problems of diamond drilling in deep wells are the preservation of a given direction, the energy costs growing with depth and obtaining informative geological core material. This is due to the complication of the working conditions, namely the tool on the face, the properties of rocks, and especially fracturing. The analysis of information sources indicates that the solution of problems is possible by attracting new resources, physical effects, investing them in the structural scheme of tools, revising the manufacturing technology. A scheme was created with the hydrodynamic effect of the destruction of rocks by a directed jet of working fluid, an increase in the intensity of sludge removal, providing favorable bottom-hole working conditions of the tool, thereby the integrity of the core, the source of information. A technology has been developed for making tools based on a phased implementation of the operation - vacuum filtration of diamonds with cold pressing and hot pressing. According to the experimental data, in comparable conditions, the prototypes of the instruments have similar performance indicators with serial NQ crowns, with significantly lower values of axial load and rotation frequency, the main causes of the curvature of the wells and the increase in energy costs.

**Keywords:** drilling, well drilling, diamond tool, drilling scheme, drilling technology.

**Введение.** Современные проблемы сооружения глубоких скважин с применением алмазных породоразрушающих инструментов – это энергозатраты, сохранность заданного направления скважин и получение информативного геологического материала в виде керна [1]. В литературных источниках [2-4] отмечено, что эффективность алмазного бурения зависит от физического соответствия инструментов (коронка, долото) к свойствам горных пород, в особенности трещиноватых. Это объясняется склонностью последних к образованию крупных частиц шлама, способствующих самозаклиниванию керна в колонковой трубе, росту энергозатрат. По экспериментальным данным мощность потребляемая буровым станком при бурении трещиноватых, раздробленных горных пород оказывается на 15-20% выше, чем при бурении монолитных [5].

Другая проблема, отклонения скважин от заданной трассы связана с геометрией формы матрицы алмазного породоразрушающего инструмента. Наиболее оптимальные, концентрические впадины и выступы на торцевой поверхности матрицы, которые воспринимают динамическую нагрузку при вращении, противодействуя моменту его отклонения. Для усиления механизма противодействия, в техническом решении [6] кольцевые каналы на поверхности матрицы инструмента выполнены закругленным поворотом пролегающими противоположно его вращению. Для получения информативного геологического материала имеются бурильные головки содержащие продольные каналы в торцевой части для подачи промывочной жидкости вне зоны образования керна. Тем самым обеспечивается высокий процент выхода керна даже в разрушенных горных породах [7].

Эффективными средствами извлечения качественного керна являются зарубежные снаряды со съемными керноприемниками типов NQ и HQ. Их недостатки – интенсивность искривления скважин и энергозатраты из-за увеличенной площади торца матрицы. Тенденции развития техники и технологии в области разработки, изготовления и эксплуатации алмазных породоразрушающих инструментов в мире показывают, что решение проблем алмазного бурения глубоких скважин возможно при создании инструментов на основе новых физических принципов вложенных в их конструктивную схему, пересмотром технологии изготовления [8-11].

Имеются интересные разработки в сфере водоструйного разрушения горных пород при бурении скважин, шпуров, карьерной отработке месторождений полезных ископаемых [12]. По их выводам, струя используется для оказания помощи дробления породы, где наличие трещин создают условия для увеличения глубины проникновения жидкости. Это возможно и при бурении плотных пород, если на их поверхностях появляются опережающие трещины, борозды.

**Цель исследования.** На основе изложенных предпосылок была создана конструктивная схема алмазного инструмента с отдельной системой промывочных каналов, нацеленная на использование гидродинамического эффекта разрушения горных пород, ставшая объектом исследования (рисунок 1). Инструмент содержит алмазную матрицу 1, разделенную промывочными пазы 2 на сектора, на них выполнены кольцевые канавки 3 в шахматном порядке смещенные по горизонтали между секторами, взаимно перекрывающимися друг друга по окружности. Промывочные пазы 2 разделены перегородка-

ми 4, на тыльной стороне которых проведены продольные отверстия 5 выходящие в кольцевые канавки 3. На дне и боковых стенках кольцевых канавок 3 выполнены проточки (не показаны) параллельно простирающимися до промывочных пазов 2 противоположно вращению инструмента.

Отличительное преимущество инструментов с отдельной системой промывочных каналов – создание опережающих забойных условий для полного проявления гидродинамического эффекта объемного разрушения горных пород направленной струей рабочей жидкости, присутствием проточек исключение гидравлической подпорки под матрицей и интенсивный вынос шлама по кольцевым канавкам.

**Методы исследования.** Изучением состава и прочностных свойств матрицы алмазных инструментов зарубежных фирм установлено, что один из определяющих факторов их эффективности – твердость матрицы. Чем тверже порода и менее абразивна, тем более мягкая должна быть матрица. В ней слои алмазных зерен полностью вскрываются, отсутствует их заполировка, что является причиной падения скорости бурения. Принятая в Казахстане, традиционная технология изготовления алмазных инструментов предусматривает вакуумную фильтрацию алмазов с разделением операции холодного прессования и спекания матрицы, в силу чего реально достигаемая ее твердость находится в интервале 20-35 HRC за счет содержания в составе до 50% карбида вольфрама с твердостью 70-75 HRC.

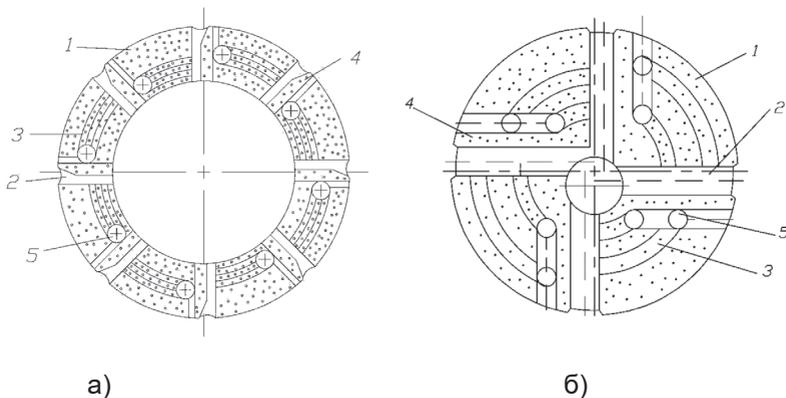


Рисунок 1 - Конструктивная схема матрицы алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов: а - с отбором керна, б – со сплошным забоем бурения скважин

По технологии горячего прессования матриц, широко используемой зарубежными фирмами производителями алмазных инструментов, в ее составе карбид вольфрам отсутствует, геометрию изделия формирует графитовая пресс-форма, обеспечивающая твердость матриц в широком диапазоне 15-50 HRC. Кроме того, весомое преимущество технологии горячего прессования матриц, сохранение свойств алмазных зерен, так как совмещенный процесс прессования и спекание протекает при более низкой температуре 900-950°C против 1100°C вакуумной фильтрации, где деградация алмазных зерен начинается при температуре 1000°C.

Освоение способа горячего прессования матриц при изготовлении опытных образцов инструментов предложенной схемы, потребовала значительных изменений производственного процесса в технологическом и техническом аспекте. Прежде всего, сложная конфигурация матрицы при отсутствии карбида вольфрама не позволяла сохранить ее форму до спекания. В то же время нагрев будущего изделия должен был производиться достаточно быстро, чтобы избежать окисления металлических порошков. Другие трудности были связаны с определением состава матрицы, обусловленной ее геометрией, нормы антифрикционных и других добавок, повышающие ее износостойчивости. В итоге выбрана наиболее рациональная схема технологического процесса изготовления алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов (рисунок 2).

Для проектирования 3D моделей инструментов и графитовой пресс-формы использовался упрощенный вариант программы САПР Kompas 3D V14 Home. Достоинство семейства данных программ производимых в Российской Федерации, это полная совместимость со стандартами Евразэс. По ней были разработаны рабочие чертежи короночной заготовки и детали пресс-формы. Рабочая программа ARTCAM была использована для изготовления этих деталей на станке 4ПУРЕМАХ40302. Сборка опытных образцов алмазных инструментов осуществлялась приклеиванием подрезных зерен и армирующих твердосплавных вставок по принятой схеме их расположения к поверхности графитовой оболочки и вкладышу пресс-формы. После этого в собранную пресс-форму засыпают смесь порошка ВК-8 и объемных алмазов фракции 600/400 мкм. Сверху устанавливалась заготовка и произвели предварительное холодное прессование под давлением 15 т.

1. Проектирование



2. Изготовление



Рисунок 2 - Схема технологического процесса изготовления алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов

Инструмент, подготовленный к процессу инфильтрации в печи с защитной средой совместно с пресс-формой был установлен в нагревательный муфель, расположенный в вакуумной камере, из которой откачивался воздух до вакуума 0,1 мм рт. ст. Далее в течении 20 мин. осуществляется нагрев изделия до температуры 850°C с последующим охлаждением до комнатной температуры. Процесс горячего прессования изделия проходил на специально собранной под задачу индукционной установке до температуры 950°C с одновременным прессованием

под нагрузкой 15-20 т и остыванием под нагрузкой при температуре 200-300°C. Завершающая стадия изготовления алмазных породоразрушающих инструментов – механическая зачистка, нарезка резьбы и покраска (рисунок 3).

С целью проверки работоспособности и выявления потенциала изучаемой конструктивной схемы, опытные образцы алмазных породоразрушающих инструментов с отдельной системой промывочных каналов в исполнении с отбором керна, отработывались на буровом стенде в сравнении с серийными буровыми коронками типа NQ. Буровой стенд оснащен станком СКБ-4, промывочным насосом НБЗ-120/40, манометром давления МП-2, тахометром частоты вращения – ИТЗ-71, расходомером PROMASS40 и ваттметром энергозатрат. Бурение условных скважин осуществлялось по блокам песчаников средней трещиноватости, категории пород 8-9 по шкале буримости (Таблица 1).

**Таблица 1 - Сравнительные результаты обработки опытных образцов алмазных породоразрушающих инструментов (коронки) с отдельной системой промывочных каналов и серийных коронок NQ фирмы «Борт-Лонгир» (США)**

| Инструменты                 | Диаметр бурения, мм | Пробурено, м | Режимы бурения       |                                |                           | Механическая скорость, м/ч. | Энергозатраты квт./ч. на один погонный метр |
|-----------------------------|---------------------|--------------|----------------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------------------|---|
|                             |                     |              | Осевая нагрузка, кгс | Расход рабочей жидкости, л/мин | Частота вращения, об/мин. |                             |   |
| NQ каратоемкость – 44 карат | 75,8                | 15           | 700-800              | 35-40                          | 400-500                   | 2,8                         | 0,3-0,4                                     |
| Опытные образцы – 44 карат  | 75,8                | 18           | 400-500              | 35-40                          | 300-400                   | 2,4                         | 0,25-0,28                                   |

**Выводы.** Из данных экспериментов следует, что при заметно меньших значениях осевой нагрузки на коронку и большей вероятности сохранения заданной трассы скважин, опытные образцы имеют

близкие показатели по механической скорости бурения с серийными коронками NQ. (рисунок 3)



Рисунок 3 - Подготовленные к работе алмазные породоразрушающие инструменты с раздельной системой промывочных каналов

Значимой структурной особенностью алмазных породоразрушающих инструментов с раздельной системой промывочных каналов, является сила веса (энергия) рабочей жидкости, которая возрастает с увеличением глубины скважин, в силу чего негативный фактор – рост энергозатрат становится позитивным. Конструктивные особенности и технологические возможности изготовленных по новой технологии алмазных породоразрушающих инструментов отечественного производства дают основание для вывода, что они могут стать эффективным средством решения проблем сооружения глубоких скважин. С их применением возможен переход на скважинные способы добычи полезных ископаемых, взамен шахтных и карьерных, развитие горноскважинной ветроэнергетики, геотермальной энергии, выработкой электрического тока в подземных условиях, вскрытие и освоение месторождений подземных вод принудительным самоизливом [13].

### Список литературы

- 1 *Симонянц С.Л., Мнацаканов И.В.* Актуальное направление модернизации турбинного способа бурения // Нефтесервис. – 2013. – №2. – С. 48-50.
- 2 *Гореликов В.Г.* Конструктивные особенности алмазных коронок для бурения трещиноватых горных пород // Записки горного института. – Санкт-Петербург. – 2012. – Т. 197. – С. 29-33.
- 3 *Третьяк А.А., Литкевич Ю.Ф., Борисов К.А.* Алмазные коронки нового поколения // Neftegaz.ru 5117. – 2016. – С. 25-28.
- 4 *Романов В.А., Горшков Л.К., Селиванов А.Н.* Технология бу-

рения алмазными долотами при искривлении геологоразведочных скважин с отклонителями непрерывного действия ВСБ: Исследования, разработка и внедрение технологии алмазного бурения скважин на твердые полезные ископаемые // М. ВПО «Геотехника». – 2004. – С. 105-112.

5 Пономарев П.П. Алмазное бурение трещиноватых пород // Л.: Недра. – 1985.

6 Пат. 2613458 Российская Федерация. Колонковый набор / Мендебаев Т.Н., опубли. 22.09.2017, Бюл. №27.

7 Масленников И.К., Матвеев Г.И. Инструмент для бурения скважин // Справочное пособие // «Недра». – Москва. – 1981. – С. 268-271.

8 Блинов Г.А., Гореликов В.Г., Архилев А.Г. Исследование и метод расчета объема межконтактного пространства матрица коронки – горная порода с учетом шероховатости поверхностей матрицы и забоя // Сб. Научных трудов. Методика и техника разведки. – Санкт-Петербург. – №1. – 1993. – С. 76-84.

9 Горшков Л.К., Яковлев А.А. Аномальный износ алмазных буровых коронок // Записки горного института. – Т. 197. – Санкт-Петербург. – 2012. – С. 25-28.

10 *Viyu Lu, Jiren Tang, Zhaolong Ce, Binwei Xia, Vong Liu.* Hard rock drilling technique with abrasive water jet assistance // International journal of rock Mechanics & Mining Sciences 60. – 2013. – P. 47-56.

11 *Jia Meiling, Cai Jiapih, Ouyang Zhiyong, Shen Lina, Wi Haixia, Li Chun.* Design & Application of Diamond Bit to Drilling Hard Rock in Deep Borehole. Geological Engineering Drilling Technology Conference (JGEDTC), New International Convention Exposition center Chengdu century city on 23rd-25th May 2014. Procedia Engineering 73(2014). P. 134-142.

12 *Thomas Reihersch, Bob Paap, Simon Hahn, VolkerWitting, Sidnei Van Den Berg.* Insights into the radial water jet drilling technology // Application in a quarry. Journal of Rock Mechanics and Geotechnica Engineering 10 (2018). – P. 236-248.

13 Мендебаев Т.Н., Смашов Н.Ж. Метод и средства освоения месторождений подземных вод принудительным самоизливом // Новости науки Казахстана. – №1. – 2014. – С. 115-122.

**Мендебаев Т.Н.** - доктор технических наук, академик КазНАЕН и РАЕН (Россия), e-mail: nvc\_almas@mail.ru

**Смашов Н.Ж.** - кандидат технических наук, e-mail: nur\_cm@mail.ru

# МЕТАЛЛУРГИЯ

---

---

МРНТИ 52.45.23

*С.М. Исабаев<sup>1</sup>, Е.В. Жинова<sup>1</sup>, И.М. Жилина<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева,  
г. Караганда, Казахстан

## ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОГАРКОВ ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО ОБЖИГА ИЗ РУДЫ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УШКАТЫН-3

---

---

**Аннотация.** Проводятся обширные исследования по гидрометаллургической переработке марганецсодержащего сырья. Проблема извлечения марганца из пыли и шламов, шлаков производства силикомарганца, ферромарганца в виде товарной продукции является актуальной. Цель работы - показать возможность гидрометаллургической переработки огарков восстановительного обжига из руды месторождения Ушкатын-3. Проведена серия экспериментов по серноокислотному выщелачиванию исследуемых огарков. Изучено влияние следующих параметров: концентрация серной кислоты, продолжительность выщелачивания, температура выщелачивания, класс крупности огарка, соотношение Т:Ж. По результатам экспериментов определены оптимальные условия серноокислотного выщелачивания огарков восстановительного обжига руды месторождения Ушкатын-3: концентрация серной кислоты 60-80 г/дм<sup>3</sup>, ж:т (3-4):1, температура выщелачивания 80-90 °С, крупность исходного материала (-0,1+0) мм, продолжительность процесса 80-100 мин. Определены оптимальные параметры осаждения марганца аммиачным раствором: скорость пропускания воздуха - 2,5 л/мин; температура 50 °С; рН 7,8-8,2; продолжительность 80 мин.

**Ключевые слова:** огарок, сульфат марганца, серноокислотное выщелачивание, осаждение марганца.

...

**Түйіндеме.** Қазіргі уақытта құрамында марганеці бар шикізатты гидрометаллургиялық жолмен өндеу жұмыстары жүргізілуде. Марганеціті шаң мен шламнаң, силиеомарганец, ферромарганец шлактарынан айырып алу маңызды болып саналады. Жұмыстың мақсаты - Ушкатын-3 кен орнының рудасынан гидрометаллургиялық жолмен шырақ алу. Шырақ тұқылыларынан күкірт қышқылын сілтісіздендіру бойынша эксперимент түрлері өткізілді. Келесі параметр ықпалы зерттелді: күкірт қышқылының концентрациясы 60-80г/дм<sup>3</sup>, Қ:С байланысы (3-4);1, сілтісіздендіру температурасы 80-90 °С, шырақ тұқылылардың ірілік класы (-0,1+0), сілтісіздендірудің ұзақтығы 80-

100 мин. Эксперименттердің нәтижелері бойынша Үшқатын-3 кен орнының ішінен шырақ тұқылыларды қалпына келтіріп күйдірудің қолайлы жағдайлары анықталды. Аммиак ерітіндісі марганец тұнбасы пераметрлері анықталды: ауа өткізу жылдамдығы – 2,5 л/мин., температура – 50 °С, рН 7,8-8,2, ұзақтығы 80 мин.

**Түйінді сөздер:** шырақ тұқылылар, марганец сульфаты, күкірт қышқылын сілтісіздендеру, марганец тұндыру.

• • •

**Abstract.** At present there is held extensive research on hydrometallurgical processing of manganese containing raw materials. Problem of manganese extraction from dust and slimes, slags of production of manganese and ferro-manganese in the form of the goods production have become topical. Aim of the work is to show the possibility of hydrometallurgical processing of cinder during recovery roasting of the ores from Ushkatyn-3 ore-field. A series of experiments on sulphuric acid leaching of cinder was conducted. There was studied the influence of the following parameters: concentration of sulphuric acid, duration of leaching, its temperature, class of fineness of candle ends, correlation S:L. By the results of experiments there were defined optimal conditions of sulphuric acid leaching of candle ends of cinder during recovery roasting of the ores from Ushkatyn-3 ore-field: concentration of sulphuric acid 60-80 g/dm<sup>3</sup>, l:s (3:4):1, leaching temperature 80-90 °C, fineness of initial material (-0,1+0) mm., duration – 80-100 min. Optimal parameters of manganese sediment were determined with help of ammoniac solution: air transmission speed equals 2,5 l/min.; temp. 50 °C; pH – 7.8-8.2; duration is 80 min.

**Key words:** cinder ends, manganese sulphate, sulphuric acid leaching, manganese sedimentation.

**Введение.** В настоящее время проводятся обширные исследования по гидрометаллургической переработке марганецсодержащего сырья. Проблема извлечения марганца из пыли и шламов, шлаков производства силикомарганца, ферромарганца в виде товарной продукции является предметом исследований многих научно-исследовательских институтов. Одним из распространенных способов переработки окисленного марганцевого сырья является восстановительный обжиг с последующим выщелачиванием оксида марганца растворами серной или азотной кислот с получением различных соединений марганца и высококачественных концентратов для металлургических целей [1-9]. При обжиге присутствующий в сырье марганец должен быть переведен в оксид двухвалентного марганца, а железо оставаться в виде Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, который менее растворим по сравнению с другими низшими оксидами железа в разбавленной серной кислоте, используемой для выщелачивания. Для восстановления используются газ,

нефть и твердое топливо. Разработан процесс восстановления высших оксидов марганца окисью углерода и влажным водородом.

**Цель исследований** - создание пиро-гидрометаллургической схемы переработки руды месторождения Ушкатын -3.

В работе [10] разработана технология переработки карбонатных марганцевых руд в высококачественный карбонатный марганцевый концентрат методом выщелачивания серной кислотой. При расходе 75-80% и температуре 80°C из руды крупностью -0,1 мм извлечено 90% марганца, а извлечение двухвалентного марганца 94%. Из сернокислого раствора осаждением бикарбонатом аммония при pH=5,5 достигнута степень извлечения марганца в карбонатный концентрат до 100%. Технология химического обогащения техногенного марганецсодержащего сырья разработана авторами работы [11]. Она основана на восстановительном выщелачивании шламов руды месторождения Восточный Камыс серной кислотой в присутствии металлического железа в качестве восстановителя. Также рассмотрена схема выщелачивания азотной кислотой с добавлением хлористого натрия.

**Методы исследований.** В работе [12] предлагается технологическая схема, включающая сульфатизирующий обжиг при температуре 600°C и продолжительности один час шихты, состоящей из карбонатной марганцевой руды и сульфата двухвалентного железа, расход которого составляет 130 г на 100 г руды. Последующее водное выщелачивание при температуре 40-90°C при продолжительности 30-60 мин. и ж:т=1:(3-4) позволяет на 90% извлечь марганец в раствор, из которого обработкой карбонатом натрия получают карбонат марганца. Применение сульфатизирующего обжига в печи КС для переработки железомарганцевых конкреций Тихого океана и Балтийского моря исследовано в работе [13]. Степень сульфатизации при температуре 500-580°C для марганца составила 96-99%, железа 3-7%. Водное выщелачивание огарка при температуре 50°C, ж:т=3:1 за 15 мин позволило извлечь 75-88% Mn. Фосфор по данным авторов в условиях сульфатизирующего обжига находится в форме, не растворимой в воде. Гидрооксиды марганца из водных растворов осаждаются аммиаком.

*Серная кислота* – наиболее распространенный промышленный растворитель для выщелачивания окисленных марганцевых руд. Для выщелачивания марганца используется чистая техническая кислота (олеум), а также более слабые кислоты.

*Соляная кислота* – более сильный растворитель, чем серная, однако большого промышленного применения не получила. Ограниченное применение соляной кислоты объясняется более сильным ее коррозионным действием на аппаратуру и, следовательно, необходи-

мостью использования специальных конструкционных материалов, большим расходом в результате растворения пустой породы и высокой стоимостью.

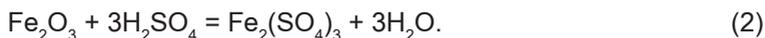
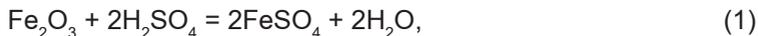
Аммиачные растворы получили промышленное применение для выщелачивания марганца. В аммиачных растворах растворителем являются главным образом различные аммиачные соли. Помимо указанных растворителей заслуживают внимания сернистая кислота и сернистый газ. Исследованиями по гидрометаллургии оксидных руд установлено, что наибольшими преимуществами, как в технологическом, так и экономическом аспектах обладает смесь сернистой и серной кислот. Однако, несмотря на легкость растворения диоксида марганца, этот процесс осложняется побочными реакциями – образованием дитионата, полиитионатов и других соединений, существенно влияющих на технологию переработки продуктивного раствора. Кроме того, при выпаривании продуктивного раствора непременно выпадает гипс, отложения которого с поверхности аппаратов и коммуникаций трудно удаляются.

Для карбонатных руд выбор выщелачивающих реагентов намного шире. Современный подход к выбору технологической схемы выщелачивания рассчитан на получение продуктивного раствора с достаточно высокой концентрацией марганца, что определяется выбранным способом выделения черного концентрата и может быть достигнуто либо на рудах с высоким содержанием марганца при использовании высокой концентрации реагента, либо многократным оборотом растворов.

С химической точки зрения и с точки зрения осуществления самого процесса наиболее благоприятным является выщелачивание серной кислотой. Основным преимуществом серной кислоты как реагента при гидрометаллургической переработке марганцевых руд является низкая цена, а также наличие еще более дешевых сернокислотных отходов. Имеет значение также и высокая концентрация серной кислоты в исходном продукте (до 98 %). Сернокислотное выщелачивание является головной операцией большинства схем гидрометаллургической переработки марганецсодержащего сырья.

Авторы работы [14] для определения области существования соединений марганца и железа при выщелачивании марганцевой оксидной руды с применением в качестве восстановителя металлического железа рассчитали диаграмму Пурбэ (E-pH). Согласно этой диаграмме поля устойчивости ионов Mn(II), Fe(II) и Fe(III) перекрываются в областях pH ниже 7 и при потенциалах за пределами устойчивости воды (E=0).

Проведены термодинамические расчеты растворения гематита  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , содержащегося в исходном огарке по данным проведенных физико-химических исследований. Расчеты проведены по нижеследующим реакциям (1, 2) взаимодействия  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с серной кислотой, являющейся наиболее приемлемым как с экономической, так и с технологической точки зрения реагентом для выщелачивания сырья:



Результаты термодинамических расчетов для реакций (1) и (2) приведены на рисунке 1.

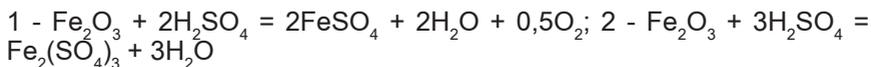
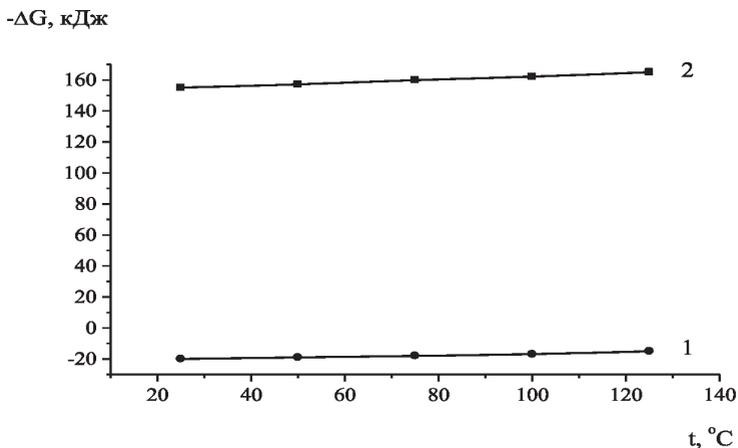


Рисунок 1 – Изменение энергии Гиббса при выщелачивании оксидов железа

Из приведенных на рисунке зависимостей видно, что железо должно переходить в раствор преимущественно в виде  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ . Для реакции (2) значения изменения энергии Гиббса имеют отрицательные величины в интервале от -155 до -165 кДж, что говорит о самопроизвольном превращении всех реагирующих веществ в продукты реакции.

Исходным сырьем для исследований является огарок, получен-

ный методом восстановительного обжига марганецсодержащей руды месторождения Ушкатын-3. Параметры обжига: температура - 700°C, продолжительность - 90 мин. В качестве восстановителя использовался спецкокс, полученный из шубаркольского угля по технологии, разработанной в Химико-металлургическом институте. При вышеуказанных параметрах наблюдается наиболее полная степень восстановления соединений четырехвалентного марганца. Лабораторная установка состоит из термостатированной ячейки, к ней подведена верхнеприводная мешалка марки ER -10 и предусмотрена подача воздуха или кислорода из баллона. Перемешивание пульпы осуществляли со скоростью 500 об/мин.

Химический состав огарка приведен в таблице 1.

**Таблица 1 - Химический состав огарка**

| Продукт | Содержание, % |      |                  |                                |      |      |
|---------|---------------|------|------------------|--------------------------------|------|------|
|         | Mn            | Fe   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P    | C    |
| Огарок  | 36,86         | 1,97 | 11,82            | 1,78                           | 0,26 | 3,96 |

При проведении экспериментов исследовались следующие параметры: концентрация серной кислоты (от 1 до 15%), продолжительность выщелачивания (от 10 до 180 мин.), температура выщелачивания (от 40 до 95°C), класс крупности огарка, соотношение Т:Ж (от 1:1 до 1:8). Результаты опытов по выщелачиванию огарка серной кислотой различных концентраций в зависимости от продолжительности процесса приведены на рисунке 2.

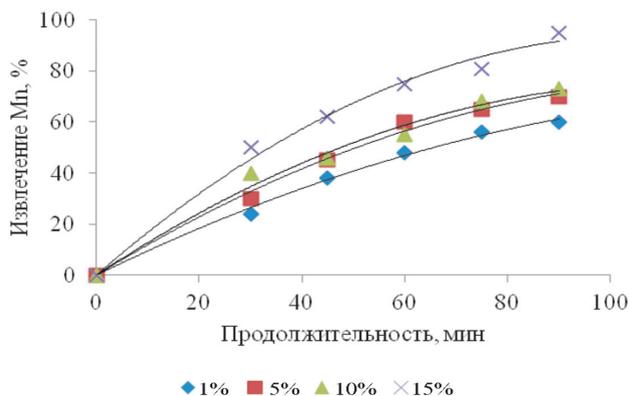


Рисунок 2 - Результаты опытов по сернокислотному выщелачиванию огарков при различных концентрациях серной кислоты (%)

Наиболее высокие степени извлечения марганца в раствор согласно данным рисунка 2 достигнуты при продолжительности 80-100 мин. и концентрации серной кислоты - 15%. Влияние температуры выщелачивания на степень извлечения марганца в раствор приведено на рисунке 3.

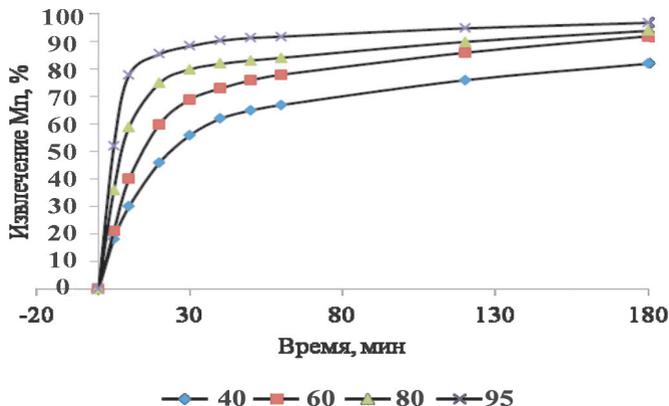


Рисунок 3 - Влияние температуры (°C) на степень выщелачивания марганца 15%-ым раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Как видно из графических зависимостей степень извлечения марганца неравномерна на протяжении процесса. Интенсивность выщелачивания в первых 20 мин. постепенно замедляется и, после часа времени, приобретает прямолинейный характер. В течение 60-180 мин. идет достижение равновесия. Характер полученных зависимостей типичен для диффузионных процессов растворения на границе раздела фаз твердое-жидкое. В связи с чем проведена серия экспериментов по выявлению закономерности влияния поверхности твердого (тонины помола) материала. На рисунке 4 приведена зависимость извлечения марганца от продолжительности выщелачивания 15%-ым раствором H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> для классов крупности -0,5+0; -0,315+0 и -0,1+0 мм.

Из приведенных на рисунке 4 (кривые 1-3) зависимостей видно, что увеличение продолжительности выщелачивания от 30 до 180 мин. положительно влияет на извлечение марганца в раствор и составляет 83; 88 и 94 % для классов крупности огарка -0,5+0; -0,315+0 и -0,1+0 мм соответственно.

