



ISSN 2713-220X

# НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

2021 № 4 (Том 2)

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
RESULTS AND PROSPECTS**

**2021 № 4 (Том 2)**

**СОДЕРЖАНИЕ**

|   |    |
|---|----|
| <b>НАУКИ О ЗЕМЛЕ</b>  |    |
| <i>Гусейнов Г.Г.</i> Наноразмерные структуры, их свойства и применение для выработки остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти                                       | 3  |
| <i>Ибатуллин Р.Р.</i> Новые технологии гидро-разрыва горизонтальных скважин, используемые в Северной Америке  | 17 |
| <b>РАДИОТЕХНИКА,</b>  |    |
| <b>МИКРО- И НАНОЭЛЕКТРОНИКА</b>   |    |
| <i>Хасанов А.И., Мустафаев А.Г., Черкесова Н.В.</i> Определение диффузии примеси в кремнии в процессе импульсной ионной имплантации с последующим термическим отжигом | 23 |
| <b>ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ</b>  |    |
| <i>Меретукова Ф.Н.</i> Исследование технологии производства хлеба с добавлением фосфатидного концентрата  | 31 |
| <i>Запорожская С.П., Касьянов Д.Г., Косенко О.В.</i> Исследование уровня потребления рыбной продукции и вкусовых предпочтений покупателей                             | 36 |
| <b>ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ</b>  |    |
| <i>Конгапшев А.А., Бажева Р.Ч., Хараев А.М.</i> Свойства и синтез полиэфиркетонов   | 42 |
| <i>Султанов Ю.М.-А., Мурсалова М.Г.</i> Технология очистки саломаса от ненасыщенных кислот с помощью полимерных сорбентов на основе полиэтиленполиаминов              | 51 |
| <b>ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ</b>  |    |
| <i>Коробейникова К.Р., Мазлумян Г.С.</i> Анализ характеристик водородных топливных элементов с платиновым катализатором и полимерной мембраной                        | 56 |
| <b>СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА</b>  |    |
| <i>Постовой А.А., Масленников С.А.</i> Подбор состава бетонной смеси, перекачиваемой бетононасосом, в соответствии с нормативными требованиями                        | 63 |
| Правила оформления и представления статей   | 69 |

Учредитель и издатель: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дагестанский государственный технический университет»

**Редакционная коллегия:**

Н.С. Суракатов, к.э.н., доцент, главный редактор (Махачкала)  
Г.Х. Ирзаев, к.т.н., доцент, зам. главного редактора (Махачкала)  
А.Д. Абакаров, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Г.М. Абакаров, д.х.н., доцент (Махачкала)  
Э.К. Агаханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
А.П. Адамов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Р.М. Алиев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Х.Х. Ахмадова, д.т.н., профессор (Грозный)  
М.Э. Ахмедов, д.т.н., доцент (Махачкала)  
М.У. Ахмедпашаев, д.т.н., доцент (Махачкала)  
Р.В. Гусейнов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Т.А. Исмаилов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
М.Ю. Карелина, д.т.н., профессор (Москва)  
Д.А. Магомедов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
К.П. Манжула, д.т.н., профессор (С-Петербург)  
А.Н. Остриков, д.т.н., профессор (Воронеж)  
Г.К. Сафаралиев, д.ф.-м.н., профессор, чл.-корр. РАН (Москва)  
А.Р. Тагилаев, д.т.н., профессор (Махачкала)  
С.У. Увайсов, д.т.н., профессор (Москва)  
О.М. Устарханов, д.т.н., профессор (Махачкала)  
Н.К. Юрков, д.т.н., профессор (Пенза)

При перепечатке ссылка на журнал «Научные исследования: итоги и перспективы» обязательна.

Все поступившие в редакцию материалы подлежат рецензированию.

Мнения авторов могут не совпадать с точкой зрения редакции.

Редакция в своей деятельности руководствуется рекомендациями Комитета по этике научных публикаций (Committee on Publication Ethics).

Условия публикации статей размещены на сайте: <http://dstu.ru>.

Журнал включен в базы данных eLIBRARY и индексируется в национальной информационно-аналитической системе – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ).

Адрес редакции: 367026, Республика Дагестан, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70  
Телефон: +7 (8722) 62 37 15

E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru).

**ISSN 2713-220X**

**2021 № 4 (Vol. 2)**

**CONTENTS**

|  |    |
|--|----|
| <b>EARTH SCIENCES</b>  |    |
| <i>Guseinov G.G.</i> Nanoscale structures, their properties and application for the development of residual hard-to-recover oil reserves                           | 3  |
| <i>Ibatullin R.R.</i> New technologies for hydraulic fracturing of horizontal wells used in North America  | 17 |
| <b>RADIO ENGINEERING,<br/>MICRO- AND NANOELECTRONICS</b>   |    |
| <i>Khasanov A.I., Mustafaev A.G., Cherkesova N.V.</i> Determination of impurity diffusion in silicon during pulsed ion implantation followed by thermal annealing  | 23 |
| <b>TECHNOLOGIES, PROCESSES AND<br/>DEVICES OF FOOD PRODUCTION</b>  |    |
| <i>Meretukova F.N.</i> Research of technology for the production of bread with the addition of phosphatide concentrate   | 31 |
| <i>Zaporozhskaya S.P., Kasyanov D.G., Kosenko O.V.</i> Research of the level of consumption of fish products and taste preferences of buyers                       | 36 |
| <b>CHEMICAL TECHNOLOGY</b>   |    |
| <i>Kongapshev A.A., Bazheva R.Ch., Kharaev A.M.</i> Properties and synthesis of polyether ketones  | 42 |
| <i>Sultanov Yu.M.-A., Mursalova M.G.</i> Technology for cleaning fatty fat from unsaturated acids using polymer sorbents based on polyethylene polyamines          | 51 |
| <b>TRANSPORTATION-TECHNOLOGICAL<br/>SYSTEMS</b>  |    |
| <i>Korobeynikova K.R., Mazlumyan G.S.</i> Analysis of the characteristics of hydrogen fuel cells with a platinum catalyst and a polymer membrane                   | 56 |
| <b>BUILDING CONSTRUCTION AND<br/>ARCHITECTURE</b>  |    |
| <i>Postovoy A.A., Maslennikov S.A.</i> Selection of the composition of the concrete mixture pumped by the concrete pump in accordance with regulatory requirements | 63 |
| Rules for writing and submitting articles  | 69 |

Founder and Publisher: federal state budgetary educational institution of higher education «Daghestan State Technical University»

**Editorial team:**

N.S. Surakatov, Ph.D., Associate Prof., Chief editor (Makhachkala)  
G.Kh. Irzaev, Ph.D., Associate Prof., Deputy Chief Editor (Makhachkala)  
A.D. Abakarov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
G.M. Abakarov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
E.K. Agakhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
A.P. Adamov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
R.M. Aliev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
Kh.Kh. Akhmadova, Doctor of Science, Prof. (Grozny)  
M.E. Akhmedov, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
M.U. Akhmedpashaev, Doctor of Science, Associate Prof. (Makhachkala)  
R.V. Huseynov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
T.A. Ismailov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
M.Yu. Karelina, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
D.A. Magomedov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
K.P. Manzhula, Doctor of Science, Prof. (St. Petersburg)  
A.N. Ostrikov, Doctor of Science, Prof. (Voronezh)  
G.K. Safaraliev, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
A.R. Tagilayev, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
O.M. Ustarkhanov, Doctor of Science, Prof. (Makhachkala)  
S.U. Uvaisov, Doctor of Science, Prof. (Moscow)  
N.K. Yurkov, Doctor of Science, Prof. (Penza)

When reprinting a link to the journal «Scientific researches: results and prospects» required.  
All materials received by the editors subject to review.  
The opinions of the authors may not coincide with the views of the publisher.  
The editors in their activities guided by the recommendations of the Committee on Publication Ethics.  
The conditions for publishing articles are available on the website: <http://dstu.ru>.  
The journal is included in the eLIBRARY databases and indexed in the national information and analytical system - Russian Science Citation Index (RSCI).

Editorial office: 70 I. Shamily Ave., Makhachkala, Republic of Daghestan, 367026, Russia.  
Tel.: +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru).

**ISSN 2713-220X**

## НАНОРАЗМЕРНЫЕ СТРУКТУРЫ, ИХ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ВЫРАБОТКИ ОСТАТОЧНЫХ ТРУДНОИЗВЛЕКАЕМЫХ ЗАПАСОВ НЕФТИ

Г.Г. Гусейнов

Институт физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального  
исследовательского центра РАН, Махачкала  
guseinovgg@mail.ru

**Аннотация.** Рассмотрены перспективы выработки остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти на основе применения наноразмерных структур: микро- и наноэмульсий, наножидкостей, магнитных жидкостей, мицелл, углеродных наноструктур. Показано, что применять наноразмерные структуры можно как для регулирования свойств растворов около скважины, так и для извлечения нефти из пластов на третьей стадии разработки месторождения. Исследованы и изучены тепловые свойства наножидкостей, их вязкость, межфазное натяжение и электропроводность. Установлено, что применение наноразмерных структур и регулирование их свойств позволяет успешно извлекать остаточную нефть из пластов.

**Abstract.** Prospects for extracting residual hard-to-recover oil reserves based on the use of nanoscale structures: micro- and nanoemulsions, nanofluids, magnetic fluids, micelles, carbon nanostructures are considered. It is shown that nanoscale structures can be used both for regulating the properties of solutions near the well and for extracting oil from formations at the third stage of field development. The thermal properties of nanofluids, their viscosity, interfacial tension and electrical conductivity have been investigated and studied. It has been found that the use of nanoscale structures and the regulation of their properties makes it possible to successfully extract residual oil from reservoirs.

**Ключевые слова:** нефть, нанофаза, микроэмульсия, наножидкость, нанотрубка, мицелла.

**Keywords:** oil, nanophase, microemulsion, nanofluid, nanotube, micelle.

### Введение

На сегодняшний день, при разработке нефтяных месторождений наб-

людается увеличение доли остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти. По оценкам доля такой нефти может до-

стигать 75% от первоначальных запасов месторождения [1, 2, 3].

К категории таких трудноизвлекаемых запасов нефти можно отнести высоковязкую нефть, нефть в узких каналах и порах, обладающая низкой проницаемостью, и пленочную нефть. Россия богата такими запасами нефти, они по оценкам специалистов намного превосходят запасы маловязкой нефти и достигают 1 трлн т. Поэтому доля добычи этой категории нефти в ближайшее время на месторождениях России и других стран станет преобладающей.

Регионы России с трудноизвлекаемыми запасами нефти, вязкость которой превышает  $35 \text{ мм}^2/\text{с}$ , приведены в [4]. В литературе предлагаются различные подходы для интенсификации добычи категории трудноизвлекаемых запасов нефти, принятые на вооружение у нас в стране и за рубежом [5, 6, 7], но до конца эта проблема не решена и по сей день. Нужны новые технологии и идеи в деле интенсификации трудноизвлекаемых запасов нефти.

В связи с этим применение наноразмерных структур и нанотехнологий для извлечения остаточной трудноизвлекаемой нефти из пластов является

новым направлением технологий нефтеизвлечения.

Идея заключается в использовании наноструктур, нанофаз, наносостояния для извлечения остаточной нефти из горных пород, как перспективного способа ее добычи на третьей стадии разработки нефтяного месторождения.

Наноразмерные структуры имеют размеры от 1 до 100 нм хотя бы в одном направлении. Исследования показывают, что эти структуры имеют резко выраженные физико-химические свойства, отличающие их от макро- и микро-структур. Наноструктуры характеризуются высокоразвитой удельной поверхностью ( $\Omega$ ) и свойственной им избыточной (по сравнению с аналогичными по составу макросистемами) энергией Гельмгольца [8]:

$$\Delta F_s = \sigma_{12} \Omega$$

где  $\sigma_{12}$  – удельная свободная поверхностная энергия.

Наноразмерные структуры классифицируются на нульмерные (квантовые точки, сферические наночастицы), одномерные (квантовые проводники, нанотрубки), двумерные (тонкие пленки, поверхности разделов) и трехмерные (рисунок 1).

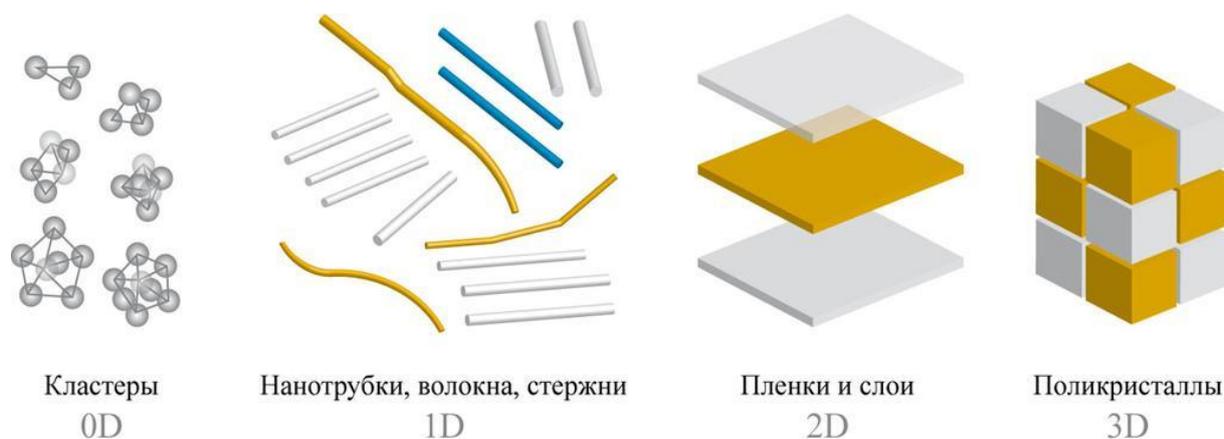


Рисунок 1 – Различные наноразмерные структуры

Для извлечения остаточной нефти, на третьей стадии разработки месторождения применяют методы увеличения нефтеотдачи, среди которых – физико-химическое воздействие на пласты, в результате которого в нем могут образоваться различные наноструктуры: микро- и наноэмульсии, наножидкости, магнитные жидкости, мицеллы, асфальтены.

В последнее время в нефтедобыче используются углеродные наноразмерные структуры: фуллерен, графен, углеродные одно- и многослойные нанотрубки. Для использования наноразмерных структур в нефтедобыче необходимо изучить их, исследовать свойства для последующего эффективного применения в целях увеличения нефтеотдачи.

### **Материалы и методы исследования**

Микроэмульсии интенсивно изучаются при фундаментальных исследованиях и находят широкое применение в различных отраслях производства, в том числе в нефтяной промышленности. Микроэмульсии – это многокомпонентные системы, состоящие из двух не смешивающихся жидких фаз при наличии стабилизирующего поверхностно-активного вещества (ПАВ).

Микроэмульсии относятся к наноразмерным структурам и характеризуются размерами структур от 1 до 100 нм. Более того, эти системы термодинамически устойчивы в течение длительного времени. Не наблюдаются резкие процессы седиментации и коагуляции фаз в этих средах.

Информацию об исследовании микроэмульсий можно найти в различных

монографиях и специальной литературе [9].

Исследования показывают, что микроэмульсии бывают прямые, обратные и с бинепрерывной фазой. В работе [10] проведены обширные исследования различных свойств микроэмульсий, зависящих от содержания воды, таких, как вязкость, электропроводность, скорость ультразвука, межфазное натяжение при различной мольной доле ПАВ.

На изотермах вязкости, электропроводности, скорости ультразвука показаны переходы обычной микроэмульсии – нанодисперсий в структуру бинепрерывную.

Общеизвестно, что растворы ПАВ часто содержат мицеллы. Мицеллярные растворы ПАВ применяются для интенсификации добычи нефти. Вместе с тем причины и механизм образования мицелл, а также их свойства пока еще слабо изучены.

Согласно определению *IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry)* мицеллы представляют собой агрегаты коллоидных размеров, находящиеся в растворах в термодинамическом равновесии с молекулами или ионами, из которых они образовались. Мицеллы отличаются от обычных ассоциатов, состоят из лиофобного ядра и лиофильной оболочки или, наоборот, из лиофильного ядра и лиофобной оболочки. В углеводородных растворах мицеллы могут иметь гидрофильное ядро- и гидрофобную (например, углеводородную) оболочку [11]. Короче говоря, мицеллы состоят из «дифильных» молекул. Иногда такие молекулы именуют «амфифильными».

Мицеллы ПАВ, состоят из гибких молекул, в водных растворах образуются в узком интервале концентраций, называемом критической концентрацией мицеллообразования.

Мицеллярные системы состоят из двух компонентов: растворителя и ПАВ. Относительно устойчивые микроэмульсии, содержащие ПАВ, могут состоять из четырех и более компонент, а, имен-

но, двух жидких фаз, ПАВ и стабилизатора.

Мицеллярные растворы – это коллоидные, дисперсно-гетерогенные системы и структуры с ориентированной структурой молекул. Агрегаты-мицеллы бывают прямые, обратные, гексагональные. На рисунке 2 показаны различные типы и структуры мицелл.

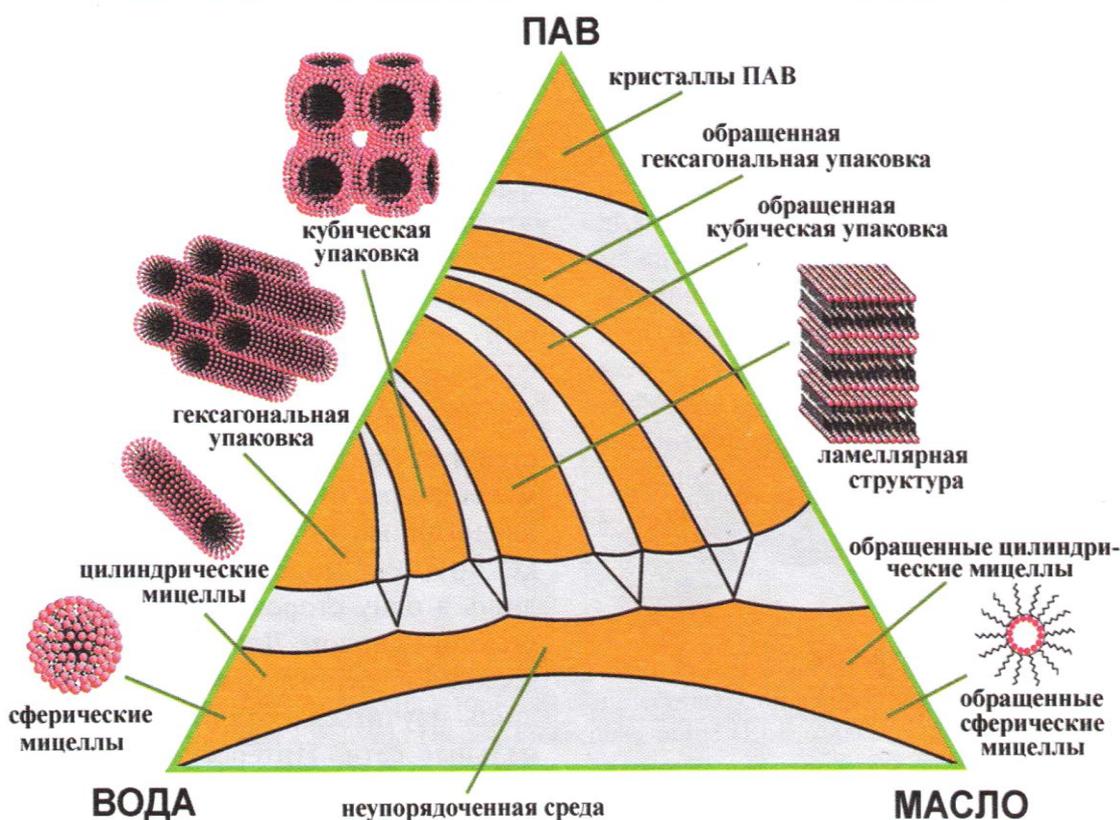


Рисунок 2 – Образование мицелл в системе «нефть – вода – ПАВ»

В последнее время большой интерес проявляется к применению в нефтегазовом производстве магнитных наноразмерных структур и образований. Магнитные частицы, находящиеся в жидкостях (керосине, воде, толуоле, различных углеводородах), образуют магнитные жидкости – высокоустойчивые коллоидные растворы [12].