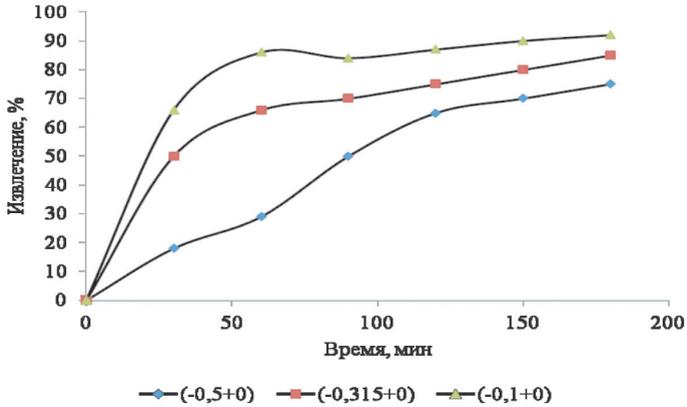


Рисунок 4 – Влияние продолжительности выщелачивания на степень извлечения марганца в раствор для различных классов крупности исходного материала (мм)

На степень извлечения марганца из огарков влияет и концентрация серной кислоты, результаты данных исследований приведены на рисунке 5.

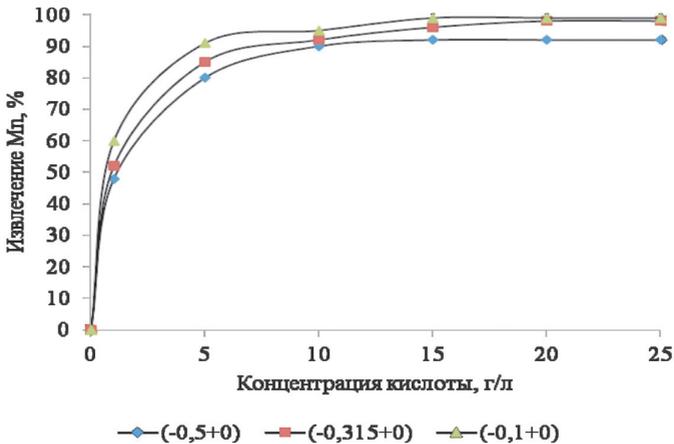


Рисунок 5 – Влияние концентрации серной кислоты на степень извлечения марганца в раствор для различных классов крупности исходного материала (мм)

Как видно из приведенных зависимостей (рисунок 5), с ростом концентрации серной кислоты повышается степень извлечения марганца в раствор до 98-99 % для всех исследованных классов крупности (-0,5+0; -0,315+0; -0,1+0 мм).

Проведены исследования по изучению влияния соотношения твердой и жидкой фаз на процесс сернокислотного выщелачивания марганца из огарков восстановительного обжига руды месторождения Ушкатын -3.

Для выщелачивания использовали класс крупности огарков -0,1+0 мм. При проведении экспериментов соотношение Т:Ж изменяли от 1:1 до 1:8. Выщелачивание проводили 15%-ым раствором  $H_2SO_4$  в стеклянном термостатированном стакане, подсоединенном к термостату, при температуре 90 °С. Перемешивание пульпы осуществляли со скоростью 500 об/мин с использованием механической мешалки марки IKA RW 14 basic. Продолжительность выщелачивания составляла 180 мин.

После окончания опытов пульпу отфильтровывали и измеряли объем фильтрата. Промывали на фильтре дистиллированной водой и после высушивания взвешивали. Раствор и кек после выщелачивания подвергали химическому анализу для определения концентрации марганца. Полученные результаты опытов приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Влияние соотношения Т:Ж на выщелачивание огарка**

| Наименование продукта       | Т:Ж | Объем фильтрата, мл | Содержание металлов, г/л |      | Извлечение Mn, % |
|-----------------------------|-----|---------------------|--------------------------|------|------------------|
|                             |     |                     | Mn                       | Fe   |                  |
| Раствор после выщелачивания | 1:1 | 70                  | 32,4                     | 6,90 | 52,0             |
|                             | 1:2 | 90                  | 31,1                     | 7,20 | 64,7             |
|                             | 1:3 | 110                 | 29,7                     | 8,65 | 75,5             |
|                             | 1:4 | 140                 | 29,8                     | 8,70 | 96,5             |
|                             | 1:5 | 170                 | 24,9                     | 7,30 | 98,0             |
|                             | 1:6 | 210                 | 21,4                     | 7,15 | 94,0             |
|                             | 1:7 | 230                 | 20,9                     | 7,25 | 92,5             |
|                             | 1:8 | 250                 | 21,0                     | 7,46 | 93,0             |

Изучение влияния соотношения твердой и жидкой фаз на выщелачивание шлама показало, что при изменении Т:Ж от 1:1 до 1:4 извлечение марганца в раствор возрастает от 52 до 98 %, при этом

оптимальным значением Т:Ж является 1:4. При увеличении Т:Ж до 1:5 снижается концентрация марганца и возрастает остаточная кислотность в растворе после выщелачивания.

Растворы сульфата марганца всех опытов были объединены. Химический состав объединенного раствора приведен в таблице 3.

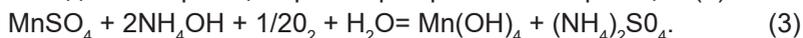
**Таблица 3 - Химический состав итогового объединенного раствора сульфата марганца**

| Продукт              | Содержание, г/л |        |                  |                                |     |
|----------------------|-----------------|--------|------------------|--------------------------------|-----|
|                      | Mn              | Fe     | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | P   |
| Объединенный раствор | 49,67           | 0,0045 | 0,18             | 0,44                           | н/о |

Предварительную очистку объединенного раствора проводили путем добавления прокаленного оксида кальция до pH=4-5 и нагрева до температуры 80°C. Существует множество способов выделения марганца из растворов. Среди них самые распространенные - осаждение карбоната марганца содой и гидроксида марганца аммиачной водой, либо каустической содой. Недостатком способа с применением кальцинированной или каустической соды является получение стоков, загрязненных сульфатом натрия, эффективной очистки от которого в настоящее время не существует. Методы извлечения марганца из раствора весьма разнообразны и применение того или иного способа зависит от качества конечного концентрата и его стоимости, определяющей и саму себестоимость этого извлечения. Высококачественные марганцевые концентраты должны содержать не менее 48% марганца с очень ограниченным содержанием примесей серы и фосфора.

В связи с этим проведены исследования по выделению марганца из сульфатного раствора выщелачивания огарков с помощью аммиачной воды. Преимущество такого способа заключается в том, что полученный в результате раствор сульфата аммония легко обезвреживается либо выпаркой с последующей кристаллизацией сульфата аммония в товарный продукт, либо разлагается при нагревании известковым молоком с получением отвальной и безвредной пульпы сульфата кальция и аммиачной воды, возвращаемой в процесс [15].

Осаждение марганца в растворе протекает по реакции (3):



Для осаждения марганца из раствора применяли аммиачную воду с концентрацией 150-200 г/л, в качестве окислителя использовали технический кислород и кислород воздуха. Исследованные параметры: pH, температура пульпы, продолжительность перемешивания, количество окислителя. Процесс осаждения проводили в трех режимах: при подаче технического кислорода, при подаче кислорода воздуха и без подачи воздуха.

График на рисунке 6 демонстрирует зависимости осаждения марганца от времени при оптимальных условиях.

1 - подача технического кислорода; 2 - подача воздуха; 3- без подачи воздуха

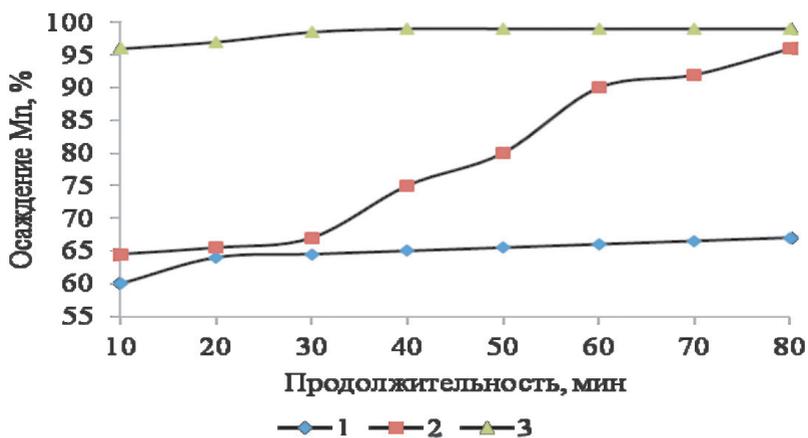


Рисунок 6 - Зависимость осаждения Mn от продолжительности перемешивания

Опыты проводили при скорости пропускания кислорода 1 л/мин, воздуха 2,5 л/мин. и температуре 50°C, pH поддерживали в пределах 7,8-8,2. Теоретический расход аммиака (100%-ого) на осаждение марганца равен 0,67 г/г согласно приведенной выше реакции. Извлечение марганца достигло 96,0 и 99,0% при подаче воздуха и технического кислорода соответственно.

**Выводы.** Таким образом, по результатам экспериментов определены оптимальные условия сернокислотного выщелачивания огарков восстановительного обжига руды месторождения Ушкатын-3: концентрация серной кислоты 60-80 г/дм<sup>3</sup>, ж:т (3-4):1, температура выщелачивания 80-90°C, крупность исходного материала (-0,1+0) мм, продолжительность процесса 80-100 мин. Также определены оптимальные параметры осаждения марганца из сернокислого раствора аммиаком: скорость пропускания воздуха - 2,5 л/мин; температура 50°C; pH 7,8-8,2; продолжительность 80 мин.

*Исследование является частью программы целевого финансирования «Научно-технологическое обоснование расширения сырьевой базы ферросплавной отрасли за счет вовлечение в технологические процессы слабококующихся энергетических углей и техногенных отходов с целью получения новых материалов многоцелевого назначения» по проблеме вовлечения некондиционных железомарганцевых руд в металлургический передел.»*

### Список литературы

1 Патент 29902 Республика Казахстан. Способ переработки марганецсодержащего сырья / Козлов В.А., Айменова Ж.Л.; опубл. 15.05.2015, Бюл. № 5.

2 Патент 2393254 Российская Федерация. Способ получения марганца (Варианты) / Соколов В.В., Стонога Ю.А., Филатова И.Ю.; опубл. 27.06.2010, Бюл. № 18.

3 Патент 2395601 Российская Федерация. Способ переработки марганцевых концентратов для очистки от фосфора / Коробейников А.П., Филин А.Н., Костенков С.А., Коробейников Д.А.; опубл. 27.07.2010, Бюл. № 21.

4 Патент 2441085 Российская Федерация. Способ переработки карбонатных марганцевых руд / Воронин А.В., Казакова Е.В., Левашова В.И., Мавлютова Р.Ж., Майстренко В.Н., Морева О.В., Мустафин А.Г., Шаповалова Е.В.; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.

5 Патент 2441086 Российская Федерация. Способ переработки марганцевых руд / Мустафин А.Г., Левашова В.И., Майстренко В.Н., Морева О.В., Шаповалова Е.В., Шарипов Т.В.; опубл. 27.01.2012, Бюл. № 3.

6 Патент 2444575 Российская Федерация. Способ получения диоксида марганца / Серегин А.Н., Ермолов В.М., Жуков Д.Ю.; опубл. 10.03.2012, Бюл. № 7.

7 Патент 2448175 Российская Федерация. Способ переработки марганецсодержащего материала / Ан Е.Д., афанасьев Ф.И., Япрын-

цева О.А., Минниханова Э.А., Фаткуллин Р.Н., Сулейманова Г.Ф.; опублик. 20.04.2012, Бюл. № 11.

8 Патент 2484161 Российская Федерация. Способ извлечения марганца из марганецсодержащего сырья / Борноволокнов А.С.; опублик. 10.06.2013, Бюл. № 16.

9 Патент 2539813 Российская Федерация. Способ переработки марганцевых руд / Фарбер И.А., Мурадов Г.С., Лосев Ю.Н.; опублик. 27.01.2015, Бюл. № 3.

10 Токов М.Ю., Непочатов В.М., Харламов В.И., Колесников В.А., Логвиненко И.А. Разработка технологии переработки бедных карбонатных марганцевых руд для получения электролитического металлического марганца // Успехи в химии и химической технологии. - 2011. - Т. XXV, № 9. - С. 89-95.

11 Танекеева М.Ш., Абдыкирова Г.Ж., Тусупбаев Н.К., Кшибеков Б.Д. Исследование химического обогащения техногенного марганецсодержащего сырья // КИМС. - 2012. - № 1. - С. 83-88.

12 Казакова Е.В., Левашова В.И. Химическое обогащение марганцовистых известняков Улу-Телякского месторождения с использованием сульфатизирующего обжига // Обогащение руд. - 2014. - № 4. - С. 19-22.

13 Теляков Н.М., Дарьин А.А., Теляков А.Н., Петухов А.А. Влияние специфики состава железомарганцевых конкреций Тихого океана и Балтийского моря на технологические показатели извлечения ценных компонентов // Цветные металлы. - 2016. - № 2. - С. 40-45.

14 Скопов С.В., Набойченко С.С., Галкова Л.И. Особенности восстановительного выщелачивания марганцевых руд // Цветные металлы. - 2004. - № 8. - С. 23.

15 Смирнов А.В. Осаждение железа и марганца из сульфатных растворов с применением газового реагента при переработке марганецсодержащих материалов: автореф. ... к.т.н.: - СПбГИ (ТУ), 2010. - 20 с.

**Исабаев С.М.** - доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

**Жинова Е.В.** - старший научный сотрудник, e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

**Жилина И.М.** - инженер I категории, e-mail: lab-isabaev@rambler.ru

# ТРАНСПОРТ

---

---

МРНТИ 73.31.41

*А.М. Биниязов<sup>1</sup>, А.С. Денисов<sup>2</sup>, А.В. Кожинская<sup>2</sup>,  
Л.Х. Сарсенбаева<sup>1</sup>, Е.М. Биниязов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Западно-Казахстанский инновационно-технологический университет, г. Уральск, Казахстан

<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет им. Гагарина Ю.А., г. Саратов, Россия

## ТРЕБОВАНИЯ К ДИАГНОСТИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ РАБОТАЮЩЕГО МАСЛА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

---

---

**Аннотация.** Проведен анализ соответствия основных диагностических параметров моторных масел, таких как щелочное число, вязкость, плотность, температура вспышки. Определены границы образов неисправностей двигателей по известным в результате эксплуатации зависимостям и нормативам параметров работающего масла. По приведённым данным построены образы неисправностей в координатах  $V - C$ , а затем в координатах  $\eta - C$ . Исходными данными для построения образов послужило предельные значения параметров и исходные. Для первого диагностического параметра – объёма масла сопряжённый параметр – щелочное число, где указаны все соответствующие неисправности. При норме по этой паре диагностических параметров неисправность определяется в паре параметров  $\eta - t_{\text{в}}$  по этой же методике. От этого и строится алгоритм диагностирования. По результатам вычисления параметров диагностирования и среднеквадратического отклонения получили их погрешность. С учётом этого на рисунках 6 – 8 пунктирными линиями обозначены образы неисправностей с доверительной вероятностью 0,8. Обозначены основные допустимые границы образов диагностических параметров.

**Ключевые слова:** автомобильные дизельные двигатели, моторные масла, щелочное число, вязкость, плотность, образы неисправностей

• • •

**Түйіндеме.** Мотор майларының негізгі диагностикалық параметрлерінің сілтілік саны, тұтқырлығы, тығыздығы, тұтану температурасы сияқты сәйкестігіне талдау жүргізілді. Жұмыс істеп тұрған май параметрлерінің нормативтері мен тәуелділіктерін пайдалану нәтижесінде белгілі

қозғалтқыштар ақауларының пайда болу шекаралары анықталды. Келтірілген деректер бойынша V– C координаттарында, ал содан кейін  $\eta$  – C координаттарында ақаулардың бейнелері салынды. Бірінші диагностикалық параметр – май көлемі үшін жұптасқан параметр – сілтілік Са<sub>n</sub>, онда барлық тиісті ақаулар көрсетілген. Диагностикалық параметрлердің осы жұбының нормасында ақаулық  $\eta$  - tv параметрлерінің жұбы бойынша анықталады. Осыдан диагностика алгоритмі құрылады. Диагностика параметрлерін және орташа квадраттық ауытқуларды есептеу нәтижелері бойынша олардың қателіктері кездесті. 6-8 суретте нүктелі сызықтармен 0,8 сенімділік ықтималдығы бар ақаулықтардың бейнелері көрсетілген. Диагностикалық параметрлер бейнелерінің негізгі рұқсат етілген шекаралары белгіленген.

**Түйінді сөздер:** автомобильдік дизельді қозғалтқыштар, мотор майлары, сілтілік саны, тұтқырлығы, тығыздығы, ақаулардың пайда болуы.

• • •

**Abstract.** We propose the compliance analysis of the motor oils main diagnostic parameters, such as alkaline number, viscosity, density, flash point. We established the boundaries of engine malfunction images known in the operation of the dependency and regulations parameters of the working oil. According to the above data, malfunction images in the coordinates V– C, and then in the coordinates  $\eta$  – C. the Initial data for constructing the images were the limit values of the parameters and the initial ones. For the first diagnostic parameter, the oil volume, the conjugated parameter is an alkaline number, where all the relevant malfunctions are indicated. At normal for this pair of malfunction diagnostic parameters is determined in a pair of parameters  $\eta$  -  $t_b$  by the same technique. This is the basis of the diagnosing algorithm. Based on the calculation results of the diagnosis parameters of and standard deviation we received their error. With this in mind, Fig. 6 – 8 dashed lines indicate malfunction images with a confidence probability of 0.8. The main permissible limits of diagnostic parameters images are indicated.

**Keywords:** automotive diesel engines, engine oils, base number, viscosity, density, fault images

**Введение.** Анализ информативности параметров работающего масла (ПРМ) проведен по результатам, выполненных совместно исследований [1]. На рисунке 1 приведены зависимости параметров работающего масла от наработки.

Кривые аппроксимировали полиномом третьей степени, а на участке до точки перегиба можно использовать снижающуюся экспоненту или линейную зависимость. Стабилизация параметров масла наступает при наработке 4000 км. Оптимальная периодичность диагностирования определяется с учётом погрешности измерения и интенсивности изменения параметра масла в процессе эксплуатации.

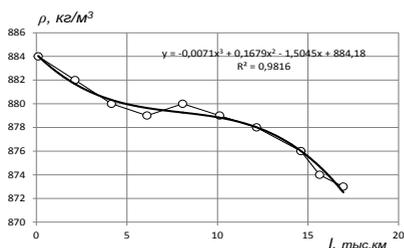
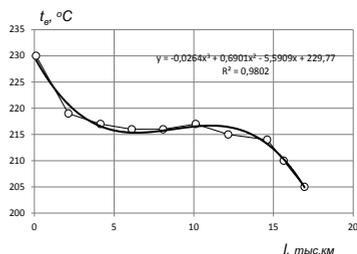
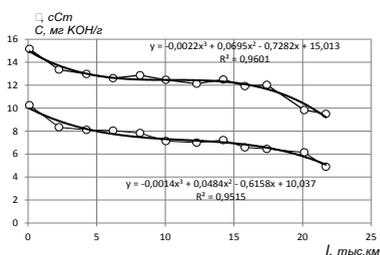


Рисунок 1 – Изменение щелочного числа  $C$ , вязкости  $\eta$ , температуры вспышки  $t_{в}$ , плотности  $\rho$  в процессе работы моторного масла по автомобилям КАМАЗ-ЕВРО

Информативность параметров оценивали по формуле

$$\Delta S = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $S_0$  – начальное, а  $S_k$  – конечное значение ПРМ.

В соответствии с полученными данными (рисунок 1) существенно в процессе эксплуатации изменяются такие показатели, как расход масла, вязкость, щелочное число. Остальные изменяются незначительно (таблица 1).

Таблица 1 – Изменение ПРМ за 4 тыс. км

| ПРМ                 | $Y_0$ | $Y_k$ | $\Delta Y, \%$ |
|---------------------|-------|-------|----------------|
| Объём масла, л      | 34    | 18    | 47,2           |
| Щелочное число      | 15    | 13,2  | 10,4           |
| Плотность           | 884   | 880   | 0,45           |
| Температура вспышки | 230   | 214   | 6,96           |
| Вязкость            | 10,2  | 8,1   | 20,59          |

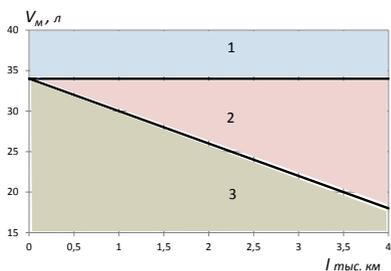
Из таблицы 1 изменения основных ПРМ в начальный период его использования (до 4 тыс. км) видно, что наиболее значимо изменяются

следующие параметры: уровень масла, щелочное число, вязкость, температура вспышки. При известных значениях диагностического параметра в начале использования масла границу образований неисправностей двигателя определяет интенсивность изменения ПРМ в процессе использования. Она определяет и конечное значение диагностического параметра при обоснованной наработке до диагностирования.

**Цель работы** — экспериментально доказать, что все диагностические параметры отвечают основным требованиям к диагностическим параметрам работающего масла автомобильных дизельных двигателей.

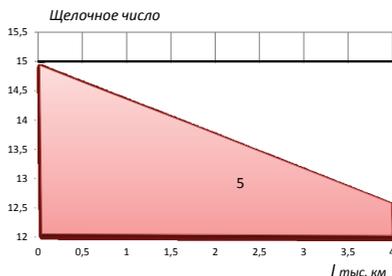
**Методы исследований.** Определим границы образований неисправностей двигателей по известным в результате эксплуатации зависимостям и нормативам ПРМ. По уровню масла в картере (рисунок 2) за исходный уровень примем уровень, соответствующей верхней метке на маслоизмерительном щупе. Объём масла в картере при этом составляет 34 л [2] и возрастание его свидетельствует о неисправности топливной аппаратуры (НТА). На рисунке 2 это область 1. При этом из-за плохого распыливания топлива оно попадает в картер, увеличивая объём масла.

Допустимое снижение уровня масла в картере из-за угара, не более 1% от расхода топлива [2]. При нормативном расходе топлива 40 л/100 км [2] это допустимое снижение к 4 тыс. км составляет 16 л (область 2 на рисунке 2). При большем расходе наблюдаются недопустимые утечки, которые следует устранить при ТО по результатам осмотра (область 3 на рисунке 2).



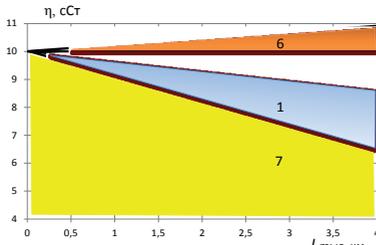
1 – неисправность топливной аппаратуры (НТА); 2 – расход масла на угар; 3 – утечки масла

Рисунок 2 – Границы образований состояний (неисправностей) по объёму масла в картере



4 – норма; 5 – перегрев двигателя

Рисунок 3 – Границы образований состояний (неисправностей) по щелочному числу масла



6 – засорение масляных фильтров;  
7 – засорение впускного тракта  
(остальные области, как и на  
предыдущих рисунках)

Рисунок 4 – Границы образов состояний (неисправностей) по вязкости масла:

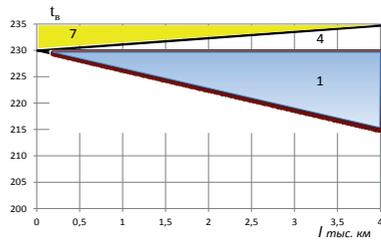


Рисунок 5 – Границы образов состояний (неисправностей) по температуре вспышки масла

Второй по значимости изменения параметр это щелочное число, начальное значение которого 15 [1]. Допустимое значение щелочного числа при отсутствии неисправностей при наработке масла 4 тыс. км 12,5 [1], (область 4 на рисунке 3). Более интенсивное снижение щелочного числа свидетельствует о перегреве двигателя (область 5 на рисунке 3).

Следующий по значимости изменения параметр это вязкость начальное значение которого 10 сСт [2]. Допустимое значение вязкости при отсутствии неисправностей при наработке масла 4 тыс. км 8 сСт [2], (область 4 на рисунке 4). Более интенсивное снижение вязкости свидетельствует о НТА (область 1 на рисунке 3). Ещё интенсивнее снижается вязкость из-за нарушения герметичности впускного тракта (область 7 на рисунке 4). Возрастание вязкости свидетельствует о засорении фильтров смазочной системы (область 6 на рисунке 4).

По температуре вспышки также определяется НТА. Если температура вспышки масла не изменяется, то это норма. Если температура вспышки изменилась (снизилась) за время работы с 230 до 215°C, то это НТА (область 4 на рисунке 5). Остальные параметры работающего масла дублируют неисправности двигателя (рисунок 5). По приведённым данным построим образы неисправностей в координатах V– С, а затем в координатах η – С. Исходными данными для построения образов служат предельные значения параметров и исходные. Для первого диагностического параметра – объёма масла сопряжённый параметр – щелочное число (рисунок 6, 7), где указаны все соответствующие неисправности. При норме по этой

паре диагностических параметров неисправность определяется в паре параметров  $\eta - t_b$  по этой же методике (рисунок 8). От этого и строится алгоритм диагностирования.

Данные образы построены по средним значениям, поэтому имеют доверительную вероятность 0,5. Для повышения доверительной вероятности необходимо сократить область неисправностей. Это можно сделать с использованием критерия Стьюдента  $t$ . Погрешность диагностических параметров при этом определяется по формуле

$$\varepsilon = t \frac{S}{\sqrt{N}} \quad (2)$$

где  $t$  – критерий Стьюдента,  $S$  – мера рассеивания,  $N$  – количество объектов измерений.

По результатам вычисления параметров диагностирования и среднеквадратического отклонения получили их погрешность. С учётом этого на рисунках 6 – 8 пунктирными линиями обозначены образы неисправностей с доверительной вероятностью 0,8.

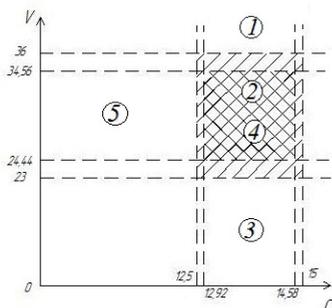


Рисунок 6 – Образы неисправностей в координатах  $V - C$

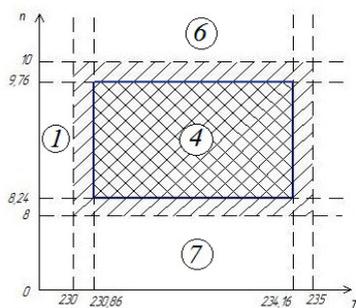


Рисунок 7 – Образы неисправностей в координатах  $\eta - C$

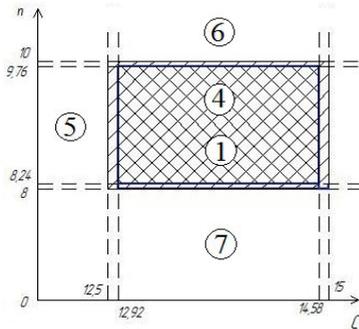


Рисунок 8 – Образы неисправностей в координатах  $\eta - t_b$

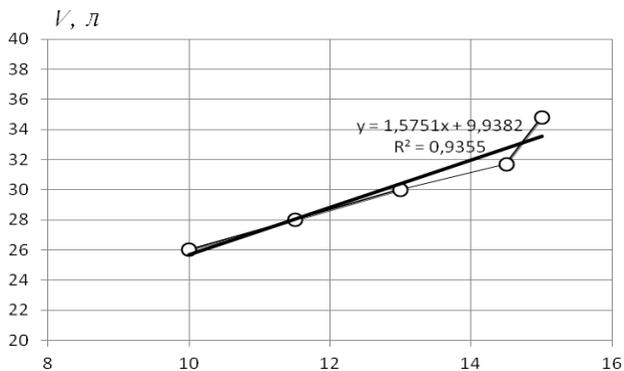
Требования к диагностическим параметрам: однозначность, чувствительность, стабильность и информативность. Требование однозначности характеризуется отсутствием экстремума в зависимости диагностического параметра от структурного. Такие корреляционные зависимости получены для основных диагностических параметров по собранным статистическим данным (рисунок 9). Из рисунка 9 видно, что все параметры однозначны и имеют высокую чувствительность судя по угловому коэффициенту. Параметр достоверности  $R^2$  свидетельствует о хорошей стабильности диагностических параметров [3-5].

**Результаты исследования.** Информативность диагностического параметра оценивается повышением вероятности состояния объекта диагностирования после диагностирования. Его можно оценить по результатам анализа распределений диагностического параметра по исправным и неисправным объектам диагностирования. Такие распределения получены по результатам измерений указанных диагностических параметров по исправным и неисправным двигателям. Для оценки значимости различия средних значений  $s_1$  и  $s_2$ , а, следовательно, информативности параметра  $S$  определили критерий Стьюдента [6,7]

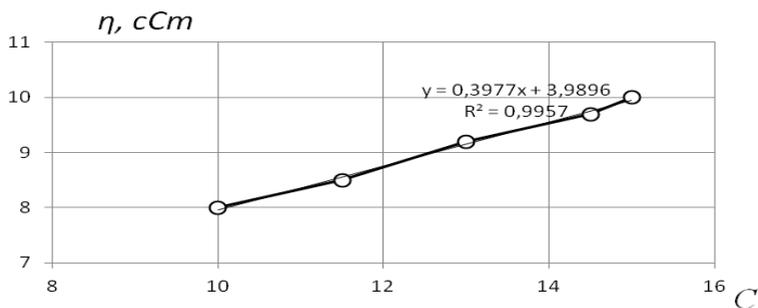
$$t = \frac{|\bar{s}_2 - \bar{s}_1|}{\sigma \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}, \quad (2)$$

где  $\sigma$  – средняя величина среднеквадратических отклонений;  
 $n_1, n_2$  – объем выборки.

а)



б)



в)

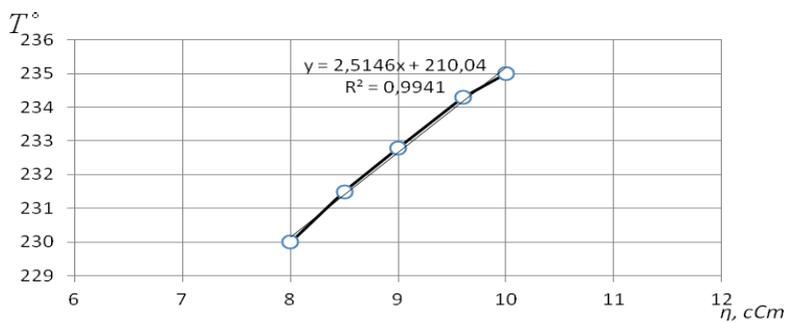


Рисунок - 9 а) Корреляционные зависимости,  $V - C$ ;  
 б) Корреляционные зависимости  $\eta - C$ ;  
 в) Корреляционные зависимости  $T - \eta$

**Обсуждение результатов.** Таким образом, результаты оценок приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Оценки информативности диагностических параметров**

| Диагностические параметры | $s_1$ | $s_2$ | $\sigma_1$ | $\sigma_2$ | $t_p$ | $t_{кр}$ |
|---------------------------|-------|-------|------------|------------|-------|----------|
| Объём масла в картере     | 34,8  | 24,6  | 11,4       | 8,2        | 18,2  | 1,67     |
| Щелочное число            | 14,5  | 12,2  | 4,5        | 3,9        | 16,5  | 1,67     |
| Вязкость                  | 9,7   | 8,1   | 3,2        | 2,6        | 15,8  | 1,67     |

**Выводы.** Примечание к таблице 2:  $t$  – расчетный критерий Стьюдента;  $t_{кр}$  – критический критерий Стьюдента при доверительной вероятности 0,9. Как видно из таблицы 2, различие  $\bar{S}_1$  и  $\bar{S}_2$  значимо с доверительной вероятностью 0,9 и выше. То есть все эти диагностические параметры можно считать информативными. Таким образом, все диагностические параметры отвечают основным требованиям [8-10].

**Источник финансирования исследований** - автотранспортное предприятие «Газпром трансгаз Саратов» (г. Саратов), Россия.

### Список литературы

- 1 Биниязов А.М., Денисов А.С., Носов А.О., Кожинская А.В. Повышение эффективности использования масел для форсированных автотракторных дизелей. - Уральск: ЗКФ АО «НЦНТИ», 2014. – 98 с.
- 2 Денисов А.С., Биниязов А.М. Совершенствование профилактики смазочной системы форсированных автотракторных дизелей КАМАЗ-ЕВРО // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2017. - № 1. - С. 267-272.
- 3 Захаров В.П., Денисов А.С., Сарсенбаева Л.Х., Биниязов А.М. Бралиев А.Б. Повышение эффективности эксплуатации форсированных автомобильных дизельных двигателей совершенствованием управления объемом масла в смазочной системе // Научный журнал «Новости науки Казахстана». – Алматы, 2018. - №2. – С. 106-120
- 4 Носов А.О., Кожинская А.В., Биниязов А.М., Платонов В.В. Анализ параметров смазочной системы двигателя КАМАЗ – 740 // Наука – 21 век. 2015. № 1. С. 3-9.

5 *Barysz I., Cillik L.* Zvyšovanie spoľahlivosti a živomosti dynamicky zatažených klzných ložísk // 8 Vedecká konferencia VSDS, Seccia 3 Dopravná technika. - Žilina, 1988. - S. 21-24.

6 *Barwell F.T.* Trilology in production. Product Eng. (Or. Brit). - 1972. № 7. - P. 263-271.

7 *Cocks M., Tallian T.E.* Sliding Contacts in Rolling Bearing. - ASLE Trans., vol. 14, - № 1, - 1971. - P. 32.

8 *Johnson G.* Failure of components // Automobile Engineers, March, 1996. - P. 108-111.

9 *Martin F.A.* Developments in engine bearings. "Tribol Retiprocat. Engines.Proc.9-th Leeds-Lyon Symp. Tribol 7-10 sept. 1982.", p. 9-28.

10 *Moore D.F.* Principles and Applications of Tribology. Pergamon Inter. Library, 1975. - 272 p.

**Биниязов А.М.** - кандидат технических наук, e-mail: abiniyazov@mail.ru

**Денисов А.С.** - доктор технических наук, профессор,  
e-mail: denisov0307@yandex.ru

**Кожинская А.В.** - аспирант, e-mail: alisaVK@yandex.ru

**Сарсенбаева Л.Х.** - магистр технических наук,  
e-mail: alina290510@mail.ru

**Биниязов Е.М.** - соискатель кафедры «Организация перевозок,  
безопасности движения и сервис автомобилей»,  
e-mail: eldarbiniyazov@mail.ru

# ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

---

---

МРНТИ 65.33.03.43.01.05

С.Х. Акназаров <sup>1</sup>, У.М. Амзеева <sup>1</sup>, К.С. Бексеитова <sup>1</sup>, А.М. Нуралы <sup>1</sup>,  
А.Ж. Мутушев <sup>1</sup>, С.Т. Жиенбаева <sup>2</sup>, М.П. Байысбаева <sup>2</sup>,  
З.Н. Молдақұлова <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научный производственно-технический центр «Жалын»,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

## СОЗДАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЦЕПТУРЫ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА С ДОБАВЛЕНИЕМ ЭНТЕРОСОРБИРУЮЩИХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

---

---

**Аннотация.** За последние годы в Казахстане ухудшается состояние здоровья населения, что связывают с нарастающим загрязнением окружающей среды, продуктов питания токсичными веществами, пестицидами, радионуклидами и также общим снижением иммунитета. Производители продуктов питания стали больше уделять внимание изготовлению продукции, с использованием различных пищевых ингредиентов, способствующих улучшению здоровья, к числу которых относятся и пищевые волокна. Каждодневное употребление продуктов, содержащих пищевые волокна, способствует снижению риска возникновения заболеваний толстой кишки и уровня холестерина в крови. Поэтому актуальным становится создание технологии и рецептуры пшеничного хлеба с добавлением энтеросорбирующих пищевых волокон с определёнными свойствами.

**Ключевые слова:** энтеросорбирующие пищевые волокна, карбонизованная рисовая шелуха, пищевая ценность, диоксид кремния, пшеничный хлеб, производство хлеба.

• • •

**Түйіндеме.** Соңғы жылдары Қазақстанда халық денсаулығының жай-күйі нашарлауда. Бұл қоршаған ортаның, тамақ өнімдерінің ұлтты заттармен, пестицидтермен, радионуклидтермен және иммунитеттің жалпы төмендеуімен байланысты. Азық-түлік өнімдерін өндірушілер олардың қатарына тағамдық талшықтар да жататын, денсаулықты жақсартуға ықпал ететін әртүрлі тағамдық ингредиенттерді пайдалана отырып, өнім дайындауға көбірек көңіл бөле бастады. Тағам талшықтары бар өнімдерді күн сайын қолдану тоқ ішек ауруларының пайда болу қаупін және қандағы холестерин деңгейін төмендетуге ықпал етеді. Сондықтан белгілі бір қасиеттері бар

---

*Работы выполнены при поддержке Комитета науки МОН РК*

энтеросорбирлеуші тамақ талшықтарын қоса отырып, бидай нанының технологиясы мен рецептурасын құру өзекті болып отыр.

**Түйінді сөздер:** энтеросорбциялы тағамдық талшықтар, карбонизацияланған күріш қауызы, тағамдық құндылық, кремний диоксиді, бидай наны, нан өндіру.

• • •

**Abstract.** In recent years, the state of public health has been deteriorating in Kazakhstan, which is associated with increasing pollution of the environment, food products with toxic substances, pesticides, radionuclides and also a generally depressed immune system function. Food manufacturers have begun to pay more attention to the manufacture of products using a variety of food ingredients that promote better health, including dietary fiber. Daily use of foods containing dietary fiber, reduces the risk of colon diseases and cholesterol levels in the blood. Therefore, the creation of technology and the formulation of wheat bread with the addition of enterosorbent dietary fiber with certain properties becomes more and more urgent.

**Keywords:** enterosorbent dietary fiber, carbonized rice husk, nutritional value, silicon dioxide, wheat bread, bread.

**Введение.** Использование пищевых волокон связано с необходимостью обогащения хлеба из пшеничной муки пищевыми волокнами, физиологическая роль которых объясняется их способностью к сорбции значительного количества желчных кислот, прочих метаболитов, токсинов и электролитов, что способствует детоксикации организма. По данным зарубежных физиологов, в пищевом рационе населения потребление растительных волокон занижено на одну треть. В работе представлены результаты. При решении проблемы повышения пищевых волокон в пищевых продуктах следует учитывать, что важными источниками клетчатки для питания человека могут служить продукты зерновых культур, в частности, рисовая шелуха.

**Цель работы** - исследование влияния энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных – (ЭПВК) на свойства теста и процессы, происходящие в нём, а также на качество и потребительские свойства хлеба из пшеничной муки 1 сорта.

В качестве обогатителя пищевых волокон служили порошок из энтеросорбирующих пищевых волокон, приготовленных предварительно из рисовой шелухи с удалением аморфного диоксида кремния (ЭПВК) и энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных,

приготовленных также предварительно из рисовой шелухи без удаления аморфного диоксида кремния (ЭПВ). Для проведения экспериментальных исследований в рецептуру при приготовлении теста добавляли 3,5,7% не карбонизованной рисовой шелухи и от 0,2 до 0,7% карбонизованной рисовой шелухи к массе пшеничной муки 1 сорта. Для сравнения служили контрольные образцы хлеба, приготовленные из пшеничной муки 1 сорта.

**Методы исследования.** Тесто готовили безопасным способом. В состав теста вносили расчетное количество воды, дрожжей, соли (таблица 1). Разделка теста, расстойка тестовых заготовок и выпечка осуществлялась согласно методике проведения пробных лабораторных выпечек [1].

**Таблица 1 – Рецептура приготовления теста безопасным способом контрольного образца**

| Наименование сырья     | Расход сырья                           |
|------------------------|--|
| Мука пшеничная 1 сорта | 100                                    |
| Дрожжи прессованные    | 2,5                                    |
| Соль поваренная        | 1,5                                    |
| Вода                   | (по расчёту, исходя из влажности муки) |

Анализ полуфабрикатов проводили по следующим органолептическим показателям: состоянию поверхности, консистенции, степени сухости, структуре теста, аромату; по физико-химическим показателям: влажности, кислотности. Анализ полуфабрикатов проводили в соответствии со стандартной методикой [2]. Качество хлеба оценивали через 16 ч. после выпечки по органолептическим и физико-химическим показателям. Полученные данные приведены в таблицах 1,2. Результаты исследования влияния рисовой шелухи на качество пшеничного хлеба приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

**Таблица 2 – Влияние энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных из рисовой шелухи без удаления аморфного диоксида кремния на качество пшеничного хлеба (ЭПВ)**

| Показатели теста                   | Контроль                    | Количество ЭПВ, %           |                      |                      |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|
|                                    |                             | 2                           | 3                    | 5                    |
| <b>Органолептические</b>           |                             |                             |                      |                      |
| Внешний вид: форма                 | правильная                  | правильная                  | правильная           | правильная           |
| цвет корок                         | золоти-сто-желтый           | желтый                      | серовато-желтый      | темно-то-серый       |
| состояние поверхности              | гладкая                     | гладкая                     | гладкая              | гладкая              |
| Состояние мякиша:эластичность      | эластичный                  | эластичный                  | эластичный           | эластичный           |
| цвет                               | белый с желтоватым оттенком | желтый с сероватым оттенком | с сероватым оттенком | с серым оттенком     |
| пористость                         | равномерная, средняя        | равномерная, средняя        | равномерная, средняя | равномерная, средняя |
| вкус, запах                        | свойственный                | свойственный                | свойственный         | свойственный         |
| <b>Физико-химические</b>           |                             |                             |                      |                      |
| Влажность, %                       | 43                          | 42,5                        | 42,2                 | 42,0                 |
| Кислотность, град                  | 3,5                         | 3,0                         | 2,9                  | 2,7                  |
| Пористость, %                      | 73                          | 74                          | 72                   | 71                   |
| Удельный объём, см <sup>3</sup> /г | 3,83                        | 3,83                        | 3,81                 | 3,81                 |
| H:D                                | 0,56                        | 0,55                        | 0,55                 | 0,54                 |

Готовые хлебобулочные изделия с добавлением энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных из рисовой шелухи без удаления аморфного диоксида кремния на качество пшеничного хлеба приведены на рисунке 1.



1-контроль, 2 – с добавлением 3 % не карбонизированной рисовой шелухи, 3 – с добавлением 5% не карбонизированной рисовой шелухи, 4 – с добавлением 7 % не карбонизированной рисовой шелухи

Рисунок 1 – Пшеничный хлеб с добавлением энтеросорбирующие пищевые волокна (ЭПВ)

Так же были проведены пробные лабораторные выпечки с добавлением смеси из карбонизированного порошка ЭПВ с содержанием 0,2; 0,3; 0,5; 0,7% и 2,3,5 % не карбонизированной рисовой шелухи к массе пшеничной муки 1 сорта. По результатам исследования наличия энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных 0,2; 0,3; 0,5; 0,7% к массе пшеничной муки 1 сорта на качество теста и готового хлеба является самой оптимальной дозировкой по товарному виду 0,3 %. С целью увеличения массовой доли клетчатки в готовом продукте готовили смесь из 0,3% энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных и 2,3,5% энтеросорбирующих пищевых волокон не карбонизированных из рисовой шелухи без удаления аморфного диоксида кремния.

Результаты исследований приведены в таблице 3 и на рисунке 2.

**Таблица 3 - Влияние смеси из 0,3 % энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных (ЭПВК) и энтеросорбирующих пищевых волокон (ЭПВ) на качество пшеничного хлеба**

| Показатели теста         | Контроль   | Количество ЭПВ, % |            |            |
|--------------------------|------------|-------------------|------------|------------|
|                          |            | 2                 | 3          | 5          |
| <i>Органолептические</i> |            |                   |            |            |
| Внешний вид:             | правильная | правильная        | правильная | правильная |
| форма                    |            |                   |            |            |

|                                    |                             |                      |                      |                      |
|------------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| цвет корок                         | золотисто-желтый            | серый                | темновато-серый      | темно-серый          |
| состояние поверхности              | гладкая                     | гладкая              | гладкая              | гладкая              |
| Состояние мякиша: эластичность     | эластичный                  | эластичный           | эластичный           | эластичный           |
| цвет                               | белый с желтоватым оттенком | светло-серый         | темновато-серый      | темно-серый          |
| пористость                         | равномерная, средняя        | равномерная, средняя | равномерная, средняя | равномерная, средняя |
| вкус, запах                        | свойственный                | свойственный         | свойственный         | свойственный         |
| <i>Физико-химические</i>           |                             |                      |                      |                      |
| Влажность, %                       | 43                          | 42,8                 | 42,5                 | 42,2                 |
| Кислотность, град                  | 3,5                         | 2,9                  | 2,7                  | 2,6                  |
| Пористость, %                      | 73                          | 74                   | 73                   | 72                   |
| Удельный объём, см <sup>3</sup> /г | 3,83                        | 3,84                 | 3,83                 | 3,81                 |
| H:D                                | 0,56                        | 0,56                 | 0,55                 | 0,54                 |



5 – с добавлением 0,2 % энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных (ЭПВК), 6 – с добавлением 0,3% ЭПВК, 7 – с добавлением 0,5 % ЭПВК, 8 – с добавлением смеси 0,3 % ЭПВК и 5 % ЭПВ

Рисунок 2 – Пшеничный хлеб с добавлением энтеросорбирующих пищевых волокон карбонизированных (ЭПВК) (5,6,7) и смеси из 0,3 % ЭПВК + 5 % ЭПВ (8)

Из полученных данных видно, что ЭПВК влияет на качественные показатели хлеба из пшеничной муки первого сорта. При внесении с 0,2 до 0,5 % порошка ЭПВК, мякиш становится менее эластичным, цвета по товарному виду не соответствуют. При замесе тесто при большом количестве добавление ЭПВК были заметны сильносвязывающие действия ЭПВК на компонентов муки. Поэтому при увеличении дозировок порошка объем хлеба немного был меньше по сравнению с контрольным образцом. Цвет мякиша ухудшается, пористость мелкая, мякиш становится менее эластичным и ухудшаются физико-химические показатели хлеба.

Из таблицы 1 видно, что по мере увеличения количества ЭПВ влажность мякиша хлеба уменьшается на 1-2 % по сравнению с контролем. Наблюдается аналогичный характер изменений показателя кислотности. Это связано с тем, что сорбционные свойства и влагоудерживающая способность ЭПВ больше, чем у пшеничной муки 1 сорта, так как в рисовой шелухе содержится большое количество целлюлозы. Результаты анализа готовой продукции показывают общую тенденцию изменения показателей качества хлеба в зависимости от содержания ЭПВ ЭПВК. Пористость хлеба с увеличением чистого порошка от 0,2 до 0,7 % к массе пшеничной муки первого сорта уменьшается. При внесении рисовой шелухи без карбонизации 2, 3 и 5 % значение этого показателя чуть выше показателей образца с добавлением ЭПВ и составляет соответственно 72 и 70 %, а в исходном контроле 73 %.

Удельный объем хлеба по мере увеличения содержания ЭПВК порошка уменьшается, а именно: с добавлением чистого порошка от 0,2 до 0,7 % удельный объем хлеба уменьшается от 3,5 до 2,7 см<sup>3</sup>/г; с рисовой шелухи без карбонизации от 3,82 до 3,78 см<sup>3</sup>/г. Удельный объем опытных образцов хлеба с добавлением смеси некарбонизированной ЭПВ 5 % и карбонизированной ЭПВК 0,3% изменяется от 3,83 до 3,82 см<sup>3</sup>/г, тогда как в исходном контроле 3,83 см<sup>3</sup>/г, т.е. добавление смеси ЭПВ и ЭПВК положительно влияет на объем хлеба по сравнению с контролем. Такие же изменения наблюдаются и у показателя формоустойчивости. Анализируя полученные данные, установили, что с увеличением дозировок порошка показатели качества хлеба из пшеничной муки 1 сорта ухудшаются. Однако при внесении рисовой шелухи до 5 % к массе пшеничной муки первого сорта качество хлеба по органолептическим и физико-химическим показателям не уступает показателям контрольного образца.

Для обогащения и повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий с сорбирующим эффектом были приготовлены смеси из карбонизированного порошка ЭПВ и не карбонизированной рисовой шелухи. Следовательно, на основании полученных экспериментальных результатов по изучению влияния ЭПВК и ЭПВ на качество теста и хлеба установлены оптимальные дозировки добавки к пшеничной муке первого сорта. Рецепт и режим приготовления теста из муки пшеничной с использованием ЭПВК приведены в таблице 4.

**Таблица 4 – Рецепт и режим приготовления теста с добавлением карбонизированных энтеросорбирующих пищевых волокон из рисовой шелухи**

| Сырье и технологические параметры              | Хлеб из пшеничной муки |                              |                               |
|--|------------------------|------------------------------|-------------------------------|
|  | Контроль               | Хлеб с ЭПВ из рисовой шелухи | Хлеб с ЭПВК из рисовой шелухи |
| Мука пшеничная хлебопекарная первого сорта, кг | 100                    | 95                           | 94,7                          |
| Порошок ЭПВК, кг                               | –                      | –                            | 0,3                           |
| Порошок ЭПВ, %, кг                             | –                      | 5                            | 5                             |
| Дрожжи хлебопекарные прессованные, кг          | 2,5                    | 2,5                          | 2,5                           |
| Соль поваренная пищевая, кг                    | 1,5                    | 1,5                          | 1,5                           |
| Вода питьевая, кг                              |                        | по расчету                   |                               |
| Температура начальная, °С                      |                        | 28-32                        |                               |
| Продолжительность брожения, мин.               |                        | 150                          |                               |
| Кислотность конечная теста, град, не более     | 3,0-3,5                | 3,0-2,8                      | 3,0-2,7                       |
| Влажность теста, % не более                    | 44,5                   | 43                           | 43                            |
| Температура выпечки, °С                        | 220-240                | 220-250                      | 220-250                       |
| Продолжительность выпечки, мин.                | 45-50                  | 45-50                        | 50-53                         |

**Выводы.** Таким образом, можно сделать вывод, что наилучшим вариантом приготовления пшеничного хлеба выбраны следующие образцы с добавлением к массе муки: 5% не карбонизированной рисовой шелухи; смесь из 5% не карбонизированной рисовой шелухи и 0,3% карбонизированного порошка ЭПВ.

Использование ЭПВК в рецептуре пшеничного хлеба из муки 1 сорта позволит повысить пищевую и биологическую ценность хлеба, а также придать ему функциональные свойства.

### Список литературы

1 *Ауэрман Л. Я.* Технология хлебопекарного производства: Учебник. – Профессия, 2005. - 416 с.

2 *Пучкова Л. И.* Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства: учеб. пособие /Л.И. Пучкова. - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб. :ГИОРД, 2004. - 259 с.

**Акназаров С.Х.** - доктор химических наук, профессор

**Амзеева У.М.** - PhD, научный сотрудник

**Бексейтова К.С.** - старший научный сотрудник

**Нуралы А.М.** - PhD докторант

**Мутушев А.Ж.** - старший научный сотрудник

**Жиенбаева С.Т.** - доктор технических наук, и.о. профессора

**Байысбаева М.П.** - кандидат технических наук, и.о. профессора

**Молдақұлова З.Н.** - PhD докторант

Л.А. Мамаева<sup>1</sup>, Г.Е. Жумалиева<sup>1</sup>, Қ.М. Муратбекова<sup>1</sup>,  
М.Т. Ербулекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный аграрный университет,  
г.Алматы, Казахстан

---

---

## ВЛИЯНИЕ ПЛОДОВ ШИПОВНИКА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КЕКСОВ

---

---

**Аннотация.** Разработана технология мучных кондитерских изделий функционального назначения с использованием плодов шиповника. При этом изучено влияние пюре из плодов шиповника на физико-химические показатели кексов. Отмечено, что с увеличением количества вносимого пюре из плодов шиповника взамен изюма влажность кексов увеличивается. Щелочность кексов увеличивается с увеличением вносимого количества пюре из плодов шиповника взамен изюма. Повышение кислотности кексов связано с высоким содержанием кислот в плодах шиповника. Установлено, что при увеличении количества вносимого пюре шиповника взамен изюма массовая доля золы в кексах увеличивается.

**Ключевые слова:** кексы, мучные кондитерские изделия, физико-химические показатели, плоды шиповника

...

**Түйіндеме.** Авторлар функционалдық мақсатта итмұрын жемістерін қолдану арқылы ұннан жасалған кондитерлік өнімдер технологиясын әзірледі. Сонымен қатар, итмұрын жемісінен дайындалған ботқаның кекстердің физико-химиялық сипаттамаларына әсері зерттелген. Мейіздің орнын итмұрын жемісінен жасалған ботқамен алмастырып, көлемін ұлғайту арқылы кекстердің ылғалдылығының артқаны байқалды. Кекстің қышқылдық деңгейі құрамындағы мейіздің орнына итмұрын жемісінен жасалған ботқаны арттырған сайын жоғарылайды. Құрамындағы итмұрын жемісінен жасалған ботқаның қышқылдығы жоғарылаған сайын кекс қышқылдығының арта түсетіні белгілі болды. Кекстегі күлдің массалық үлесінің артуы мейіз орнына итмұрын жемістерінің ботқасы көлемінің ұлғаюымен бірге өсетіні анықталды. **Түйінді сөздер:** ашытқы, ұннан жасалған кондитерлік өнімдер, физикалық-химиялық көрсеткіштер, итмұрын жемісі.

...

**Abstract.** The authors have developed the technology of flour confectionery products for functional purposes with the use of fruit from the hips. In this case, the influence of puree from rose hips on the physicochemical parameters of cupcakes was studied. It is noted that with the increase in the amount of puree introduced

from the hips, instead of raisins, the moisture of the cupcakes increases. The alkalinity of cupcakes increases with the increase in the amount of puree introduced from the hips, instead of raisins. The increase in the acidity of cupcakes is associated with a high content of acids in puree from rose hips. It has been established that the mass fraction of ash in cupcakes increases with the increase in the amount of puree introduced by the dog rose instead of the raisins.

**Key words:** muffins, flour confectionery products, physicochemical indicators, hips

**Введение.** Кондитерская промышленность является самостоятельной производственной отраслью в пищевой перерабатывающей отрасли агропромышленного комплекса, призванной обеспечивать потребности населения кондитерскими изделиями. Среди продукции пищевой промышленности кондитерские изделия являются одними из самых популярных и востребованных во всем мире, так как они обладают особыми вкусовыми свойствами, высокой энергетической ценностью и характеризуются привлекательным внешним видом.

Кондитерская продукция вырабатывается в очень широком ассортименте, унифицированные рецептуры предусматривают сотни различных наименований кондитерских изделий.

Наряду с кондитерскими изделиями общепотребительского назначения вырабатывают изделия специального назначения с использованием заменителей сахара - ксилита и сорбита, с добавлением источника йода - морской капусты [1]. Мучные кондитерские изделия занимают второе место по объему производства в кондитерской промышленности и, кроме того, вырабатываются в значительном количестве на предприятиях хлебопекарной промышленности.

Благодаря высокому содержанию углеводов, жиров и белков мучные кондитерские изделия являются высококалорийными, хорошо усваиваемыми продуктами питания с приятным вкусом. Из-за низкой влажности некоторые виды печенья являются ценным пищевым концентратом. Большинство мучных кондитерских изделий отличается высокой энергетической ценностью, большим содержанием легкоусвояемых углеводов, жиров и белков, что обусловлено использованием при их производстве в больших количествах таких высококалорийных продуктов, как сахар-песок, жиры, яйцепродукты, молочные продукты и др. Благодаря низкому содержанию воды мучные кондитерские изделия имеют длительный срок хранения. В настоящее время производство мучных кондитерских изделий является высокомеханизированным [2].

Для производства мучных кондитерских изделий использу-

ется до 10-12 наименований разнообразного сырья. Но основным сырьем являются мука, сахар и жир. Кроме того, применяются молочные и яичные продукты, фрукты, фруктово-ягодные полуфабрикаты, орехи, шоколадные продукты, студнеобразователи, дрожжи, химические разрыхлители, вода, ароматические и красящие вещества, а также улучшители (исключение составляют галеты, так как они не содержат сахара).

Основными направлениями в разработке новых видов мучных кондитерских изделий являются совершенствование ассортимента изделий для детского и диетического питания, увеличение количества белка, снижение содержания углеводов, и в первую очередь сахаров. В связи с тем, что белок является не только полноценным, но и дефицитным компонентом продуктов питания, на современном этапе ведется изыскание новых видов белково-содержащего сырья, которое может быть успешно использовано в производстве мучных кондитерских изделий (молоко и молочные продукты, соя, глютен кукурузы, полуобезжиренная масса семян подсолнечника, мука тритикале и др.). Для повышения биологической ценности изделий используют также такое ценное сырье, как плоды и овощи. [3]. В связи с этим, разработка технологии мучных кондитерских изделий, пользующихся высоким спросом, функционального назначения с использованием из плодов шиповника, является актуальной.

**Цель работы** – изучение влияния плодов шиповника на физико-химические показатели в мучных кондитерских изделиях.

**Методы исследований.** В качестве объектов на различных этапах исследования явились:

- мука пшеничная хлебопекарная первого сорта – по ГОСТ Р 52189-2003;
- лабораторные образцы кексов, выработанные по классической рецептуре и технологии;

При выполнении работы использовали стандартные, общепринятые органолептические, физико-химические методы исследования. Для оценки качества исходного сырья, готовых изделий использовали стандартные методы определения органолептических, физико-химических и микробиологических показателей качества.

Показатели качества муки пшеничной определяли в соответствии с методиками, изложенными в следующих нормативных документах:

- определение цвета, вкуса и хруста по ГОСТ 27558-87;
- определение массовой доли влаги в муке по ГОСТ 9404-88;
- определение зольности муки по ГОСТ 27494-87;

- определение количества и качества сырой клейковины по ГОСТ 27839-2013;
- водопоглотительная способность (ВПС).

Водопоглотительную способность муки определяли следующим способом: навеску муки 50 г помещали в круглодонную фарфоровую чашку. Из бюретки постепенно небольшими порциями приливали воду комнатной температуры и замешивали тесто надлежащей консистенции (вначале шпателем, затем руками). Водопоглотительную способность муки выражали в процентах. Далее проводилось:

- определение содержания белка по ГОСТ 10846-91;
- определение аминокислотного состава белков методов ионообменной хроматографии;
- определение кислотности муки по ГОСТу 27493-87;
- определение микробиологических исследований по ГОСТу 9225—84;
- определение химического состава (минеральный, витаминный) муки и готового продукта;
- метод определения МАФАМ, плесеней и дрожжей проводят по ГОСТ Р 51278 99;
- методы культивирования микроорганизмов по ГОСТ 26670-91;
- приготовление растворов реактивов, красок, индикаторов и питательных сред, применяемых в микробиологическом анализе по ГОСТу 1044.1-84;

Показатели качества готовых кексов определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 14031 методиками, изложенными в следующих нормативных документах:

- определение органолептических показателей качества по ГОСТ 5897-90;
- определение щелочности по ГОСТ Р 5898-87;
- определение массовой доли влаги в изделиях по ГОСТ Р 5900-73;
- содержание массовой доли сахара и жира в пересчете на сухое вещество (определяли расчетным путем на основании заданной рецептуры и таблиц содержания влаги, сахара и жира в сырье и полуфабрикатах) [4].
- определение влажности по ГОСТУ 24027.2-80;
- анализ качества сырья, органолептическая оценка – по ГОСТ 27558-87;
- кислотность – методом титрования водной болтушки по ГОСТ 27493, 5670;

- активной кислотности – ГОСТ 5898-87; [5].

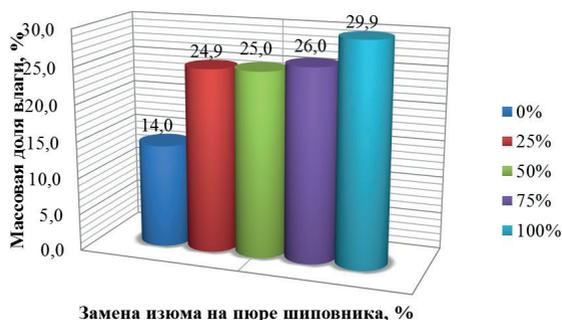
**Основные результаты.** Опытные образцы кексов были изготовлены по рецептуре кекса «Столичный», с добавлением пюре из плодов шиповника. Пюре шиповника добавляли в количестве 25,50,75 и 100% взамен изюма. Все выпеченные образцы были проанализированы по следующим физико-химические показатели кексов: массовая доля влаги, щелочность, массовая доля золы, содержание водорастворимых веществ, содержание витамина С.

Физико-химические показатели с добавлением пюре из плодов шиповника представлены в таблице 1.

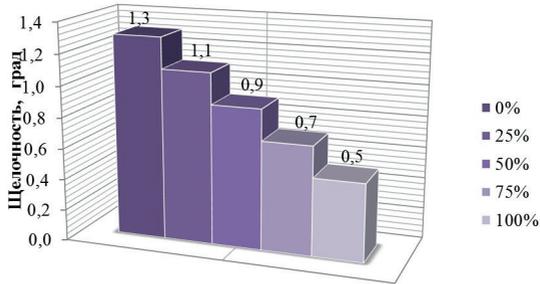
**Таблица 1 - Физико-химические показатели качества кексов с пюре из плодов шиповника**

| Количество добавляемого пюре шиповника взамен изюма, % | Массовая доля влаги, % | Щелочность, град. | Массовая доля золы, % | Содержание водорастворимых веществ, % |
|--|------------------------|-------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| 0,0  | 14,0                   | 1,3               | 0,61                  | 34,9                                  |
| 25,0   | 24,6                   | 1,1               | 0,63                  | 29,3                                  |
| 50,0   | 25,0                   | 0,9               | 0,68                  | 26,7                                  |
| 75,0   | 26,0                   | 0,7               | 0,70                  | 24,3                                  |
| 100,0  | 29,9                   | 0,5               | 0,72                  | 20,0                                  |

На основе полученных данных были построены графики, которые представлены на рисунках 1-5.