Наиболее распространены магнитные наночастицы (3-10 нм) железа, никеля и их сплавов. Магнитные жидкости широко используемые в различных областях производства, с успехом могут применяться в нефтяной промышленности при извлечении нефти из пластов.

О присутствии магнитных наноразмерных частиц железа с концентрацией

около 1 г/т в воде и нефти сообщается в работе [13]. Здесь приведены возможности управления магнитными наночастицами, находящимися в нефти, за счет ее магнитной обработки. Показано, что малый размер частиц (длина 50 – 100 нм, диаметр 10 – 20 нм и масса  $10^{-16}$  г) не препятствует перемещению в поровом пространстве горной породы, насыщенной нефтью.

Благодаря резко выраженной удельной поверхности наноразмерные частицы железа способны адсорбировать нефть с тяжелыми компонентами, очищать поверхность поровых каналов от нефти. Проведенные нами исследования по применению магнитных наночастиц и наноразмерных частиц железа позволили выявить, что они способствуют уменьшению вязкости нефти и, как следствие, извлечению ее.

Следующими представителями наноразмерных структур являются углеродные наноматериалы: фуллерен, графен и углеродные нанотрубки [14]. Графен обладает уникальными свойствами, к которым относится весьма высокий коэффициент теплопроводности [15]. Согласно результатам некоторых экспериментов и модельных расчетов теплопроводность графена при комнатной температуре достигает рекордной для всех известных материалов величины  $\sim 5000$  Вт/м·К. Измерения выполнены недавно группой исследователей из *Sogang University* и *Konkuk University* (Корея), которая измеряла теплопроводность графена, подвешенного над отверстием в подложке. Коэффициент теплопроводности при 325 К оказался равным примерно 1800 Вт/м·К.

Экспериментально установлено, что теплопроводность отдельных углеродных нанотрубок достигает 3000 Вт/м·К [16].

Одним из перспективных способов интенсификации теплообменных процессов представляется повышение теплопроводности теплоносителя (жидкости) путем добавления в него твердых частиц с высокой теплопроводностью. Суспензии такого характера называют наножидкостью. В этой связи переход к нанометровым частицам оправдан и призван решить существующие проблемы.

С какими свойствами наножидкостей по интенсификации теплообмена исследователи связывают свои надежды? В первую очередь, это вызвано высокой теплопроводностью наночастиц. Зная теплопроводность наночастиц некоторых материалов, можно их использовать при приготовлении наножидкостей. Проведенный анализ показывает, что теплопроводность углеродных нанотрубок существенно выше, чем у металлов, и более чем на четыре порядка превышает аналогичную величину для базовой жидкости, что может привести к значительным изменениям теплофизических свойств наножидкостей и усилению теплообменных процессов.

Основу наножидкости составляют базовая жидкость и наночастицы какого-либо высокотеплопроводного материала. В качестве базовой жидкости, чаще всего, используют воду, этиленгликоль, машинное масло. Материалом для наночастиц служат металлы, окислы металлов, углерод (чаще всего в виде одно-, двух- или многостеночных

трубок с различным отношением длины трубки к ее диаметру).

Теплопроводность углеродных нанотрубок в настоящее время активно изучается, однако проблема все еще остается открытой. Существующие методы изготовления наножидкостей подразделяют на одноступенчатые и двухступенчатые.

При одноступенчатых методах наножидкость получают в течение одного технологического цикла, который состоит в следующем. Металл (материал наночастиц) испаряется электронным пучком в вакуумной камере и здесь же оседает на покрытый маслом (базовая жидкость) вращающийся диск.

При двухступенчатых методах наночастицы сначала производятся, а затем вносятся в жидкость. По сравнению с одноступенчатыми методами, хорошо работающими для частиц из металлов, двухступенчатая техника предпочтительна для частиц из окислов из-за их меньшей склонности к агрегации.

Несмотря на непродолжительную историю наножидкостей, к настоящему

времени накопилось достаточно данных, позволяющих говорить об их необычных свойствах. Такие же необычные свойства обнаружены для некоторых наножидкостей на основе углеродных нанотрубок. Это позволяет говорить о них как о новом типе жидкостей и вводить для них отдельный термин «наножидкость», отличая от обычных суспензий [17].

Интересной особенностью обладают теплофизические свойства наножидкостей, в частности, теплопроводность. Из графика (рисунок 3) видно, что теплопроводность воды с наночастицами из  $Al_2O_3$  (размер частиц 38,4 нм) с концентрацией 1% в приведенном интервале температур растет до 15%, в то время, как для наножидкости с наночастицами из  $Cu$  (размер частиц 6 нм) рост теплопроводности доходит до 90% при концентрации наночастиц в 1% [18, 19].

На рисунке 3 также можно увидеть вклад различных частиц в наножидкостях на поведение их теплопроводности.

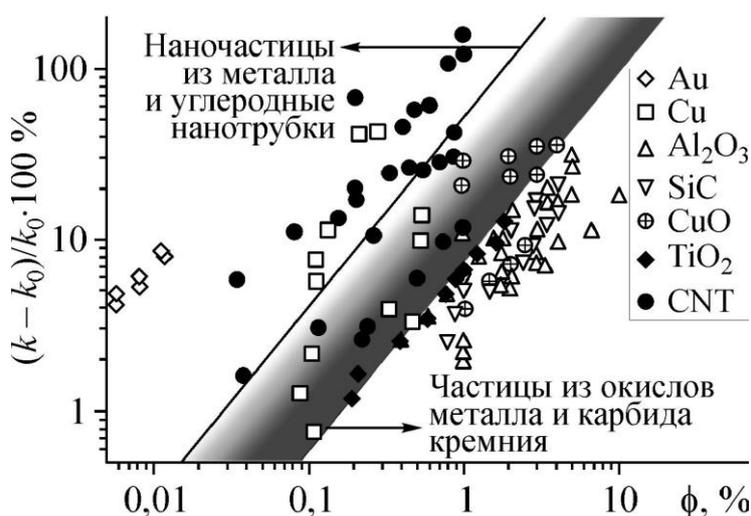


Рисунок 3 – Классификация наножидкостей по материалу частиц. CNT - многостеночные углеродные нанотрубки. Источник: [18]

Видно, что наибольший вклад вносят многостеночные углеродные нанотрубки.

Проведенный обзор наноразмерных структур, позволяет сделать вывод об их оригинальности и наличии интересных свойств, которые можно использовать в процессах нефтедобычи.

### **Извлечение остаточной нефти с применением наноразмерных структур**

Очень актуальной является применение наноразмерных структур и нанотехнологий в нефтегазовом деле. Одним из первых в стране решением этой проблемы занимался А.Я. Хавкин [20]. Им систематизированы и рассмотрены наноструктуры и нанотехнологии, которые могут иметь место при разработке нефтяных и газовых залежей. Предлагается использование таких технологий на 3 стадии разработки месторождений, где применяются методы увеличения нефтеотдачи. В работах [21, 22] обосновываются и раскрываются перспективы применения нанотехнологий на 3 стадии извлечения нефти из пластов.

Наноструктурное состояние микроэмульсии используется для извлечения ценных компонентов веществ в химической и нефтяной промышленности. С этой целью исследуются макросвойства микроэмульсий, по которым можно судить об их структуре и типе.

Обзор литературы показывает, что накоплены данные по исследованию тепловых, оптических и электрических свойств микроэмульсий. Например, в работе [23] выяснены тип и структура образываемых микроэмульсий. Для этого исследовалась электропроводность в системе «ди-(2-этилгексил) фосфат натрия (Д2ЭГФNa) – ди-(2-этилгексил) фосфатная кислота (Д2ЭГФК) – керосин – вода». На основе экспериментальных данных были сделаны выводы о структурных изменениях в указанной системе. Установлено, что при добавлении и увеличении концентрации воды от 4 до 8, в растворе образуются обратные мицеллы, что подтверждается резким ростом электропроводности (рисунок 4).

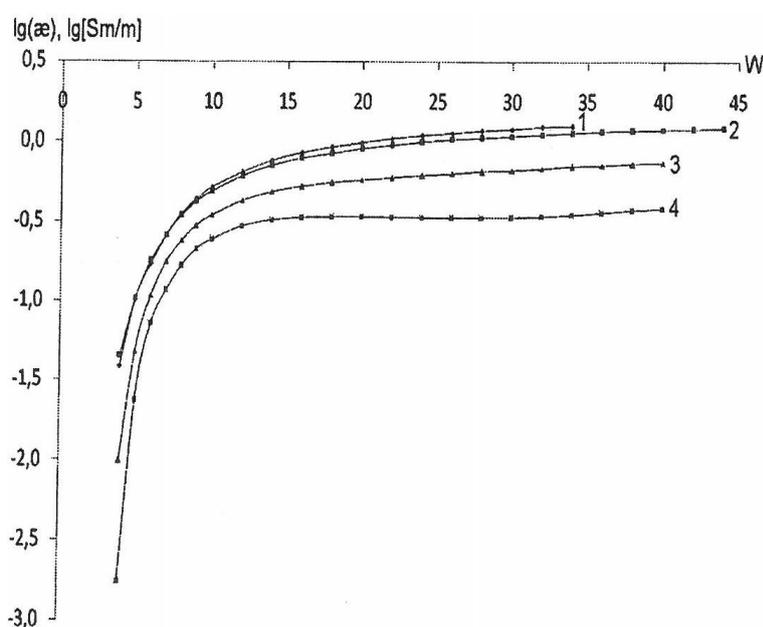


Рисунок 4 – Концентрационная зависимость электропроводности в системе «ди-(2-этилгексил) фосфат натрия (Д2ЭГФNa) – ди-(2-этилгексил) фосфатная кислота (Д2ЭГФК) – керосин – вода».

Обозначения: 1 – 0,0 моль/л; 2 – 0,1 моль/л; 3 – 0,2 моль/л; 4 – 0,3 моль/л.

Источник:[23].

Авторы полагают, что при высоких концентрациях воды более 8, в системе могут наблюдаться превращения от обратных мицелл в сторону бинепрерывной микроэмульсии.

В литературе приводятся сведения по отдельным классам наноструктур и их применению в деле нефтеизвлече-

ния. Так, в работе [24] рассмотрены вопросы применения фуллерена, графена, одно- и многослойных углеродных нанотрубок в процессах нефтедобычи, раскрывается эффект влияния углеродных наночастиц на извлекаемость нефти (рисунок 5).

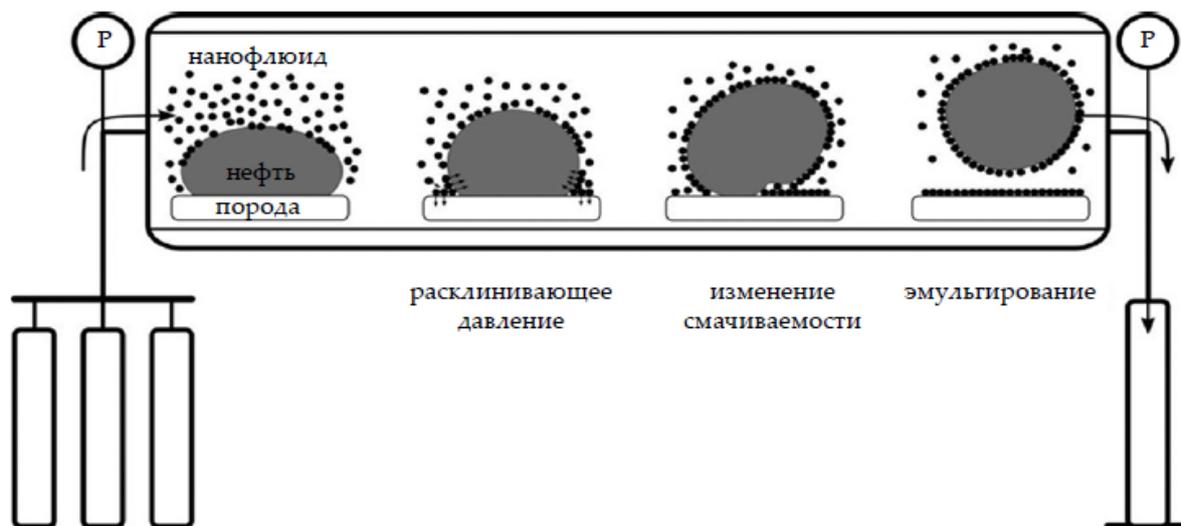


Рисунок 5 – Принципиальная схема «core flood» эксперимента и основные механизмы воздействия наночастиц на систему «пласт/нефть»  
Источник: [24]

Показано применение нанотехнологий в качестве добавок к буровым растворам. Рассматриваются вопросы применения нанодисперсий для регулирования фильтрационных потерь буровых жидкостей. Для интенсификации добычи остаточной, трудноизвлекаемой нефти нанотехнологии могут быть применены для разложения высокомолекулярных соединений нефти, таких как смолы и парафины. При этом основной вклад в деле нефтеизвлечения достигается за счет регулирования (уменьшения) фильтрационного параметра – вязкости нефти [25, 26].

Применение нанотехнологий и наноструктур при бурении должно спо-

собствовать образованию тонкой корки на поверхности горной породы, приводящей к снижению фильтрационных потерь, уменьшению трения между скважиной и горной породой, резкому увеличению теплоотвода между стволом и горной породой за счет применения наножидкостей с высокой теплопроводностью. Исследования последних лет показали, что даже малые добавки наночастиц к базовой жидкости способны увеличивать ее теплопроводность почти в два раза [27].

Анализ литературных источников показывает, что при разработке нефтяных месторождений, и интенсификации нефтедобычи с применением нанотех-

нологий используются различные наноструктуры. Применяются наносuspензии, содержащие нанопорошки металлов (*Cu*, *Al* и др.) и различных оксидов ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $ZnO$  и др.) [28]. Эффективность извлечения нефти из пластов на основе применения наножидкостей, содержащих наночастицы металлов совместно с ПАВ, показано в работе [29].

Для решения проблемы с трудноизвлекаемыми запасами нефти в работе [30] предлагается использовать мицеллярные растворы и микроэмульсии для интенсификации нефтедобычи. Эти объекты являются наноразмерными структурами и представляют повышенный интерес. Успешное их применение позволяют искусственно регулировать физико-химические свойства флюида в коллекторах горных пород. К таким свойствам можно отнести вязкость и межфазное натяжение нефти, проницаемость коллекторов, содержащих нефть. Регулирование вязкости пласто-

вой нефти происходит в сторону уменьшения ее от значений 10 тыс. мПа·с до величин 10 – 100 мПа·с. Такое изменение вязкости возможно за счет добавления различных противотурбулентных присадок к нефти, а также за счет управляемого нагрева ее применением тепловых методов воздействия на пласты.

Этого же эффекта снижения вязкости пластовой высоковязкой нефти можно получить, применяя мицеллы и мицеллярные растворы. Мицеллы в нефтяном пласте могут образовываться при наличии воды, нефти и поверхностно-активных веществ. В работе [30] приведена схема и механизм вытеснения нефти из смещающей породы на основе применения микроэмульсии (рисунок 6).

В работе [31] показано применение наночастиц в качестве добавок в состав бурового раствора для уменьшения фильтрационных потерь через стенки скважины.

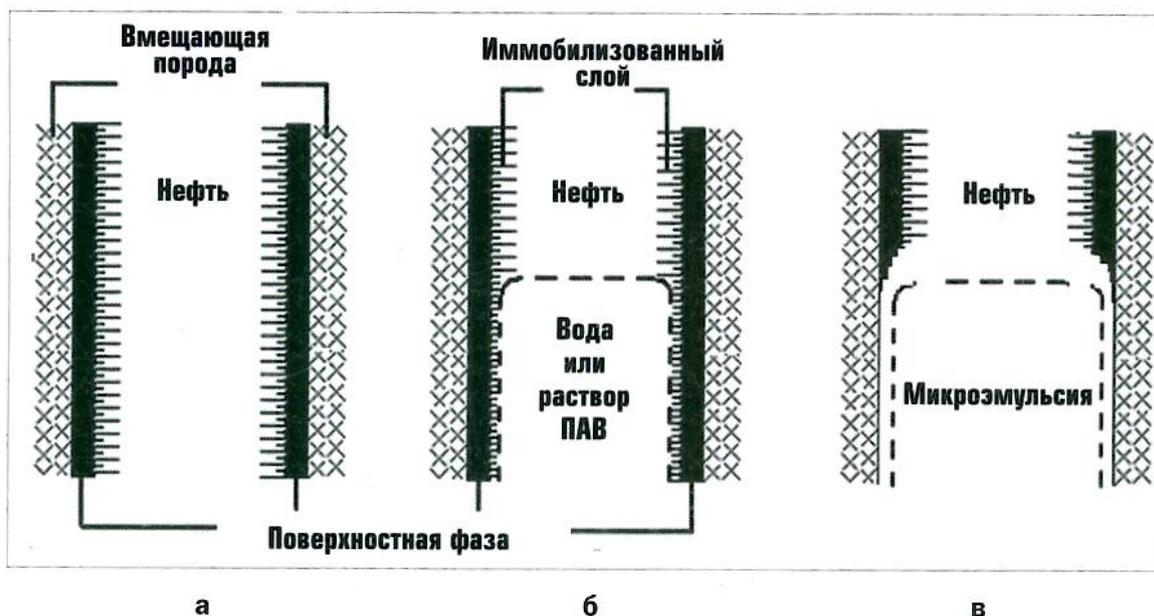


Рисунок 6 - Механизм вытеснения нефти из смещающей породы микроэмульсионным составом. Источник: [30]

Буровой раствор был приготовлен на водной основе, где в качестве суспензии применяли глину. В нее добавляли микропорошок нитрида алюминия со средним размером частиц 1,2 мкм и массовой концентрацией 2%. Затем в эту многокомпонентную суспензию вводили наночастицы из  $SiO_2$  с размерами 5 – 100 мкм. Общее количество наночастиц  $SiO_2$  в микросуспензии менялось в пределах 0,25–4 масс. %.