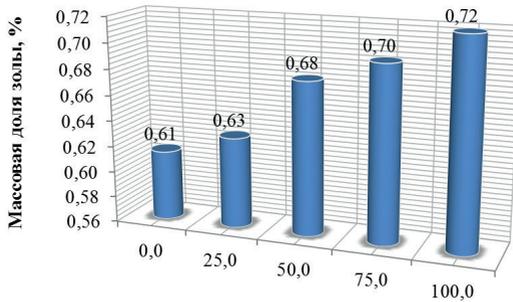


**Рисунок 1 - Влияние внесения различного количества пюре из плодов шиповника взамен изюма на массовую долю влаги**



Замена изюма на пюре шиповника, %

Рисунок 2 - Влияние внесения различного количества пюре из плодов шиповника взамен изюма на щелочность кексов



Замена изюма на пюре шиповника, %

Рисунок 3 - Влияние внесения различного количества пюре из плодов шиповника взамен изюма на массовую долю золы

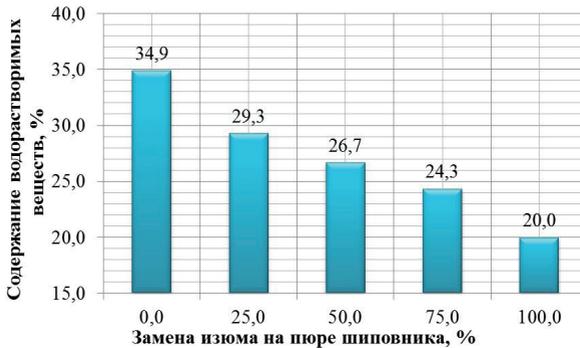


Рисунок 4 - Влияние внесения различного количества пюре из плодов шиповника взамен изюма на содержание водорастворимых веществ

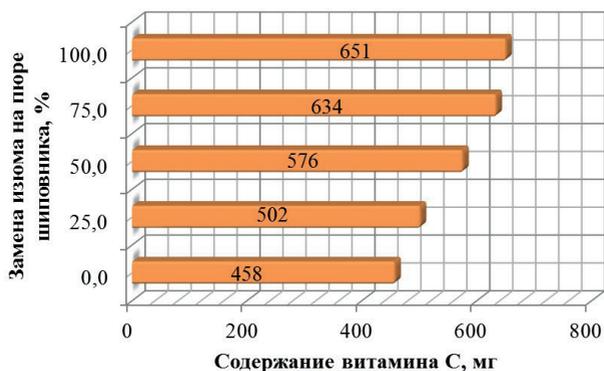


Рисунок 5 - Влияние внесения различного количества пюре из плодов шиповника взамен изюма на содержание витамина С

**Выводы.** Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что с увеличением количества вносимого пюре из плодов шиповника взамен изюма влажность кексов увеличивается. Связано это с тем, что влажность пюре выше чем у изюма. Так же с тем, что изюм вносён в тесто в целом состоянии, а пюре в виде сметанообразной консистенции, оно полностью смешивается с тестом, повышая его влажность а, следовательно, и влажность готовой продукции. Щелочность кексов увеличивается с увеличением вносимого количества пюре. Повышение кислотности кексов связано с высоким содержанием кислот в плодах шиповника [6]. При увеличении количества вносимого пюре массовая доля золы в кексах увеличивается. Связано это с тем, что в пюре шиповника содержится больше минеральных веществ, чем в изюме. С увеличением количества вносимого пюре содержание водорастворимых веществ уменьшается, а следовательно уменьшается и усвояемость. Объясняется это тем, что в пюре из шиповника содержатся пищевые волокна. Увеличение содержания витамина С в кексах, обусловлено его высоким содержанием в самих плодах.

### Список литературы

- 1 *Дункан Мэнли*. Мучные кондитерские изделия; Профессия - М., 2015. - 560 с.
- 2 *Ермилова С.В.* Мучные кондитерские изделия из дрожжевого теста; Академия (Academia) - М., 2014. - 367 с.
- 3 Мои Лекции [Электронный ресурс] - <http://mylektsii.ru/1-100272.html>, mylektsii.ru - - 2015-2019 год.
- 4 *Лурье И.С.* Технология кондитерского производства: учебное пособие. - М.: Агропромиздат, 1992. -399 с.
- 5 Продукты пищевые. Информация для потребителя. Общие требования. ГОСТ Р 51074-2003. - М.: Издательство стандартов, 2004. - 25 с.
- 6 Характеристика и пищевая ценность шиповника. Реферат от 22.06.2017 г., # 10883, [Электронный ресурс]: <http://historich.ru/konditerskaya-promishlennoste-yavlyaetsya-samostoyatelenoj-pro/index2.html#pages>.

**Мамаева Л.А.** - кандидат биологических наук, ассоциируемый профессор, e-mail: [laura.mamaeva@mail.ru](mailto:laura.mamaeva@mail.ru)

**Жумалиева Г.Е.** - кандидат технических наук, ассоциируемый профессор, e-mail: [guljan\\_7171@mail.ru](mailto:guljan_7171@mail.ru)

**Муратбекова Қ.М.** - магистрант, старший преподаватель, e-mail: [kakasya88@yandex.ru](mailto:kakasya88@yandex.ru)

**Ербулекова М.Т.** - PhD доктор, старший преподаватель, e-mail: [phdplovdiv12@yandex.kz](mailto:phdplovdiv12@yandex.kz)

А.М. Нуралы<sup>1</sup>, С.Х. Акназаров<sup>1</sup>, М.К. Алимарданова<sup>2</sup>,  
У.М. Амзеева<sup>1</sup>, С. Азатқызы<sup>1</sup>, В.М. Бакиева<sup>2</sup>, А. Шуникеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научный производственно-технический центр «Жалын»,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Алматинский технологический университет, г. Алматы, Казахстан

---

---

## РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО КИСЛОМОЛОЧНОГО ПРОДУКТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНТЕРОСОРБИРУЮЩИХ ПИЩЕВЫХ ВОЛОКОН

---

---

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы разработки технологий приготовления кисломолочных продуктов с добавлением энтеросорбирующих пищевых волокон. В качестве сырья для изготовления кисломолочных продуктов применяют молоко только с хорошими показателями жирности и оптимальным содержанием белка. Однако, в связи с сезонной неустойчивости эти показатели не стабильны. Поэтому для производителей молочных продуктов актуально использование различных функциональных пищевых добавок для получения качественного конечного продукта.

**Ключевые слова:** пищевые волокна, технология, функциональный продукт, кисломолочные продукты.

• • •

**Түйіндеме.** Мақалада энтеросорбциялық диеталық талшық қосылған ферменттелген сүт өнімдерін дайындау технологиясын дамыту туралы айтылады. Қышқыл сүт өнімдерін өндіруге арналған шикізат ретінде майлылығы және ақуызы жоғары сүт пайдаланылады. Алайда, маусымдық тұрақсыздыққа байланысты бұл көрсеткіштер орнықты емес. Сондықтан, сүт өнімдерін өндірушілер үшін жоғары сапалы түпкілікті өнімді алу үшін әртүрлі функционалды тағамдық қоспаларды пайдалану маңызды.

**Түйінді сөздер:** диеталық талшық, технология, функционалды өнім, сүт өнімдері.

• • •

**Abstract.** The article discusses the development of technologies for the preparation of fermented milk products with the addition of enterosorbing dietary fiber. As raw materials for the production of dairy products, milk is used only with good fat content and optimal protein content. However, due to seasonal instability,

these indicators are not consistent. Therefore, for manufacturers of dairy products, it is important to use various functional food additives to obtain a high-quality final product.

**Keywords:** food fibers, technology, functional product, dairy products.

**Введение.** Внутренний рынок молочной продукции в Казахстане составит в 2020 г. около 1,6 млн. т в молочном эквиваленте, из которых местная продукция может составить около 1,5 млн. т в молочном эквиваленте [1]. Анализ проблем переработки сельскохозяйственной продукции показывает большую импортозависимость Казахстана по ряду продуктов. Одним из путей решения этой проблемы является создание технологической базы для производства продуктов специализированного назначения, не только удовлетворяющих физиологические потребности организма человека в пищевых веществах и энергии, но и выполняющих профилактические и лечебные функции. Большую роль в обеспечении здорового питания играет молочная промышленность, в особенности цельно- и кисломолочная отрасль поскольку биологические свойства кисломолочных продуктов оказывают оздоравливающее действие на полезную кишечную микрофлору [2-5].

Перспективные направления научных исследований в молочной отрасли связаны с созданием инновационных технологий производства молочных продуктов с использованием полиштаммовых бактериальных заквасок, разработкой молочных продуктов специального и лечебно-профилактического назначения с заданными свойствами и сбалансированными по аминокислотному, жирнокислотному, макро- и микроэлементному составу с введением наполнителей, усиливающих лечебно-профилактические свойства кисломолочных продуктов [6].

Проведенный мониторинг по ассортименту и наполняемости рынка кисломолочных продуктов показал, что наибольшим спросом пользуются у потребителей йогурты с различными наполнителями – фруктово-ягодными, овощными, растительными добавками. Особое место занимают в этом ряду пищевые волокна [7].

**Цель работы** – исследование и разработка технологии функционального кисломолочного продукта с использованием энтеросорбирующих пищевых волокон.

**Материал и методы исследования.** Объект исследования: молоко – сырье; энтеросорбирующие пищевые волокна, кисломолочные продукты – йогурт. Определена первоначальная тактика работы – создание модельных систем: молоко–ЭСПВ; йогурт–ЭСПВ с целью определения оптимальной дозы внесения ЭСПВ и поведения ЭСПВ в эмульсионных средах.

Этап 1. Исследования проводили с дозировкой от 0 до 10 % с интервалом 1 %: 0, 1, 2, 3, 4,5, 6, 7, 8, 9, 10 (таблица 1).

**Таблица 1 – Описание кисломолочного продукта с добавкой в разных процентных соотношениях**

| Показатели йогурта                | Контроль   | Количество ЭСПВ (измельченная, некарбон. рис. шелухи), %                       |  |  |  |
|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
|                                   |  | 1 %  | 2%   | 3%   | 4%   |
| Внешний вид и консистенция        | однородная с ненарушенным густотком, в меру вязкая                             | однородная с ненарушенным густотком, в меру вязкая                             | Однородная с ненарушенным густотком, в меру вязкая                             | однородная с ненарушенным густотком, в меру вязкая       | однородная с в меру нарушенным густотком                 |
| Вкус и запах                      | чистый, кисломолочный без посторонних привкусов и запахов, в меру сладкий вкус | чистый, кисломолочный без посторонних привкусов и запахов, в меру сладкий вкус | чистый, кисломолочный без посторонних привкусов и запахов, в меру сладкий вкус | чистый, кисломолочный с включениями, в меру сладкий вкус | чистый, кисломолочный с включениями, в меру сладкий вкус |
| Цвет                              | молочно-белый  | молочно-белый  | молочно-белый  | молочно-желтый   | молочно-желтый   |
| <b>Физико-химические свойства</b> |  |  |  |  |  |
| Массовая доля жира, %             | 2,2  | 2,2  | 2,2  | 2,2  | 2,2  |
| Массовая доля белка, %            | 3,2  | 3,1  | 2,9  | 3,0  | 2,9  |
| Кислотность, °Т                   | 78   | 94   | 94,5   | 102  | 118  |

Контролем служили образцы йогурта, выработанные из коровьего, козьего молока.

При выполнении работы использованы стандартные методы, традиционно применяемые при оценке качества пищевых продуктов.

**Оценка физико-химических свойств сырья.** Основным сырьем для производства углеродного энтеросорбента является рисовая шелуха (РШ). В состав РШ входит, % (масс.): С 39,8-41,1;

Н 5,7-6,1; SiO - 46,0-49,3. Главными углеводами лузги являются целлюлоза (клетчатка) и гемицеллюлоза, содержащая в основном пентозаны. Из неорганических компонентов, содержащихся в золе, преобладающим является оксид кремния. В целом же РШ можно рассматривать как диоксид кремния, содержащий определенный ряд сопутствующих примесей, концентрация которых зависит от сорта растения и состава почвы [8-9].

Карбонизованная рисовая шелуха содержит аморфный диоксид кремния. Химический состав и основные свойства используемой рисовой шелухи были изучены в Институте проблем горения. Данные представлены в таблицах 2,3.

**Таблица 2 – Химический состав рисовой шелухи по результатам рентгеноспектрального анализа (% мас.)**

| Компонент | Содержание, % (масс) |
|-----------|----------------------|
| Вода      | 3,75 – 24,08         |
| Зола      | 11,86 – 31,78        |
| Пентозан  | 4,52 – 37,0          |
| Целлюлоза | 34,32 – 43,12        |
| Лигнин    | 19,2 – 46,97         |
| Протеин   | 1,21 – 8,75          |
| Жиры      | 0,38 – 6,62          |

**Таблица 3 – Состав карбонизованной рисовой шелухи**

| Element | Wt%        | At%   |
|---------|------------|-------|
| СК      | 73.86      | 81.49 |
| ОК      | 17.95      | 14.87 |
| SiK     | 6.54       | 3.09  |
| КК      | 1.28       | 0.43  |
| CaK     | 0.37       | 0.12  |
| Matrix  | Correction | ZAF   |

Выбор рисовой шелухи обусловлен тем, что в состав данного сырья входит целлюлоза, лигнин и минеральная зола, состоящая на 92-97 % из диоксида кремния, представляющие из себя полезные вещества для организма человека. Сырье из рисовой шелухи отно-

сится к быстро возобновляемым источникам и является экологически чистым. В научно–исследовательской лаборатории по оценке качества и безопасности продовольственных продуктов при Алматинском технологическом университете были изучены показатели безопасности не карбонизированного и карбонизированного ЭСПВ, которые доказали безопасность ЭСПВ и возможность использования их при производстве основных продуктов массового потребления (хлебобулочные и кисломолочные продукты) (таблицы 4,5).

**Таблица 4– Показатели безопасности ЭСПВ**

| Наименование показателей, ед. измерения    | Норма по НД       | Фактические результаты | НД на методы испытаний |
|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| Тяжелые металлы, мг/кг не более:           |                   |                        | ААС метод              |
| - Св                                       | 1,0               | 0,1163±0,0020          |                        |
| - As                                       | 0,5               | 0,0533±0,0049          |                        |
| - Pb                                       | 6,0               | 0,5827±0,0262          |                        |
| - Zn                                       |                   | 2,7919±0,243           |                        |
| Микробиологические показатели:             |                   |                        |                        |
| - БГКП в 1,0 г препарата                   | Не допускается    | Не обнаружено          | ГОСТ 30518-97          |
| - Плесени, КОЕ/г, не более в 1г. препарата | 1*10 <sup>4</sup> | Не обнаружено          | ГОСТ 10444.12-2013     |
| - Дрожжи, КОЕ/г, не более в 1г. препарата  | 1*10 <sup>4</sup> | Не обнаружено          | ГОСТ 10444.12-2013     |

В результате проведенных работ было показано, что по мере нарастания дозы ЭСПВ в модельных системах – молоко–ЭСПВ; йогурт–ЭСПВ, изменяются органолептические характеристики: консистенция, вкус, цвет модельных систем, причем не в лучшую сторону.

**Таблица 5 – Показатели безопасности карбонизированного ЭСПВ**

| Наименование показателей, ед. измерения    | Норма по НД       | Фактические результаты | НД на методы испытаний |
|--|-------------------|------------------------|------------------------|
| Тяжелые металлы, мг/кг не более:           |                   |                        |                        |
| - Св                                       | 1,0               | 0,0827±0,0097          | ААС метод              |
| - As                                       | 0,5               | 0,154±0,014            |                        |
| - Pb                                       | 6,0               | 0,6846±0,0178          |                        |
| - Zn                                       |                   | 21,6909±1,9088         |                        |
| Микробиологические показатели:             |                   |                        |                        |
| - БГКП в 1,0 г, препарата                  | Не допускается    | Не обнаружено          | ГОСТ 30518-97          |
| - Плесени, КОЕ/г, не более в 1г. препарата | 1*10 <sup>2</sup> | Не обнаружено          | ГОСТ 10444.12-2013     |
| - Дрожжи, КОЕ/г, не более в 1г. препарата  | 1*10 <sup>2</sup> | Не обнаружено          | ГОСТ 10444.12-2013     |

В модельных системах использовали коровье молоко, так как молочные предприятия работают на коровьем молоке—сырье. Козье молоко применяют только малые мини—цеха, специализирующиеся на выпуске продукции только из козьего молока. Сегмент данного направления незначительный, по сравнению с заводами, выпускающими продукцию на коровьем молоке.

Итогом данного этапа исследований явилось уточнение дозы ЭСПВ в сторону снижения, а именно, от 0 до 5 %\*.

**Выводы.**

1. Все виды ЭСПВ возможно использовать в производстве кисломолочных продуктов;
2. ЭСПВ не карбонизированные и карбонизированные безопасны и могут быть использованы для производства функциональных молочных продуктов;
3. Итогом данного этапа исследований явилось уточнение дозы ЭСПВ в сторону снижения, а именно, от 0 до 5 %.

## Список литературы

1 Переработка молока и производство сыра. Отчет по маркетинговому исследованию в отрасли по коду ОКЭД 51 [Электрон. ресурс] // Business Media Group. – 2011. – [Электрон. ресурс] -: URL: [https://www.damu.kz/content/otchet/OtchetMarketingovykhIssledovaniy\\_PererabotkaMolokaIProizvodstvoSyra](https://www.damu.kz/content/otchet/OtchetMarketingovykhIssledovaniy_PererabotkaMolokaIProizvodstvoSyra).

2 *Асенова Б.К.* Контроль качества молока и молочных продуктов. Алматы: Халықаралық жазылым агентігі, 2013.

3 *Банникова А.В.* Инновационный технологический подход к расширению ассортимента йогуртов с пищевыми волокнами // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2014. – № 3. – С. 17–22.

4 Обзор рынка молока и молочной продукции государств – членов Евразийского экономического союза за 2010-2015 годы [Электрон. ресурс] // Евразийская экономическая комиссия. – 2016. – URL: <http://www.eurasiancom>

5 Патент РК на изобретение № 31593 / 30.09.2016. Сиявявский Ю.А., Шарманов Т.Ш., Макеева Р.К., и др. Способ производства йогурта. [Patent KAZ № 31593 / 30.09.2016. Sinyavskii YuA, Sharmanov TSh, Makeeva RK, et al. Sposob proizvodstva iogurta. (In Russ).]

6 Патент РК на изобретение № 30404 / 15.10.2015. Сиявявский Ю.А., Выскубова В.Г., Якунин А.В., и др. Кисломолочный продукт на основе кобыльего молока. [Patent KAZ № 30404 /15.10.2015. Sinyavskii YuA, Vyskubova VG, Yakunin AV, et al. Kislomolochnyi produkt na osnove kobyly'ego moloka. (In Russ).]

7 *Алимарданова М.К.* Научно-практические основы производства национальных молочных продуктов//дисс...докт.техн. наук.– Алматы, 2006.– 279с.

8 *Банникова А.В.* Исследование и оценка основных ингредиентов, формирующих текстуру кисломолочных продуктов // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 176–181

9 *Потапов В.В., Сивашенко В.А., Зеленков В.Н.* Применение нанокремнезема в сельском хозяйстве: растениеводство, птицеводство, животноводство. Сборник научных трудов «Нетрадиционные природные ресурсы, инновационные технологии и продукты». М.: Изд-во РАЕН. 2013. – Вып.21. – С.86–101.

**Нұралы Ә.М.** - PhD докторант

**Акназаров С.Х.** - доктор химических наук, профессор

**Алимарданова М.К.** - академик АСХН РК, доктор технических наук, профессор

**Амзеева У.М.** - PhD докторант

**Азаткызы С.** - научный сотрудник

**Бакиева В.М.** - докторант

**Шунекеева А.** - докторант

Н.Ж. Муслимов<sup>1</sup>, Б.А. Сакенова<sup>1</sup>, И.Ж. Темирова<sup>1</sup>, А.Б. Альдиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Астанинский филиал Казахского научно-исследовательского института перерабатывающей и пищевой промышленности, г. Нур-Султан, Казахстан

---

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПЕРЕЭТЕРИФИЦИРОВАННЫХ ЖИРОВ НА РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА

---

**Аннотация.** Вносимые в тесто жировые продукты играют важнейшую роль в формировании реологических свойств теста, пищевой ценности хлебобулочных изделий и сохранении их свежести. В работе исследовано влияние перезэтерифицированных жиров на реологические свойства теста. Перезэтерифицированные жиры с низким содержанием трансизомеров ненасыщенных жирных кислот были получены перезэтерификацией трехкомпонентной смеси на основе полностью гидрогенизированного масла, пальмового и рапсового масел. Исследования реологических характеристик теста показали, что при внесении перезэтерифицированных жиров наблюдается увеличение его газодерживающей способности, повышение эластичности, что приводит к увеличению объема хлебобулочных изделий при выпечке. Наблюдается увеличение упругости, растяжимости эластичности теста, происходит снижение удельной работы. Также уменьшалось разжижение теста, что подтверждалось данными по увеличению его стабильности. Это позволяет сделать вывод о том, что применение перезэтерифицированных жиров способствует укреплению клейковинного каркаса, что повышает формуустойчивость хлеба и общую деформацию мякиша. Доказаны преимущества использования перезэтерифицированных жиров при производстве хлебобулочных изделий. Их применение не требует изменения рецептуры изделий и внесения дополнительных стадий в технологический процесс.

**Ключевые слова:** перезэтерифицированные жиры, тесто, гидрогенизированные масла, реологические свойства, хлебобулочные изделия.

• • •

**Түйіндеме.** Қамырға қосылатын май өнімдері қамырдың реологиялық қасиеттерің, нан-тоқаш өнімдерінің тағамдық құндылығын қалыптастыруда және олардың балғындығын сақтауда маңызды рөл атқарады. Жұмыста қайта этерификацияланған майлардың қамырдың реологиялық қасиеттеріне әсері

зерттелді. Құрамында қанықпаған май қышқылдарының трансизомерлері төмен қайта этерификацияланған майлар, толық гидрогенизацияланған май, пальма және рапс майлары негізінде үш компонентті қоспаны қайта этерификациялау арқылы алынды. Қамырдың реологиялық сипаттамаларын зерттеуде көрсеткендей, қайта этерификацияланған майларды енгізгенде оның газ ұстағыш қабілетінің жоғарылауы байқалады, бұл пісіру кезінде нан-тоқаш өнімдерінің көлемін арттыруға септеседі. Қамырдың серпімділігі, созылғыштығы және икемділігі, меншікті жұмысының төмендеуі байқалады. Сондай-ақ, оның тұрақтылығын арттыру барысында деректермен расталған сұйылуының төмендеуі де анықталды. Бұл қайта этерификацияланған майларды қолдану клейковина қаңқасын нығайтуға ықпал етіп, нанның формалық тұрақтылығын және нан жұмсағының жалпы деформациясын арттырады. Жүргізілген зерттеулер нан-тоқаш өнімдерін өндіру кезінде қайта этерификацияланған майларды пайдаланудың артықшылықтарын дәлелдейді. Оларды қолдану өнімдердің рецептурасын өзгертуді және технологиялық үрдіске қосымша кезеңдерді енгізуді талап етпейді.

**Түйінді сөздер:** қайта этерификацияланған майлар, қамыр, гидрогенизацияланған майлар, реологиялық қасиеттер, нан-тоқаш өнімдері.

• • •

**Abstract.** Fat products introduced into the dough play an important role in shaping the rheological properties of dough, the nutritional value of bakery products and preserving their freshness. The study has investigated the effect of interesterification fats on the rheological properties of dough. The interesterification fats with a low content of trans-isomers of unsaturated fatty acids were obtained by interesterification of a three-component mixture based on fully hydrogenated oils, palm oil and rapeseed oil. Studies of the rheological characteristics of the dough showed that when introducing interesterification fats, there is an increase in its gas-holding capacity, an increase in elasticity, which leads to an increase in the volume of baked goods during baking. There is an increase in elasticity, tensile elasticity of the dough; there is a decrease in the specific work. The dilution of the dough was also reduced, which was confirmed by data on increasing its stability. This allows us to conclude that the use of interesterification fats contributes to the strengthening of the gluten carcass, which increases the dimensional stability of bread and the overall crumb deformation.

The studies have shown the advantages of using interesterification fats in the making of bakery products. Their use does not require changes in the formulation of products and the introduction of additional stages in the process.

**Keywords:** transesterified fats, dough, hydrogenated oils, rheological properties, bakery products.

**Введение.** Одной из отраслей в Казахстане применяющее значительное количество жиров до 50% является хлебопекарная. Их количество может доходить в рецептуре от 2% и до 14 %. При этом жировая продукция при производстве хлебобулочных изделий может выполнять различные функции: выступать в качестве дополнительного сырья, улучшающего реологические свойства теста, формирующего органолептические и физико-химические показатели качества хлебобулочных изделий и способствующего сохранению свежести изделий, а также повышению их пищевой ценности. В качестве жировых компонентов используют различные растительные масла, животные жиры, в том числе сливочное масло, а также маргарины и жиры специализированного назначения, большая часть которых произведена с использованием частичной гидрогенизации. Полученные таким способом маргарины и спецжиры имеют улучшенные технологические свойства по сравнению с растительными маслами, однако характеризуются высоким содержанием опасных для здоровья трансизомеров ненасыщенных жирных кислот.

В связи с доказанным вредным воздействием на здоровье человека трансизомеров ненасыщенных жирных кислот Всемирная организация здравоохранения рекомендовала снизить уровень потребления трансизомеров ненасыщенных жирных кислот до 1% от суточной калорийности рациона. Политика нашего государства в части снижения трансизомеров ненасыщенных жирных кислот основана на европейском опыте и рекомендациях Всемирной организации здравоохранения и направлена на заботу о здоровье населения. Так в нашей стране качество и безопасность масложировой продукции регулируется Согласно принятому в конце 2011 г. Техническому регламенту Таможенного союза на масложировую продукцию (ТР ТС 024/2011) с 1 января 2018 г. в Республике Казахстан и в других государствах ЕАЭС были закреплены законодательные ограничения доли ТИЖК в жировых продуктах до 2 % от содержания жира в продукте.

Анализ мировых трендов показывает, что в настоящее время современные исследования направлены на использование вместо частично гидрированных жиров, характеризующихся высоким содержанием трансизомеров ненасыщенных жирных кислот смесей полностью гидрированных твердых жиров, не содержащих трансизомеров ненасыщенных жирных кислот, с различными жидкими маслами [1-3]. Продукты полного гидрирования жидких растительных масел имеют слишком высокую температуру плавления (более 75°C), большую твердость и высокую скорость кристаллизации, поэтому их переэтерификация позволит не только снизить температуры плавления, но также уменьшить содержание твердых триглицеридов при одинако-

вых температурах и получать жиры с желаемыми физическими свойствами [4-8].

**Методы исследования.** С целью получения и исследования влияния переэтерифицированных жиров с низким содержанием трансизомеров ненасыщенных жирных кислот на реологические свойства теста была проведена химическая переэтерификация трехкомпонентной смеси на основе полностью гидрогенизированного масла, пальмового масла и рапсового масла в соотношении 20/20/60 соответственно. В исследованиях использовали муку пшеничную высшего сорта, тесто готовили безопасным способом. Жировые продукты вносили в количестве 3,0 % от массы муки и минимальным количеством сырьевых компонентов (мука, соль, сахар, жировой продукт, дрожжи, вода), чтобы исключить улучшающее влияние других рецептурных компонентов. Количество вносимых сырьевых компонентов при приготовлении теста приведены в таблице 1.

Для проведения сопоставительного анализа было рассмотрено также внесение маргарина, сливочного масла и подсолнечного масла. В качестве контроля был выбран маргарин.

**Таблица 1 – Количество вносимых сырьевых компонентов для приготовления теста**

| Рецептурный компонент             | Количество рецептурных компонентов, % к массе муки при приготовлении теста |
|-----------------------------------|--|
| Мука пшеничная                    | 100  |
| Дрожжи хлебопекарные прессованные | 2,5  |
| Соль поваренная пищевая           | 1,5  |
| Жировые продукты                  | 3,0  |
| Сахар                             | 4,0  |
| Вода                              | 43,0   |

**Результаты исследования.** Исследования реологических характеристик теста, представленные в таблице 2, показали, что при внесении переэтерифицированных жиров наблюдается увеличение его газодерживающей способности на 9-13%, а также повышение эластичности, что приводит к увеличению объема хлебобулочных изделий при выпечке. Наблюдается увеличение упругости на 5-10%, растяжимости на 10-15%, эластичности 5-35% теста, происходит снижение удельной работы на 5-8% и отношения P/L. Также уменьшалось разжижение теста, что подтверждалось данными по увеличению

его стабильности. Это позволяет сделать вывод о том, что применение переэтерифицированных жиров способствует укреплению клейковинного каркаса, что повышает формоустойчивость хлеба и общую деформацию мякиша. Использование переэтерифицированных жиров способствовало получению высоких органолептических показателей качества хлебобулочных изделий, что может быть обусловлено преобладанием в них  $\beta'$ -полиморфной модификации кристаллов, полученных в результате переэтерификации.

**Таблица 2 - Влияние масложировых продуктов на реологические свойства теста**

| Показатель свойств          | Жировые продукты |                    |                 |                   |
|-----------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
|                             | Маргарин         | Подсолнечное масло | Сливочное масло | ПМ/М6/ПМ 20/20/60 |
| Упругость теста, (P), мм    | 76               | 76                 | 81              | 80                |
| Растяжимость теста, (L), мм | 80               | 90                 | 74              | 88                |
| Отношение P/L               | 0,95             | 0,84               | 1,09            | 0,9               |
| Удельная работа (W)         | 239              | 255                | 224             | 230               |
| Эластичность, ед. приб.     | 168              | 198                | 195             | 180               |
| Разжижение, ед. приб.       | 122              | 127                | 125             | 112               |

Важным свойством хлебопекарных жиров является их устойчивость к окислению. Так переэтерифицированные жиры имели низкие значения перекисного и кислотного чисел, что способствует сохранению свежести хлебобулочных изделий.

**Выводы.** Таким образом, проведенные исследования доказывают преимущества использования переэтерифицированных жиров при производстве хлебобулочных изделий. Их применение не требует изменения рецептуры изделий и внесения дополнительных стадий в технологический процесс, способствует повышению показателей качества хлебобулочных изделий из пшеничной муки, и позволяет вырабатывать разнообразный ассортимент продуктов повышенной пищевой ценности.

## Список литературы

1 Kok L. L., Fehr W. R., Hammond E. G., & White P. J. (1999). Trans-free margarine from highly saturated soybean oil. Journal of American Oil Chemists' Society, 76, 1175–1181.

2 Ribeiro APB, Grimaldi R, Gioielli LA, Gonçães LAG (2009) Zero trans fats from soybean oil and fully hydrogenated soybean oil: physico-chemical properties and food applications. Food Res Int 42:401–410.

3 Kim IH, Lee SM, Lee BM, Park HK, Kim JY, Kwon KI, Kim JW, Lee JS, Kim YH (2008) Interesterification of olive oil with a fully hydrogenated fat in a batch reactor using step changes in temperature. JAgricFoodChem 56:5942–5946

4 Zeitoun M.A.M., Neff W.E., List G.R., and Mounts T.L., Physical Properties of Interesterified Fat Blends, Ibid. 70:467–471 (1993).

5 Hurtova S., Schmidt S., Zemanovic J., Simon P., and Sekretar S., Random Interesterification of Fat Blends with Alkali Catalysts, Fett/Lipid 98:60–65 (1996).

6 List G.R., Emken E.A., Kwolek W.F., Simpson T.D., and Dutton H.J., "Zero Trans" Margarines: Preparation, Structure and Properties of Interesterified Soybean Oil-Soy Trisaturate Blends, J. Am. Oil Chem. Soc. 54:408–413 (1977).

7 List G.R., Mounts T.L., Orthoefer F., and Neff W.E., Margarine and Shortening Oils by Interesterification of Liquid and Trisaturated Triglycerides, Ibid. 72:379–382 (1995).

8 Hamam F. Enzymatic incorporation of selected long-chain fatty acids triolein / F. Hamam, F. Shahidi // J. Am. Oil Chem. Soc. 2007. - Vol. 84, № 6. - P. 533-541.