В работе [31] исследовалась проницаемость приготовленной микро- и наносуспензии через керамические пластины диска со средним размером пор в пределах от 3 до 35 мкм. Исследовалось влияние концентрации наночастиц  $SiO_2$  определенного размера на величину фильтрационных потерь. Результаты исследования приведены на рисунке 7.

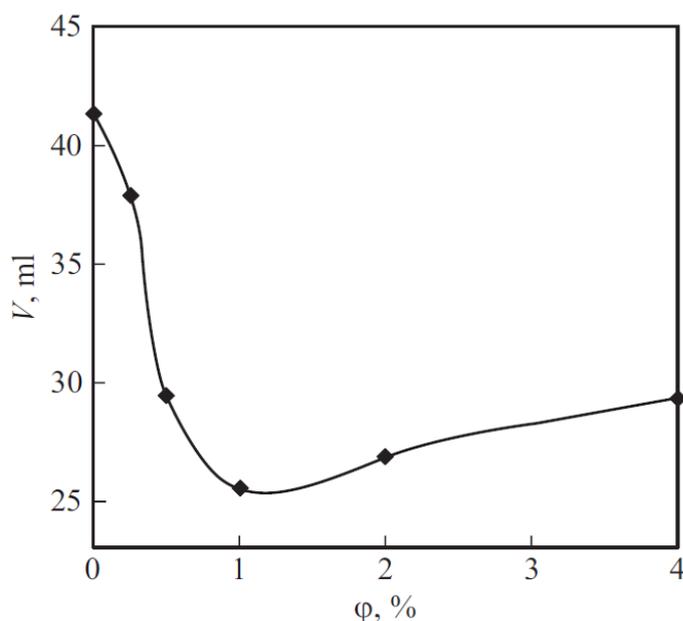


Рисунок 7 – Зависимость фильтрационных потерь от концентрации наночастиц.  
Источник: [30]

Проведенные исследования позволили сделать вывод о том, что незначительная концентрация  $SiO_2$  в пределах 1%, позволяет резко снизить фильтрационные потери через пористую среду на 170 %. Выявлено, что добавление наночастиц  $SiO_2$  приводит к образованию плотной корки до 2-3 мм на поверхности фильтра. Этот процесс при отсутствии наночастиц в суспензии не наблюдается.

В реальных условиях разработки нефтяного месторождения, содержащего трудноизвлекаемые запасы нефти необходимо умело подбирать реагенты и регулировать фазовое состояние флюида в нефтяном пласте [32].

### Заключение

Исследования показали, что для извлечения высоковязких запасов нефти нужно уметь управлять такими свойствами флюида в горной породе, как вязкость, межфазное натяжение, смачиваемость. Перспективными объектами для такого регулирования являются наноразмерные структуры: наножидкости, мицеллярные растворы, растворы с углеродными наноструктурами и микроэмульсии. Они позволяют получить высокий коэффициент извлечения нефти.

### **Библиографический список**

1. Лаверов Н.П. Топливо-энергетические ресурсы // Вестник РАН. 2006. Т. 76. № 5. С. 398 – 408.
2. Байбаков Н.К. Эффективные методы повышения нефте- и конденсатоотдачи пластов // РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. Сер. Академические чтения. Вып 12. – М.: Нефть и газ, 1997. – 35 с.
3. Назьев В. Остаточные, но не второстепенные // Нефтегазовая вертикаль. 2000. № 3. С. 21– 25.
4. Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Ресурсный потенциал месторождений тяжелых нефтей европейской части Российской Федерации // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т. 7. № 3. С. 45 – 51.
5. Методы извлечения остаточной нефти / М.Л. Сургучев, А.Т. Горбунов, Д.П. Забродин и др. – М.: Недра, 1991. – 347 с.
6. О комплексной системе разработки трудноизвлекаемых запасов нефти / Р.Х. Муслимов, Р.Г. Галеев, Э.И. Сулейманов и др. // Нефтяное хозяйство. 1995. № 42. С. 26-34.
7. Галеев Р.Г. Повышение выработки трудноизвлекаемых запасов углеводородного сырья. – М.: КУГК-р, 1997. – 351 с.
8. Сумм Б.Д., Иванова Н.И. Коллоидно-химические аспекты нанохимии от Фарадея до Пригожина // Вестник Московского университета. Сер. Химия. 2001. Т.42. № 5. С. 300-305.
9. Микроэмульсии: Структура и динамика: монография / Ж. Биэ, Б. Клэн, П. Лаланн и др.; пер. с англ.; под ред. С. Фриберга и П. Ботореля. – М.: Мир, 1990. – 320 с.
10. Тихонова Т.В. Синтез и коллоидно-химические свойства микроэмульсий, стабилизированных оксиэтилированными производными жирных кислот и глицерина / Автореферат дисс. к.х.н. Москва. РХТУ им. Д.И. Менделеева. 2013. – 16 с.
11. Исследования строения, теплового движения и свойств жидкостей: сборник / Под ред. М.И. Шапаронова и Л.П. Филиппова. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 176 с.
12. Такетоми С., Тикадзуми С. Магнитные жидкости. – М.: Мир, 1993. – 272 с.
13. Лесин В.И., Еремин Н.А. Природные и синтетические наноразмерные окислы железа - нанороботы в процессах управления с помощью магнитного поля извлечением, транспортировкой, подготовкой и переработкой нефти // Нефть. Газ. Новации. 2018. № 1. С. 18 – 22.
14. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – М.: Физматлит, 2005. – 414 с.
15. Елецкий А.В. Транспортные свойства углеродных нанотрубок // УФН. 2009. Т. 179. № 3. С. 225-242.
16. Lasjaunias J.-C. Thermal properties of carbon nanotubes Les propriétés thermiques des nanotubes de carbone // Comptes Rendus Physique. Vol. 4. Is. 9. 2003. P. 1047-1054.
17. Choi S.U.S. Nanofluids: from vision to reality through research // J. of Heat Transfer. 2009. Vol. 131. P. 033106-1033106-9.
18. Jang and Choi // Appl. Phys. Lett. , 84, 4316, 2004.
19. Ding Y.L, Chen H., Wang L., Yang C-Y, He Y., Yang W., Lee W.P., Zhang L. and Huo R. Heat Transfer Intensification Using Nanofluids // Powder and Particle. 2007. No. 25. P. 23-36.
20. Хавкин А.Я. Нанотехнологии в добыче нефти и газа. – М.: Нефть и газ, 2016. - 386 с.
21. Saleh T.A. Nanotechnology in oil and gas industries: principles and applications. Springer. 2018. 343 p.

22. Khalil M., Jan B.M., Tong C.W., Berawi M.A. Advanced nanomaterials in oil and gas industry: design, application and challenges // *Applied Energy*. 2017. 191. P. 287-310.
23. Левчишин С.Ю., Мурашова Н.М., Юртов Е.В. Электропроводность микроэмульсий ди-(2-этилгексил) фосфата натрия // *Успехи в химии и химической технологии*. 2009. Т.23. № 9 (102). С. 84-87.
24. Шамилов В.М. Перспективы применения углеродных наноматериалов в нефтедобыче // *SOCAR Proceedings*. 2020. № 3. С. 90-107.
25. Medina O.E., Olmos C., Lopera S.H., et al. Nanotechnology applied to thermal enhanced oil recovery processes: a review // *Energies*. 2019. 12(24). P. 1-36.
26. Iskandar F., Dwinanto E., Abdullah M., et al. Viscosity reduction of heavy oil using nanocatalyst in aquathermolysis reaction // *KONA Powder and Particle Journal*. 2016. No 33. P. 3-16.
27. Ding Y.L, Chen H., Wang L., Yang C-Y, He Y., Yang W., Lee W.P., Zhang L. and Huo R. Heat Transfer Intensification Using Nanofluids // *Powder and Particle*. 2007. No. 25. P. 23-36.
28. Kazemzadeh Y., Shojaei S., Riazi M., Sharifi M. Review on application of nanoparticles for EOR purposes; a critical of the opportunities and challenges // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. 2018. 27(2). P. 237-246.
29. Shamilov V.M., Babayev E.R. Development of multifunctional composite mixtures based on watersoluble surfactant, polymer and metallic nanopowder as agents of oil displacement // *Oil and Gas Territory*. 2016. No 6. P. 60-63.
30. Тазеев Д. И. Мицеллярные растворы и микроэмульсии как нанообъекты для повышения нефтеизвлечения // *Нефть. Газ. Новации*. 2018. № 1. С. 19-21.
31. Минаков А.В., Михиенкова Е.И., Жигарев В.А., Неверов А.Л. Экспериментальное исследование влияния добавок наночастиц на фильтрационные свойства микроэмульсий // *Письма в ЖТФ*. 2018. Т. 44. Вып. 12. С. 62 – 67.
32. Гусейнов Г.Г. Исследование критических технологий для интенсификации трудноизвлекаемых запасов нефти // *Научные исследования: итоги и перспективы*. 2021. Т. 2. № 1. С. 14-27.

### **References**

1. Laverov N.P. Toplivno-energeticheskie resursy // *Vestnik RAN*. 2006. Т. 76. No 5. P. 398 – 408.
2. Bajbakov N.K. Effektivnye metody povysheniya nefte- i kondensatootdachi pla-stov // *RGU nefi i gaza im. I.M. Gubkina. Ser. Akademicheskie chteniya. Vyp 12.* – М.: Neft' i gaz, 1997. – 35 p.
3. Naz'ev V. Ostatochnye, no ne vtorostepennye // *Neftegazovaya vertikal'*. 2000. No 3. P. 21– 25.
4. Makarevich V.N., Iskrickaya N.I., Bogoslovskij S.A. Resursnyj potencial mesto-rozhdenij tyazhelyh neftej evropejskoj chasti Rossijskoj Federacii // *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2012. Т. 7. No 3. P. 45 – 51.
5. *Metody izvlecheniya ostatochnoj nefi* / M.L. Surguchev, A.T. Gorbunov, D.P. Zabrodin i dr. – М.: Nedra, 1991. – 347 p.
6. *O kompleksnoj sisteme razrabotki trudnoizvlekaemyh zapasov nefi* / R.H. Mუსlimov, R.G. Galeev, E.I. Sulejmanov i dr. // *Neftyanoe hozyajstvo*. 1995. No 42. P. 26-34.
7. Galeev R.G. *Povyshenie vyrabotki trudnoizvlekaemyh zapasov uglevodorodnogo syr'ya*. – М.: KUGK-r, 1997. – 351 p.

8. Summ B.D., Ivanova N.I. Kolloidno-himicheskie aspekty nanohimii ot Faradeya do Prigozhina // Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. Himiya. 2001. T. 42. No 5. P. 300-305.
9. Mikroemul'sii: Struktura i dinamika: monografiya / ZH. Bie, B. Klen, P. Lalann i dr.; per. s angl.; pod red. S. Friberga i P. Botorelya. – M.: Mir, 1990. – 320 p.
10. Tihonova T.V. Sintez i kolloidno-himicheskie svojstva mikroemul'sij, stabilizirovannyh oksietilirovannyimi proizvodnymi zhirnyh kislot i glicerina / Avtoreferat diss. k.h.n. Moskva. RHTU im. D.I. Mendeleeva. 2013. – 16 p.
11. Issledovaniya stroeniya, teplovogo dvizheniya i svojstv zhidkostej: sbornik / Pod red. M.I. SHahparonova i L.P. Filippova. – M.: Izd-vo MGU, 1986. – 176 p.
12. Taketomi S., Tikadzumi S. Magnitnye zhidkosti. – M.: Mir, 1993. – 272 p.
13. Lesin V.I., Eremin N.A. Prirodnye i sinteticheskie nanorazmernye oksily zhe-leza - nanoroboty v processah upravleniya s pomoshch'yu magnitnogo polya izvlecheniem, transportirovkoj, podgotovkoj i pererabotkoj nefti // Neft'. Gaz. Novacii. 2018. No 1. P. 18 – 22.
14. Gusev A.I. Nanomaterialy, nanostruktury, nanotekhnologii. – M.: Fizmatlit, 2005. – 414 p.
15. Eleckij A.V. Transportnye svojstva uglerodnyh nanotrubok // UFN. 2009. T. 179. No 3. P. 225-242.
16. Lasjaunias J.-C. Thermal properties of carbon nanotubes Les propriétés thermiques des nanotubes de carbone // Comptes Rendus Physique. Vol. 4. Is. 9. 2003. P. 1047-1054.
17. Choi S.U.S. Nanofluids: from vision to reality through research // J. of Heat Transfer. 2009. Vol. 131. P. 033106-1033106-9.
18. Jang and Choi // Appl. Phys. Lett. , 84, 4316, 2004.
19. Ding Y.L, Chen H., Wang L., Yang C-Y, He Y., Yang W., Lee W.P., Zhang L. and Huo R. Heat Transfer Intensification Using Nanofluids // Powder and Particle. 2007. No. 25. P. 23-36.
20. Havkin A.YA. Nanotekhnologii v dobyche nefti i gaza. – M.: Neft' i gaz, 2016. - 386 p.
21. Saleh T.A. Nanotechnology in oil and gas industries: principles and applications. Springer. 2018. 343 p.
22. Khalil M., Jan B.M., Tong C.W., Berawi M.A. Advanced nanomaterials in oil and gas industry: design, application and challenges // Applied Energy. 2017. 191. P. 287-310.
23. Levchishin S.YU., Murashova N.M., YUrtov E.V. Elektroprovodnost' mikroemul'sij di-(2-etilgeksil) fosfata natriya // Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii. 2009. T.23. No 9 (102). P. 84-87.
24. SHamilov V.M. Perspektivy primeneniya uglerodnyh nanomaterialov v neftedo-byche // SOCAR Proceedings. 2020. № 3. P. 90-107.
25. Medina O.E., Olmos C., Lopera S.H., et al. Nanotechnology applied to thermal enhanced oil recovery processes: a review // Energies. 2019. 12(24). P. 1-36.
26. Iskandar F., Dwinanto E., Abdullah M., et al. Viscosity reduction of heavy oil using nanocatalyst in aquathermolysis reaction // KONA Powder and Particle Journal. 2016. No 33. P. 3-16.
27. Ding Y.L, Chen H., Wang L., Yang C-Y, He Y., Yang W., Lee W.P., Zhang L. and Huo R. Heat Transfer Intensification Using Nanofluids // Powder and Particle. 2007. No. 25. P. 23-36.
28. Kazemzadeh Y., Shojaei S., Riazi M., Sharifi M. Review on application of nanoparticles for EOR purposes; a critical of the opportunities and challenges // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2018. 27(2). P. 237-246.

29. Shamilov V.M., Babayev E.R. Development of multifunctional composite mixtures based on watersoluble surfactant, polymer and metallic nanopowder as agents of oil displacement // Oil and Gas Territory. 2016. No 6. P. 60-63.

30. Tazeev D. I. Micellyarnye rastvory i mikroemul'sii kak nanoob"ekty dlya po-vysheniya nefteizvlecheniya // Neft'. Gaz. Novacii. 2018. No 1. P. 19-21.

31. Minakov A.V., Mihienkova E.I., ZHigarev V.A., Neverov A.L. Eksperimental'noe issledovanie vliyaniya dobavok nanochastic na fil'tracionnye svoystva mikroemul'sij // Pis'ma v ZHTF. 2018. T. 44. Вып. 12. P. 62 – 67.

32. Gusejnov G.G. Issledovanie kriticheskikh tekhnologij dlya intensivatsii trudnoizvlekaemykh zapasov nefiti // Nauchnye issledovaniya: itogi i perspektivy. 2021. T. 2. No 1. P. 14-27.

*Статья поступила 05.12.2021 г.*

*© Г.Г. Гусейнов, 2021*

---

**Сведения об авторе**

**List of Author**

---

*Гусейнов Гасан Гусейнович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории термодинамики жидкостей и критических явлений Института физики им. Х.И. Амирханова Дагестанского федерального исследовательского центра РАН.

*Gasán Guseinov* – Candidate of Technical Science, Senior Researcher at the Laboratory of Thermodynamics of Liquids and Critical Phenomena, Institute of Physics of the Daghestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences.

Ссылка для цитирования: *Гусейнов Г.Г.* Наноразмерные структуры, их свойства и применение для выработки остаточных трудноизвлекаемых запасов нефти // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 3 – 16. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-3-16.

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГИДРОРАЗРЫВА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В СЕВЕРНОЙ АМЕРИКЕ

*Р.Р. Ибатуллин*

*TAL Oil Ltd, Калгари, Канада  
ravil.r.ibatullin@gmail.ru*

**Аннотация.** В статье представлена информация по технологиям многоступенчатого гидроразрыва пласта, широко применяемым для промышленной разработки ресурсов нетрадиционных запасов нефти в плотных и сланцевых коллекторах на территории США и Канады. Новые технологии гидроразрыва пласта направлены на минимизацию затрат и достижение максимальных притоков в самое короткое время. Для этого, наряду с техническими решениями, проводится уплотнение трещин по стволу, а также увеличение удельных объемов нагнетаемого проппанта на единицу длины горизонтальной скважины с повышенным расходом жидкости гидроразрыва.

**Abstract.** The article provides information on multistage hydraulic fracturing technologies, which are widely used for the industrial development of unconventional oil resources in tight and shale reservoirs in the United States and Canada. New technologies for hydraulic fracturing are aimed at minimizing costs and achieving maximum inflows in the shortest possible time. For this, along with technical solutions, fractures are compacted along the wellbore, as well as an increase in the specific volumes of injected proppant per unit length of a horizontal well with an increased flow rate of hydraulic fracturing fluid.

**Ключевые слова:** гидроразрыв пласта, муфты гидроразрыва, проппант, горизонтальная скважина, плотный коллектор.

**Keywords:** hydraulic fracturing, hydraulic fracturing couplings, proppant, horizontal well, tight reservoir.

### **Введение**

В последнее десятилетие бурно развивались новая техника и технологии в разработке нетрадиционных запасов углеводородов, таких как бурение горизонтальных и многоствольных скважин, а также технологии, техника и реагенты для многоступенчатого гидроразрыва пласта (ГРП) в таких скважи-

нах. Это открыло новые возможности эффективной промышленной разработки громадных ресурсов нетрадиционных запасов в плотных и сланцевых коллекторах. Наиболее эффективно эти технологии применяются на территории Северной Америки, где залежи углеводородов такого рода простираются на значительных площадях [1].

Самыми бурно развивающимися среди них в США в последние годы являются объекты Пермского бассейна (*Permian Basin*) на юге страны, где находится более 300 активных буровых установок, из которых половина добывает нефть. Месторождения Пермского бассейна юга США расположены на глубинах 2500-3000 м в сланцах пористостью около 5%.

На территории Канады подобные ресурсы расположены в разрезе Западно-Канадского осадочного бассейна (*Western Canadian Sedimentary Basin*). Верхнедевонские отложения на западе Канады сформировались в основном в условиях мелководного прибрежного осадконакопления, включая рифовые отложения *Leduc*.