**Муслимов Н.Ж.** - доктор технических наук,

**Сакенова Б.А.** - магистр, e-mail: [bagila73@mail.ru](mailto:bagila73@mail.ru)

**Темирова И.Ж.** - магистр, e-mail: [Indira\\_t85@mail.ru](mailto:Indira_t85@mail.ru)

**Альдиева А.Б.** - младший научный сотрудник,

e-mail: [Akylinaakmaral@mail.ru](mailto:Akylinaakmaral@mail.ru)

Ж. Ботбаева<sup>1</sup>, Т. Коптлеуова<sup>1</sup>, А. Байкенов<sup>1</sup>, К. Байгенжинов<sup>1</sup>,  
Г. Издибаева<sup>1</sup>, К.Елеуқенова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Астанинский филиал казахского научно-исследовательского  
института пищевой и перерабатывающей промышленности,  
г. Нур-Султан, Казахстан

---

---

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БЕЗГЛЮТЕНОВЫХ СУХИХ СМЕСЕЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ОТЕЧЕСТВЕННОГО СЫРЬЯ

---

---

**Аннотация.** В статье приведена технология получения безглютеновых каш быстрого приготовления из гречневой, просяной, рисовой и кукурузной муки. Отобранные культуры проверены на отсутствие глютена по специальной тест-системе. Определены температуры плавления крахмала всех культур, с целью установления режимов экструдирования. Изучены качественные характеристики (влажность, содержание липидов, белков, крахмала, клетчатки, и зольность) и физические свойства экструдатов (растворимость, водопоглотительная способность и набухаемость). Разработана технологическая схема получения сухих смесей для каш быстрого приготовления.

**Ключевые слова:** глютен, безглютеновые каши, экструдирование, экструдат, сухие смеси.

• • •

**Түйіндеме.** Мақалада қарақұмық, тары, күріш және жүгері дәнді дақылдарының ұнынан глютенсіз ботқа өндіру технологиясы ұсынылады. Таңдалған дақылдар арнайы сынау жүйесімен құрамында глютеннің болмауы үшін тексерілді. Экструзия режимдерін белгілеу үшін барлық дақылдар крахмалдарының балқу нүктелері анықталды. Сапалық сипаттамалар (ылғалдылық, май, ақуыз, крахмал, талшық және күл) және экструдаттардың физикалық қасиеттері (ерігіштігі, суды сіңіру қабілеті және ісінуі) зерттелді. Тез дайындалатын ботқа жасау үшін құрғақ қоспаларды өндірудің технологиялық схемасы жасалынды.

**Түйінді сөздер:** глютен, глютенсіз ботқа, экструдерлеу, экструдат, құрғақ қоспа.

• • •

**Abstract.** The article presents the technology for producing gluten-free instant cereals from buckwheat, millet, rice and corn flour. Selected cultures were tested

for the absence of gluten by a special test system. The melting points of starch of all cultures were determined in order to establish extrusion regimes. Qualitative characteristics (moisture, lipid, protein, starch, fiber, and ash) and physical properties of extrudates (solubility, water absorption capacity and swelling) were studied. A technological scheme for the production of dry mixes for instant cereals has been developed.

**Key words:** gluten, gluten-free cereals, extrusion, extrudate, dry mixes.

**Введение.** В настоящее время во всем мире, и в Казахстане, в том числе, прогрессируют алиментарно-зависимые заболевания, которые возникают от несбалансированности рациона питания. Одно из таких заболеваний – целиакия (глютеновая энтеропатия) – хроническое аутоиммунное заболевание, поражающее тонкую кишку генетически предрасположенных пациентов в ответ на контакт с токсичным для них белком злаков – глютеном [1]. Необходимо отметить, что аглютеновая диета для больных, страдающих целиакией – единственный способ лечения. Назначенная диета основана на исключении из рациона питания продуктов, содержащих как явный глютен, так и скрытый глютен. Потребительский спрос на безглютеновые продукты возрастает, как и в нашей стране, так и за рубежом, необходимо развивать собственное производство такой продукции, а также экспортировать ее в ближнее зарубежье.

Отечественный рынок безглютеновых изделий полностью не удовлетворяет спросу данной категории людей, среди которых преобладают дети, требующие постоянного разнообразия в питании. Поэтому, разработка технологии каш быстрого приготовления для людей, страдающих непереносимостью пшеничного белка, является актуальным. Одной из перспективных технологий получения высококачественных сухих смесей является экструзионная обработка сырья [2]. Использование процесса экструдирования зерновых культур для каш быстрого приготовления позволяет создавать продукты с повышенной пищевой, биологической и энергетической ценностью. Для получения безглютеновых экструдированных продуктов основным компонентом должен быть крахмал, который под воздействием влаги, температуры и механических напряжений подвергается сложным превращениям, что приводит к изменению его физико-химических свойств. Переходя в вязко-текучее (клейстеризованное) состояние крахмал образует так называемый расплав, охлаждение которого приводит к образованию трехмерной сетки геля. Основой получе-

ния качественного экструдата является правильный выбор режимов экструзионной обработки крахмалсодержащего сырья. Возможность изменения состава продуктов в сторону увеличения содержания белков, витаминов и минеральных веществ играет важную роль в профилактике многих заболеваний человека. Экструзионная обработка зерновых культур обеспечивает высокие санитарно-гигиенические показатели продукта, обеспечивающие уничтожение бактерии группы кишечной палочки, плесневых грибов и сальмонеллы, которые способствуют увеличению сроков хранения продукта. Поэтому применение процессов экструдирования при производстве каш быстрого приготовления является перспективным.

**Методы исследования.** Отбор проб безглютеновых зерновых и масличных культур проводили по ГОСТ 13586.3-2015, ГОСТ 29142-91, технологические свойства определяли по СТ РК 2118-2011; ГОСТ Р 56105-2014; ГОСТ 6293-90; ГОСТ 22983-88; ГОСТ 10582-76, химический состав по ГОСТ 10846-91; ГОСТ 32749-2014; ГОСТ 32040-2012; ГОСТ 10847-74; ГОСТ 10845-98; определение глютена в зерновых и масличных культурах и продуктах их переработки - методика R-Biopharm AG на тест-систему RIDASCREEN Gliadin AOAC Research Institute Performance Tested Method 12060. Качественные характеристики безглютеновой муки – по ГОСТ 31645-2012; ГОСТ 14176-69; СТО 68311059-005-2011. ВПС муки по [3]. Кукурузный крахмал и мука пшеничная – по ГОСТ 32159-2013 и ГОСТ 26574-85.

Соотношение муки рисовой: муки гречневой: муки кукурузной: кукурузный крахмал в смеси №6 50% - 35% -5% - 10%; в смеси №7- 40% - 25 % -25%-5 % - 10 %; в смеси №8 - 30% - 20% - 10 % - 20% - 20%.

Дегустационную оценку безглютеновых изделий сухих смесей для каш быстрого приготовления проводили в соответствии с методикой [4-6]. Определение значения термодинамических параметров плавления проводили на дифференциальном сканирующем калориметре DSC 1/200W фирмы Mettler toledo по методике [7-8]. Экструзионные каши быстрого приготовления получали путем экструдирования цельносомлотой муки на двухшнековом экструдере марки DS32-II – Double- screw testing extrude. Для установления оптимальной крупности помола зерно размалывали на лабораторной мельнице ЛЗМ и просеивали через сито №27, на лабораторном отсеиве ТУ 5142- 001-45708015- 2000, а также на мельнице марки Novital Molino Macinapane MAGNUM 4V со встроенными ситами диаметром Ø1 мм и Ø2 мм. Измельченный шрот увлажняли в пределах от 15 до 25% и отвола-

живали в течение 30 мин. при комнатной температуре. Увлажненные смеси экструдировали при различных температурах 100°C – 180°C. Экструдаты дробили на молотковой дробилке молот 200 (производитель завода «Инфелка»). Растворимость и водопоглотительную способность определяли методом Шоха [9]. Для разработки процентного соотношения компонентов, входящих в состав безглютеновых каш взяты на исследование 12 смесей из гречневой и кукурузной, просяной, рисовой муки. Результаты экспериментальных исследований представлены среднеарифметическими значениями, определенными из трех параллельных измерений. Математическую обработку измерений проводили с использованием стандартных компьютерных программ MS Office Excel 2010 по общепринятым методикам.

**Результаты и исследования.** Первоначальным этапом исследований был отбор проб зерновых культур. Были отобраны 1 проба кукурузы, 1 проба риса, 2 пробы гречихи, 1 проба проса. Исследования показали, что проанализированные пробы зерновых культур соответствовали требованиям нормативных документов на каждый вид сельскохозяйственной продукции, имели высокие технологические свойства, что дало возможность, в последствии, обеспечить максимальный выход продукции при их переработке.

Проведен анализ отобранных зерновых культур на содержание глютена с помощью тест системы Ridascreen Gliadin AOAC Research Institute Performance Tested Method 12060. Исследования показали, что культуры не содержат глютен.

Для проведения исследований по получению безглютеновой сухой смеси экструзионным способом проводили экструдирование зерновых культур на двухшнековом экструдере марки DS32-II – Double- screw testing extruder. Из-за отсутствия рекомендаций по экструдированию от производителя экструдера, были проведены исследования по определению начальной температуры экструдирования на основании определения параметров плавления крахмалов, входящих в состав зерновых культур на приборе ДСК.

Термодинамические параметры плавления, отражающие поведение крахмалов, входящих в состав муки, при нагревании, получены методом дифференциально сканирующей калориметрии, приведенные в таблице 1.

**Таблица 1 - Термодинамические параметры плавления крахмала безглютеновой муки**

| Наименование муки | Липиды, % | T <sub>n</sub> , °C | T <sub>p</sub> , °C | T <sub>k</sub> , °C | T <sub>k</sub> -T <sub>n</sub> (°C) | ΔH (J/g) |
|-------------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------------------------|----------|
| Кукурузная        | 4,4       | 114,64              | 131,17              | 147,53              | 32,89                               | -63,50   |
| Рисовая           | 1,2       | 59,66               | 91,90               | 110,43              | 50,77                               | -57,08   |
| Гречневая         | 4,8       | 131,24              | 147,71              | 158,00              | 26,79                               | -50,16   |
| Просяная          | 2,6       | 107,99              | 114,14              | 116,15              | 8,16                                | -58,32   |

Результаты исследований свидетельствуют о том, что имеется высокая корреляционная зависимость между содержанием липидов и термодинамическими параметрами плавления крахмала, входящего в состав безглютеновой муки, такими как начальная, средняя, конечная температуры плавления и ΔH(J/g). - энтальпии плавления (ΔH<sub>г</sub>). Данные таблицы 1 свидетельствует о том, что у исследуемых культур температуры плавления крахмалов варьировала в разных пределах: T<sub>n</sub>- от 59,66 °C в рисовой муке до 131,24 °C в гречневой муке; T<sub>p</sub> – от 91,9°C в рисовой муке до 147,71 °C в гречневой муке; T<sub>k</sub> – от 110,43 °C в рисовой муке до 158,0 °C в гречневой муке. Это связано с тем, что крахмал разного происхождения имеет различное строение и, соответственно, по - разному ведет себя в процессах нагревания и охлаждения. Как видно из таблицы 1, максимальное содержание липидов 4,8% в гречневой муке, в связи с чем, термодинамические параметры плавления ее выше, по сравнению с другими образцами безглютеновой муки. Минимальное количество липидов содержится в рисовой муке – 1,2%, в связи с этим, термодинамические параметры плавления рисовой муки самые низкие. На основании определения термодинамических параметров плавления и согласно литературе [10], с учетом обеспечения плавления амилозно-липидного комплекса, определены температурные границы экструдирования безглютеновой муки. По определенным температурным параметрам проводили экструдирование на двухшнековом экструдере. Готовые измельченные, просеянные пробы через сита №27 цельносмолотой муки из кукурузы, риса, проса и гречихи затем пробы увлажнялись в диапазоне 14,0% - 16,0% и подавались в перемешивающее устройство для достижения однородности и равномерного увлажнения. На основании проведенных исследований определены оптимальные параметры экструдирования кукурузной и гречневой, рисовой и просяной цельносмолотой муки и экспериментально установлены режимы

экструдирования и получены результаты, которые представлены в таблице 2, критерием оценки были текстура экструдата и коэффициент его экспонирования, которые являются одними из качественных показателей экструдированных продуктов.

**Таблица 2 – Параметры экструдирования кукурузной и гречневой цельносмолотой муки**

| Наименование культуры | Влажность, % | Температура экструдирования в зоне входа в экструдер, °С | Температура экструдирования в зоне пластификации и сжатия, °С | Температура экструдирования в зоне выхода, °С | Частота вращения шнеков экструдера, мин <sup>-1</sup> | Давление, МПа | Коэффициент экспонирования |
|-----------------------|--------------|--|---|---|---|---------------|----------------------------|
| Кукуруза              | 15,0         | 120  | 145   | 165   | 200 - 300   | 3,6           | 10                         |
| Гречиха               | 15,0         | 130  | 160   | 185   |   | 4,2           | 9                          |
| Рис                   | 14,93        | 60   | 100   | 112   |   | 1,6           | 2,5                        |
| Пшено                 | 15,24        | 85   | 90  | 115   |   | 1,7           | 3,2                        |

На основе данных из таблицы 2, можно сделать вывод, что влажность должна быть в пределах от 14 до 15,5%. Увлажнение измельченного сырья путем добавления воды стабилизирует процесс экструдирования, причем с повышением влажности зерна пластичность экструдированной массы улучшается, производительность экструдера увеличивается, температура продукта в камере экструдера снижается или предотвращает резкое ее повышение. Температурный режим экструдера состоит из трех диапазонов: на входе, в зоне пластификации, и на выходе. Самые высокие температурные параметры были заданы при экструдировании гречневой муки от 130 °С до 185 °С, а низкие температурные параметры заданы при экструдировании рисовой муки от 60 °С до 112 °С, что соответствовала с температурными показателями плавления на приборе ДСК. Частота вращения шнеков во всех культурах одинаковые в пределах 200-300 мин<sup>-1</sup>. Давление экструдера держалось от 1,6 МПа до 4,6 МПа в зависимости от температурных параметров в камере экструдера. Получаемые экструдаты представляли собой воздушные палочки с пористой струк-

турой. Самые высокие коэффициенты экспонирования получены на кукурузных и гречневых экструдатах. Все полученные экструдированные культуры измельчались на дробилке «Инфелка» и просеивались на лабораторном сите ТУ 5142- 001-45708015- 2000 с помощью заменяющих сит №27.

Изучен химический состав экструдированной муки до и после проведения экструдирования, приведенные в таблице 3.

**Таблица 3 - Химический состав безглютенового сырья до и после экструдирования**

| Наименование культуры | Влажность, % |              | Протеин, % |              | Жир, %    |              | Клетчатка, % |              | Зола, %   |              | Крахмал, % |              |
|-----------------------|--------------|--------------|------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|------------|--------------|
|                       | До экстр.    | После экстр. | До экстр.  | После экстр. | До экстр. | После экстр. | До экстр.    | После экстр. | До экстр. | После экстр. | До экстр.  | После экстр. |
| Рис                   | 9,6          | 7,4          | 6,1        | 8,2          | 1,5       | 1,01         | 2,7          | 2,9          | 3,9       | 4,2          | 66,2       | 61           |
| Просо                 | 13,9         | 6,1          | 10,4       | 11,3         | 3,1       | 1,9          | 9,1          | 10,2         | 3,1       | 3,5          | 61         | 55           |
| Гречка                | 13,9         | 5,6          | 9,7        | 9,9          | 3,4       | 0,67         | 7,2          | 9,1          | 2,8       | 2,4          | 63         | 51           |
| Кукуруза              | 13,7         | 5,4          | 10,7       | 11,3         | 3,3       | 1,67         | 4,7          | 7,4          | 0,9       | 1,2          | 64         | 59           |

На основе данных из таблицы 3 при экструдировании риса привело к потере 2,2 % влаги. Влажность смеси проса, гречихи и кукурузы в пределах от 5,4 до 6,1%, показатель влаги проса снизился в 2,27 раза, гречки в 2,48 раза, кукурузы в 2,53 раза.

В ходе исследований и сравнительного анализа установлено, что мука из экструдированного зерна кукурузы и проса богаче по количеству протеина по сравнению с мукой из экструдированного зерна риса. Так например, протеин в муке из экструдированного проса больше на 2,1 %. Денатурация протеина в экструзионных продуктах имеют важное значение для пищевой отрасли, так как денатурированные белки хорошо перевариваются и усваиваются организмом человека. При денатурации нарушается четвертичная, третичная и частично вторичная структура белковой молекулы и не меняется их первичная структура, показатели держутся в пределах нормы или же идет колебание на 0,5 ед. Денатурация белка приводит к увеличению количества пептидов и свободных аминокислот, и аминокислотный состав в экструдатах по не снижается [11]. Анализ данных таблицы 3 по показателям жира и влажности снижается, а содержание протеина, клетчатки и золы увеличивается, крахмал снижается или держится на одном уровне. Показатели жира экструдированной муки проса составил 3,1 % и снизился по сравнению до экструдирования в 1,63 раза. Жир рисовой каши составил 1,01 %, а до экструдирования составил- 1,5 %. Замечается снижение показателей жира в 0,67 раза, так как жир при доступе воздуха быстро окисляется как при хранении, так и при тепловой обработке. Содержание жира в кукурузной и гречневой муке до экструдирования в пределах 3,3-3,4 % и после экструдирования показатель снижается в 2-5 раза. При экструдировании происходит разрыв стенок жировых клеток, вследствие чего повышается энергетическая ценность продукта, а происходит стабильность жиров, благодаря тому, что такие ферменты, как липаза, вызывающие прогоркание масел, разрушаются в процессе экструзии, а лецитин и токоферолы, являющиеся природными стабилизаторами, сохраняют полную активность [12].

Из данных таблицы 3 значение зольности снизилось на 2,1%, содержание крахмала осталось, практически, на одном уровне и составило 61% в зерне проса. Содержание крахмала снижается после экструдирования во всех образцах от 1% до 5 % в зависимости от сырья. В результате изучения содержания клетчатки показатель повышается от 0,2% до 1,1 %. Так как в процессе трения и дробления продукт измельчается, за счет этого содержание клетчатки увеличивается, соответственно перевариваемость организмом повышается. После экструдирования сухие смеси приобретают приятные органолептические качества.

Проведены исследования по определению растворимости, водопоглатительной способности и набухаемости экструдатов [13]. Эти важные показатели, демонстрируют возможность связывать воду и

растворять в ней. Водоудерживающая способность экструдатов является одной из важнейших качественных характеристик пищевых текстуратов, определяющей их технологические свойства, и на способность связывать и удерживать воду в экструдатах, которая значительно влияет на тепловую и механическую обработку. Поэтому нам необходимо контролировать температурный оптимум и механическую обработку, которые состоят из перемешивания при варке сухих каш. Результаты растворимости экструдатов зависят от размера их частиц, которые после измельчения при воздействии различных жидкостей могут образовывать в большом количестве низкомолекулярных водорастворимых частиц (рисунок 1). Также в зависимости от размеров частиц экструдатов можно оценить их скорость набухания и особенности порождения процессов восстановления их в воде.

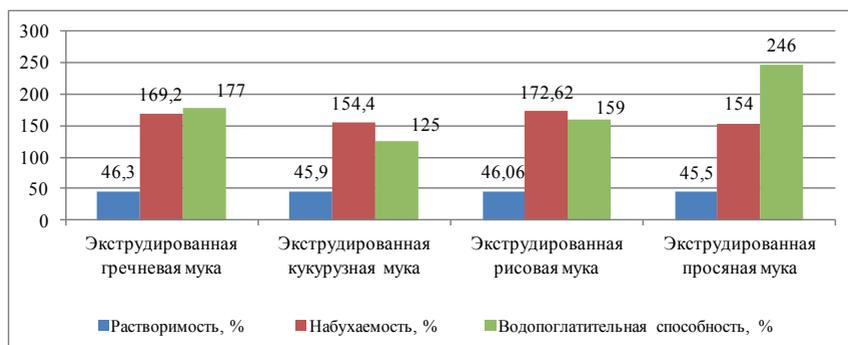


Рисунок 1 - Сравнительный анализ ВПС кукурузной и гречневой цельнозерновой муки и экструдатов

Как видно из данных на рисунке 1, растворимость во всех вариантах эксперимента варьировалась от 45,5% до 46,3%. Растворимость связана с уменьшением размеров частиц экструдированных видов крахмала. Соответственно, показатели растворимости почти на одном уровне, так как исследуемые образцы имели одинаковые размеры. Показатель набухаемости составил в пределах от 154% до 169,2%. При полном набухании наблюдалось равномерное распределение продукта по всему объему. По результатам ВПС экструдированных смесей просьяная мука обладала самой высокой водопоглотительной способностью, что составило 246 %, тогда как показатель кукурузной муки составил 125%, что в 1,96 раза ниже, чем ВПС в просьяной муки.

Следующим этапом экспериментальных исследований проведены работы по получению каш быстрого приготовления из 100% экструдированной рисовой, просяной, гречневой и кукурузной муки, а также их смесь в соотношений 1:1. Разработаны рецептуры каш быстрого приготовления, определены соотношения сухих каш, температура воды, и других вкусовых ингредиентов (соль, сахар), время варки. Приготовленные образцы с процентным соотношением компонентов рисовой, просяной, гречневой, кукурузной экструдированной муки предложены по их сочетаемости. В таблице 4 приведены процентное соотношение компонентов, входящих в состав безглютеновых каш.

**Таблица 4 - Процентное соотношение компонентов, входящих в состав безглютеновых каш из экструдированной муки**

| № п/п    | Каша быстрого приготовления, % |            |          |         |
|----------|--------------------------------|------------|----------|---------|
|          | гречневая                      | кукурузная | просяная | рисовая |
| Смесь 1  | -                              | -          | 100%     | -       |
| Смесь 2  | -                              | -          | -        | 100%    |
| Смесь 3  | -                              | 50%        | 50%      | -       |
| Смесь 4  | -                              | -          | 50%      | 50%     |
| Смесь 5  | 50%                            | -          | 50%      | -       |
| Смесь 6  | 50%                            | -          | -        | 50%     |
| Смесь 7  | -                              | 50%        | -        | 50%     |
| Смесь 8  | 25%                            | 25%        | 50%      | -       |
| Смесь 9  | 25%                            | -          | 50%      | 25%     |
| Смесь 10 | -                              | 25%        | 25%      | 50%     |
| Смесь 11 | 25%                            | 25%        | -        | 50%     |
| Смесь 12 | 25%                            | 25%        | 25%      | 25%     |

Согласно процентного соотношения экструдированной муки приведенной в таблицы 4, приготовлены каши и проведена расширенная дегустация образцов каш быстрого приготовления. При проведении дегустации образцы каш были оценены по 5-бальной шкале по органолептическим показателям таких как вкус, запаха и консистенции текстуры. По результатам дегустации выбраны сухие смеси для каш быстрого приготовления, которые отличались по однородности, равномерной текстуре, цвету, вкусу и запаху. Предложены сухие смеси №1, №3, №5, №8, №9, которые набрали высокие баллы. Разработана схема производства сухих смесей для каш быстрого приготовления. Схема состоит их промывки, измельчения, просеивания, увлажнения, экструдирования, повторного измельчения, и из фасовки.

Последовательность технологической схемы получения сухих смесей для каш быстрого приготовления приведены на рисунке 2.

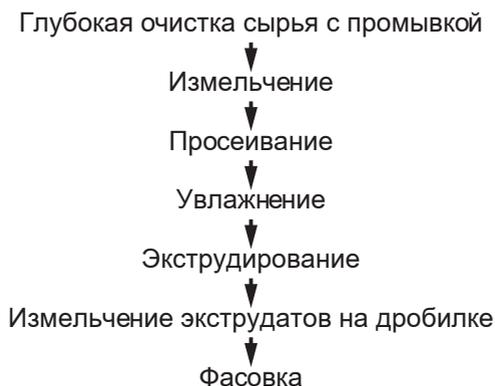


Рисунок 2 - Последовательность технологической схемы получения сухих смесей для каш быстрого приготовления

Предлагаемые сухие смеси употребляются по инструкции быстроприготавливаемых безглютеновых каш, рекомендуемые для питания больных целиакией.

**Обсуждение результатов.** На основе определения термодинамических параметров плавления, изучения взаимозависимостей между температурами плавления крахмалсодержащего сырья и содержания липидов и экспериментальных исследований определены оптимальные параметры экструзии для цельносмолотой муки.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что качество каш быстрого приготовления зависит от термодинамических параметров плавления крахмала, и от разрушения крахмальных гранул под воздействием высокой температуры экструдера. После экструзии увеличивается растворимость и водопоглотительная способность и сухие смеси приобретают приятные органолептические качества, улучшаются вкусовые, а также питательные свойства. Изучение взаимозависимости между растворимостью, водопоглотительной способностью экструзионных каш растворимость связана с уменьшением размеров частиц экструзионных видов крахмала. При полном набухании наблюдалось равномерное распределение продукта по всему объему. По результатам ВПС экструзионных смесей просяная мука обладала самой высокой водопоглотительной способностью.

Проведен сравнительный анализ химического состава экстру-

зионной гречневой и кукурузной муки в сравнении с цельносомлотой мукой. Установлено, что содержание протеина несколько увеличилось в кукурузном экструдате на 0,6% и на 0,2% в гречневом, просянном на 0,9% и рисовом экструдате до 2%, т.е. повышается пищевая ценность продукта. Это объясняется разрушением вторичной и третичной структуры белкового комплекса и сохранением их первичной структуры, которая не подвержена воздействию высоких температур. Отмечается снижение содержания жира на 1,63% в кукурузном экструдате по сравнению с цельносомлотой мукой и на 2,73% в гречневом экструдате, рисовом на 0,49 и просянном на 1,2% т.е. при экструзии произошел разрыв жировых клеток, вследствие чего повышается энергетическая ценность продукта и стабильность жиров, благодаря тому, фермент липаза, вызывающий прогоркание масел, разрушаются в процессе экструзии, а лецитин и токоферолы, являющиеся природными стабилизаторами, сохраняют полную активность.

**Выводы.** Таким образом, анализ литературных источников и патентные исследования показали, что одним из перспективных направлений научных исследований во всем мире является разработка высокоэффективных технологий производства безглютеновых продуктов из отечественного сырья, таких как сухие смеси для каш быстрого приготовления, предназначенных для потребления большими целиакией. В результате выполнения данной работы будет преодолена зависимость казахстанских потребителей от покупки дорогих импортных безглютеновых продуктов. При этом расширится ассортимент продуктов безглютеновой продукцией, созданными из отечественного сырья.

На основании теоретических исследований определены культуры, которые могут быть использованы в данных исследованиях для производства безглютеновых каш: кукуруза, рис, гречиха, просо.

### Список литературы

- 1 *Петыш Я.С.*, Производство безглютеновой продукции: Состояние и перспективы //Хлебопродукты 11/ . Россия, 2016, С.26-28.
- 2 *Кычаков А. Д.* (RU) Состав для производства зернового экструдированного продукта типа хлебных сухариков подача Заявки: 2006-11-08.
- 3 *Корячкина С.Я.* Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Методы исследования свойств растительного сырья: учебно-методическое пособие для высшего профессионального образования /Корячкина С.Я., Березина

Н.А., Хмельёва Е.В. – Орел: ФГОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК», 2011. – С. 297.

4 *Покровский А.В.* Краткий обзор современных международных методов органолептического анализа /Покровский А.В. – М.: Издательский комплекс МГУПП, 2002. – С. 27.

5 *Родина Т.Г.* Сенсорный анализ продовольственных товаров / Т.Г. Родина. – Москва, 2004. – С. 202.

6 *Родина Т.Г.* Дегустационный анализ продуктов / Родина Т.Г. – М.: Колос, 2004. – С. 345.

7 *Емелина А.Л.* Дифференциальная сканирующая калориметрия. Лаборатория химического факультета, МГУ. 2009 г.

8 *Рихтер М., Аугустат С., Ширбаум Ф.* Избранные методы исследования крахмала // – Москва: Пищевая промышленность, 1975. – С. 183.

9 *Карпов В.Г.* Технология и физико-химические свойства экструзионных крахмалопродуктов // – Москва: АгроНИИТЭИПП, 1991. – С. 24.

10 *Rousseau, D. and A. G. Marangoni (1998).* Food Lipids: Chemistry, Nutrition, and Biotechnology. С. С. Akoh and D. B. Min. New York, Marcel Dekker, Inc.: 301

11 *Неверова О.А.* Пищевая биотехнология продуктов из сырья растительного происхождения, Новосибирск: Сиб. Унив. Изд-во, 2007. –415с.

12 *Тютюнников Б.Н., Гладкий Ф.Ф. и др.* Химия жиров. М.: Колос, 1992. - 448 с

13 *Пичкур В., Ковбаса В., Лысый А.* Влияния степени измельчения экструдатов крахмала на их растворимость и влагоудерживающую способность, International scientific-practical conference международная научно-практическая конференция, Украина, 2011-С. 327-331.

# СЕЛЬСКОЕ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

---

---

ISRTI 68.35.71

*M.K. Kozhakhmetov<sup>1</sup>, R. Abutova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Kazakh national agrarian university, Almaty c., Kazakhstan

## INNOVATIVE ADAPTIVE AGRONOMIC NANOTECHNOLOGY

---

---

**Abstract.** The article is devoted to research of innovative adaptive agronano-technology in Kazakhstan. Definitions of humic preparations of lake sapropel are given, short theoretical aspects of the mechanism of effect of humic preparation on plants are given. Methods of receiving humin containing products at a high level – technology of mechanical chemical activation are described. Results of the research innovative (nano and biophysical) agrotechnologies on the example of processing of seeds and plants, various crops during 2006-2016 in Kazakhstan are explained.

**Keywords:** Humic preparations HUMIN PLUS, sapropel, nanotechnology, fuzzy logic, networks of indistinct controllers, logic-probabilistic approach

• • •

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию инновационной адаптивной агронанотехнологии в Казахстана. Даны определения гуминовых препаратов озерного сапропеля, приведены краткие теоретические аспекты механизма действия гуминовых препаратов на растения. Описаны методы получения гуминосодержащей продукции на высоком уровне – технология механохимической активации. Изложены результаты исследования инновационных (нано и биофизических) агротехнологий на примере обработки семян и растений, различных сельскохозяйственных культур в период 2006-2016 гг. в Казахстане

**Ключевые слова:** гуминовые препараты, HUMIN PLUS, сапропель, нанотехнология, нечеткая логика, сети нечетких контроллеров.

• • •

**Түйіндеме.** Мақалада Қазақстанда инновациялық бейімді агронанотехнологияны зерттеу туралы сөз қозғалады. Көлдік сапропельден алынған гуминдік препараттарға сипаттама беріліп, теориялық тұрғыдан олардың өсімдікке әсер ету механизмі келтірілген. Гуминді тектес заттарды алудың жоғары белсенді технологиясы – механикалық-химиялық жолмен алу тәсілін көрсетті. Ауыл шаруашылығы тұқымдарын егістікке себер алдында құрамында металдардың нано және макро бөлшектері бар биофизикалық стимуляторлармен және электромагниттік өріспен өңдеудің 2006-2016 жылдары Қазақстанда жүргізілген тәжірибенің қорытындысы келтірілген.

**Түйінді сөздер:** гуминдік препараттар, HUMIN PLUS, сапропель, нанотехнология, бұлдыр логика, айқын емес бақылау торы.

**Introduction.** Biological systems constantly are under the influence of natural and artificial sources of an electromagnetic field and during evolution they developed mechanisms of information perception on the state of environment by means of interaction with electromagnetic field [1]. The crop production as constituent of a biological system has to develop on the terms of adaptability, i.e. increase in a role of mechanisms and structures, activation of a biological self-regulation of plant seeds to agroecosystems and an agrolandscape in general.

In terms of adaptability the greatest interest and prospect at processing seeds of various crops are represented by the electromagnetic nanotechnologies combined with use of organic complex regulators of plants growth on the basis of ecologically friendly extract of sapropel. By means of such technologies it is possible to influence directly the physiology and biochemical processes of a vegetable organism, without affecting and without modifying the genetic structure of plants [2]. The primal problem of such processing of seeds is in filling their power losses caused by adverse conditions of cultivation or storage and, above all to give to the biological systems of a seed such qualities which will prove to be positive during all biological cycle [3.] The integration research in a uniform technological chain of magnetic water treatment, seeds and environmentally friendly regulators of growth on energy of germination of wheat seeds represents a great practical interest.