В 30-е годы прошлого столетия именно эти запасы положили начало

нефтяному буму в Канаде, аналогично открытым в то же время рифовым отложениям Ишимбайского месторождения Башкортостана. Аналогом этих карбонатных пластов в Татарстане по коллекторским характеристикам являются Данково-лебедянские, Заволжские и Елецкие отложения. Разработка запасов нефти в плотных коллекторах и сланцах в США, а также на западе Канады в последние 5-7 лет резко активизировалась на базе новых эффективных технологий разработки с применением горизонтальных скважин с многоступенчатым ГРП.

Были разработаны три основных скважинных инструмента для ГРП, показанные на рисунке 1.

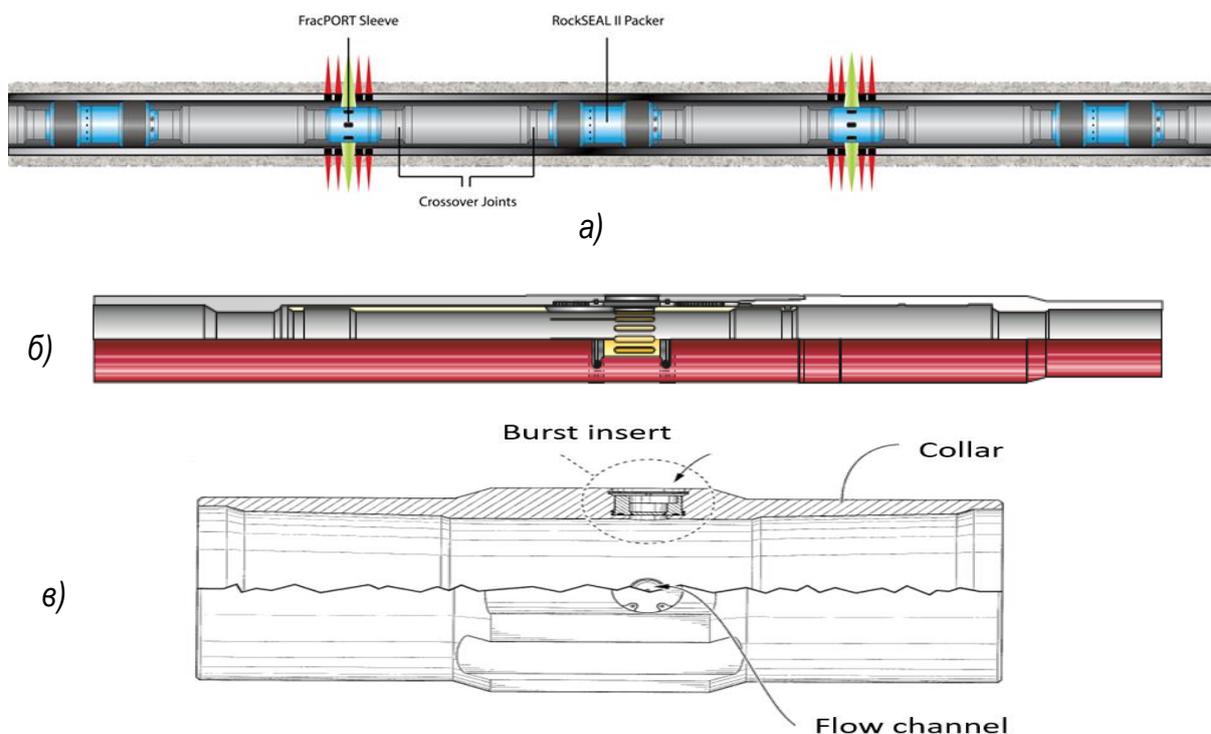


Рисунок 1 – Технологии многоступенчатого гидроразрыва пласта: а) «подключи и работай», StackFRAC, компания PakerPlus; б) «раздвижной рукав», OptiSleeve, компания Weatherford, в) «разрывной воротник»

### **Новые решения, разработанные для материалов гидроразрыва**

В связи с наличием, часто значительным, глинистых компонентов в плотных коллекторах при бурении используется только растворы на углеводородной основе (*invert*). Это позволяет существенно снизить осложнения при бурении, а также в ходе установки сложной компоновки при закачивании скважины для последующего многоступенчатого ГРП.

Важным резервом сокращения затрат является как удешевление технических средств, так и уменьшение времени использования дорогостоящего и дефицитного оборудования ГРП. Одной из последних инноваций в этой области явилось создание компанией NCS (Канада, США) технологии на основе «скользящих» шторок (*sliding sleeves*). Эта технология позволяет с помощью гибкой трубы и двухпакерной системы проводить с большой скоростью множественный ГРП (за 9-11 часов на 1500 м горизонтального ствола 30 разрывов, то есть 20 мин на один разрыв с закачкой до 50 т проппанта в каждый). В случаях с исключением техники на гибкой трубе используется техника с последовательным открытием клапанов для ступеней ГРП с помощью шаров (*ball valves*). По окончании такого процесса необходимо проводить разбуривание шаров и седел клапанов. Для исключения этапа разбуривания сейчас разработаны материалы, растворение которых в кислотах можно контролировать. Для бескислотных систем используются материалы, разрушающиеся в солевых растворах и условиях высоких температур. Примером последних является спрессован-

ный компаунд из стекловолокна, цианатовый эфир смолы и сшиватель.

Технология *PlugandPerfomance* заключается в изоляции гидротехнических частей ствола горизонтальной скважины с помощью пакеров и их последовательной перфорации. Раздвижные муфты можно открывать с помощью впрыска шара или наконечника гибкой трубы. Разрывные муфты имеют разрывные диски внутри разрывной вставки муфты, которая разрушается давлением жидкости гидроразрыва.

Одной из проблем, ограничивающих транспортировку проппанта по скользкой воде, является его низкая вязкость. Технология транспортировки проппанта *Propel SSP®* компании *Fairmont* основана на полимерном покрытии, обернутом вокруг проппанта. Итак, проппант регулярно размещается по всей длине созданной трещины ГРП. Этот проппант позволяет исключить добавки, включая гуар, сшивающие агенты и средства против трения, для повышения эффективности гидроразрыва пласта с использованием упрощенной системы жидкости.

Шарики отклоняющей перфорации – это частицы, называемые шарами дивертора, разработанные специально для контроля проникновения жидкости гидроразрыва в существующие трещины путем их временной блокировки (рисунки 2). Этот материал позволяет направлять жидкость для гидроразрыва, чтобы инициировать новые трещины. Диверторы предназначены для легкого растворения в различных флюидных средах и позволяют стимулировать пласты при первичных и повторных гидроразрывах.

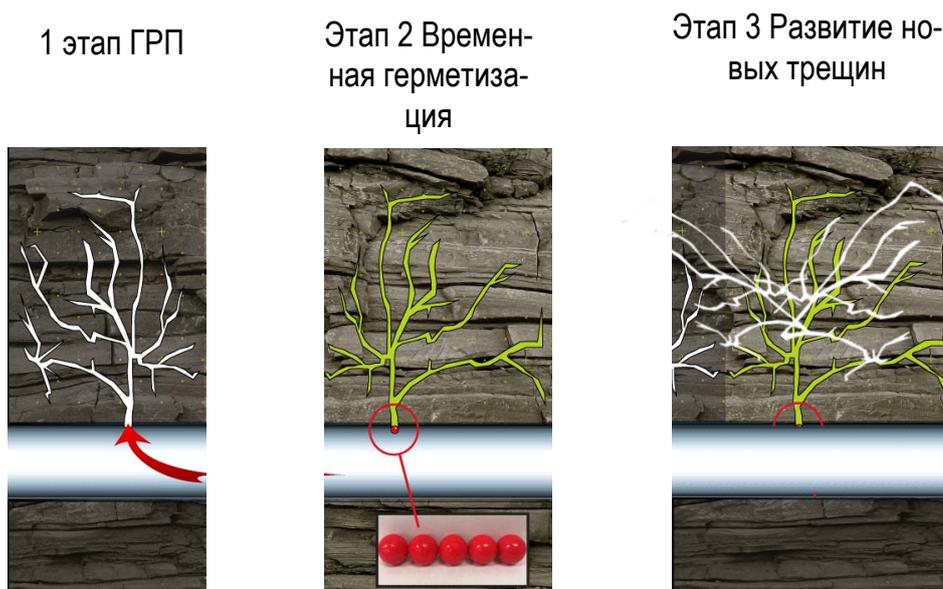


Рисунок 2 – Работа диверторов при ГРП (Источник: <https://propelssp.com/>)

### **Полевые результаты**

Новые технологии бурения позволяют значительно повысить производительность месторождения. Результаты бурения 8 горизонтальных скважин с длиной боковых стволов 1600 м на нефтяном месторождении Пембина в Западной Канаде в 2019-2020 годах демонстрируют технологическую эффективность и экономическую привлекательность способа бурения и используемых материалов (рисунки 3 и 4). В плотных коллекторах и сланцах часто присутствует значительное количество глинистых компонентов. Для защиты от проглатывания и обрушения скважинных пород используются только буровые растворы на углеводородной основе. Этот вид бурового раствора значительно снижает сложность бурения и затраты для последующей установки сложного инструмента закачивания для ГПР.

Другой особенностью современных технологий ГРП для плотных коллекторов и сланцев является повсеместный

переход на технологию жидкости разрыва «скользящая» вода (*slick water*). Вязкость жидкости разрыва снижена до 5 мПа\*с, при этом сохраняются свойства удержания проппанта (песка) во взвешенном состоянии с помощью полимерного раствора низкой концентрации.

На этой основе обеспечивается перенос песка по трещине на десятки метров с помощью стандартных технических средств по нагнетанию жидкости разрыва. Опыт эволюции технологий многоступенчатого ГРП показывает, что эффективность его для плотных, преимущественно гидрофобных коллекторов, росла хронологически в следующей последовательности технологий: гели на углеводородной основе, гели на водной основе, короткие трещины и ГРП с использованием «скользящей» воды (без заметного загущения). Большой опыт эксплуатации скважин показывает, что применение технологии «скользящей» воды при ГРП более эффективно для плотных коллекторов и сланцев.

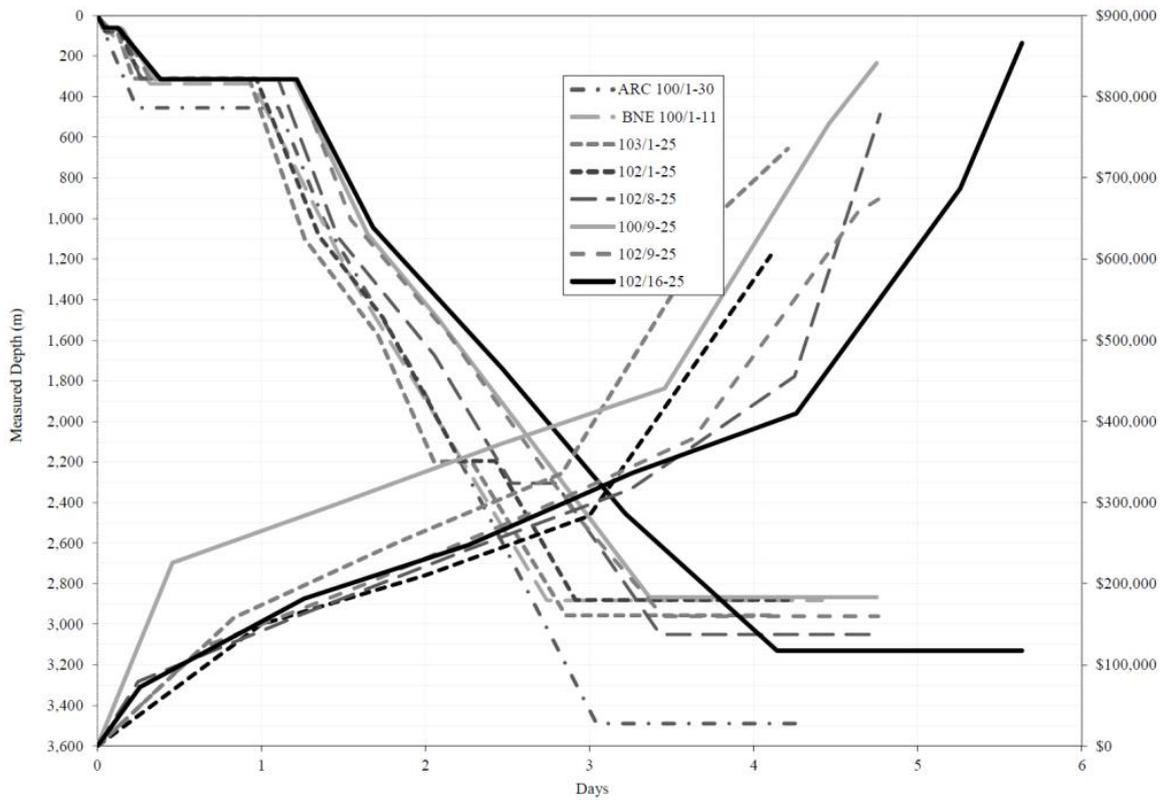


Рисунок 3 – Результаты бурения горизонтальных скважин на месторождении Пембина (стоимость в канадских долларах)

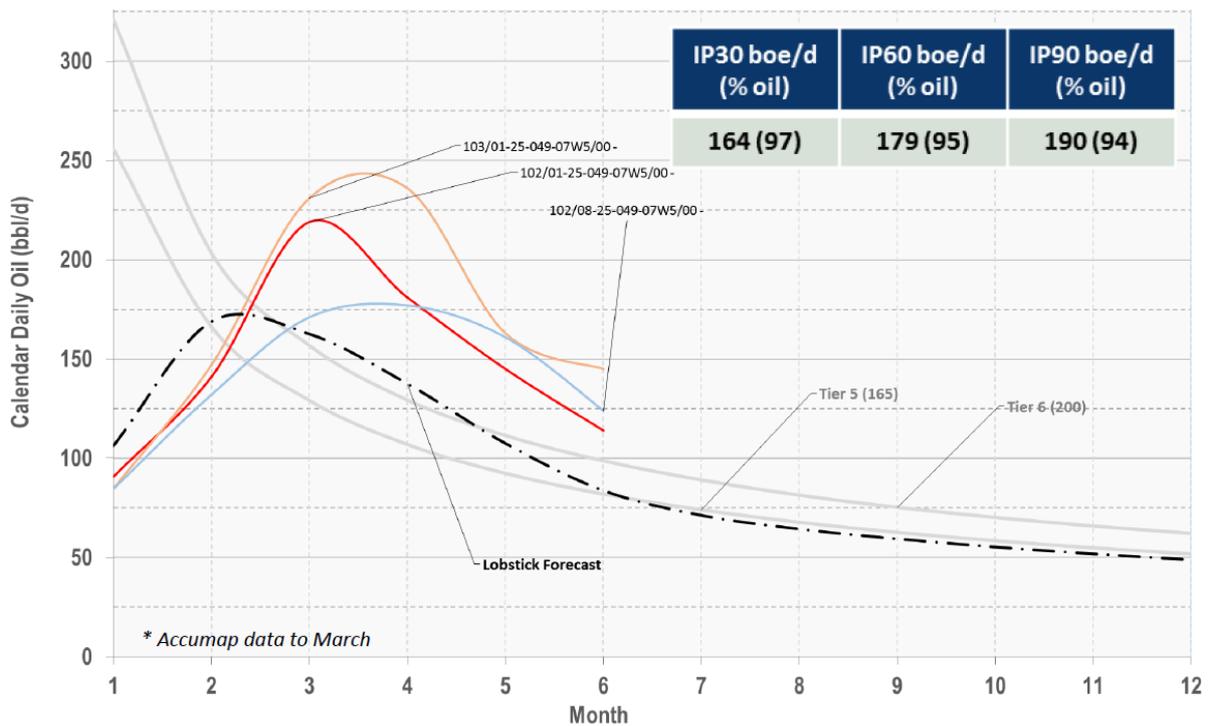


Рисунок 4 – Результаты добычи на трех новых горизонтальных скважинах (месторождение Пембина, 2019-2020 гг.). Средняя продуктивность пласта через 30, 60, 90 дней после начала добычи

### **Заключение**

Высокая эффективность новых технологий разработки нетрадиционных ресурсов Северной Америки позволяет обеспечивать устойчивую добычу ранее маргинальных ресурсов даже в условиях низких цен на углеводороды. Новые технологии ГРП направлены на

минимизацию затрат и достижение максимальной производительности за очень короткое время. Это обеспечивается более высокой плотностью трещин, увеличением удельного объема закачиваемого проппанта на трещину и высоким расходом жидкости для гидроразрыва.

### **Библиографический список**

1. Ибатуллин Р.Р. Опыт разработки запасов нефти в плотных коллекторах Северной Америки. Горизонтальные скважины и многоступенчатый гидроразрыв // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. Ч. 1. С. 176-181.
2. Kent Michael, Donnelly David. Canada patent CA2755848, Issued 16 Aug, 2016.
3. Jaripatke, O.A., Samandarli, O., McDonald, E., & Richmond, P. L. Completion Optimization of an Unconventional Shale Play: Implementation of a Successful Completion Design Optimization Plan and the Results. Society of Petroleum Engineers. SPE Paper 170764. 2014.
4. Хисамов Р.С., Ахметгареев В.В., Хакимов С.С., Кенжеханов Ш.Ш. Технология многостадийного гидроразрыва пласта в горизонтальных скважинах: опыт разработки коллекторов Shaly Carbonates в США и возможность адаптации для месторождений Республики Татарстан // Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. Ч. 1. С. 186-190.

### **References**

1. Ibatullin R.R. Opyt razrabotki zapasov nefti v plotnyh kollektorah Severnoj Ameriki. Gorizontal'nye skvazhiny i mnogostupenchatyj gidrorazryv // Georesursy. 2017. Т. 19. No 3. CH. 1. P. 176-181.
2. Kent Michael, Donnelly David. Canada patent CA2755848, Issued 16 Aug, 2016.
3. Jaripatke, O.A., Samandarli, O., McDonald, E., & Richmond, P. L. Completion Optimization of an Unconventional Shale Play: Implementation of a Successful Completion Design Optimization Plan and the Results. Society of Petroleum Engineers. SPE Paper 170764. 2014.
4. Hisamov R.S., Ahmetgareev V.V., Hakimov S.S., Kenzhekhanov SH.SH. Tekhnologiya mno-gostadijnogo gidrorazryva plasta v gorizontal'nyh skvazhinah: opyt razrabotki kollektorov Shaly Carbonates v SSHA i vozmozhnost' adaptacii dlya mestorozhdenij Respubliki Tatarstan // Georesursy. 2017. Т. 19. № 3. CH. 1. S. 186-190.