**Material and methods.** Preparation of multipurpose action HUMIN PLUS. humin containing preparations made of peat, lignine and boring coal, differs in HUMIN PLUS:

1. Raw materials: HUMIN PLUS is made from the non-polluting lake sapropel, containing water-soluble, easy and difficult hydrolyzed substances, humic (GC), hymatomelanic acid (GMA) and fulvic acids (FA), wide range of amino acids, sugars, peptides, cellulose, lignin, lipids, carotinoids, xanthophylls, alcohols, ketones, carboxylic acids, chlorophyll derivatives, alkaloid, metal-porphyrins, phospholipids, vitamins, enzymes, antibiotics, steroid connections, HUMIN PLUS preparations contain expanded structure of microcells in the form of metalloorganic complexes.

2. Technology: In order to produce HUMIN PLUS the following components are applied:

- Gas tornadic ultrasonic reactors resonators with magnetic activation - German patent DE 10 2009 043 821 A1;

- physical methods of extraction and original technology of separation active ingredients from sapropel, allowing to refuse reagent (chemical) traditional technology;

**Multifactorial impact on plants and a soil biota:** Firstly, the preparation comprises all scale nutritious macro - and microcells, and operates as the chelating agent. Secondly, it is favorable to growth of good bacteria. Multifactorial action increases immunity of plants and its productivity.

**Results and discussion.** Productivity of agronano technology throughout 2006-2016 y are researched in the Sarkand and Panfilov regions of Almaty area. It is established by researches [3-5] that described technology influences the initial beet plants' ontogeny stages, in particular, on energy of seeds germination (table 1).

**Table 1 - Technology and dynamics of emergence of sugar beet's seedings**

| Options    | Day after crops, piece on 1 item of m. |    |    |    |
|------------|--|----|----|----|
|            | 5                                      | 8  | 10 | 10 |
| Control    | 11                                     | 13 | 15 | 15 |
| Experiment | 15                                     | 22 | 24 | 26 |

**Table 1 - Agronanotechnologies and growth indicators of colza at the initial stages of development**

| Experience options | Germination capacity, % | dry mass of a plant, mg | volume of root system of a plant, cm <sup>3</sup> |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| Control            | 48,5±4,3                | 150,0±5,5               | 105,0±5,8   |
| Experiment         | 65,0±3,2                | 202,0±6,7               | 101,0±8,7   |

Also [2] the influence of agronano technology on energy of seeds germination of spring-field in vitro was studied (figure 1-4). Analysis of the experimental data showed that collected information insufficiently legibly describes influence of described technology of magnetic water treatment and regulators of growth on energy of wheat and coleseed germination. In this regard the adaptive and neural system of an indistinct logical conclusion was applied to interpretation of the experimental data.

The adaptive and neural system of an indistinct logical conclusion falls into hybrid systems. Hybrid systems give the chance to consider experience of experts, to use indistinctly provided information and also to take knowledge from these field experiments.

Graphical representation of results of indistinct model operation is shown in figures 1 - 4.

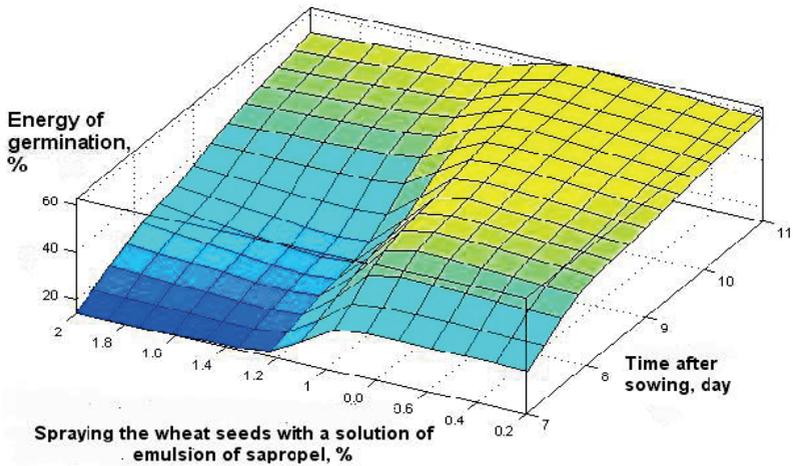


Figure 1 - Dependence of energy of germination of wheat seeds (water isn't exposed to magnetic processing from the procedure of spraying the wheat seeds with a solution of sapropel emulsion (water isn't treated magnetically) and time after sowing, day

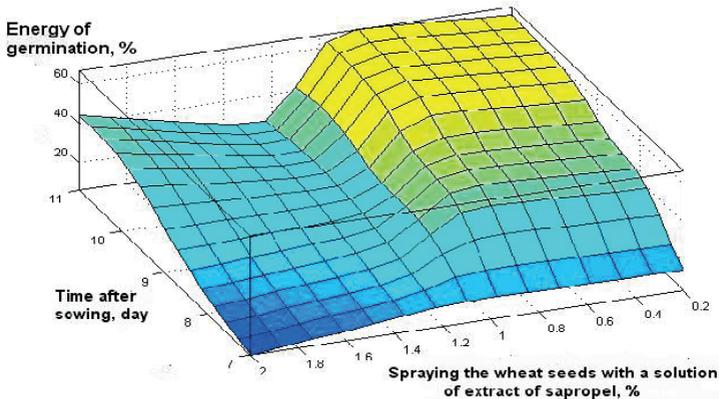


Figure 2 - Dependence of germination energy of wheat seeds (water isn't exposed to magnetic processing from the procedure of spraying the wheat seeds with a solution of sapropel emulsion (water isn't treated by the magnetic processing) and time after sowing, day.

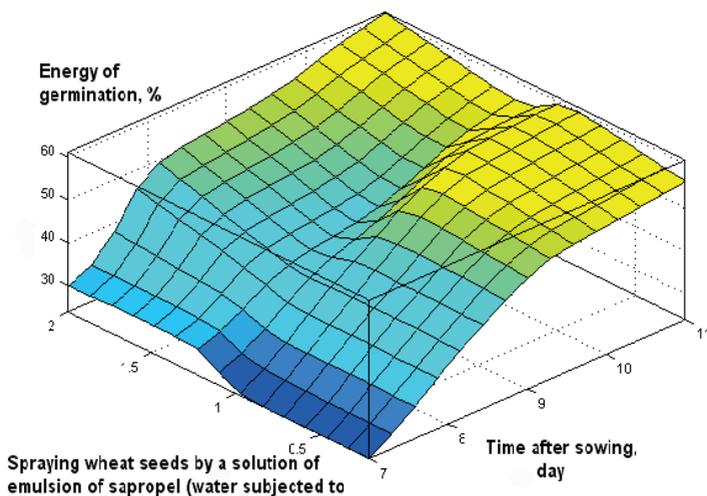


Figure 3 - Dependence of germination energy of wheat seeds of wheat from the procedure of spraying the wheat seeds with a solution of sapropel emulsion (water subjected to magnetic treatment) and time after sowing, day.

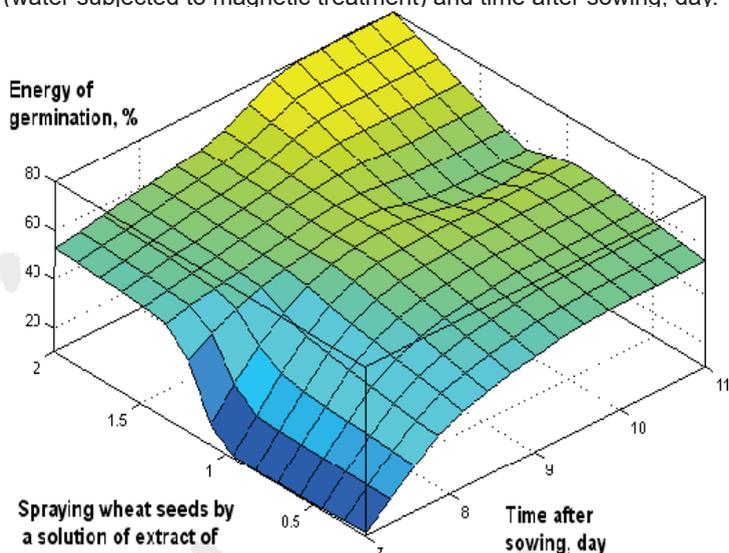


Figure 4 - Dependence of germination energy of wheat seeds of wheat from the procedure of spraying the wheat seeds with a solution of sapropel emulsion (water water subjected to magnetic treatment) and time after sowing, day.

The main characteristics of tutoring process of an indistinct logical conclusion system are shown in figures 5 - 6.

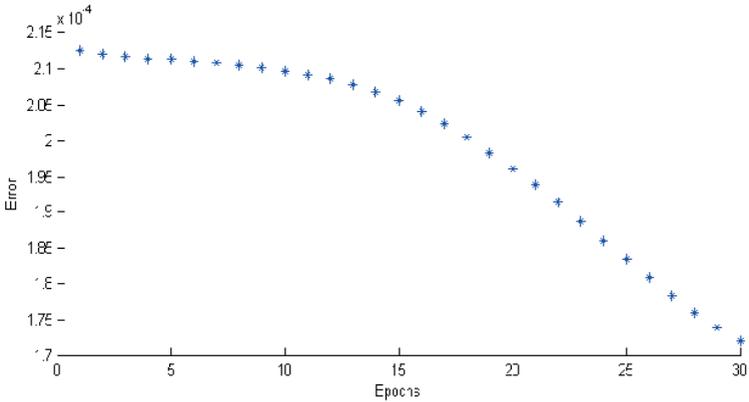


Figure 5 - Interrelation between an error in the course of tutoring (Error) and quantity of tutoring cycles (Epochs) (at creation of the dependence shown in fig. 3).

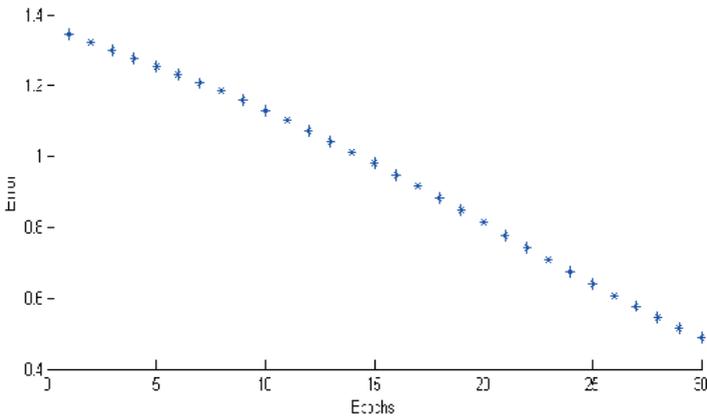


Figure 6 - Interrelation between an error in the course of tutoring (Error) and quantity of tutoring cycles (Epochs) (at creation of the dependence shown in figure 4).

Comparison of the data provided on figures 1 and 3 shows that at magnetic water treatment of germination energy of wheat seeds, processing by solution of sapropel emulsion is slightly higher at the end of the periods observed. At the same time influence of differences in solution strength of a sapropel emulsion on the size of energy of seeds germination is shown only during an initial stage of observations. Comparison of the data provided on figures 2 and 4 shows that at magnetic water treatment of germination energy of the wheat seeds sprayed with sapropel extract solution too is slightly higher at the end of the period of observations. In particular, if solution strength of sapropel extract varies in the range [1.2 - 2%] (diagram 2), then energy of germination of seeds is equal to 30 - 40%. At magnetic water treatment (diagram 4) if solution strength of sapropel extract varies in the same range, then to germination energy of seeds it is equal to 70 - 80%.

Results of the experimental data analysis showed that the effectiveness of magnetic water treatment depends on the used regulators of growth and their concentration.

**Conclusions.** Tests of innovative adaptive agronanotechnology in Kazakhstan have showed existence of the improvement effect of germination energy and viability of colza seeds, sugar beet. However the optimization and synchronization of magnetic field parameters is necessary for identification of more pronounced effect of application integrated technologies in a uniform production cycle when seeds are being processed on viability and energy of germination (spring wheat) at impact on seeds and water and concentration of organic regulators.

## References

- 1 *Kutis S. D.* Installation for preseeding processing of seeds of crops in magnetic and electric fields. N43-88, 1988
- 2 *Baryshev M.G., Kasyanov G.I.* Prospects of processing of agricultural raw materials electromagnetic fields of extremely low frequencies. Krasnodar, Publishing house of the Kuban state technological university, 2003, p. 6.
- 3 *Kozhakhmetov M.K., Zholdasov A.* Adaptive agrotechnology in offplanting seed farming of sugar beet//Messenger of agricultural science of Kazakhstan, 2008, No. 12. – Page 12.
- 4 *Kozhakhmetov M.K.* Nanomembranous technologies in seed farming of sugar beet, the Messenger agricultural sciences of Kazakhstan, 2009, No. 8 - p.10
- 5 *Kozhakhmetov M.K.* Efficiency of innovative nanomembranous agrotechnology in Kazakhstan// News of National Academy of Sciences of Kazakhstan. Agrarian Sciences series. – 2011. – No. 2(2). – p. 40

Ж.С. Алимкулов<sup>1</sup>, М.Т. Велямов<sup>1</sup>, Т.М. Сарманкулов<sup>1</sup>,  
Т.М. Жумалиева<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский научно-исследовательский институт  
перерабатывающей и пищевой промышленности,  
г. Алматы, Казахстан

## КОМБИКОРМА НА ОСНОВЕ КОРМОВЫХ ДОБАВОК ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ВИНОГРАДА С ВВОДОМ ПРИРОДНЫХ МИНЕРАЛОВ ДЛЯ ЯГНЯТ И ОВЕЦ

---

**Аннотация.** Рассмотрена возможность применения кормовых добавок из отходов винограда (виноградной выжимки) с вводом природного минерала (вермикулита кормового) с целью производства комбикормов для 4-5 мес. ягнят, суягных и подсосных овцематок. Известно, что состав кормовой добавки является основным фактором эффективности её использования и условием выработки комбикормов, отвечающим требованиям нормативно-технической документации. Для этого проведен анализ и изучен химический состав, питательная и энергетическая ценность кормовых добавок. Определены нормы ввода зернового мучнистого сырья и кормовых добавок в комбикорма. Областью применения разработанных комбикормов является комбикормовая промышленность и животноводческая отрасль. Ввод кормовых добавок в состав комбикормов не ухудшает технологические и качественные показатели и позволяет экономить зерновое и белковое сырье, уменьшает загрязнение окружающей среды.

**Ключевые слова:** комбикорм, кормовая добавка, виноградные выжимки, вермикулит кормовой.

• • •

**Түйіндеме.** Мақалада 4-5 айлық қозылар, буаз және емізулі саулықтар үшін құрама жем өндіруде табиғи минералдарды (жемдік вермикулит) және жүзім қалдықтарын (жүзім сығындысы) жемдік қоспаларда қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Азық қоспасының құрамы оны пайдалану тиімділігінің негізгі факторы және нормативтік-техникалық құжаттама талаптарына жауап беретін құрама жем өндіру шарты болып табылатыны белгілі. Ол үшін азық қоспаларының химиялық құрамы, қоректік және энергетикалық құндылығы зерттелді. Дәндік ұн шикізатын және жем қоспаларын құрама жемге енгізу

---

Представленные исследования выполнены в рамках программно-целевого финансирования на 2018-2020 гг. «Разработка интенсивных технологий по отраслям животноводства», финансируемой МСХ РК.

нормалары анықталды. Әзірленген құрама жемді қолдану саласы құрама жем өнеркәсібі және мал шаруашылығы саласы болып табылады. Азық қоспаларын құрама жемге енгізу технологиялық және сапалық көрсеткіштерді нашарлатпайды және астық пен ақуыз шикізатын үнемдеуге, қоршаған ортаның ластануын азайтуға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** жем, жемшөп қоспасы, жүзім маркасы, жемшөп вермикулиті.

• • •

**Abstract.** The article considers the possibility of using feed additives from grape waste (grape squeeze) with the introduction of a natural mineral (fodder vermiculite) for the purpose of producing compound feeds for 4-5 month old lambs, lamb and suckling ewes. It is known that the composition of the feed additive is the main factor in the effectiveness of its use and the condition for the production of animal feed that meets the requirements of regulatory and technical documentation. For this, an analysis was carried out and the chemical composition, nutritional and energy value of feed additives was studied. The norms for introducing grain mealy raw materials and feed additives into animal feed are determined. The scope of the developed compound feeds is the feed mill industry and the livestock industry. The introduction of feed additives into the feed composition will not worsen technological and quality indicators and will save grain and protein raw materials, and reduce environmental pollution.

**Keywords:** feed, feed additive, grape marc, fodder vermiculite.

**Введение.** Овцеводство исторически всегда было неотъемлемой частью народного хозяйства, обеспечивая потребности в специфических видах сырья и продуктах питания. Овцеводство является важным, а в ряде случаев и единственным источником таких видов продукции как шерсть, баранина, молоко, меховые, шубные и кожевенные овчины, экономическая и социальная значимость которых неодинакова и определяется потребностями народного хозяйства, возможностью производства, экономической эффективностью отрасли, её способностью использовать имеющиеся в стране природные и материально-технические ресурсы. Так, во всем мире наряду с развитием традиционных направлений производства кормов идет интенсивный поиск новых источников. Ставится задача наиболее полно использовать все виды органических веществ в качестве корма для животных [1].

Необходимость интенсификации всех отраслей животноводства, без которой невозможен переход на рыночные условия хозяйствования, значительно повысила роль комбикормовой промышленности. Полноценные комбикорма снижают расход зернофуража почти на треть. Однако в республике доля кормовых добавок в составе кормов не превышает 15%, а доля в них комбикормов ещё меньше.

В результате республика недополучает продукции, перерасходуя при этом большое количество зерна, и повышая себестоимость. При этом следует отметить, что проблема рационального кормления сельскохозяйственных животных, экономия корма и увеличение его производства с применением новых технологий и нетрадиционного сырья тесно взаимосвязаны [2].

Большую роль в повышении конверсии корма играет сбалансированность рациона по питательности. При этом для эффективного использования всех питательных веществ в рационе должно быть в достатке обменной энергии. Если же в корме энергии не хватает, протеин хуже переваривается, даже если он и сбалансирован по аминокислотам. При этом четко прослеживается определенная взаимосвязь между уровнем обменной энергии и сырого протеина. При недостатке обменной энергии сырой протеин расходуется организмом непроизводительно на энергетические цели, а суточное потребление кормов и расход на единицу продукции возрастают. Таким образом, протеин должен находиться в определенной пропорции к обменной энергии в рационе. Для этого удобно пользоваться энергопротеиновым отношением, указывающим, сколько обменной энергии должно приходиться на каждый процент сырого протеина [3].

В странах СНГ более 80% побочных продуктов и отходов переработки плодово-ягодного и овощного сырья скармливают животным в свежем или консервированном виде. Установлено, что белок, содержащийся в сырых выжимках для всех видов сельскохозяйственных животных ограничен. Поэтому скармливание в свежем виде возможно только при условии месторасположения откормочных пунктов. Отходы фруктов, плодов ягодных культур по питательности не уступают многим кормам растительного происхождения. Так, например, при переработке винограда и ряда других плодово-ягодных культур на виноматериалы и соки приводит к образованию отходов, в том числе значительного количества выжимок, которые являются высокоценным биологическим сырьем.

Фруктовые и плодово-ягодные выжимки по содержанию питательных веществ, превосходят другие сочные корма, в том числе люцерну и свеклу. По энергетической и общей питательности виноградные и яблочные выжимки равноценны зеленому корму и их можно скармливать животным и птице свежими и в сухом виде. Ежегодно на плодово- и овощеперерабатывающих предприятиях республики остаётся около 7000 т жмыха и выжимок, 820 т кормовой муки, которые послужат дополнительным сырьевым резервом для комбикормовой промышленности. Однако, эти продукты в нативном состоянии нетехнологичны и быстро прогорают, плохо транспортируются, а также низкая объемная масса, высокое содержание клетчатки сдер-

живают их применение в качестве кормового продукта [2-4].

Следует отметить, что на протяжении многих десятилетий не удается снять проблему сырья для производства комбикормов. Поэтому в условиях непростой кормовой ситуации особое значение приобретает использование всех ресурсов кормовых средств для повышения эффективности животноводства. В этих условиях актуален поиск местных нетрадиционных и доступных кормовых средств, которые были бы близки по своей биологической ценности к традиционным кормам животного и растительного происхождения. В Казахстане комбикормовые предприятия расположены в основном в областных центрах и городах. В этих населенных пунктах имеются также различные предприятия перерабатывающей промышленности. В первую очередь, это зерноперерабатывающие предприятия (мельзаводы, крупозаводы) и предприятия пищевой промышленности (мясоперерабатывающей, консервной, масложировой, молочной, спиртовой, крахмалопаточной и др.). Внедрение безотходных технологий на этих предприятиях с выработкой, пригодной для ввода в комбикорма добавок, позволит значительно расширить сырьевую базу комбикормового производства.

Использование этих продуктов при производстве кормовых добавок и комбикормов может решить проблему переработки белкового и энергетического сырья, что позволит в значительной степени удовлетворить потребность животных в питательных, минеральных и биологически активных веществах, а также обеспечит сохранность поголовья, повысит продуктивность и эффективность животноводства [2].

**Методы исследования.** Объектами исследований являлись опытные образцы кормовых добавок и комбикормов, отобранные по стандартной методике (ГОСТ 13496.0-2016). Нормы ввода отходов спиртовых и крахмалопаточных производств и пробиотического препарата в кормовую добавку и комбикорм производился в соответствии с калькуляцией суточной нормы рациона питания для ягнят и овец. В работе была приведена оптимизация рецептов комбикормов для ягнят и овец по возрастной группе. Для оптимизации применялся метод линейного программирования, основанный на построении математической модели.

**Результаты исследования. Кормовые добавки из отходов переработки винограда с вводом природных минералов для 4-5 мес. ягнят, суягных и подсосных овцематок.** При проведении работ ставилась задача разработать способ получения комбикормов на основе кормовых добавок из отходов переработки винограда с вводом природных минералов для 4-5 мес. ягнят, суягных и подсосных овцематок. Данные приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – питательная и энергетическая ценность и химический состав кормовой добавки**

| Компоненты            | Рецепт №1          | Рецепт №2                         |
|-----------------------|--------------------|-----------------------------------|
|                       | Для 4-5 мес. ягнят | Для суягных и подсосных овцематок |
| Влажность, %          | 10,4               | 10,6                              |
| В 1 кг содержится:    |                    |                                   |
| Обменная энергия, МДЖ | 9,5                | 9,7                               |
| Кормовые единицы      | 0,9                | 0,85                              |
| Сырой протеин, %      | 17                 | 13,5                              |
| Сырой жир, %          | 3,3                | 3,4                               |
| Сырая клетчатка, %    | 12                 | 12                                |
| Кальций, %            | 0,5                | 0,5                               |
| Фосфор, %             | 0,8                | 0,8                               |

Химический состав кормовых добавок обусловлен набором и соотношением компонентов, то есть рецептом. Состав кормовой добавки является основным фактором эффективности ее использования и условием выработки комбикормов, отвечающим требованиям нормативно-технической документации. Был изучен химический состав и определена питательная и энергетическая ценность кормовых добавок для 4-5 мес. ягнят и суягных и подсосных овцематок.

**Определение нормы ввода зернового, мучнистого сырья и кормовых добавок в комбикорма.** По результатам проведения НИР были определены нормы ввода зернового, мучнистого сырья и кормовых добавок из отходов переработки винограда с вводом природного минерала в комбикорма. Результаты приведены в таблице 2. В нормах ввода, зернового, мучнистого сырья и кормовых добавок соблюдены принципы нормирования и составления рационов для ягнят и овец разного направления продуктивности, а также учтены потребности для ягнят и овец в питательных веществах в расчете на одну кормовую единицу.

**Таблица 2 – Нормы ввода зернового, мучнистого сырья и кормовых добавок из отходов переработки винограда с вводом природного минерала**

| Компоненты       | Рецепт № 1 для ягнят, % | Рецепт № 2 для овец, % |
|------------------|-------------------------|------------------------|
| Ячмень           | 20,0...25,0             | 25,0...30,0            |
| Пшеница фуражная | 15,0...20,0             | 8,0...10,0             |

|                  |             |             |
|------------------|-------------|-------------|
| Отруби пшеничные | 30,0...33,0 | 30,0...35,0 |
| Кормовая добавка | 20,0...22,0 | 20,0...25,0 |

Применение в животноводстве комбикормов, сбалансированных по питательным веществам, с учетом новых норм ввода сырья и кормления сельскохозяйственных животных, вовлечение в корма невостребованных кормовых ресурсов перерабатывающей и пищевой промышленности позволяет снизить удельный вес зерна в кормах, улучшить полноценность кормления ягнят и овец, существенно повысить их продуктивность и эффективность использования кормов, в том числе зерна, выделяемого на кормовые цели.

**Разработка 2-х научно – обоснованных рецептов комбикормов на основе кормовых добавок.** С учетом норм, рационов кормления и требований стандартов к качеству, а также по результатам исследований, разработаны два научно обоснованных рецепта комбикормов на основе кормовых добавок из отходов переработки винограда (виноградной выжимки) с вводом природного минерала (вермикулита кормового) для ягнят и овец приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – научно-обоснованные рецепты комбикормов на основе кормовых добавок**

| Наименование компонентов | Рецепты комбикормов |       |                                   |       |
|--------------------------|---------------------|-------|-----------------------------------|-------|
|                          | для 4-5 мес. ягнят  |       | для суягных и подсосных овцематок |       |
|                          | к                   | о     | к                                 | о     |
| Ячмень                   | 25,0                | 25,0  | 30,0                              | 30,0  |
| Пшеница фуражная         | 20,0                | 20,0  | 10,0                              | 10,0  |
| Отруби пшеничные         | 9,0                 | 33,0  | 39,0                              | 35,0  |
| Кормовая добавка         | –                   | 22,0  | –                                 | 25,0  |
| Травяная мука            | 20,0                | –     | –                                 | –     |
| Побочный продукт         | 5,0                 | –     | 6,0                               | –     |
| Шрот хлопковый           | 12,0                | –     | 12,0                              | –     |
| Мясо-костная мука        | 5,0                 | –     | –                                 | –     |
| Обесфторенный фосфат     | 2,0                 | –     | 1,4                               | –     |
| Соль поваренная          | 1,0                 | –     | 0,6                               | –     |
| Премикс (П 80-1)         | 1,0                 | –     | –                                 | –     |
| Премикс (П 80-2)         | –                   | –     | 1,0                               | –     |
| Итого:                   | 100,0               | 100,0 | 100,0                             | 100,0 |

Для рационального использования различного сырья при производстве комбикормов по действующим рецептам разрешена замена одних видов сырья, указанных в рецептах, другими видами близкими по содержанию питательных веществ, с последующей оптимизацией по питательности и стоимости. В разработанных рецептах для экономии зернового сырья, а также для замены остродефицитного, дорогостоящего и высокобелкового сырья животного и растительного происхождения (шрота, жмыха, рыбной и мясокостной муки и др.) ввели в комбикорма кормовые добавки из отходов переработки винограда с вводом природного минерала.

Все это привело к тому, что основным требованием к комбикормам является не его состав, а строго выдержанные показатели питательности. Вырабатываемые комбикорма на основе кормовых добавок по двум рецептам для ягнят и овец могут создавать высокопитательный корм с повышенным содержанием протеина и имеющим невысокую себестоимость.

**Разработка универсальной технологической схемы производства комбикормов на основе кормовых добавок.** Согласно Правилам организации и ведения технологического процесса на комбикормовых предприятиях, была разработана универсальная технологическая схема производства комбикормов на основе кормовых добавок из отходов переработки винограда (виноградные выжимки) с вводом природного минерала (вермикулита кормового) для ягнят и овец приведена в рисунке 1.

Производство комбикормов осуществлялось путём выполнения следующих основных технологических операций: приём и хранение сырья; очистка его от органических, минеральных и металломагнитных примесей; отделение плёнок овса и ячменя; измельчение очищенного сырья до установленных норм крупности; подготовка мела и соли; дозирование ингредиентов в соответствии с заданными рецептами комбикормов и смешивание их до получения однородной смеси; хранение и отгрузка комбикормов. Подготовительные линии подбираются для переработки сырья с близкими технологическими свойствами, однородными по способу очистки, измельчения и другим видам обработки.



Технологические линии производства комбикормов:

**Линия зернового сырья.** Предварительно очищенное зерновое сырье (ячмень, пшеница фуражная) от органических и минеральных примесей из склада после взвешивания поступает в производственный цех в накопительные бункера. Далее зерновое сырье поступает на магнитную колонку (МК) для удаления из него металломагнитных примесей. Очищенное от примесей зерновое сырье поступает в наддробильные бункера, из которых направляется на дробилку ДМ 440у для измельчения. Продукты измельчения транспортируются в наддозаторную емкость или же (при необходимости) просеиваются на просеивающей машине А1-БЦП. Сход направляется на дробилку для повторного измельчения, проход – в наддозаторный бункер.

**Линия мучнистого сырья.** Предварительно очищенное мучнистое сырье (отруби пшеничные) из склада, после взвешивания на автоматических весах направляет в наддозаторный бункер.

**Линия кормовых добавок.** Кормовые добавки из склада, после взвешивания на автоматических весах направляют в наддозаторный бункер.

**Линия дозирования и смешивания ингредиентов.** При производстве комбикормов важное значение имеют процессы дозирования, смешивания и точность взвешивания различных ингредиентов входящих в рецепт комбикорма. При неправильном дозировании ингредиентов в комбикормах и качества их понижается. Таким образом, процесс дозирования является главной технологической операцией производства комбикормов.

**Смешивание ингредиентов.** Процесс смешивания ингредиентов является конечным при производстве рассыпных комбикормов. В результате смешивания получают комбикорма однородного состава. С наддозаторных бункеров зерновое сырье, отруби пшеничные и кормовые добавки поступают на объемные дозаторы ДП-1 для дозирования. После дозирования на объемных дозаторах поступают в смеситель СГК-1,0 – для создания однородности. После смесителя готовый комбикорм поступает в надвесовой бункер. С бункера готовый комбикорм поступает на автоматические весы АВ-50НК для взвешивания. После взвешивания идет на склад готовой продукции или отгружается на авто- и железнодорожный транспорт к потребителям.

**Выработка опытных партий комбикормов на основе кормовых добавок.** Современное производство комбикормов базируется на новейших достижениях науки для сельскохозяйственных животных. Разработка сбалансированного комбикорма, это основа повышения биологической ценности комбикормов и эффективности их использования для животных. Балансирование комбикормов по биологически активным веществам – необходимое условие рационального

использования зерна, применяемого в качестве сырья при производстве комбикормов. Во всем мире уже давно корма производятся не только из зерна, а из отходов и побочных продуктов спиртовых, пивных, глюкозопаточных, сахарных, крахмалопаточных, масложировых и других пищевых производств.

Применение их позволяет существенно повысить биологическую ценность комбикормов и рационов и на основе этого улучшить продуктивность и воспроизводительные способности молочного скота, увеличить приросты массы у растущих и откармливаемых животных, эффективно использовать зерно для производства продуктов животноводства, более рационально применять биологически активные вещества. С использованием отходов и побочных продуктов переработки винограда и крахмалопаточных производств и с вводом природного минерала в кормовые добавки и комбикорма для ягнят и овец экономится зерновое сырьё и идёт замена остродефицитного, высокобелкового сырья растительного и животного происхождения (шрота, жмыха, рыбной и мясокостной муки и т.д.) [5].