*Статья поступила 12.05.2021 г.  
© Р.Р. Ибатуллин, 2021*

---

### **Сведения об авторе List of Author**

---

*Ибатуллин Равиль Рустамович – доктор технических наук, профессор, директор TAL Oil Limited (Канада).*

*Ravil Ibatullin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of TAL Oil Limited (Canada).*

Ссылка для цитирования: *Ибатуллин Р.Р. Новые технологии разрыва горизонтальных скважин, используемые в Северной Америке // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 17 – 22. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-17-22.*

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИФфуЗИИ ПРИМЕСИ В КРЕМНИИ В ПРОЦЕССЕ ИМПУЛЬСНОЙ ИОННОЙ ИМПЛАНТАЦИИ С ПОСЛЕДУЮЩИМ ТЕРМИЧЕСКИМ ОТЖИГОМ

А.И. Хасанов<sup>1</sup>, А.Г. Мустафаев<sup>2</sup>, Н.В. Черкесова<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, Грозный

<sup>2</sup> Дагестанский государственный университет народного хозяйства  
Махачкала

<sup>3</sup> Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова  
Нальчик  
arслан\_mustafaev@mail.ru

**Аннотация.** В процессе температурного отжига ионно-легированных слоев кремния происходит термическая диффузия примеси. Образующиеся в процессе ионной бомбардировки многочисленные вакансии могут быть причиной увеличения коэффициента диффузии, так как многие легирующие элементы диффундируют в кремний по вакансиям. Заметную роль может играть междоузельная диффузия, поскольку часть внедренных ионов занимает нерегулярные положения в полупроводнике. В связи с этим диффузия примеси после ионной имплантации носит более сложный характер в отличие от обыкновенной термической диффузии. Поверхностную концентрацию легирующей примеси определяли по значению поверхностного сопротивления, измеренного 4-х зондовым методом и используя кривые для гауссовых распределений. Предложена методика вычислений коэффициентов диффузии примеси по результатам измерений поверхностного сопротивления и глубины залегания имплантированного слоя в процессе ионной имплантации и последующего термического отжига. Установлено, что концентрационная зависимость коэффициентов диффузии бора и мышьяка слабая и более четко наблюдается в случае ионов мышьяка. С ростом дозы имплантации наблюдается увеличение коэффициента диффузии мышьяка в кремнии.

**Abstract.** In the course of thermal annealing of ion-doped silicon layers, thermal diffusion of impurities occurs. Numerous vacancies formed in the course of ion bombardment can cause an increase in the diffusion coefficient, since many alloying elements diffuse into silicon through vacancies. Interstitial diffusion can play a significant role, since some of the interstitial ions occupy irregular positions in the semi-

conductor. In this regard, the diffusion of impurities after ion implantation is of a more complex nature, in contrast to ordinary thermal diffusion. The surface concentration of the dopant was determined from the value of the surface resistance measured by the 4-probe method and using the curves for Gaussian distributions. A technique is proposed for calculating the diffusion coefficients of an impurity based on the results of measurements of the surface resistance and the depth of the implanted layer during ion implantation and subsequent thermal annealing. It was found that the concentration dependence of the diffusion coefficients of boron and arsenic is weak and is more clearly observed in the case of arsenic ions. With an increase in the implantation dose, an increase in the diffusion coefficient of arsenic in silicon is observed.

**Ключевые слова:** 4-х зондовый метод, кремний, диффузия, отжиг, ионная имплантация, технология СБИС, p-n переход, полупроводниковый прибор, импульс, концентрация

**Keywords:** Van der Pauw method, silicon, diffusion, annealing, ion implantation, VLSI technology, p-n junction, semiconductor device, pulse, concentration

### **Введение**

В процессе температурного отжига ионно-легированных слоев кремния происходит термическая диффузия примеси. Образующиеся в процессе ионной бомбардировки многочисленные вакансии могут быть причиной увеличения коэффициента диффузии, так как многие легирующие элементы диффундируют в кремнии по вакансиям. Заметную роль может играть междоузельная диффузия, поскольку часть внедренных ионов занимает нерегулярные положения в полупроводнике. В связи с этим диффузия примеси после ионной имплантации носит более сложный характер в отличие от обыкновенной термической диффузии.

### **Материалы и методы**

Для определения коэффициентов диффузии примеси в кремнии, имплантированным методом импульсной ионной имплантации [1-5], использовались пластины монокристаллического крем-

ния КДБ-10 и КЭВ 7, 5 с ориентацией (111) и концентрацией исходной примеси соответственно  $1,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$  и  $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ . В качестве легирующих элементов были выбраны бор и мышьяк. Поверхностную концентрацию легирующей примеси определяли по значению поверхностного сопротивления, измеренного 4-х зондовым методом и используя кривые для гауссовых распределений.

Зная концентрацию легирующей примеси на поверхности, исходную концентрацию примеси в подложке и глубину p-n перехода можно вычислить коэффициент диффузии элемента в кремнии. По экспериментальным данным были построены зависимости поверхностного сопротивления слоев кремния и глубины залегания примеси после импульсной имплантации бора и мышьяка от дозы ионов, приведенные на рисунках 1 и 2, соответственно. Из рисунков следует, что с ростом дозы ионов и температуры отжига, поверхностное сопротивление слоя уменьша-

ется, и увеличивается глубина залегания  $p-n$  перехода. В случае имплантации ионами бора кривые зависимости

поверхностного сопротивления имеют слабую тенденцию к насыщению при высоких дозах имплантации.

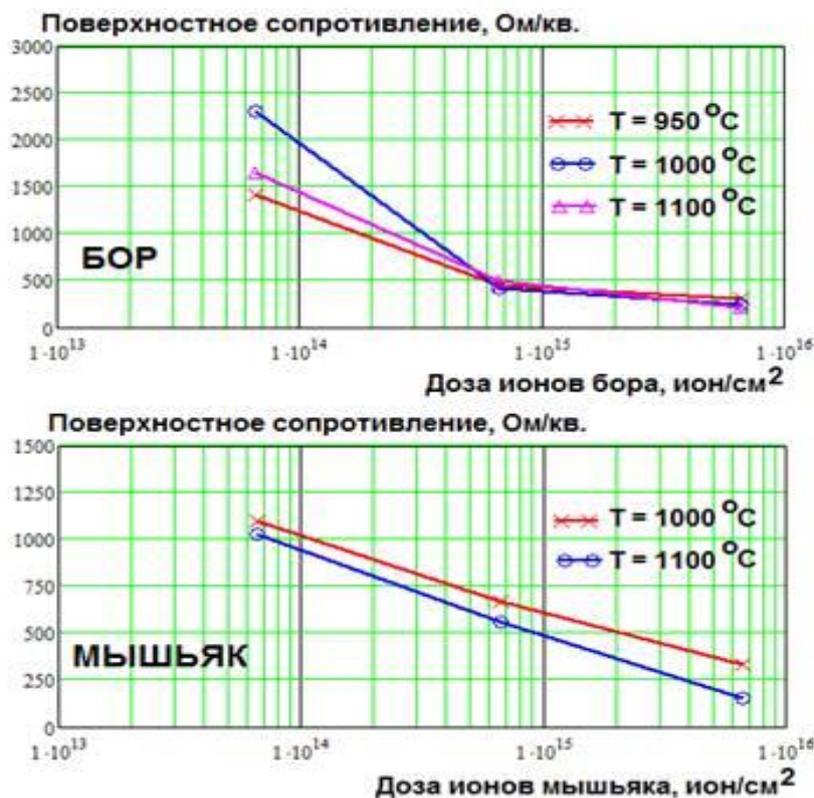
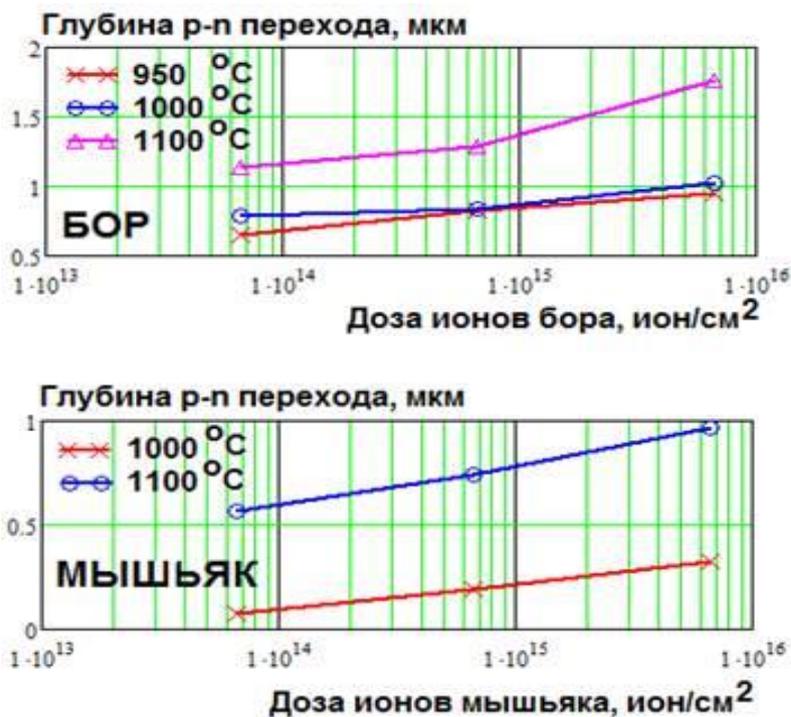


Рисунок 1 – Зависимость поверхностного сопротивления кремния, имплантированного ионами бора и мышьяка от дозы ионов для различных температур отжига

Рисунок 2 – Зависимость глубины залегания  $p-n$  перехода в кремнии, легированном ионами бора и мышьяка от дозы ионов для различных температур отжига



Авторами разработана методика вычислений коэффициентов диффузии примеси по результатам измерений поверхностного сопротивления и глубины залегания имплантированного слоя в процессе ионной имплантации и последующего термического отжига. Так как формирование легированного слоя представляет собой двухстадийный процесс [6, 7], то профиль распределения примеси может быть охарактеризован теоретической зависимостью концентрации примеси от глубины соот-

ветствующей второй стадии диффузии примеси из ограниченного поверхностного источника.

Таким образом, можно рассчитать значение коэффициента диффузии примеси для данного конкретного процесса ионной имплантации с последующей температурной обработкой. На рисунке 3 представлены профили распределения бора в кремнии после ионной имплантации импульсным пучком ионов на установке с лазерным источником ионов.

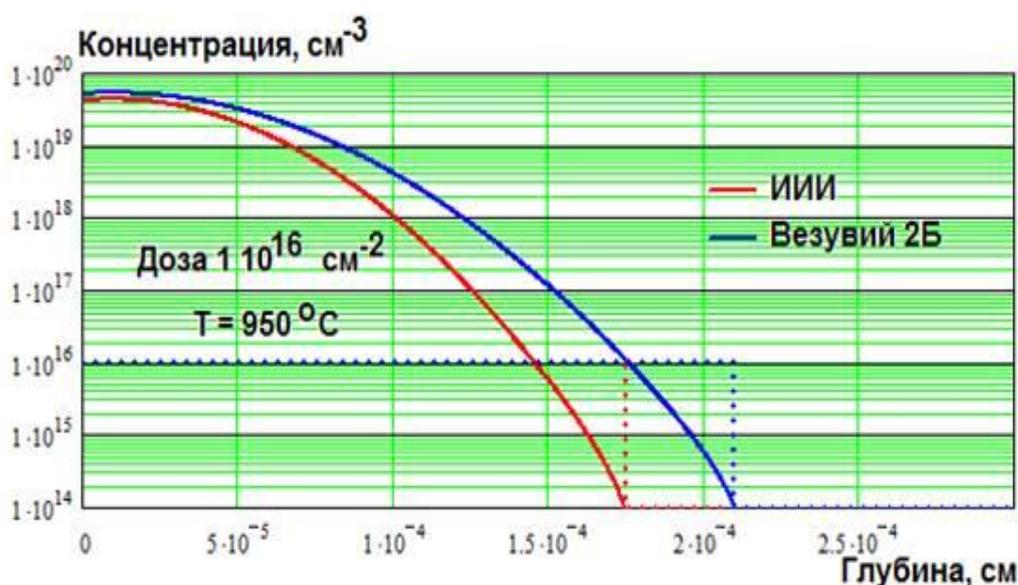


Рисунок 3 – Профили распределения бора в кремнии после импульсной ионной имплантации и имплантации непрерывным пучком для дозы ионов 10<sup>16</sup> см<sup>-2</sup> и температуры отжига 950 °C (пунктиром показаны положения p-n переходов)

На этом же рисунке приведен профиль распределения атомов бора в слое, сформированном на установке с непрерывным пучком ионов. Оба профиля получены для дозы ионов бора 10<sup>16</sup> см<sup>-2</sup> и температуры отжига 950 °C. Пунктирной линией показано положение p - n переходов. На рисунке 4 представлены аналогичные зависимости для атомов мышьяка. Оба профиля получе-

ны для дозы ионов мышьяка 10<sup>14</sup> см<sup>-2</sup> и температуры отжига 1000 °C. Как видно из графиков, варьированием значений коэффициентов диффузии бора или мышьяка в кремнии можно получить расчетный профиль с требуемым значением глубины p - n перехода и, тем самым, определить соответствующее значение коэффициента диффузии.

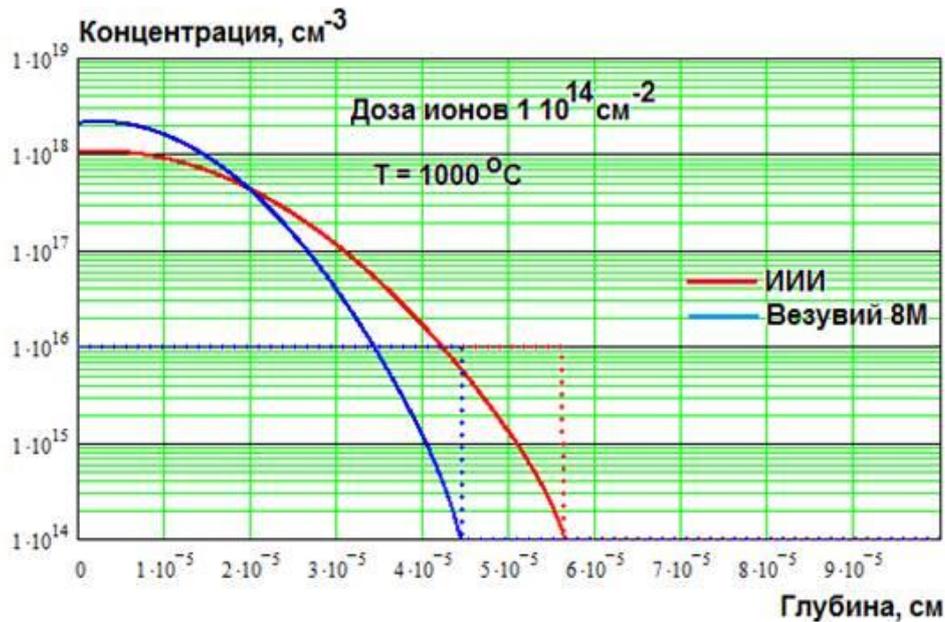


Рисунок 4 – Профили распределения бора в кремнии после импульсной ионной имплантации (ИИИ) и имплантации непрерывным пучком для дозы ионов  $10^{16} \text{ см}^{-2}$  и температуры отжига  $950 \text{ }^\circ\text{C}$ . Пунктиром показаны положения p-n переходов

Подобные расчеты были проведены для всего исследованного диапазона доз ионов и температур после имплантационного отжига. Вычисленные значения коэффициентов сравнивались для различного метода имплантации, а также с значениями коэффициентов диффузии этих элементов в кремнии, известных из литературы [8-11].

После вычисления коэффициентов диффузии бора и мышьяка в кремнии были построены концентрационные и температурные зависимости. На рисунке 5 приведены зависимости коэффициентов диффузии бора и мышьяка в кремнии от дозы ионов для различных температур отжига.

### Обсуждение результатов

Анализ результатов показывает, что для температуры отжига  $950 \text{ }^\circ\text{C}$  коэффициент диффузии бора, имплантированного в кремний методом импульсной имплантации, почти в 2 раза превышает

значение коэффициента диффузии бора, имплантированного обычным методом. С увеличением температуры изохронного отжига разница в значениях коэффициента диффузии уменьшается и при температуре  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  и более коэффициенты диффузии приблизительно равны. С ростом температуры значение коэффициентов диффузии увеличивается, причем более быстрый рост значений коэффициента наблюдается в случае ионного легирования традиционным методом имплантации.

При использовании в качестве легирующей примеси мышьяка картина носит противоположный характер, т.е. коэффициент диффузии при ионном легировании методом импульсной имплантации и последующим отжигом при сравнительно низкой температуре ( $900\text{-}1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ) меньше значения этой величины, полученной при обычном методе имплантации (приблизительно в 4 раза при температуре  $1000 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Однако с

увеличением температуры значения коэффициентов диффузии растут, причем более быстрый рост наблюдается в случае импульсной ионной имплантации. При температуре 1100°C и более значения коэффициентов диффузии совпадают. Концентрационная зависи-

мость коэффициентов диффузии бора и мышьяка слабая и более четко наблюдается в случае ионов мышьяка. С ростом дозы имплантации наблюдается увеличение коэффициента диффузии мышьяка в кремнии.