Данное сырьё позволит повысить биологическую ценность комбикормов и улучшить потребление корма и протеина животными. В связи с этим, в экспериментальном цехе «КазНИИ ППП» были выработаны опытные партии комбикормов на основе кормовых добавок из отходов и побочных продуктов переработки винограда и крахмалопаточных производств с вводом природного минерала для ягнят и овец в количестве 10 кг (по 5 кг каждой партии) по разработанным рецептам для изучения качественных показателей, а также были выработаны 300 кг комбикорма на основе кормовой добавки для 4-5 мес. ягнят для проведения научно-хозяйственного опыта в филиале НИИ овцеводства «КазНИИ Жик» для определения продуктивности и эффективности энергетической подкормки в кормлении ягнят и овец.

Внедрение в животноводство предлагаемых разработок позволит повысить полноценность рационов животных на 20-25 %, снизит потери кормов в 1,5-1,7 % раза. Продукция будет отличаться высоким качеством, экологической чистотой и низкой себестоимостью, а также повышает эффективность их использования на 15-17 %.

**Изучение химического состава, питательной и энергетической ценности (кормовые единицы, протеин, жир, клетчатка, кальций, фосфор и др.) опытных партий комбикормов.** Химический состав, питательность и энергетическая ценность (кормовые единицы, протеин, жир, клетчатка, кальций, фосфор и другие) комбикормов с вводом кормовых добавок для ягнят и овец приведены в таблице 4. Из таблицы видно, что нормы ввода зернового, мучнистого сырья и кормовой добавки из отходов и побочных продуктов переработки винограда и крахмалопаточных производств в комбикорма

по разработанным рецептам не оказали заметного влияния на качественные показатели. Содержание влаги 14,5% не превышалось и находилось в пределах требований стандартов. Содержание сырого протеина соответствовало требованиям, предъявляемыми к комбикормам по возрастным группам и видам животных.

**Таблица 4 – Химический состав, питательная и энергетическая ценность комбикормов на основе кормовых добавок для ягнят и овец**

| Показатели                  | Рецепты комбикормов |       |                                   |       |
|-----------------------------|---------------------|-------|-----------------------------------|-------|
|                             | для 4-5 мес. ягнят  |       | для суягных и подсосных овцематок |       |
|                             | к                   | о     | к                                 | о     |
| В 1 кг содержится:          |                     |       |                                   |       |
| кормовой единицы, кг        | 0,92                | 0,94  | 0,954                             | 0,96  |
| обменной энергии, МДж       | 9,5                 | 9,6   | 9,92                              | 9,94  |
| сухого вещества, г          | 867,7               | 867,9 | 865,0                             | 866,0 |
| сырого протеина, г          | 186,0               | 186,2 | 172,0                             | 173,0 |
| перевариваемого протеина, г | 133,0               | 133,1 | 126,0                             | 126,4 |
| сырого жира, г              | 25,8                | 26,0  | 26,59                             | 26,6  |
| сырой клетчатки, г          | 92,0                | 92,2  | 78,0                              | 78,1  |
| кальция, г                  | 13,3                | 13,5  | 4,9                               | 5,1   |
| фосфора, г                  | 10,1                | 10,2  | 9,6                               | 9,7   |

Содержание сырой клетчатки также не было нарушено. Сырой жир находится на уровне контрольных образцов. Количество кальция и фосфора соответствует требованиям ГОСТов. Использование отходов и побочных продуктов переработки винограда и крахмалопаточных производств при производстве комбикормов может решить проблему переработки белкового и энергетического сырья, что позволит в значительной степени удовлетворить потребность ягнят и овец в питательных, минеральных и биологически активных веществах, а также обеспечит сохранность поголовья, повысит продуктивность и эффективность овцеводства.

**Изучение физико-механических свойств (объемная масса, угол естественного откоса, сыпучесть, слеживаемость) опытных партий комбикормов на основе кормовых.** Изучены физико-механические свойства (угол естественного откоса, объемная масса, сыпучесть, слеживаемость и др.), выработанных комбикормов на ос-

нове кормовых добавок для ягнят и овец. Результаты определения физико-механических свойств комбикормов с вводом кормовой добавки приведены в таблице 5.

**Таблица 5 – Физико-механические свойства комбикормов на основе кормовых добавок для ягнят и овец**

| Показатели                        | Рецепты комбикорма |        |                                   |        |
|-----------------------------------|--------------------|--------|-----------------------------------|--------|
|                                   | для 4-5 мес. ягнят |        | для суягных и подсосных овцематок |        |
|                                   | к                  | о      | к                                 | о      |
| Объемная масса, кг/м <sup>3</sup> | 419                | 421    | 426                               | 428    |
| Угол естественного откоса, град.  | 45                 | 46     | 45                                | 46     |
| Сыпучесть, кг/см <sup>2</sup>     | 0,0049             | 0,0053 | 0,0048                            | 0,0049 |
| Слеживаемость                     | не слеживается     |        |                                   |        |

Крупность частиц комбикормов на основе кормовых добавок составила от 0,77 до 1,62 мм, что соответствует требованиям ГОСТа. При замере угла естественного откоса в рассыпных комбикормах не было отмечено ухудшения, т.к. комбикорма в основном состоят из растительного сырья. Таким образом, ввод кормовых добавок в комбикорма показал, что практически не изменяется объемная масса, угол естественного откоса, сыпучесть. Изучена кормовая ценность и количественно-качественный состав комбикормов на основе кормовых добавок для ягнят и овец. Данные приведены в таблице 6.

**Таблица 6 – Количественно-качественный состав комбикормов с вводом кормовых добавок для ягнят и овец**

| Показатели             | Рецепты комбикорма |       |                                   |       |
|------------------------|--------------------|-------|-----------------------------------|-------|
|                        | для 4-5 мес. ягнят |       | для суягных и подсосных овцематок |       |
|                        | к                  | о     | к                                 | о     |
| Влага, %               | 14,5               | 14,4  | 14,5                              | 14,6  |
| В 1 кг содержится, г.: |                    |       |                                   |       |
| сырого протеина        | 186,0              | 186,2 | 172,0                             | 173,0 |
| сырой клетчатки        | 92,0               | 92,2  | 78,0                              | 78,1  |
| сырого жира            | 25,8               | 26,0  | 26,59                             | 26,6  |
| кальция                | 13,3               | 13,5  | 4,9                               | 5,1   |
| фосфора                | 10,1               | 10,2  | 9,6                               | 9,7   |

**Обсуждение результатов.** Согласно анализу результатов изучения влияния ввода кормовых добавок приготовленных из отходов и побочных продуктов переработки винограда и крахмалопаточных производств в комбикорма не оказал заметного воздействия и на технологические показатели опытных партий комбикормов.

**Заключение.** Из приведенных выше данных можно сделать заключение, что получены новые высокопитательные и экологически чистые комбикорма на основе кормовых добавок из невостребованных ранее отходов переработки винограда с вводом природных минералов. Изучив питательность и химический состав кормовых добавок из отходов переработки винограда с вводом природных минералов, разработаны нормы ввода зернового, мучнистого сырья и кормовых добавок комбикорма для ягнят и овец. Новые высокопитательные и экологически чистые комбикорма на основе кормовых добавок из отходов переработки винограда и из природных минералов экономят зерновое сырье и заменяют остродефицитное, дорогостоящее и высокобелковое сырье растительного и животного происхождения (мясокостную и рыбную муку, шрот, жмых и др.).

Следовательно, ввод кормовых добавок в состав комбикормов не ухудшает технологические и качественные показатели и позволяет экономить зерновое и белковое сырье, уменьшает загрязнение окружающей среды. Привлечение для кормов ранее малоиспользуемых или неиспользуемых видов сырья расширит кормовую базу, в связи с чем отпадает необходимость в импорте белковых добавок с высоким содержанием протеина.

### Список литературы

1 *Магажанов Ж.М., Рафкатова Л.Р., Бектурсунова М.Ж.* Производство в Казахстане концентратов полифенолов винограда - в жизнь // Материалы XII Международной научно-практической конференции «Пища, Экология, Качество» Россия, г. Москва, МГУПП-20-21 марта 2015г. – С.532-535.

2 Разработка научных основ производства комбикормов с пониженным содержанием зернового сырья и высококачественных кормовых добавок: отчет от НИР (промежуточный) / РГП КазНИИ ППП: рук. Алимкулов Ж.С. – Алматы, 2002. – 57 с. – № ГР-0118РК00072. – Инв. № 0217РК01576.

3 *Кустова И.А.* Технология получения экстракта с антиоксидантными свойствами из косточек винограда // Хранение и переработка сельхозсырья. - 2014. - № 10. - С. 27-30.

4 *Khanal Ramesh C.* Procyanidin composition of selected fruits and

fruit byproducts is affected by extraction method and variety / C. Khanal Ramesh, R. Howard Luke, L. Prior Ronald // Journal of Agricultural and Food Chemistry. - 2009. - V. 57, № 19. - P. 8839-8843.

5 Кармацких Ю.А. Использование бентонита Зырянского месторождения в животноводстве и птицеводства: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. доктора с.-х. наук : 06.02.02 / Кармацких Ю.А. ; ФГОУ ВПО «Курганская с.-х. ак. им. Т.С. Мальцева» - Новосибирск, 2009. - 42с.

**Алимкулов Ж.С.** - доктор технических наук, академик АСХН РК

**Велямов М.Т.** - доктор биологических наук, академик АСХН РК, академик РАН, академик Национальной академии по продовольственной безопасности РФ, e-mail: vmasim58@mail.ru

**Сарманкулов Т.М.** - ведущий научный сотрудник

**Жумалиева Т.М.** - магистр технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: torgyn-zh@mail.ru

# ЭКОЛОГИЯ. СТРОИТЕЛЬСТВО

---

---

МРНТИ 87.19.02

*А.И. Шустов<sup>1</sup>, Н.П. Огарь<sup>2</sup>, В.А., Кысыков<sup>3</sup>, Н.Н. Попов<sup>4</sup>,  
Н.Ф. Горбунова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ECOTERA, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Центр дистанционного зондирования и ГИС «Терра»,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Вест Дала, г. Атырау, Казахстан

<sup>4</sup>Казэкопроект, г. Атырау, Казахстан

## К НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ КОНЦЕПЦИИ ГЛОБАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

---

---

**Аннотация.** Предлагается разработка «Концепции глобальных экологических проблем Каспийского моря». Данная концепция основана на понимании того, что бассейн Каспийского моря является единой природной системой, подверженной антропогенному воздействию в большей или меньшей степени субъектами природопользования всех прикаспийских государств. Зафиксировано, за сравнительно короткое время, сокращение не только видового разнообразия Каспийского моря, но и снижение его продукционного потенциала. Суть объективно существующей проблемы необходимо трансформировать в русло организации и проведения фоновых экологических исследований, производственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля. Результаты и взаимосвязь данных исследований должны и обязаны определять границы и зоны воздействия производственной деятельности природопользователей, что позволит не только выявлять временные (локальные) устойчивые зоны деструкции биоты акватории Каспийского моря, но и принимать экстренные меры по стабилизации и восстановлению всего комплекса видового разнообразия.

**Ключевые слова:** Каспийское море, Прикаспийские государства, биологическое разнообразие. Экологический кодекс, экологические проблемы моря, спасение Каспийского моря.

• • •

**Түйіндеме.** Мұнда «Каспий теңізінің жаһандық экологиялық проблемалары тұжырымдамасы» әзірленді. Бұл тұжырымдама Каспий теңізі бассейнінің барлық Каспий маңы мемлекеттерінің қоршаған ортаны пайдаланатын субъектілерінің кесірінен антропогендік әсерге ұшырайтын жалғыз табиғи

жүйе екенін түсіндіруге негізделген. Каспий теңізінің алуан түрлілігінің қысқаруымен қатар, оның жалпы өндірістік әлеуетінің де аз уақыт ішінде азаятыны анықталды. Нысаналы түрде қолданыстағы проблеманың мәні табиғатты экологиялық зерттеуді, өнеркәсіптік экологиялық мониторингті және өнеркәсіптік экологиялық мониторингті ұйымдастыру мен өткізудің негізгі ағымына айналуы қажет. Осы зерттеулердің нәтижелері мен өзара байланыстары табиғат пайдаланушыларының өндірістік қызметінің әсер ету шекаралары мен алаңдарын анықтап, Каспий теңізінің биотасының уақытша (жергілікті) тұрақты жою аймақтарын анықтауға ғана емес, сондай-ақ барлық кешенді әртүрлілікті тұрақтандыру мен қалпына келтіру жөніндегі шұғыл шараларды қабылдауға мүмкіндік береді.

**Түйінді сөздер:** Каспий теңізі, Каспий маңы мемлекеттері, биологиялық әртүрлілік, Экологиялық кодекс, теңіздегі экологиялық проблемалар, Каспий теңізін құтқару.

• • •

**Abstract.** Development of “Concept of the Caspian Sea Global Environmental Problems” is hereby proposed. This concept is based on understanding that the Caspian Sea basin is a single natural system subjected to anthropogenic impact, in greater or lesser degree, by environmental usage from all Caspian states. In relatively short time, not only reducing species diversity of the Caspian Sea, but also generally reducing its production potential has been observed. The essence of the objectively existing problem needs to be transformed into the direction to organize and conduct background environmental studies, industrial environmental monitoring and industrial environmental monitoring. The results and interrelationships of these studies should be obliged to determine boundaries and areas of impacting production activities, which will allow not only to identify temporary (local) sustainable destruction zones of biota related to the Caspian Sea area, but also to take emergency measures to stabilize and restore the whole complex diversity.

**Keywords:** Caspian Sea, Caspian states, biological diversity, Environmental Code, environmental problems at sea, saving the Caspian sea.

**Введение.** В настоящее время Каспийское море разделено на секторы влияния (суверенного использования) между всеми Прикаспийскими государствами. Все Прикаспийские государства – в пределах секторов своего влияния, используют водные акватории, биологические ресурсы и недра, на основе собственного законодательства, исходя из национальных интересов каждого государства. Вместе с тем объективная необходимость использования акватории Каспийского моря на основе единых Правил обусловила подписание «Конвенции о правовом статусе Каспийского моря» (12 августа

2018г.). Конвенция призвана урегулировать весь комплекс вопросов, связанных с правами и обязательствами Прикаспийских государств, а также стать гарантом безопасности, политической стабильности, сохранения и приумножения его природных богатств и процветания региона в целом.

Предлагаемая для рассмотрения «Концепция глобальных экологических проблем Каспийского моря» основана на понимании того, что, несмотря на разделение Каспийского моря по секторам суверенного использования (эксплуатации), бассейн Каспийского моря в географическом отношении и цивилизационном восприятии является единой природной системой, подверженной антропогенному воздействию в большей или меньшей степени субъектами природопользования всех Прикаспийских государств. Как следствие – все они имеют общие взаимосвязанные или взаимообусловленные экологические проблемы, решение которых в пределах акватории или прибрежных – береговых зон, одного государства невозможно.



С учетом масштабов антропогенного воздействия, а главное и потенциально возможных долговременных – аккумулируемых, последствий воздействия на биоту Каспийского бассейна, необходимо обратить внимание на ставшее своеобразным «трендом» мнение экологов популистского толка, акцентирующих внимание общественности на взаимосвязь интенсивного роста недропользования всеми Прикаспийскими государствами. Иран в данном случае не является исключением, поскольку имеет планы и предпринимает конкретные шаги для освоения

шельфовой зоны Каспийского моря – и фиксируемое за сравнительно короткое время сокращение не только видового разнообразия Каспийского моря, но и в целом снижение его продукционного потенциала. Необходимо отметить, что прямой взаимосвязи между указан-

ными производственными и природными процессами у авторов Концепции и многих других исследователей нет. Однако ставить точку в этой острой экологической проблеме и мотивировать личностное или общественное умиротворение не позволительно и преждевременно. Поскольку суть объективно существующей проблемы необходимо трансформировать в русло организации и проведения фоновых экологических исследований, производственного экологического мониторинга и производственного экологического контроля. Результаты и взаимосвязь данных исследований должны и обязаны определять границы и зоны воздействия производственной деятельности природопользователей, что позволит не только выявлять временные (локальные) устойчивые зоны деструкции биоты акватории Каспийского моря, но и принимать экстренные меры по стабилизации и восстановлению всего комплекса видового разнообразия.

Но существует и другая менее популярная и порой целенаправленно замалчиваемая проблема – тотальное морское браконьерство 90-ых и почти два десятилетия 2000-ых годов. Все участники морских экологических исследований, включая и авторов Концепции, были свидетелями хищнического истребления осетровых и других промысловых видов рыб. При этом используемая ссылка на официальную статистику «обоснования» утвержденных лимитов и объёма вылова промысловых видов рыб косвенно подтверждает ту и другую точку зрения – но главное является убедительным примером происходящих, по ряду видов, практически необратимых процессов в акватории всего Каспия.

**Правовая основа и мотивация разработки проекта Концепции глобальных экологических проблем КСКМ.** В соответствии с действующим Экологическим кодексом Республики Казахстан (ЭК РК) [1], ст. 269, «В государственной заповедной зоне в северной части Каспийского моря обязательно осуществляется государственный экологический мониторинг уполномоченным органом в области охраны окружающей среды». Данное требование ЭК РК [1] у экологов, осуществлявших морские экологические исследования, вызывало не только недоумение, но и объективно возникающие вопросы:

- почему государственный экологический мониторинг должен обязательно осуществляться не в акватории Казахстанского сектора Каспийского моря (КСКМ), а только в пределах границ государственной заповедной зоны?

- кто должен проводить государственный экологический монито-

ринг за пределами государственной заповедной зоны, т. е. на остальной акватории казахстанского сектора Каспийского моря?

- не является ли данное требование основного закона – Экологического кодекса РК [1], зафиксированным положением того, что за пределами государственной заповедной зоны КСКМ, все что так или иначе характеризует исходное состояние окружающей (морской) среды – фоновых экологических исследований (ФЭИ) [2], производственного экологического мониторинга (ПЭМ) [3], инженерно-геологические исследования (ИГИ) [6-7] и производственного экологического контроля (ПЭК) [4], не только находятся в ведении природопользователей (недропользователей), но и являются единственным источником информации о состоянии биоты и качества морской среды для государственного уполномоченного органа?

Прежде чем ответить на поставленные вопросы необходимо согласиться с тем, что статус государственной заповедной зоны в северной части Каспийского моря обуславливает особый режим осуществления производственной деятельности природопользователей. Но нельзя не признать или просто не учитывать то, что северная часть Каспийского моря не является частью закрытой или изолированной от остальной акватории Каспийского моря, и все природные или антропогенные процессы под воздействием естественных природных факторов – ветровое воздействие, сгонно-нагонные явления, течение и температурный режим вод и др., трансформируют в водной среде не только объективный (реальный) уровень состоявшегося загрязнения вод и донной поверхности, но и нивелируют физические, химические и гидробиологические показатели в различных по статусу участках Каспийского моря.

И все же объективно существует повод для неординарного размышления, так, если бы программы многочисленных ежегодных экологических исследований в различных по статусу участках КСКМ были скоординированы государственным уполномоченным органом на достижение единых целей и задач – в руках уполномоченного органа появился бы ключ, позволяющий контролировать баланс и трансформацию загрязняющих веществ в открытой акватории моря, в том числе и в районах (участках) проведения нефтяных операций. Тем самым были бы сформированы объективные предпосылки для более требовательного отношения к состоянию окружающей (морской) среды не только в пределах «условных» границ государственной заповедной зоны, но и всей акватории КСКМ. Подтверждение данного

положения не требует специальных исследований. Необходимо на карту акватории КСКМ строго по координатам наложить карты – схемы производственных участков и структур, на акватории которых за последние 15 – 20 лет проводились оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) [5], ФЭИ [2], ПЭМ [3], различного рода инженерно-геологические исследования, сопровождаемые комплексными экологическими исследованиями. Желательно также не забыть о проведении самых масштабных экологических исследованиях Норт Каспиан Оперейтинг Компани Н.В (NCOС) и ежегодной Всекаспийской ихтиологической съемки (исследуемые компоненты и показатели, характеризующие состояние окружающей среды, практически идентичны). Подобные исследования мы проводили при разработке новых правил ПЭМ [3], когда с целью сокращения количества станций наблюдения и контроля при проведении ПЭМ [3], или ПЭК [4], компанией «NCOС» совместили ее станции со станциями экологического контроля при проведении Всекаспийской ихтиологической съемки [6]. Добавьте в эту схему станции всех участков и структур – результаты впечатляющие. Первый буквально ошеломляющий вопрос – сколько тонн бентоса (грунта) в акватории КСКМ мы перелопатили дночерпателями и сколько миллиардов экз. гидробионтов мы уничтожили, чтобы получить невнятный результат – каково вчера или сегодня экологическое состояние Каспия и куда мы идем?

Возвращаясь к поставленным вопросам, которые возникают в связи с требованиями Ст. 269 ЭК РК [1], необходимо отметить, что поскольку система государственного экологического мониторинга в ведении уполномоченного органа в области охраны окружающей среды до настоящего времени так и не создана, вопрос «почему и кто» так и останется без ответа, очевидно, до того периода, когда будет принят новый Экологический кодекс РК [1].

**Правовые нормы Экологического кодекса РК.** Прежде чем приступить к формулировке конкретных положений «Концепции глобальных проблем КСКМ», которые при своей реализации окажут решающее влияние на снижение и предотвращение негативного воздействия производственной деятельности природопользователей (недропользователей) не только на акваторию КСКМ, но и в обозримой перспективе на акваторию всего Каспийского моря, необходимо вновь вернуться к положениям Ст. 269 ЭК РК [1], которые за годы своего, в определенной мере объективного, но, безусловно, и негативного воздействия, сформировали, тем не менее, реальные предпосылки

для неизбежного принятия новых управленческих решений, нивелирующих различие в целях и гармонизирующих интересы природопользователей и требования уполномоченного органа.

Так, раздел 4. Ст. 269 ЭК РК [1] «Государственный экологический и производственный мониторинг (в последнем словосочетании пропущено слово «экологический») окружающей среды должны включать наблюдения за следующими параметрами»: ... И далее идет перечисление единых по содержанию пунктов, как для государственного экологического мониторинга, так и для производственного экологического мониторинга окружающей (морской) среды, осуществляемого природопользователями (недропользователями). Причем эти требования (см. пункт 1) совершенно идентичны и для «различных по статусу (режиму) участков Каспийского моря».

Следовательно, ЭК РК [1] в правовом отношении уравнивает абсолютно все требования государственного экологического мониторинга, который должен осуществлять уполномоченный орган, и требования производственного (экологического) мониторинга, который должны осуществлять природопользователи (недропользователи). Мы специально неоднократно подчеркивали, что в Ст. 269 ЭК РК [1] в различных ее пунктах в определении «производственный мониторинг» пропущено слово «экологический». Иначе, исходя из фактического содержания ряда пунктов Ст. 269 следовало бы воспринимать их требования как идентичные – при проведении государственного экологического мониторинга и при проведении производственного мониторинга. Для справки: см. Ст. 132 ЭК РК [1] «Виды и организация проведения производственного мониторинга» Руководствуясь содержанием данной статьи, можно понять насколько – в буквальном смысле, абсурдны некоторые положения Ст. 269 ЭК РК [1].

Более того, фактически ЭК РК [1] не только уравнивает, но и подменяет правовые нормы осуществления государственного экологического мониторинга теми же правовыми нормами производственного (экологического) мониторинга, осуществляемого природопользователями (недропользователями).

Обращая внимание на специфические правовые нормы ЭК РК [1], на фоне отсутствия в Казахстане в ведении специально уполномоченного органа – «Системы государственного экологического мониторинга казахстанского сектора Каспийского моря», необходимо отметить, что произошла не просто подмена понятий и определений! На практике, при организации и проведении всего комплекса эколо-

гических исследований при проведении нефтяных операций в КСКМ, функции, которыми должен обладать и осуществлять государственный уполномоченный орган, используя при этом данные системы наблюдений и контроля государственного экологического мониторинга – были трансформированы в ведение природопользователей (недропользователей).

В результате подмены или трансформации функций государственного уполномоченного органа в области охраны окружающей среды акватории КСКМ в сферу влияния природопользователей (недропользователей) государственный уполномоченный орган, по мнению экологов, участвующих в морских экологических исследованиях по программам природопользователей, на протяжении более чем двадцатилетия самоустранился от проявившихся и нарастающих – без преувеличения, глобальных экологических проблем Каспия. Следует отметить, что не последнюю, а во многом и решающую роль в формировании сложившейся ситуации, сыграли административные – хронические и деструктивные тенденции реструктуризации, ущемления и снижения статуса государственного уполномоченного органа в области охраны окружающей среды. Сокращение и утрата объектов биоразнообразия и биопродукционного потенциала Каспия – проблема, которую недопустимо ни замалчивать, ни игнорировать! Вся острота проблемы состоит в том, что мы теряем виды, которые – до современной истории Каспия, разделенного по секторам суверенного влияния, формировали его былую славу.

**Роль подзаконных актов.** Рассмотрим роль действующих подзаконных актов – Правила, Требования, включая Программы (ФЗИ) [2], ПЭМ [3], ПЭК [4], и Технические спецификации природопользователей (недропользователей) и др., в деструктивном воздействии на биоту и другие компоненты окружающей (морской) среды Каспийского моря.

1) В соответствии с ЭК РК [1] в разные периоды его действия, включая и настоящее время, были разработаны и приняты следующие нормативно-правовые акты (приводим лишь основные):

- Правила организации и проведения фоновых экологических исследований при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря (2012 г., 2014 и 2015 гг.);

- Правила организации и проведения производственного экологического мониторинга при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря (2012 г., 2014 и 2016 гг.);

- Были приняты и другие Правила или требования, но они не обратили на себя пристального внимания экологов и природопользователей несмотря на то, что некоторые из них обладают весьма специфическими свойствами: так, за все предыдущие годы, несмотря на требования ЭК РК [1], так и не были разработаны Правила (Требования) к организации и проведения «производственного экологического контроля» - Правила ПЭК или Правила разработки Программ ПЭК. Но зато принимались и переутверждались Правила согласования Программ ПЭК.

2) Общие недостатки и недоработки, упущения и противоречия утративших силу и действующих подзаконных нормативно-правовых актов:

- произвольное толкование и игнорирование требований ЭК РК;
- отсутствие четкого определения используемых понятий и определений;

- использование новых словосочетаний, определений и понятий, изменяющих смысловое содержание понятий, установленных ЭК РК [1];

- нарушение или искажение смыслового содержания понятий и их организационного и функционального значения;

- прямое противоречие, исключение или подмена положений ЭК РК содержанием приложений к Правилам ФЭИ [2], и ПЭМ [3].

Главная проблема всех указанных недостатков и упущений действующих нормативно-правовых актов заключается в том, что все они перекочевали и размножены в десятках Программ ФЭИ [2], ПЭМ [3], и др., Технических заданиях и спецификациях, в «Методологии познания» и фигурируют в многочисленных отчетах экологов и природопользователей.

Глобальность проблемы заключается и в том, что у экологов и природопользователей уже сформировалось мнение и практика, что ЭК РК [1] не является основополагающим правовым документом и его можно или допустимо перефразировать или запросто, в угоду каких-либо исключительно необходимых корпоративных интересов, просто изменить.

3) Особые – исключительные и специфические недостатки Правил ФЭИ [2], и Правил ПЭМ [3].

Правила организации и проведения фоновых экологических исследований при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря:

- В условиях отсутствия в КСКМ единой системы государственного экологического мониторинга в ведении уполномоченного органа в области охраны окружающей среды все многочисленные фоновые экологические исследования, осуществляемые природопользователями (недропользователями), носят фрагментарный, не взаимосвязанный между собой характер и объективно – лишь условно могут свидетельствовать о фоновом, исходном, состоянии окружающей (морской) среды в акватории казахстанского сектора Каспийского моря.

- Парадокс состоит в том, что в организации и проведении фоновых экологических исследований на контрактном (лицензионном) участке природопользователя никогда не стояла задача определить исходное состояние окружающей (морской) среды. Фоновые экологические исследования по существу на ограниченной акватории КСКМ лишь фиксируют ее состояние в определенный период года и предвосхищают ее состояние до начала производственной деятельности природопользователя.

- В утративших силу и действующих Правилах ФЭИ [2] нет механизмов и какой-либо взаимосвязи с фоновым мониторингом акватории КСКМ.

### **Правила организации и проведения производственного экологического мониторинга при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря.**

- В Правилах ПЭМ [3] отсутствует взаимосвязь с проведенными фоновыми экологическими исследованиями. В этой связи объективно правомочен поднимаемый вопрос – зачем вообще проводятся фоновые экологические исследования, если их результаты остаются не востребованными и нигде не используются?

- Отсутствие функциональной взаимосвязи ФЭИ [2] с ПЭМ [3] не позволяет определить степень воздействия производственной деятельности недропользователей на состояние окружающей среды! При этом представляется совершенно абсурдным при проведении ПЭМ использование для степени оценок воздействия производственной деятельности природопользователя – каких-то отдельных, на достаточно удаленное расстояние, станций ПЭМ как «эталонные» или «фоновые» (условия выбора таких станций вызывает удивление и свидетельствует о незаурядной смекалке авторов);

- Действующий порядок организации и проведения ПЭМ [3] на акватории контрактных (лицензионных) участках или структурах не

позволяет определить ни зоны, ни границы воздействия производственной деятельности недропользователя на состояние окружающей (морской) среды – ни в пределах контрактного участка, ни за его границами;

- Общая характерная особенность всех подзаконных актов, регламентирующих деятельность природопользователей (недропользователей) при организации и проведении нефтяных операций в КСКМ, состоит в том, что их содержание позволяет сделать один вывод – Правила ФЭИ [2], Правила ПЭМ [3] и др. не проходили ни экологическую, ни правовую экспертизу. Проведенный авторами Проекта «Концепции» анализ Правил ФЭИ [2] и ПЭМ [3] подтверждает данный вывод и может быть предоставлен заинтересованным специалистам в любое время.

**Заключение.** Ретроспектива современного состояния биопродукционного потенциала и фиксируемое сокращение видового разнообразия Каспийского моря, разделенного на сектора суверенного влияния всех Прикаспийских государств, интенсивное развитие природопользования (недропользования) в акватории КСКМ и в целом акватории Каспийского моря, с учетом неоднозначных оценок, которые в нормативно-правовом и природоохранном отношении определяют порядок организации и проведения ФЭИ [2] и ПЭМ [3], и, главное, отсутствие в КСКМ системы государственного экологического мониторинга позволяют обозначить основные положения – нормы, требования и принципы реализации «Концепции глобальных экологических проблем казахстанского сектора Каспийского моря».

**1. Создание «Системы государственного экологического мониторинга казахстанского сектора Каспийского моря»** (далее «Система») - определить, что основной целью создания «Системы» является организация и проведение автономного, независимого от деятельности природопользователей (недропользователей), комплексного экологического исследования фоновое – исходного состояния окружающей (морской) среды всей акватории КСКМ.

- система станций наблюдения и контроля фоновое – исходного состояния окружающей (морской) среды, должна охватывать всю акваторию, включая прибрежную зону КСКМ;

- установить периодичность наблюдений и контроля окружающей (морской) среды КСКМ два раза в год: май-июнь и август-сентябрь, продолжительность каждого периода наблюдений 25-30 сут.;

- для единовременного осуществления комплексного экологи-

ческого исследования исходного – фонового состояния окружающей (морской) среды КСКМ, включая его заповедную зону, использовать специально оборудованные морские научно-исследовательские суда – приобретенные или арендуемые «Системой»;

- целесообразно при формировании сетки станций наблюдения и контроля «Системы» использовать не менее 50 % станций наблюдений всекаспийской съемки и станций, традиционно используемых компанией «NCOС». Совпадение координат станций наблюдений позволит проследить динамику состояния компонентов окружающей (морской) среды за многолетний наблюдаемый период;

- с целью развития материально-технического обеспечения «Системы государственного экологического мониторинга КСКМ» обеспечить формирование опорных пунктов (базы) в г. Актау, порт Баутино и г. Атырау;

- с целью устойчивого финансового обеспечения в деятельности «Системы» создать республиканский фонд «Экология Каспия».