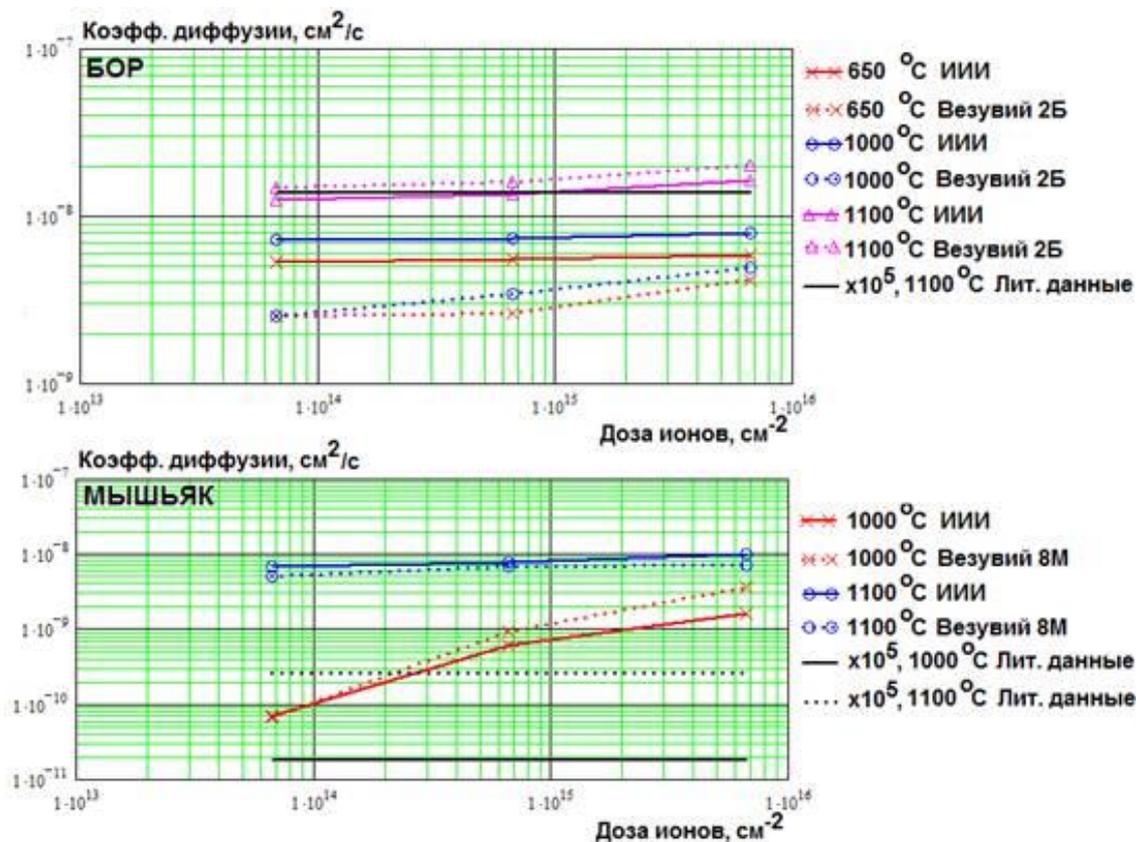


Рисунок 5 – Зависимости коэффициентов диффузии бора и мышьяка в кремнии от дозы ионов для различных температур отжига

Характер поведения коэффициентов  $B$  и  $As$  в кремнии, имплантированном методом импульсной имплантации, такой же, как и в случае обычного метода имплантации и не накладывает никаких ограничений на применение этого метода имплантации в технологии полупроводниковой техники. Отличительной особенностью графиков является значительно более высокие коэффициенты диффузии примеси после ионной имплантации по сравнению с коэффициентами диффузии  $B$  и  $As$  при обыч-

ной термической диффузии. Так, коэффициент диффузии  $B$  после имплантации для исследованных режимов отжига превышает коэффициент диффузии в случае термической диффузии при 1100°C более чем на 5 порядков. Отличие коэффициента диффузии  $As$  после имплантации от коэффициента при обычной термической диффузии составляет более 4 порядков. Это, вероятно, связано с повышенной дефектностью процесса имплантации (образование большого количества вакансий).

### **Библиографический список**

1. Мустафаев Г.А., Черкесова Н.В., Мустафаев А.Г. Влияние диффузии примеси на характеристики МОП-ПТ // Микро-и нанотехнологии в электронике: матер. VI межд. науч.-техн. конф. Нальчик, 2014. С. 428-429.
2. Stepanov A.V., Shamanin V.I., Remnev G.E., Petrov A.V. Impulse ion implanter // 2015 IEEE International Conference on Plasma Sciences (ICOPS). 2015. P.1.
3. Jones K.S., Crane S.P., Ross C.E., Malmborg T., Downey D., Arevalo E. The role of pre-anneal conditions on the microstructure of Ge+ implanted Si after high temperature millisecond flash annealing // Ion Implantation Technology. Proceedings of the 14th International Conference on Taos. New Mexico. USA. 2002. P.76-78.
4. Chrisey D.B., Hubler G.K. Pulsed laser deposition of thin films. New York: Wiley. 1994. - 613 p.
5. Anders A. Handbook of plasma immersion ion implantation. New York: Wiley. 2000. - 760 p.
6. G.A. Mustafaev, A.I. Khasanov, A.G. Mustafaev, N.V. Cherkesova. Thin Layers of Oxide Coating in Very-Large-Scale Integration. // Proceedings of the International Symposium. ISEES 2018. Atlantis Press. P. 397-399.
7. Q.B., Gilgenbach R.M., Lau Y.Y., et al. Ablation plasma ion implantation experiments: Measurement of Fe implantation into Si. // Appl. Phys. Lett. 2001. V. 78. P.3785-3787.
8. Бедсел Ч., Ленгдон А. Физика плазмы и численное моделирование. - М.: Энергоатомиздат, 1989. – 452 с.
9. Фоминский В.Ю., Романов Р.И., Гнедовец А.Г., Зуев В.В., Демин М.В., Григорьев В.В. Ионная имплантация платины из импульсной лазерной плазмы для формирования детектора водорода на кристалле n-6H-SiC // ФТП. 2011. Т. 45. С. 694-701.
10. Capano M.A. A modified oxidation procedure for ion-implanted silicon carbide devices annealed at low temperatures. // Applied Surface Science. 2001. V. 184. P. 317-322.
11. Mustafaev G.A., Khasanov A.I., Cherkesova N.V., Mustafaev A.G. Technology For The Formation Of Refractory Metals For Micro-And Nanoelectronics Products // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020). 2020. C. 12048-12048.

### **References**

1. Mustafaev G.A., Cherkesova N.V., Mustafaev A.G. Vliyanie diffuzii primesi na harakteristiki MOP-PT // Mikro-i nanotekhnologii v elektronike: materialy VI mezhd. nauch.-tekhn. konf. Nal'chik, 2014. P. 428-429.
2. Stepanov A.V., Shamanin V.I., Remnev G.E., Petrov A.V. Impulse ion implanter // 2015 IEEE International Conference on Plasma Sciences (ICOPS). 2015. P.1.
3. Jones K.S., Crane S.P., Ross C.E., Malmborg T., Downey D., Arevalo E. The role of pre-anneal conditions on the microstructure of Ge+ implanted Si after high temperature millisecond flash annealing // Ion Implantation Technology. 2002. Proceedings of the 14th International Conference on Taos. New Mexico. USA. 2002. P.76-78.
4. Chrisey D.B., Hubler G.K. Pulsed laser deposition of thin films. New York: Wiley. 1994. - 613 p.
5. Anders A. Handbook of plasma immersion ion implantation. New York: Wiley. 2000. - 760 p.
6. G.A. Mustafaev, A.I. Khasanov, A.G. Mustafaev, N.V. Cherkesova. Thin Layers of Oxide

Coating in Very-Large-Scale Integration // Proceedings of the International Symposium. ISEES 2018. Atlantis Press. P. 397-399.

7. Q.V., Gilgenbach R.M., Lau Y.Y., et al. Ablation plasma ion implantation experiments: Measurement of Fe implantation into Si. // Appl. Phys. Lett. 2001. V. 78. P. 3785-3787.

8. Bedsel CH., Lengdon A. Fizika plazmy i chislennoe modelirovanie. - M.: Energoatomizdat, 1989. – 452 p.

9. Fominskij V.YU., Romanov R.I., Gnedovec A.G., Zuev V.V., Demin M.V., Grigor'ev V.V. Ionnaya implantaciya platiny iz impul'snoj lazernoj plazmy dlya formirovaniya detektora vodoroda na kristalle n-6H-SiC // FTP. 2011. T. 45. P. 694-701.

10. Capano M.A. A modified oxidation procedure for ion-implanted silicon carbide devices annealed at low temperatures. // Applied Surface Science. 2001. V. 184. P. 317-322.

11. Mustafaev G.A., Khasanov A.I., Cherkesova N.V., Mustafaev A.G. Technology For The Formation Of Refractory Metals For Micro-And Nanoelectronics Products. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 3rd International Symposium on Engineering and Earth Sciences (ISEES 2020). 2020. P. 12048-12048.

*Статья поступила 14.05.2021 г.*

*© А.И. Хасанов, А.Г. Мустафаев, Н.В. Черкесова, 2021*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Хасанов Асламбек Идрисович* – кандидат физико-математических наук, доцент, заведующий кафедрой физической электроники Чеченского государственного университета имени А.А. Кадырова.

*Aslambek Khasanov* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Electronics, Chechen State University named after A.A. Kadyrov.

*Мустафаев Арслан Гасанович* – доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий и информационная безопасность Дагестанского государственного университета народного хозяйства.

*Arslan Mustafaev* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Information Technologies and Information Security, Daghestan State University of National Economy.

*Черкесова Наталья Васильевна* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры электроники и цифровых информационных технологий, директор Института информатики, электроники и робототехники Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

*Natalya Cherkesova* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronics and Digital Information Technologies, Director of the Institute of Informatics, Electronics and Robotics, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekova.

Ссылка для цитирования: *Хасанов А.И., Мустафаев А.Г., Черкесова Н.В.* Определение диффузии примеси в кремнии в процессе импульсной имплантации с последующим термическим отжигом // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 23 - 30. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-23-30.

# ТЕХНОЛОГИИ, ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

.....  
.....  
.....

УДК 664.661.2

doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-31-35

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ХЛЕБА С ДОБАВЛЕНИЕМ ФОСФАТИДНОГО КОНЦЕНТРАТА

Ф.Н. Меретукова

Майкопский государственный технологический университет, Майкоп  
fatimameretukova@mail.ru

**Аннотация.** В работе приведены данные по использованию поверхностно-активных веществ в производстве пшеничного хлеба из муки 1 сорта. Проведены пробные выпечки пшеничного хлеба по традиционной рецептуре и с добавлением фосфатидного концентрата. Использование фосфатидного концентрата в технологии производства хлеба позволяет улучшать свойства тестовых заготовок, качество выпеченного хлеба, а также способность сохранять его свежесть. Представлены результаты исследований по органолептическим и физико-химическим показателям.

**Abstract.** The paper provides data on the use of surfactants in the production of wheat bread from 1st grade flour. Trial baking of wheat bread was carried out according to the traditional recipe and with the addition of phosphatide concentrate. The use of phosphatide concentrate in the technology of wheat bread production allows to improve the properties of dough pieces, the quality of baked bread, as well as the ability to maintain its freshness. The results of studies on organoleptic and physicochemical indicators are presented.

**Ключевые слова:** хлеб пшеничный, поверхностно-активных вещества, фосфатидный концентрат, качество полуфабрикатов.

**Keywords:** wheat bread, surfactants, phosphatide concentrate, quality of semifinished products.

### **Введение**

В настоящее время, когда изменился рацион человека, роль хлеба в питании приобретает особое значение. Он должен иметь хорошее качество, высокую пищевую ценность. С этой точки

зрения перспективно создавать сорта хлеба и хлебобулочных изделий с использованием пищевых добавок-улучшителей [1].

В хлебопекарной промышленности многих стран практикуется внесение в

тесто ряда специальных добавок с целью улучшения качества изделий – объема, формы, структуры и свойств мякиша, вкуса и аромата. Эти добавки – улучшители. По природе их действия можно с известной условностью разделить на улучшители окислительного действия: ферментные препараты; поверхностно-активные вещества; другие улучшители, в том числе, и комбинированные по составу и природе действия [4, 5].

В нашей стране разработаны два таких жировых продукта: жир с фосфатидами для хлебобулочных изделий и жир жидкий для хлебопекарной промышленности. Техническая документация на эти жировые продукты предусматривает наличие фосфатидного концентрата пищевого [2].

Качественные показатели фосфатидных концентратов регламентированы ОСТ 18–227–75. В составе фосфатидных концентратов содержится, % к СВ: фосфатидов 61–62; масла 37–38; воды 0,4–0,5. Они должны иметь при 20°С текучую консистенцию.

Цель работы заключается в изучении влияния поверхностно-активных веществ, в частности, фосфатидного концентрата, на свойства теста и качество готовых хлебных изделий.

### ***Технология производства хлеба с фосфатидным концентратом***

В рамках исследовательской работы была проведена пробная выпечка четырех образцов хлеба пшеничного из муки 1 сорта: 1 – хлеб пшеничный из муки 1 сорта с добавкой 0,75% фосфатидного концентрата; 2 – хлеб пшеничный из муки 1 сорта с добавкой 1,0%

фосфатидного концентрата; 3 – хлеб пшеничный из муки 1 сорта с добавкой 2,0% фосфатидного концентрата; 4 – контрольный, традиционный хлеб пшеничный из муки 1 сорта.

Технологические смеси вносили в виде тонкодисперсных жироводных эмульсий при порционном замесе теста в соотношении 0,75; 1,0; 2,0 кг смеси на 100 кг муки перед замесом теста. Внесение жировых продуктов в тесто для изделий из пшеничной муки положительно повлияло на свойства теста и на ряд показателей качества, пищевой ценности готовых изделий. Жиры имеют в 2 раза более высокую энергетическую ценность, чем белки и углеводы. Их наличие в хлебе придает ему специфический вкус и аромат [3].

По органолептическим показателям были выделены образец № 1 и № 4 как соответствующие нормативной документации. Образцы № 2 и № 3 имели излишний объем, что не соответствует нормативной документации.

Выделенные образцы представлены на рисунке. Разработанная рецептура хлеба из пшеничной муки 1 сорта с добавлением фосфатидного концентрата представлена в таблице 1.

Оценку качества образцов хлеба определяли по внешнему виду, цвету корки, состоянию мякиша согласно ГОСТ 25832-89 «Изделия хлебобулочные диетические» [4].

Готовые хлебобулочные изделия с добавкой фосфатидного концентрата имеют объемный вид, равномерную пористость, нежный и эластичный мякиш, специфический вкус и аромат. Органолептическая оценка опытных образцов хлеба представлена в таблице 2.



Рисунок 1 – Внешний вид исследуемых образцов хлеба пшеничного с добавлением 0,75% фосфатидного концентрата (слева) и традиционного контрольного образца (справа).

Таблица 1 – Рецепт хлеба из пшеничной муки с добавлением фосфатидного концентрата

| Наименование сырья                  | Показатели технологического процесса по стадиям |           |
|-------------------------------------|---|-----------|
|                                     | опара   | тесто     |
| Мука хлебопекарная пшеничная 1с, кг | 50  | 50        |
| Дрожжи прессованные, кг             | 1,5   | -         |
| Соль поваренная пищевая, кг         | -   | 1,3       |
| Фосфатидный концентрат, кг          | -   | 0,75      |
| Продолжительность брожения, ч       | 2,5...3   | 1         |
| Влажность, %                        | 41,0  | 45,0      |
| Кислотность, град                   | 3,5 ± 0,5                                       | 3,0 ± 0,5 |
| Температура, °С                     | 29...31   | 29...31   |

Таблица 2 – Органолептические показатели опытных образцов

| Показатель       | Хлеб пшеничный 1 сорта традиционный                               | Хлеб пшеничный с добавкой 0,75% ФК                                      |
|------------------|---|---|
| Внешний вид      | Формовой, прямоугольной формы                                     | Формовой, прямоугольной формы объемный                                  |
| Цвет             | С гладкой темно-коричневой коркой, боковые – светло-желтого цвета | С темно-коричневой верхней коркой, желтовато-соломенного цвета боковыми |
| Вкус             | Свойственный изделию, без постороннего привкуса                   | Специфический вкус и аромат жиров                                       |
| Запах            | Свойственный изделию, без постороннего запаха                     | Свойственный изделию, с приятным ароматом                               |
| Состояние мякиша | Хорошо пропеченный, с равномерной пористостью, эластичный         | Нежный, эластичный мякиш, хорошо пропеченный, с развитой пористостью    |

Из таблицы 2 видно, что качество хлеба с добавкой фосфатидного концентрата отличается от обычного. Объем хлеба увеличивается, структура и реологические свойства мякиша при этом улучшаются, хлеб медленнее

черствеет. Хлеб отличается хорошим товарным видом. У изучаемых образцов определили пористость, влажность и кислотность. Результаты исследований были сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели исследуемых образцов

| Наименование показателя        | Количество                         |   |
|--------------------------------|------------------------------------|---|
|                                | Хлеб пшеничный с добавкой 0,75% ФК | Хлеб пшеничный из муки 1 сорта традиционный |
| Влажность мякиша, %, не более  | 47                                 | 45  |
| Кислотность, град., не более   | 3,5                                | 4,1   |
| Пористость мякиша, %, не менее | 74                                 | 65  |

### **Выводы**

Фосфатидные концентраты хорошо усваиваются в организме человека, благоприятно влияют на белково-жировой обмен и служат источником образования органического фосфора, необходимого для нормального протекания пластических процессов в мозговой и нервной тканях.

Хлеб пшеничный с фосфатидным концентратом можно отнести к функциональным продуктам. Полученные результаты свидетельствуют о положительном влиянии фосфатидного концентрата на технологические качества пшеничного хлеба.

### **Библиографический список**

1. Колотий Т.Б. Обогащение пшеничного хлеба растительной добавкой эхинацеи пурпурной // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. № 2. С. 35-39.
2. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1994. - 415 с.
3. Гришин А.С., Энкина Л.С. Влияние различных способов тестоприготовления на качество хлеба. - М.: Пищевая промышленность, 1994. -112 с.
4. Меретукова Ф.Н., Скляр Е.Н. Влияние красного ферментативного солода на качество ржано-пшеничного хлеба // Сборник докладов Всероссийской юбилейной научно-практической конференции, посвященной 50 летию Адыгейского НИИСХ, Ч. 2. – Майкоп: Изд. «Магарин О.Г.». 2011. С. 209-212.
5. Меретукова Ф.Н., Едыгова С.Н. Использование подсырной сыворотки в производстве хлебобулочных изделий // Адыгейский сыр: история, традиции, инновации: материалы международной научно-практической конференции. – Майкоп: Изд. Кучеренко В.О., 2019. С. 126-129.

### **References**

1. Kolotij T.B. Obogashchenie pshenichnogo hleba rastitel'noj dobavkoj ekhinacei purpurnoj // Nauchnye issledovaniya: itogi i perspektivy. 2021. T. 2. № 2. P. 35-39.
2. Auerman L.YA. Tekhnologiya hlebopekarnogo proizvodstva. - M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost', 1994. - 415 p.
3. Grishin A.S., Enkina L.S. Vliyanie razlichnyh sposobov testoprigotovleniya na kachestvo hleba. - M.: Pishchevaya promyshlennost', 1994. -112 p.
4. Meretukova F.N., Sklyar E.N. Vliyanie krasnogo fermentativnogo soloda na kachestvo rzhano-pshenichnogo hleba // Sbornik dokladov Vserossijskoj yubilejnoj nauch-no-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 50 letiyu Adygejskogo NIISKH, CH. 2. – Maj-kop: Izd. «Magarin O.G.». 2011. P. 209-212.
5. Meretukova F.N., Edygova S.N. Ispol'zovanie podsyrnoj syvorotki v proizvod-stve hlebobulochnyh izdelij // Adygejskij syr: istoriya, tradicii, innovacii: materia-ly mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Majkop: Izd. Kucherenko V.O., 2019. P. 126-129.

*Статья поступила 09.03.2021 г.*

*© Ф.Н. Меретукова, 2021*

---

### **Сведения об авторе**

#### **List of Author**

---

*Меретукова Фатима Нурбиевна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии пищевых продуктов и организации питания Майкопского государственного технологического университета.

*Fatima Meretukova* – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology and Catering, Maikop State Technological University.

Ссылка для цитирования: Меретукова Ф.Н. Исследование технологии производства хлеба с добавлением фосфатидного концентрата // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 31 - 35. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-31-35.

## ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЯ ПОТРЕБЛЕНИЯ РЫБНОЙ ПРОДУКЦИИ И ВКУСОВЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ПОКУПАТЕЛЕЙ

С.П. Запорожская, Д.Г. Касьянов, О.В. Косенко

Кубанский государственный технологический университет, Краснодар  
eleshpak@yandex.ru

**Аннотация.** В статье исследованы потребности и вкусовые предпочтения жителей г. Краснодара в обработанных рыбных продуктах. Представлены графические интерпретации данных, связанных с частотой приобретения рыбных товаров, уровнем их потребления и вкусовыми предпочтениями. Выполненный анализ показал возможности расширения ассортимента рыбной продукции путем обогащения растительными добавками.

**Abstract.** The article examines the needs and taste preferences of residents of Krasnodar in processed fish products. Graphical interpretations of data related to the frequency of purchase of fish products, the level of their consumption and taste preferences are presented. The performed analysis showed the possibility of expanding the range of fish products by enriching them with herbal supplements.

**Ключевые слова:** рыбная продукция, анкетирование, пресервы, ассортимент, частота приобретения.

**Keywords:** fish products, questionnaires, preserves, assortment, frequency of purchase.

### Введение

При изготовлении нестерилизуемых рыбных продуктов (пресервов), имеющих ограниченный срок хранения, особое внимание производственники должны уделять прогнозированию сроков годности [1]. Ассортимент выпускаемых рыбных пресервов обычно формируется с учетом потребительских предпочтений [2]. При производстве фаршевых изделий и рыбных паст, предложен вариант их обогащения криопорошками из плодоовощного сырья и CO<sub>2</sub>-экстрактами [3,4]. Показаны преимущества создания комбинирован-

ных растительно-рыбных продуктов и определено влияние pH среды на реологические свойства рыбных блюд [5, 6]. Для восполнения дефицита рыбных ресурсов разработана технология выращивания и переработки теплолюбивых рыб [7]. При подготовке бакалавров, специализирующихся в области переработки сырья животного происхождения, важным моментом считается приобщение их к исследовательской и производственной деятельности [8].

Получена объективная информация о возможности обогащения состава блюд CO<sub>2</sub>-экстрактами из растительно-

го сырья [9, 10]. Ассортимент рыбной продукции во многом может быть расширен за счет изготовления кулинарной рыбной продукции [11]. Выполненный обзор показал возможности расширения ассортимента рыбной продукции путем обогащения растительными добавками. Однако для расширения ассортимента рыбной продукции необходимо изучить предпочтения и спрос жителей региона на рыбную продукцию. Целью статьи было провести исследование с помощью анкетирования в условиях рыбного супермаркета и получить материал о востребованности рыбной продукции среди жителей.

### ***Изучение вкусовых предпочтений жителей в обработанной рыбной продукции***

Более подробно изучить потребности и вкусовые предпочтения жителей г. Краснодара в обработанных продуктах удалось с помощью анкетирования и социологического опроса. Исследование проводилось с 1 по 30 октября 2019 г. группой студентов 3 курса Краснодарского кооперативного института (филиала Российского университета кооперации). Выборка состояла из 108 чел, из которых 66 % – женщины, а 34 % – мужчины. Предварительно группу интервьюеров ознакомили с особенностями проведения социологических исследований и обработки анкет, а также с информацией о питательной ценности рыбных продуктов после различных видов технологической обработки.

В связи со снижением добычи рыбы в открытых водоемах, на Кубани начали активно заниматься выращиванием ры-

бы в условиях замкнутого водоснабжения и в нагульных прудах. За первый квартал 2020 г. объемы производства рыбы увеличились на 7 %, а объемы продаж на 30 %. Принимаются дополнительные меры к увеличению объемов выращивания рыб лососевых и сомовых пород и раков в азовских лиманах.

Трудами многих исследователей установлено, что пищевая ценность мяса рыб не уступает мясу животных, а по степени усвояемости даже превосходит его. Несмотря на полезные свойства морепродуктов необходимо продолжать просветительскую работу по преимуществам рыбного сырья и давать рекомендации по совершенствованию технологии его переработки. На рисунке 1 показана частота приобретения рыбных продуктов в % от числа опрошенных.

Как видно на рисунке 1, наибольшая частота приобретения рыбных продуктов осуществляется один раз в месяц.

На рисунке 2 показана зависимость уровня приобретения рыбных продуктов в зависимости от профессии или рода занятий респондентов.

Изображенный на рисунке 2 график свидетельствует о разном уровне приобретения рыбных продуктов студентами (1), пенсионерами (2), сотрудниками офисов (3), преподавателями (4), продавцами (5), рабочими (6) и школьниками (7). Наибольший уровень приобретения рыбных продуктов отмечен для пенсионеров.

На рисунке 3 показаны предпочтения респондентов в выборе рыбных продуктов, прошедших различные виды технологической обработки.

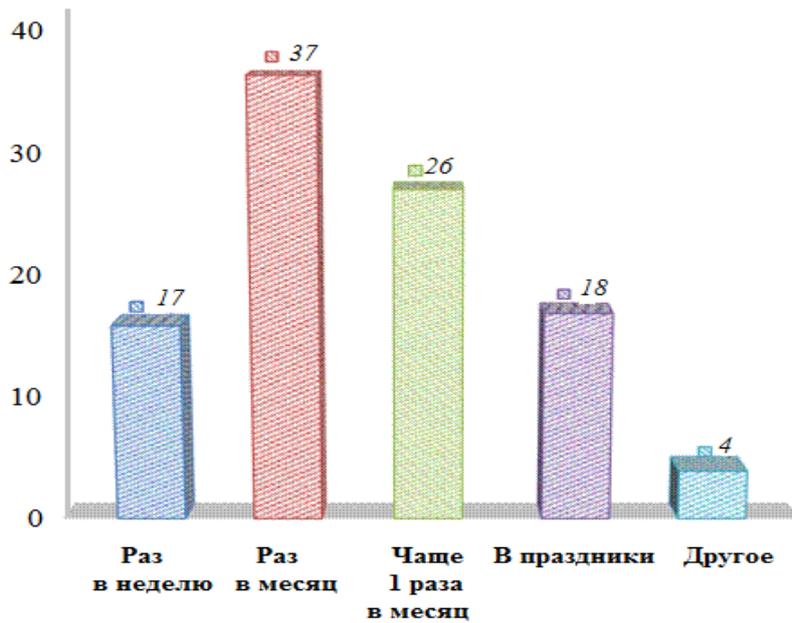


Рисунок 1 – Частота приобретения рыбных продуктов

Рисунок 2 – Уровень приобретения рыбных продуктов в зависимости от профессии или рода занятий респондентов

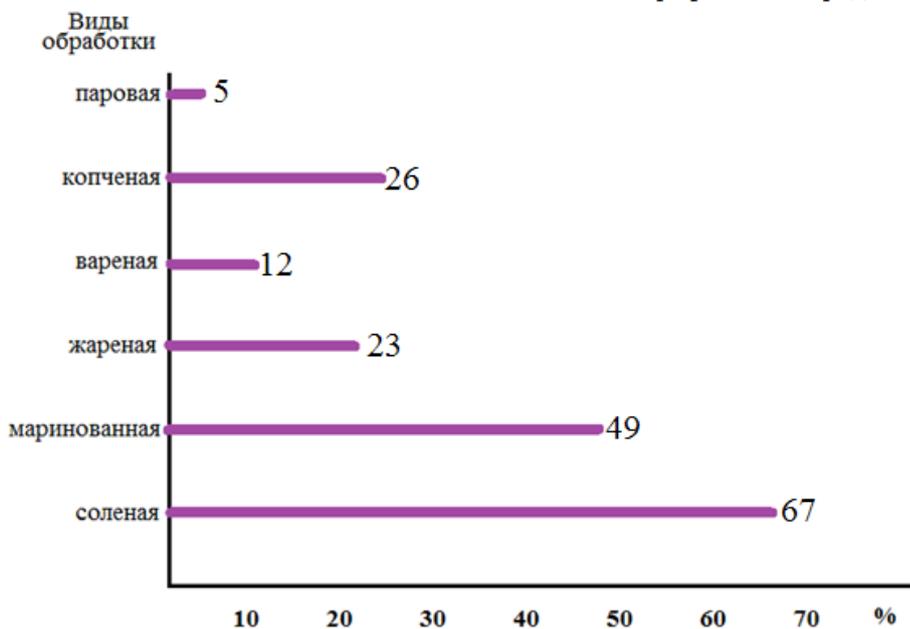
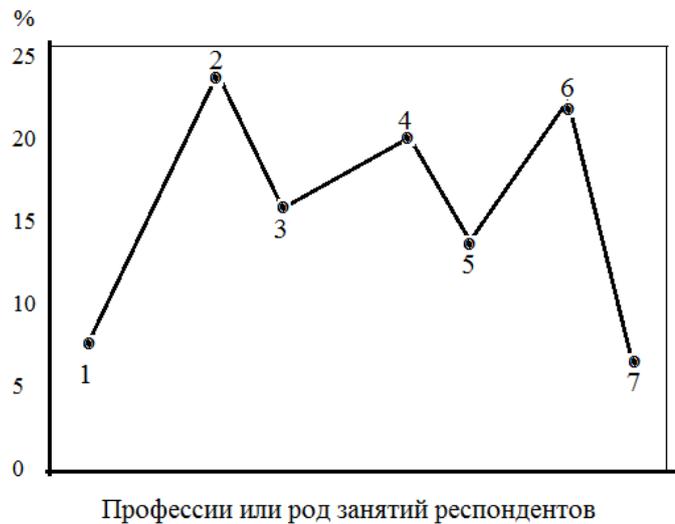


Рисунок 3 – Предпочтения в выборе рыбных продуктов

Если проследить за графиком предпочтений выбора рыбных продуктов, прошедших различные виды технологической обработки, то видно, что наибольший спрос отмечен для соленой, маринованной и копченой продукции.

### **Заключение**

Выполненное исследование не претендует на глобальный охват ситуации с частотой, уровнем потребления и

предпочтениями в выборе обработанных рыбных продуктов, так как опрос респондентов проводился в условиях одного рыбного супермаркета и не может быть распространен на весь город или край. Существуют возможности расширения ассортимента переработанных рыбных продуктов за счет обогащения рыбного белка натуральными растительными добавками.

### **Библиографический список**

1. Бочарова-Лескина А.Л., Иванова Е.Е., Косенко О.В. Прогнозирование срока годности рыбных пресервов на основании полного факторного эксперимента // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 94. С. 300-311.
2. Бочарова-Лескина А.Л., Иванова Е.Е., Косенко О.В. Совершенствование технологии рыбных пресервов на основе анализа потребительских предпочтений // Известия вузов. Пищевая технология. 2015. № 2-3 (344-345). С. 53-56.
3. Запорожская С.П., Касьянов Г.И., Косенко О.В., Медведев А.М., Яралиева З.А., Шубина Л.Н., Белоусова С.В. Совершенствование технологии криопорошков из растительного сырья // Известия вузов. Пищевая технология. 2020 № 2-3. С. 45-49.
4. Запорожский А.А., Каминир О.Н., Косенко О.В. Обогащение рыбопродуктов полуфабрикатов комплексными СО<sub>2</sub>-экстрактами // Эксклюзивные технологии производства мясных, молочных и рыбных продуктов: сборник материалов международной научно-практической конференции. Краснодар: КубГТУ, 2019. С. 170-175.
5. Золотокопова С.В., Лебедева Е.Ю., Олдырев Д., Яренков М.А. Влияние рН на консистенцию блюд из рыбы // Наука и практика – 2020: сборник материалов всероссийской междисциплинарной научной конференции. – Астрахань: АГУТУ, 2020. С. 41.
6. Золотокопова С.В., Лебедева Е.Ю., Касьянов Г.И., Касьянов Д.Г., Вальенте Моранте О.Р. Технология комбинированных рыбопродуктов // Современные достижения биотехнологии. Техника, технологии и упаковка для реализации инновационных проектов на предприятиях пищевой и биотехнологической промышленности: материалы VII международной научно-практической конференции. – Пятигорск: Издательство ПФ СКФУ, 2020. Т. I. С. 139-143.
7. Иванова Е.Е., Запорожская С.П., Касьянов Д.Г., Косенко О.В. О перспективах выращивания и переработки теплолюбивых рыб в Краснодарском крае // Биотехнологические, экологические и экономические аспекты создания безопасных продуктов питания специализированного назначения: сборник материалов международной научно-практической конференции. - Краснодар: КубГТУ, 2020. С. 178-185.
8. Касьянов Г.И., Косенко О.В., Шубина Л.Н. Пути приобщения студентов к исследовательской и производственной деятельности // Одаренность: методы выявления и пути развития: сборник статей, докладов и материалов всероссийской конференции. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018. С. 109-112.

9. Касьянов Г.И., Медведев А.М., Савицких Н.Б., Шейкина Е.В., Фомин С.В. Новый способ получения СО<sub>2</sub>-экстрактов // Корреляционное взаимодействие науки и практики в новом мире: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2020. С. 180-182.

10. Яралиева З.А. Технология получения и применения овощных криопорошков на примере спаржи // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2. № 2. С. 46-52.

11. Косенко О.В., Касьянов Г.И., Белоусова С.В., Азаркевич А.В. Совершенствование технологии производства рыборастворительной кулинарной продукции // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам VI международной научно-практической конференции. – Краснодар: Изд. КубГТУ, 2020. С. 98-105.

### References

1. Bocharova-Leskina A.L., Ivanova E.E., Kosenko O.V. Prognozirovanie sroka godno-sti rybnyh preservov na osnovanii polnogo faktornogo eksperimenta // Politematicheskiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo uni-versiteta. 2013. № 94. P. 300-311.

2. Bocharova-Leskina A.L., Ivanova E.E., Kosenko O.V. Sovershenstvovanie tekhnologii rybnyh preservov na osnove analiza potrebitel'skikh predpochtenij // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2015. № 2-3 (344-345). P. 53-56.

3. Zaporozhskaya S.P., Kas'yanov G.I., Kosenko O.V., Medvedev A.M., YAralieva Z.A., SHubina L.N., Belousova S.V. Sovershenstvovanie tekhnologii krioporoshkov iz rastitel'nogo syr'ya // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. 2020 № 2-3. P. 45-49.

4. Zaporozhskij A.A., Kaminir O.N., Kosenko O.V. Obogashchenie ryborastitel'nyh polufabrikatov kompleksnymi SO<sub>2</sub>-ekstraktami // Eksklyuzivnye tekhnologii proizvodstva myasnyh, molochnyh i rybnyh produktov: sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Krasnodar: KubGTU, 2019. P. 170-175.

5. Zolotokopova S.V., Lebedeva E.YU., Oldyrev D., YArenkov M.A. Vliyanie rN na konsistenciyu blyud iz ryby // Nauka i praktika – 2020: sbornik materialov vserossiyskoy mezhdisciplinarnoy nauchnoy konferencii. – Astrahan': AGUTU, 2020. P. 41.

6. Zolotokopova S.V., Lebedeva E.YU., Kas'yanov G.I., Kas'yanov D.G., Val'ente Moran-te O.R. Tekhnologiya kombinirovannyh ryborastitel'nyh produktov // Sovremennye do-stizheniya biotekhnologii. Tekhnika, tekhnologii i upakovka dlya realizacii innovacionnyh proektov na predpriyatiyah pishchevoj i biotekhnologicheskoy promyshlennosti: materialy VII mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – Pyatigorsk: Izdatel'stvo PF SKFU, 2020. T I. P. 139-143.

7. Ivanova E.E., Zaporozhskaya S.P., Kas'yanov D.G., Kosenko O.V. O perspektivah vyrashchivaniya i pererabotki teplolyubivyyh ryb v Krasnodarskom krae // Biotekhnologicheskie, ekologicheskie i ekonomicheskie aspekty sozdaniya bezopasnyh produktov pitaniya specializirovannogo naznacheniya: sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. - Krasnodar: KubGTU, 2020. P. 178-185.

8. Kas'yanov G.I., Kosenko O.V., SHubina L.N. Puti priobshcheniya studentov k issledovatel'skoj i proizvodstvennoj deyatel'nosti // Odarennost': metody vyyavleniya i puti razvitiya: sbornik statej, dokladov i materialov vserossiyskoy konferencii. – M.: MGTU im. N.E. Bauman, 2018. P. 109-112.

9. Kas'yanov G.I., Medvedev A.M., Savickih N.B., SHEjkina E.V., Fomin S.V. Novyj sposob polucheniya SO<sub>2</sub>-ekstraktov // Korrelyacionnoe vzaimodejstvie nauki i praktiki v novom mire:

сbornik nauchnyh statej po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – SPb.: Izd-vo SPbGEU, 2020. P. 180-182.

10. YAralieva Z.A. Tekhnologiya polucheniya i primeneniya ovoshchnyh krioporoshkov na primere sparzhi // Nauchnye issledovaniya: itogi i perspektivy. 2021. T. 2. № 2. P. 46-52.

11. Kosenko O.V., Kas'yanov G.I., Belousova S.V., Azarkevich A.V. Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva ryborastitel'noj kulinarnoj produkcii // Sovremennye as-pekty proizvodstva i pererabotki sel'skohozyajstvennoj produkcii: sbornik statej po materialam VI mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Krasnodar: Izd. KubGTU, 2020. P. 98-105.

*Статья поступила 14.03.2021 г.*

© С.П. Запорожская, Д.Г. Касьянов, О.В. Косенко, 2021

---

### **Сведения об авторах** **List of Authors**

---

*Запорожская Светлана Павловна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения Кубанского государственного технологического университета.

*Svetlana Zaporozhskaya* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kuban State Technological University.

*Касьянов Геннадий Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры технологии продуктов питания животного происхождения Кубанского государственного технологического университета.

*Gennady Kasyanov* – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology of Food Products of Animal Origin, Kuban State Technological University.

*Косенко Ольга Викторовна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания животного происхождения Кубанского государственного технологического университета.

*Olga Kosenko* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology of Animal Origin, Kuban State Technological University.

Ссылка для цитирования: *Шубина Л.Н., Запорожская С.П., Касьянов Д.Г., Косенко О.В.* Исследование уровня потребления рыбной продукции и вкусовых предпочтений покупателей // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 36 - 41. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-36-41.