**2.** В связи с созданием «Системы государственного экологического мониторинга в КСКМ» исключить из ведения природопользователей (недропользователей) при проведении нефтяных операций в КСКМ организацию и проведение фоновых экологических исследований.

- руководствуясь принципом частно-государственного партнерства, всем компаниям, обладающим лицензиями на природопользование (недропользование) в КСКМ, принять согласованное корпоративное решение о ежегодном перечислении финансовых средств, определяемых (резервируемых) недропользователями на организацию и проведение фоновых экологических исследований, в республиканский фонд «Экология Каспия»;

- принять к сведению, что за природопользователями (недропользователями), осуществляющими производственную деятельность в КСКМ, сохраняется ежегодное, сезонное – три раза в год (за исключением периода ледостава), осуществление производственного экологического мониторинга (ПЭМ) [3] всей акватории контрактного (лицензионного) участка (структуры);

- результаты ПЭМ [3], т. е. степень воздействия производственной деятельности природопользователя (недропользователя), по сезонам года ежегодно сопоставляются, аналитической группой «Системы», с данными Государственного фонового экологического мониторинга. При этом эффективность природоохранных мероприятий,

осуществляемых на производственном объекте природопользователя (недропользователя) должна оцениваться не только снижением концентрации загрязняющих веществ при сопоставлении с данными Государственного фонового экологического мониторинга, но и фактом регистрации сокращения зон воздействия и границ воздействия объектов производства на окружающую (морскую) среду;

- сопоставление результатов производственного экологического мониторинга с данными исследований фонового экологического мониторинга, проводимого «Системой», позволит не только определить сезонный характер изменений границ и зон воздействия производственных объектов недропользователей на окружающую (морскую) среду КСКМ, но и обеспечит экологически обоснованное сокращение количества станций наблюдений при проведении ПЭМ [3];

- по результатам оценок состояния окружающей (морской) среды КСКМ аналитическая служба «Системы» - для специалистов экологов выпускает ежегодные бюллетени и каждые пять лет готовит обобщаемые сборники, характеризующие динамику реального – фонового состояния окружающей среды акватории КСКМ, которые должны стать - основанием для принятия решений государственного уполномоченного органа, достоянием общественности и предметом публичного открытого обсуждения.

### **Список литературы**

1 Экологический кодекс Республики Казахстан от 9 января 2007 г. № 212-III (с изменениями и дополнениями по состоянию на 15.01.2019 г.).

2 Правила организации и проведения фоновых экологических исследований (ФЭИ) при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря, 2012 г., 2014 г., 2015 г.

3 Правила организации и проведения производственного экологического мониторинга (ПЭМ) при проведении нефтяных операций в казахстанском секторе Каспийского моря, 2012 г., 2014 г., 2016 г.

4 Производственный экологический контроль в Казахстане (ПЭК). Астана.2005, с -27.

5 Инструкция по проведению оценки воздействия намечаемой хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду при разработке предплановой, плановой, предпроектной и проектной документации (ОВОС), (Приказ Министра охраны окружающей среды РК от 28.06.2007 г. № 289-ө).

6 Основы методологии проведения производственного экологического мониторинга в Казахстанском секторе Каспийского моря, Изд. Кағанат, Алматы, 2013 г.

7 Инструкция по соблюдению норм экологической безопасности при проектировании и проведении нефтяных операций в акватории и прибрежных зонах морей и внутренних водоемов Республики Казахстан, № 847, 1999 г.

**Шустов А. И.** - кандидат биологических наук, доцент, независимый эксперт, экс-вице-министр экологии РК, член экспертного совета Министерства экологии, геологии и природных ресурсов РК, e-mail: a-ilich@yandex.kz

**Огарь Н. П.** - доктор биологических наук, профессор, член - корр. НАН РК, e-mail: ogar@gis-terra/kz

**Кысыков В. А.** - эколог, e-mail: vitok1983@gmail.com

**Попов Н. Н.** - кандидат биологических наук. ведущий специалист, e-mail: fich63@mail.ru

**Горбунова Н. Ф.** - главный менеджер, e-mail: ash\_natali@mail.ru

А.К. Алдунгарова<sup>1</sup>, А.С. Тулебекова<sup>2</sup>, Н. Баймаканов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова,  
г. Павлодар, Казахстан

<sup>2</sup> Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,  
г. Нур - Султан, Казахстан

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПУТЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ДАМБ

---

---

**Аннотация.** Для экологически безопасного строительного производства необходимо разрабатывать новые технологии и применять строительные материалы, позволяющие максимально снизить антропогенные нагрузки на природные экосистемы. Чтобы защитить водные объекты от вредных химических веществ, необходимо принимать специальные меры и устраивать экологически безопасные подземные защитные конструкции. Строительство гидротехнических сооружений всегда вызывает те или иные отклонения от состояния природного экологического равновесия. Нарушения сложившейся природной обстановки неизбежны даже при самом тщательном соблюдении требований всех нормативных документов. В статье представлены исследования устойчивости армированных и неармированных грунтовых дамб в условиях влияния горизонтальных и вертикальных деформаций грунтового основания. Результаты исследований позволяют оценить возможность образования в моделях грунтовых насыпей трещин с определением области их распространения. Методика прогноза позволит повысить экологическую безопасность эксплуатируемых дамб.

**Ключевые слова:** безопасность дамбы, устойчивость дамбы, подземные защитные конструкции.

• • •

**Түйіндеме.** Экологиялық тұрғыдан қауіпсіз құрылыс индустриясы үшін табиғи экожүйелерге антропогендік қысымды азайтатын жаңа технологиялар мен құрылыс материалдарын қолдану қажет. Су объектілерін зиянды химиялық заттардан қорғау үшін арнайы шаралар қабылдау және экологиялық қауіпсіз жерасты қорғаныс құрылымдарын ұйымдастыру қажет. Гидротехникалық құрылыстардың құрылысы әрқашан табиғи экологиялық теңгерімнен белгілі бір ауытқуларды тудырады. Қазіргі табиғи жағдай барлық нормативтік құжаттардың талаптары мұқият сақталған күннің өзінде де бұзылуы мүмкін. Мақалада топырық негізінің бұзылуының тік және көлденең жағдайындағы шегенленген және шегенленбеген топырақ бөгеттерінің тұрақтылығы зерт-

телген. Зерттеу нәтижелері шегеннің жалпы тұрақтылығына әсер ету деңгейі, сонымен қатар, орналасу аймағына байланысты топырақтың ерекшеліктерін көрсетті. Болжалды әдіс қолданыстағы бөгеттердің экологиялық қауіпсіздігін арттырады.

**Түйінді сөздер:** Қауіпсіздік, бөгеттер, тұрақтылық, дамбаның тұрақтылығы, жер асты қорғау конструкциялары

• • •

**Abstract.** For an environmentally safe construction industry, it is necessary to develop new technologies and apply building materials that will minimize the anthropogenic pressures on natural ecosystems. In order to protect water bodies from harmful chemicals, it is necessary to take special measures and arrange environmentally safe underground protective structures. The construction of hydraulic structures always causes certain deviations from the state of the natural ecological balance. Violations of the current natural situation are inevitable even with the most careful observance requirements of all regulatory documents.

The article presents the study of the stability of reinforced and unreinforced soil dams under the influence of horizontal and vertical deformations of the soil foundation. The research results allow us to estimate the possibility of the cracks formation in the ground embankment models with the definition of their distribution area. The forecasting method will improve the environmental safety of the operated dams.

**Keywords:** Safety, dams, sustainability, the stability of the dam, construction of underground protection.

**Введение.** Все гидротехнические сооружения относятся к объектам, которые определяются высоким уровнем ответственности. Разрушения данных объектов сопровождаются значительными ущербами экономического, социального и экологического характера. Особенно это относится к гидротехническим сооружениям, которые преобладают среди построенных к настоящему времени сооружений. Статистические данные аварий и повреждений гидротехнических сооружений показывают, что вероятность даже крупных аварий и разрушений любых плотин и дамб, в том числе самых современных, не может быть полностью устранена. Проблема возможных повреждений или разрушений конструктивных элементов гидротехнических сооружений при их длительной эксплуатации возникает вследствие воздействия природно-климатических факторов и старения материала конструкций. Поэтому необходимо применять эффективные системы управления состоянием гидротехнических объектов, которые служат для предотвращения опасных разрушений объектов. От рациональной реализации такой системы зависят продолжительность безопасной эксплуатации гидротехнических сооружений, минимизация эксплуатационных расходов и негативного воздействия на окружающую среду [1-2].

Гидротехническое сооружение – искусственная структура (постройка) промышленного, гражданского, военного или другого назначения, установленная (построенная) на искусственном или естественном водном объекте, либо в непосредственной близости от него, либо сама по себе являющаяся искусственным водным объектом [3].

Виды гидротехнических сооружений представлены на рисунке 1.

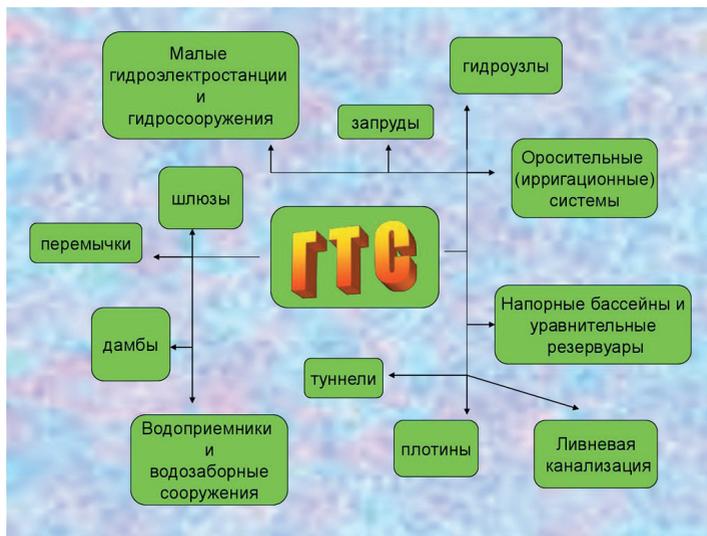


Рисунок 1 - Виды гидротехнических сооружений

**Методы исследований.** Проведены испытания на установке, с помощью которой можно осуществлять исследования по изучению развития трещинообразования и устойчивости, модельных образцов грунтовых сооружений в условиях приложения деформаций растяжения в вариантах с армированием и без армирования моделей конструкции.

**Основные результаты.** Стенд для моделирования деформаций работает следующим образом: с помощью болтового соединения (3) производят сжатие или растяжение швеллерных секций (1), вместе с которыми деформируется материал в лотке. Горизонтальные деформации растяжения грунта обеспечиваются за счет сил упругого восстановления сжатых упругих (резиновых) прокладок (2) при ослаблении болтовых соединений (3). Горизонтальные деформации сжа-

тия грунта обеспечиваются сжатием упругих (резиновых) прокладок (2) при помощи болтовых соединений (3), сближающих швеллерные секции (1).

Вертикальные деформации обеспечиваются за счет поэтапного опускания швеллерных секций (7). Моделью грунтовой дамбы служила насыпь с размерами в плане 700мм × 150мм (основание модели дамбы), 200мм × 150мм (гребень модели дамбы), высота модели дамбы 430мм.

а) Укладка основания

Перед укладкой грунтового основания устанавливался стенд так, чтобы в дальнейшем 1/3 часть подошвы модели дамбы была уложена на основании, приподнятом на определенное расстояние с помощью швеллерных секций. Швеллерные секции (рисунок 2) подняты вверх при помощи болтов на 40 мм [4]

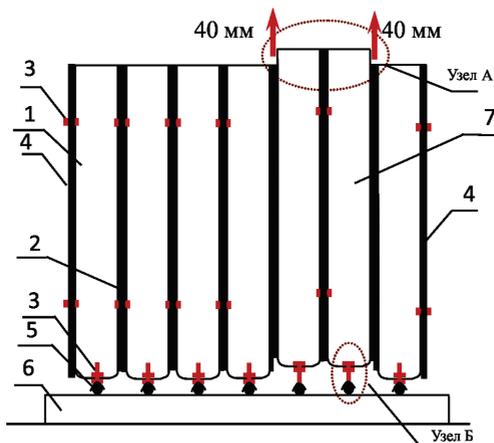


Рисунок 2– Стенд (объемный) для моделирования деформаций модели грунтовой дамбы (вид сбоку)

а) После подготовки эквивалентного материала в объемный стенд укладывалось основание. Эквивалентный материал помещался в объемный стенд слоями по 7 см и уплотнялся катком (7 полных циклов укладки);

б) Укладка модели дамбы без армирования (рисунок 3) выполнялась путем послойной укладки в 6 слоев по 7 см + уплотнение. Меж-

ду каждым слоем укладывали окрашенный песок толщиной  $\approx 2$  мм.

в) Подготовка модели насыпи с армированием (рисунок 4) производилась путем послойной укладки в 6 слоев по 7 см + уплотнение. Насыпь размещалась с помощью специальной формы. Между каждым слоем укладывался окрашенный песок толщиной 2 мм. После укладки каждого слоя и окрашенного песка, накладывалась арматурная сетка площадью равная площади укладываемого слоя модели дамбы;

г) Средняя плотность грунта основания и модели дамбы без армирования и с армированием равна  $119 \text{ г/см}^3$ , без учета веса алюминиевой емкости ( $\rho = 13 \text{ г/см}^3$ ).

Процесс развития трещин, деформации и обрушения модели дамбы при одновременных горизонтальном растяжении и вертикальной деформации грунтового основания, можно было визуальнo наблюдать и фиксировать с помощью фотокамеры. Появление и развитие цифровой фотографии позволило разработать бесконтактный фотограмметрический способ мониторинга жизнедеятельности трещин и других деформаций исследуемых объектов [5,6]. Вертикальные и горизонтальные деформации основания и модели насыпи в процессе проведения эксперимента определялись фотограмметрическим способом.

Фотограмметрический метод позволяет определить деформации, возникающие в плоскости, и служит для исследования плоских объектов. Сущность метода состоит в том, что с одной и той же неподвижной точки получают несколько снимков исследуемого объекта, например первый до деформаций, второй во время деформаций и третий после деформаций. При этом фотокамеру устанавливают так, чтобы плоскость прикладной рамки была параллельна плоскости объекта и элементы ориентирования снимков сохранялись [7-8].

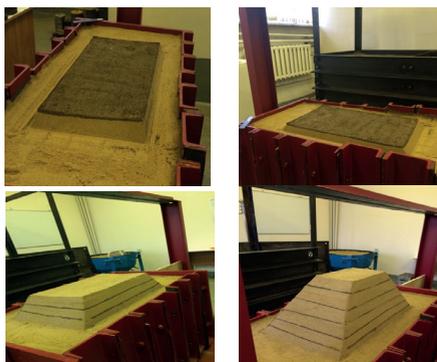


Рисунок 3 - Послойная укладка модели дамбы без армирования



Рисунок 4- Послойная укладка модели дамбы с армированием

В этом случае производится их периодическая съемка обору- дованием с высокой разрешающей способностью матрицы (до 2 тыс. пикселей на 1 см<sup>2</sup>). В нашем конкретном случае использовалась камера Canon EOS Rebel T3 / DS126291 с разрешением матрицы 12,2 МПикс. Данные съемок заносились в сетку для документирова- ния механических изменений на откосах и гребне модели дамбы. За- дача заключалась в изучении устойчивости модели при 5 ступенях горизонтальных деформаций ( $\epsilon=(3,6,9,12,15)\times 10^{-3}$ ) и одновременного вертикального обрушения (рисунок 5) части грунтового основания в вариантах с армированием модели дамбы и без армирования, чтобы выявить условия критического состояния насыпи.

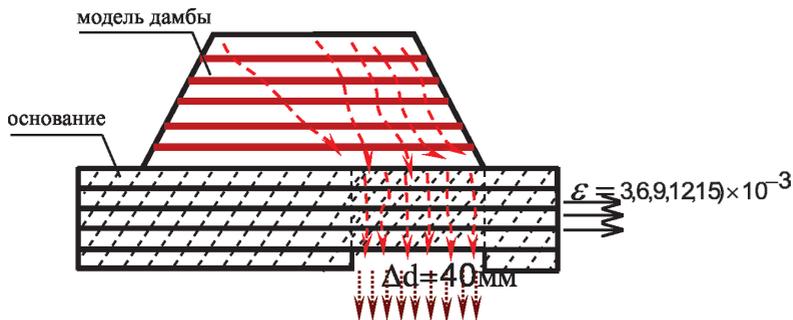


Рисунок 5 - Схема действия горизонтальных и вертикальных деформаций на работу моделей дамб

Объемный стенд позволил в значительном диапазоне создавать независимые деформации растяжения, вертикального подъема и опускания грунтового основания [9].

Были проведены следующие серии испытаний:

а) испытание на модели дамбы при различных условиях одно- временного опускания части грунтового основания и горизонтального растяжения основания без предварительного армирования:

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины  $\varepsilon = 3 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 8 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины  $\varepsilon = 6 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 16 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины  $\varepsilon = 9 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 24 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины  $\varepsilon = 12 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 32 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении без армирования модели дамбы до величины  $\varepsilon = 15 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 40 \text{ мм}$ ;

б) Проведение испытаний на модели дамбы при различных условиях одновременного опускания части грунтового основания и горизонтального растяжения основания с армированием:

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины  $\varepsilon = 3 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 8 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины  $\varepsilon = 6 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 16 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины  $\varepsilon = 9 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 24 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины  $\varepsilon = 12 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 32 \text{ мм}$ ;

- деформирование основания в горизонтальном направлении с армированием модели дамбы до величины  $\varepsilon = 15 \times 10^{-3}$  и вертикального опускания грунтового основания на величину  $\Delta d = 40 \text{ мм}$ ;

После каждого эксперимента грунт из лотка вынимался и готовилось новое основание для следующих серий.

На рисунке 6 показаны ключевые этапы проведения эксперимента: 1 – после 2 этапа приложения деформаций, 2 – после 3 этапа приложения деформаций, 3 – после 5 этапа приложения деформаций. Трещины у модели неармированной дамбы (рисунок 6, а1) начинаются параллельно по всему телу уже при первых секундах деформа-

ций, общая длина трещин равна 60-80 мм, у армированной модели развитие трещин происходит ниже полотна арматурной сетки (рисунок 6, б1), общая длина трещин равна 6-10 мм. На 3 этапе (рисунок 6, 1а) неармированная модель дамбы начала получать частичные обрушения, общая длина трещин равна 100-120 мм, армированная модель дамбы получила сдвиг нижней части тела, общая длина трещин 10-20 мм.

Модель армированной дамбы подвержена больше сдвигу, чем разрыхлению и деформированию, верхняя часть модели, которая уложена выше армированной сетки, после последнего 5 этапа деформаций осталась в первоначальном виде (рисунок 6, б3), фактически без трещин, при двухсантиметровом сдвиге модели дамбы, гребень неармированной дамбы (рисунок 6, а3) деформирован трещинами.

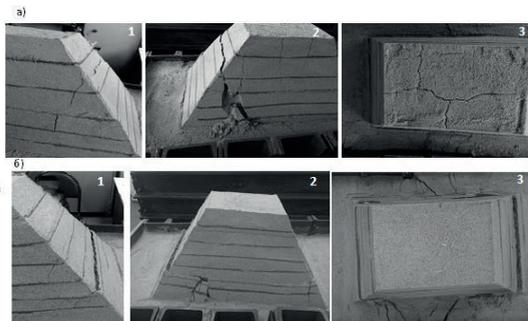


Рисунок 6 - Сравнение ключевых этапов моделирования устойчивости модели дамбы без армирования (а) и с армированием (б)

По графику (рисунок 7), соответственно можно сделать вывод, что укрепление модели дамбы арматурной сеткой, существенно повлияло на ее устойчивость при горизонтальных и вертикальных деформациях. Данный вариант укрепления может быть рассмотрен в случаях проектирования гидротехнических сооружений, как один из способов повышения устойчивости и надежности [10].

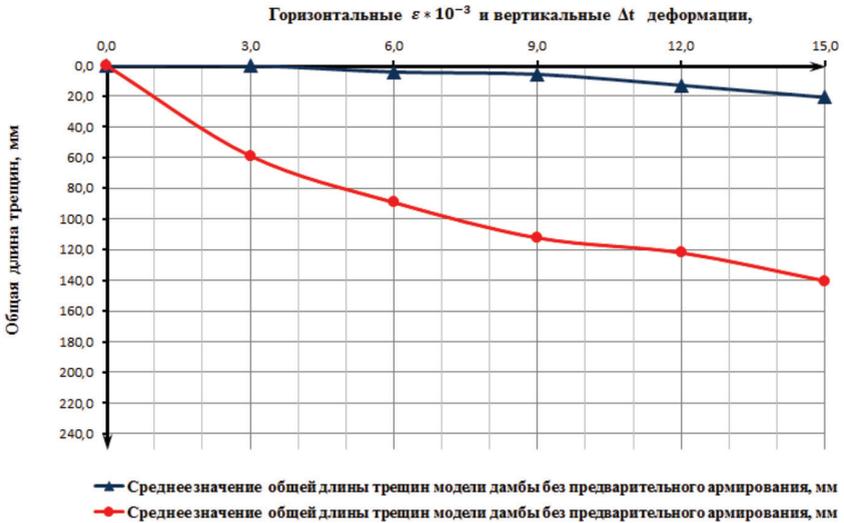


Рисунок 7- График зависимости длины трещин моделей грунтовых дамб с армированием и без армирования от горизонтальных и вертикальных деформаций

**Заключение.** В результате проделанной работы, были получены следующие выводы:

- На основе сочетания результатов численных, модельных и натурных исследований деформируемых грунтовых оснований получены численные значения предела устойчивости армированной и неармированной дамб в зависимости от горизонтальных и вертикальных деформаций грунтовой толщи;

- Положительное влияние армирующего эффекта при горизонтальных и вертикальных деформациях грунтового основания экспериментально доказано в опытах на грунтовых моделях дамб, где общая длина раскрытия трещин в случае работы модели грунтовой дамбы без раскрытия трещин превысила на 5 этапах эксперимента с средним в 7-30 раз, по сравнению с моделью армированной дамбы;

- Использованный объемный стенд для моделирования деформаций основания позволяет расширить диапазон моделируемых явлений, близких к натурным условиям подработки гидротехнических сооружений и позволяет изучить механизм взаимодействия грунтовой дамбы с подрабатываемым основанием.

Армирующий эффект в дамбе позволит продлить сроки эксплуатации гидротехнического сооружения и соответствовать нормам экологической безопасности.

### Список литературы

1 Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений. Стройиздат, 1983 - 360с.

2 *Драницын Е. М.* Водосбросные сооружения высоконапорных гидроузлов: // лекции, 2009.

3 *Алдунгарова А.К., Исина А.З.* Состояние работы дамб в Казахстане // Вестник Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева. – 2013. – Т. 2, №4(95). – С. 391-395.

4 *Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С.* Features of modeling of dams: электронное учебное пособие.- Астана, 2019.

5 *Жусупбеков А.Ж., Алдунгарова А.К., Тулебекова А.С.* Numerical modeling of stability of the soil dam: электронное учебное пособие.- Астана, 2019.

6 *Васильева И.А.* и др. Гидротехнические сооружения: учеб. пособие для вузов / под ред. Н.П. Розанова. – М., 1978. – 647 с.

7 *Добрецов Д.Г.* Обеспечение экологической безопасности // Мониторинг правоприменения.- 2014.- С.35-42.

8 *Бальзанников М.И., Родионов М.В.* Повышение экологической безопасности эксплуатируемых грунтовых гидротехнических сооружений // Экологическая безопасность строительства.- 2014.- С. 100-108

9 *Можевитинов А.Л.* Введение в гидротехнику: учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232 с.

10 *Рыжанкова Л.Н., Аргал Э.С.* Проблемы экологии в гидротехническом строительстве // Гидравлика и инженерная гидрология.- 2008.- С.135-144.

**Алдунгарова А.К.** - Ph.D, доцент, e-mail liya\_1479@mail.ru

**Тулебекова А.С.** - Ph.D, доцент, e-mail krasavka5@mail.ru

**Баймаканов Н.** - магистрант, e-mail: nurik@mail.ru

## **СПИСОК РЕЦЕНЗЕНТОВ статей, опубликованных в 2019 г.**

|                    |   |
|--------------------|---|
| Абсадыков Б.Н.     | доктор технических наук, доцент                 |
| Абеев А.Б.         | кандидат медицинских наук                       |
| Алексеева Н.В.     | кандидат технических наук, доцент               |
| Алимарданова М.К.  | доктор технических наук, профессор              |
| Алимкулов Ж.С.     | доктор технических наук, профессор              |
| Алпамысова Г.      | кандидат сельскохозяйственных наук, доцент      |
| Асанов М.А.        | кандидат геолого-минералогических наук, доцент  |
| Атоев Э.Х.         | кандидат технических наук, доцент               |
| Байкенова Г.Г.     | доктор химических наук                          |
| Бакушев А.А.       | кандидат технических наук, доцент               |
| Бекмухамедова Б.Э. | кандидат технических наук                       |
| Буктуков Н.С.      | доктор технических наук, профессор              |
| Богуспаев К.К.     | доктор биологических наук, профессор            |
| Велямов Н.Т.       | кандидат технических наук                       |
| Даулетбаков Т.С.   | доктор технических наук, профессор, академик    |
| Джингилбаев С.С.   | доктор технических наук, профессор              |
| Джолдасбаева Г.К.  | доктор экономических наук, профессор            |
| Джураев Х.Ф.       | доктор технических наук, профессор (Узбекистан) |
| Дубов Е.Д.         | доктор технических наук                         |
| Ергазиева Г.Е.     | кандидат химических наук                        |
| Жадраев Р.Ж.       | кандидат технических наук, асс.профессор        |
| Жамансарин Т.М.    | доктор ветеринарных наук, профессор             |
| Жапарова С.Б.      | кандидат технических наук, профессор            |
| Жузбаева А.Т.      | кандидат экономических наук                     |
| Жумагелдиев А.А.   | кандидат ветеринарных наук, профессор           |
| Жумакаева Б.Д.     | кандидат химических наук                        |

|                     |   |
|---------------------|---|
| Жуматов К.Х.        | доктор биологических наук, профессор        |
| Ибрагимова Н.А.     | кандидат биологических наук                 |
| Ибраимбаева Г.Б.    | ассоциированный профессор                   |
| Изтаев А.И.         | доктор технических наук, профессор          |
| Кабдулов Ш.З.       | доктор технических наук, профессор          |
| Казиева Р.К.        | доцент экономических наук                   |
| Капалова Н.А.       | кандидат технических наук                   |
| Каримова Л. Ж.      | кандидат экономических наук, доцент         |
| Карыбаева Г.А.      | кандидат физико-математических наук         |
| Кененбай К.С.       | кандидат технических наук, доцент           |
| Кенжебаев Т.Е.      | доктор биологических наук                   |
| Кенжеходжаев М.Д.   | доктор технических наук                     |
| Когут А.В.          | кандидат технических наук                   |
| Колесов К.Э.        | кандидат технических наук                   |
| Колпакова В.П.      | доктор технических наук, профессор          |
| Кудайбергенова К.С. | кандидат экономических наук, профессор      |
| Кулмамбетова Г.Н.   | PhD   |
| Кыдырбаев Ж.        | доктор сельскохозяйственных наук, профессор |
| Макеева Л.А.        | кандидат биологических наук                 |
| Мауи А.А.           | доктор биологических наук                   |
| Маулямбаев Т.Н.     | доктор технических наук, профессор          |
| Махметов Б.Н.       | кандидат технических наук, доцент           |
| Медведков Е.Б.      | доктор технических наук, профессор          |
| Мергаликызы Т.      | PhD   |
| Молдабаев С.К.      | доктор технических наук, профессор          |
| Морзабаев А.Б.      | кандидат биологических наук                 |
| Мухамбетжанов С.К.  | кандидат биологических наук                 |
| Мырзабаев А.Б.      | кандидат педагогических наук, профессор     |
| Нарзиев М.С.        | кандидат технических наук                   |

|                   |  |
|-------------------|--|
| Нариков К.А.      | кандидат технических наук                          |
| Нукешев С.О.      | доктор технических наук, профессор                 |
| Нургазы К.        | доктор сельскохозяйственных наук, профессор        |
| Нуржанова А.А.    | доктор биологических наук, профессор               |
| Нуртаев Ш.        | кандидат технических наук, профессор               |
| Нысанов Е.А.      | доктор физико-математических наук,<br>профессор    |
| Онгарбаев Е.К.    | доктор химических наук, профессор                  |
| Пащенко Г.Н.      | кандидат технических наук                          |
| Портнов В.С.      | доктор технических наук, профессор                 |
| Потороко И.Ю.     | доктор технических наук, профессор (Россия)        |
| Почервин Е.В.     | кандидат исторических наук (Россия)                |
| Ратникова И.А.    | доктор биологических наук, профессор               |
| Рахманова Ж.С.    | кандидат технических наук, доцент                  |
| Рахматуллаев М.А. | доктор технических наук, профессор<br>(Узбекистан) |
| Рахыжанова С.О.   | кандидат медицинских наук                          |
| Сагиева Р.К.      | доктор технических наук, и.о.профессора            |
| Сапарова У.Ж.     | кандидат сельскохозяйственных наук                 |
| Сарсенова Б.Б.    | кандидат биологических наук, доцент                |
| Сериккызы М.      | PhD, доцент  |
| Смагулов Д.У.     | доктор технических наук                            |
| Тажиева С.К.      | кандидат экономических наук, доцент                |
| Тазабаева К.А.    | кандидат биологических наук                        |
| Танатаров М.А.    | доктор сельскохозяйственных наук                   |
| Танкибаева Н.У.   | кандидат биологических наук, доцент                |
| Темрешев И.И.     | кандидат биологических наук                        |
| Тимурбекова А.К.  | кандидат технических наук, доцент                  |
| Тлеугабдулов С.М. | доктор технических наук, профессор                 |
| Товасаров А.Д.    | кандидат химических наук                           |

|                 |  |
|-----------------|--|
| Тулеева А.К.    | кандидат сельскохозяйственных наук, доцент |
| Тултабаев Н.Ч.  | доктор технических наук, профессор         |
| Туменов С.Н.    | доктор технических наук                    |
| Турешова Г.О.   | кандидат химических наук, доцент           |
| Тутанов С.К.    | доктор технических наук, профессор         |
| Умбеталиев Н.   | доктор технических наук, профессор         |
| Усербаев М.Т.   | кандидат технических наук                  |
| Чижаяева А.В.   | Кандидат биологических наук                |
| Халила О.Н.     | доктор биологических наук, профессор       |
| Шыныбекова Ш.С. | кандидат биологических наук                |

Регистрационное свидетельство № 7528-Ж  
от 01.08.2006 г.  
выдано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан

Отв. редактор *Л.Н. Гребцова*  
Редактор текста на казахском языке *Т.Т. Садырова*  
Редактор текста на английском языке *Е.Бердыкулов*  
Компьютерная верстка и дизайн *Н.Т. Раймкулова*  
Обложка *Е.С. Кадырова, Л.Н. Гребцовой*

---

Подписано в печать 18.12.2019.  
Формат 60x84/16. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Усл. п. л. 11,0. Тираж 350 экз. Заказ 105.

---

Редакционно-издательский отдел НЦ ГНТЭ.  
050026, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 221