## СВОЙСТВА И СИНТЕЗ ПОЛИЭФИРКЕТОНОВ

А.А. Конгапшев, Р.Ч. Бажева, А.М. Хараев

Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова  
Нальчик  
asker.kongapshev.93@bk.ru

**Аннотация.** В статье представлен обзор ароматических полиэфиркетонам, приведены их физико-механические свойства, рассмотрены схемы их получения. Описано получение олигокетона на основе диана и 4,4'-дихлорбензофенона ( $n = 1$ ) и синтез олигоэфира на основе диана и 1,1-дихлор-2,2ди(4-хлорфенил)этилена ( $n = 10$ ), а также синтез полиэфиркетонов на основе олигокетона и олигоэфира (ОК-10Д+ОЭ-10Д). Приведен анализ значения выхода и приведенной вязкости полученных сополиэфиров и характеристик синтезированных ароматических полиэфиркетонов. Выяснено, что для блок-сополиэфиров повышение степени конденсации исходных олигомеров приводит к понижению значений  $T_{ст}$  и  $T_{тек}$ , а с ростом длины исходных олигомеров доля гибких эфирных связей возрастает

**Abstract.** The article provides an overview of aromatic polyether ketones, presents their physical and mechanical properties, and discusses the schemes for their preparation. Described is the preparation of an oligoketone based on diane and 4,4'-dichlorobenzophenone ( $n = 1$ ) and the synthesis of an oligoester based on diane and 1,1-dichloro-2,2di (4-chlorophenyl) ethylene ( $n = 10$ ), as well as the synthesis of polyether ketones based on oligoketone and oligoester (OK-10D + OE-10D). The analysis of the yield and reduced viscosity of the obtained copolyesters and the characteristics of the synthesized aromatic polyether ketones was carried out. It was found that for block copolyesters, an increase in the degree of condensation of the initial oligomers leads to a decrease in the values of  $T_{st}$  and  $T_{tek}$ , and with an increase in the length of the initial oligomers, the fraction of flexible ether bonds increases

**Ключевые слова:** полиэфиркетон, полиэфирэфиркетон, поликонденсация, синтез, физико-механические свойства.

**Keywords:** polyetheretherketone, polyetheretherketone, polycondensation, synthesis, physical and mechanical properties.

## Введение

За последние двадцать лет очень распространенными полимерами стали полиэфиркетоны. Благодаря относительно невысокой цене и уникальным химическим, физико-механическим свойствам, полиэфиркетоны находят широкое применение в электротехнике,

механике, медицине и других сферах жизни человека.

Ароматические полиэфиркетоны – это полукристаллические полимеры с высокой износостойкостью при высоких и низких температурах, более известные по промышленным маркам *PEK* (рисунок 1, а) и *PEEK* (рисунок 1, б) [1, 2, 5].

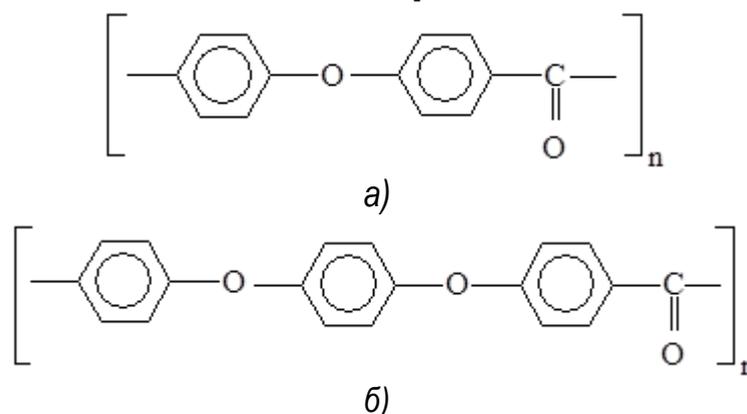


Рисунок 1 – Ароматические полиэфиркетоны: а) полиэфиркетон *PEK*;  
б) полиэфирэфиркетон *PEEK*

К основным физико-механическим свойствам полиэфиркетонов относят низкий коэффициент трения, низкий уровень проницаемости, высокий уровень теплопроводности, повышенную твердость, приемлемое удельное сопротивление, высокий уровень износостойкости, способность сохранять свойства при воздействии высоких температур и уровень истирания, равный параметру для мягких металлов [6, 8, 9, 10].

Полиэфиркетоны получают высокотемпературной поликонденсацией в две стадии. На первой стадии проводят реакцию между диоксисоединением и 4,4'-дихлорбензофеноном в присутствии карбоната калия в *N,N*-диметилацетамиде в токе азота в течение 3 часов при температуре 165°C и на второй стадии проводят взаимодействие между образовавшимися олигомерами с кон-

цевыми феноксидными группами с 4,4'-дифторбензофеноном в течение 4 часов в тех же условиях. В качестве исходного мономера могут быть использованы различные диоксисоединения ароматического строения: 4,4'-дигидроксифенол, 4,4'-дигидроксидифенилсульфон, 4,4'-дигидроксидифенилсульфон, 4,4'-дигидроксидифенил, 1,1-дихлор-2,2-ди(4-оксифенил)этилен, 1,1-дихлор-2,2-ди(3,5-дибром-4-оксифенил)этилен и др. [7, 11-16].

Галогенсодержащие ненасыщенные ароматические полиэфиркетоны получают взаимодействием мономера 2,2-ди-[4,4'-(1,1'-дихлор-2'-(4"-оксифенил)этилен)] фенилкарбонат]пропана с 4,4'-дихлордифенилкетонами или 4,4'-дифтордифенилкетонами [3, 4].

Схему получения полиарилэфиркетонов на основе 1,1-дихлор-2,2-ди(4-

оксифенил)этилена и 1,1-дихлор-2,2-ди(3,5-дибром-4-оксифенил)этилена мож-

но представить следующим образом (рисунок 2) [16]:

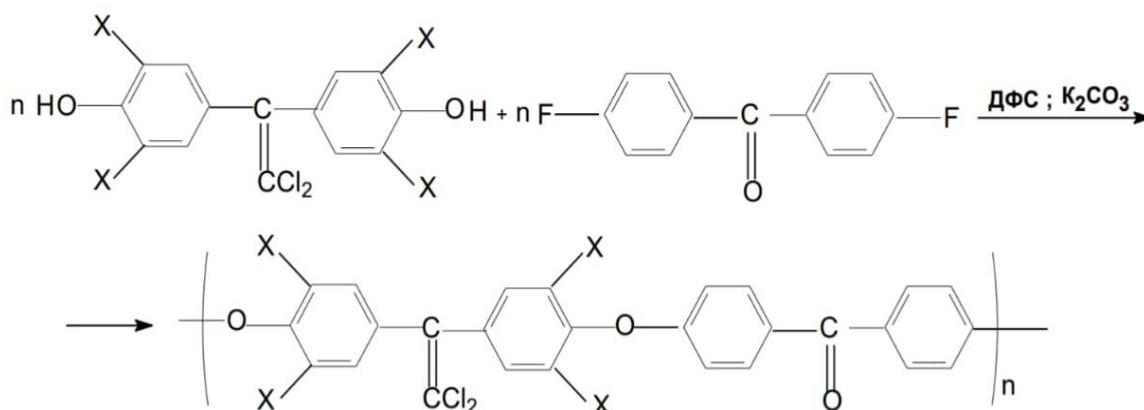


Рисунок 2 – Схема получения полиарилэтеркетонов

Основными производителями полиэфиркетонов являются Германия (*Roechling, Ensinger, Gehr*), Бельгия (*Quadrant*), США (*Victrix USA*) и Великобритания (*Victrix*). Самые известные марки зарубежных производителей – *SustaPEEK, KetronPEEK, TecaPEEK, VictrixPEEK, GehrPEEK*. Из отечественных производителей можно назвать АО «Институт пластмасс» с ТУ 20.16.40-554-00209349-2017. В настоящее время около половины мирового производства полиэфиркетонов приходится на Европу, около 30% - на США, около 20% - на Китай и Индию [1, 2].

Полиэфиркетон обладает уникальными эксплуатационными свойствами, благодаря которым его используют в различных областях промышленности. Из него делают подземное оборудование, элементы электроники и электротехники, штекеры, сердечники, разъемы, элементы автомобильной техники. В химической промышленности полиэфиркетон используют как связующий элемент при создании материалов специального назначения [1, 2].

Изучив структуру, методы синтеза, применение полиэфиркетонов, можно сделать вывод, что эти полимеры являются материалами будущего. Невысокая цена и физико-механические свойства делают полиэфиркетон оптимальной заменой дорогостоящих и экзотических материалов, таких как *PI* (полиимид), *PAI* (полиамидимид), *PEI* (полиэфиримид), *PES* (полиэфирсульфон), *PPSU* (полифениленсульфон), *PSU* (полисульфон), *PPS* (полифениленсульфид). *PEEK* является более доступным аналогом этих материалов.

#### **Получение олигокетона на основе диана и 4,4'-дихлорбензофенона (n = 1)**

В трехгорлую колбу емкостью 500 мл., снабженную механической мешалкой, ловушкой Дина-Старка, обратным холодильником, барботером для инертного газа загружают 5,737 г. (0,025 моль) 4,4'-диоксидифенил-2,2-пропана (диана), 20 мл. диметилсульфоксида и 60 мл. толуола. Реакционную массу нагревают до 60°C и подливают 5 мл. 8,967 н. раствора едкого натра. Затем

температуру в колбе поднимают до 130-140°C и отгоняют воду в виде азеотропной смеси с толуолом. После завершения отгонки всей воды реакционную смесь охлаждают до 70°C и вносят 3 г. (0,0125 моль) 4,4'-дихлорбензофенона и реакцию еще проводят при 160-170°C в течение 5 часов. Выход продукта со-

ставляет 98% от теоретического. Олигокетоны ОК-10Д и ОК-20Д получают по той же методике, меняя мольные соотношения диана и ДХДФК [8-11].

Свойства и данные, полученные в ходе элементного анализа олигокетонов показаны в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Свойства олигокетонов

| Олигомер | n  | Выход, % | Т разм., °С | Расчетная ММ | Содержание ОН - групп, % |         |
|----------|----|----------|-------------|--------------|--------------------------|---------|
|          |    |          |             |              | Вычислено                | Найдено |
| ОК-1Д    | 1  | 98       | 127-129     | 634,70       | 5,36                     | 5,30    |
| ОК-10Д   | 10 | 99       | 160-164     | 4293,18      | 0,79                     | 0,77    |
| ОК-20Д   | 20 | 97       | 168-173     | 8358,49      | 0,41                     | 0,40    |

Таблица 2 – Данные элементного анализа олигокетонов

| Олигомер | Вычислено, % |      |       | Найдено, % |      |       |
|----------|--------------|------|-------|------------|------|-------|
|          | С            | Н    | О     | С          | Н    | О     |
| ОК-1Д    | 79,47        | 6,03 | 14,49 | 79,39      | 5,82 | 15,00 |
| ОК-10Д   | 79,72        | 5,54 | 14,74 | 79,56      | 5,34 | 15,10 |
| ОК-20Д   | 79,75        | 5,50 | 14,75 | 19,58      | 5,31 | 15,29 |

### **Синтез олигоэфира на основе диана и 1,1-дихлор-2,2-ди(4-хлорфенил)этилена (n = 10)**

В трехгорлую колбу емкостью 500 мл, снабженную механической мешалкой, ловушкой Дина-Старка, обратным холодильником, барботером для подачи азота и термометром, вносят 2,51123 г. (0,011 моль) 4,4'-диоксидифенилпропана, 20 мл ДМСО и 40 мл толуола. При перемешивании пропускают азот и поднимают температуру до 70°C. После полного растворения 4,4'-диоксидифенилпропана прибавляют 2,16 мл 10,16 н. (0,022 моль) раствора едкого натра. Температуру поднимают до 130-140°C и отгоняют азеотропную смесь «толуол – вода». Реакционную массу охлаждают до 70 - 80°C и добавляют

3,18032г (0,01 моль) 1,1-дихлор-2,2-ди(4-хлорфенил)этилена. Температуру поднимают до 145-150°C и синтез проводят в течение 3 часов. Образовавшуюся массу разбавляют диметилсульфоксидом и высаждают в подкисленную дистиллированную воду. Выход целевого продукта коричневого цвета 97-98%. Температура размягчения 114-117°C [13-16]. Некоторые свойства полученных олигоэфиров приведены в таблице 3.

Хорошее совпадение теоретически рассчитанных и экспериментально найденных по составным элементам и гидроксильным группам свойств подтверждают образование олигомеров предполагаемой структуры (таблица 4).

Таблица 3 – Свойства олигоэфиров

| Олигомер | n  | Выход,<br>% | Т разм.,<br>°С | Расчетная<br>ММ | Содержание ОН - групп, % |         |
|----------|----|-------------|----------------|-----------------|--------------------------|---------|
|          |    |             |                |                 | Вычислено                | Найдено |
| ОЭ-1Д    | 1  | 96          | 94-95          | 701,6878        | 4,85                     | 4,84    |
| ОЭ-10Д   | 10 | 95          | 114-117        | 4962,2662       | 0,69                     | 0,68    |
| ОЭ-20Д   | 20 | 95          | 120-125        | 9696,2422       | 0,35                     | 0,34    |

Таблица 4 – Данные элементного анализа олигоэфиров

| Олигомер | Вычислено, % |      |      | Найдено, % |      |      |
|----------|--------------|------|------|------------|------|------|
|          | С            | Н    | О    | С          | Н    | О    |
| ОЭ-1Д    | 77,32        | 5,42 | 9,13 | 75,45      | 5,31 | 9,20 |
| ОЭ-10Д   | 73,85        | 4,76 | 7,10 | 74,03      | 4,65 | 7,17 |
| ОЭ-20Д   | 73,73        | 4,70 | 6,93 | 73,97      | 4,74 | 6,91 |

**Синтез полиэфиркетонов на основе олигокетона и олигоэфира(ОК-10Д+ОЭ-10Д)**

В двугорлую колбу емкостью 250 мл, снабженную механической мешалкой, загружают 8,57560г (0,002 моль) ОК-10Д, 9,92453г (0,002 моль) ОЭ-10Д, 50 мл дихлорэтана, 1,124 мл (0,0079 моль) триэтиламина и перемешивают. После растворения олигомеров к смеси добавляют 0,812г (0,004 моль) смеси (50:50) дихлорангидридов изо- и терефталевой кислот. Реакцию проводят 1 час, затем реакционную смесь разбав-

ляют 50 мл дихлорэтана и осаждают полимер в изопропиловом спирте. Выход – 97,0%. Синтез других полиэфиркетонов данного ряда проводят по той же методике [6-15].

Значения выхода и приведенной вязкости полученных сополиэфиров приведены в таблице 5. При получении ненасыщенных блок-сополиэфиров в качестве кислотных компонентов использованы дихлорангидриды изо- и терефталевой кислот в эквимольных количествах.

Таблица 5 – Выход и приведенная вязкость ароматических полиэфиркетонов

| Полиэфиры | № | Исходные олигоэфиры |             | Выход, % | Приведенная вязкость, дл/г |
|-----------|---|---------------------|-------------|----------|----------------------------|
|           |   | олигоэфиры          | олигокетоны |          |                            |
| ПЭК       | 1 | ОЭ-1Д               | ОК-1Д       | 97,5     | 1,73                       |
|           | 2 | ОЭ-10Д              | ОК-10Д      | 97,0     | 1,21                       |
|           | 3 | ОЭ-20Д              | ОК-20Д      | 98,0     | 1,06                       |

Как видно из таблицы 5, блок-сополиэфиры получают с количественным выходом и высокими вязкостными показателями. Эти показатели вместе с данными элементного анализа (таблица 6), свидетельствуют о полноте протекания реакции поликон-

денсации между олигомерами и дихлорангидридами фталевых кислот в выбранных условиях.

Синтезированные блок-сополиэфиры хорошо растворимы в хлорированных органических растворителях, из которых методом полива образуют про-

зрачные, прочные и гибкие пленки. В таблице 7 даны некоторые характеристики синтезированных ароматических

полиэфиркетонов. Номера полиэфиров соответствуют образцам таблицы 6.

Таблица 6 – Данные элементного анализа полиэфиров

| Полиэфиры на основе: | Вычислено, % |      |       | Найдено, % |      |       |
|----------------------|--------------|------|-------|------------|------|-------|
|                      | С            | Н    | О     | С          | Н    | О     |
| ОК-1Д+ОК-1Д          | 77,48        | 5,05 | 13,03 | 77,00      | 5,17 | 13,25 |
| ОК-10Д+ОК-10Д        | 77,75        | 5,04 | 9,75  | 77,10      | 5,21 | 9,88  |
| ОК-20Д+ОК-20Д        | 77,78        | 5,04 | 9,43  | 77,25      | 5,20 | 9,55  |

Таблица 7 – Данные элементного анализа полиэфиров

| Полиэфиры | № | Т <sub>ст.</sub> , °С | Т <sub>тек.</sub> , °С | ТГА, °С |     |     | δ <sub>p</sub><br>МПа | ε <sub>p</sub><br>% | КИ,<br>% |
|-----------|---|-----------------------|------------------------|---------|-----|-----|-----------------------|---------------------|----------|
|           |   |                       |                        | 2%      | 10% | 50% |                       |                     |          |
| ПЭК       | 1 | 200                   | 240                    | 367     | 430 | 560 | 72,5                  | 14,5                | 30,5     |
|           | 2 | 182                   | 222                    | 376     | 464 | 567 | 78,7                  | 11,2                | 33,0     |
|           | 3 | 175                   | 210                    | 388     | 512 | 583 | 82,9                  | 8,1                 | 35,5     |

Одним из наиболее важных методов исследования полимерных материалов является термохимический анализ, дающий сведения по ряду важнейших характеристик.

### Заключение

Исследование термохимических свойств полиэфиров показало, что для блок-сополиэфиров повышение степени конденсации исходных олигомеров приводит к понижению значений Т<sub>ст</sub> и Т<sub>тек</sub>. Их невысокие значения можно объяснить наличием в макроцепи большого количество гибких простых эфирных связей. С ростом длины исходных олигомеров доля гибких эфирных связей возрастает, что и приводит к падению значения термомеханических характеристик.

Исследования деформационно-прочностных характеристик дают возможность сделать вывод о том, что синтезированные блок-сополиэфиры характеризуются высокими показателями разрывной прочности и относительного удлинения. Для полиэфиркетонов с содержанием дихлорэтиленовых групп удлинение исходных олигомеров приводит к заметному повышению разрывной прочности. Это объясняется повышением плотности упаковки цепи для полиэфиров на основе более длинных олигокетонов. Это предположение косвенно подтверждается падением значения относительного удлинения образцов блок-сополиэфиров.

### Библиографический список

1. Хараев А.М., Бажева Р.С. Полиэфиркетоны: синтез, структура, свойства, применение (обзор) // Пластические массы. 2013. № 8. С. 13-19.
2. Полимер полиэфирэфиркетон – уникальный материал химической промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/>

poliefirketon.html.

3. Патент 2680596 РФ. Ненасыщенный ароматический полиэфиркетон / Султыгова З.Х., Инаркиева З.И., Хараев А.М., Бажева Р.Ч. Оpubл. 25.02.2019. Бюл. № 6.

4. Патент 2605554 РФ. Мономер для поликонденсации / Бажева Р.Ч., Бажев А.З., Хараев А.М. Оpubл. 20.12.2016. Бюл. № 35.

5. Султыгова З.Х., Инаркиева З.И., Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Паштова Л.Р. Ароматические полиэфиркетоны: синтез и свойства // Новые полимерные композиционные материалы. Микитаевские чтения: сборник материалов XV межд. науч.-практ. конф., Нальчик, 03-07 июля 2019 г. – Нальчик: Принт-Центр, 2019. С. 365-368.

6. Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Кереева Л.Ю., Лукожев Р.В. Синтез и свойства ненасыщенных полиэфиркетонов блочного строения // Пластические массы. 2012. № 12. С. 38-42.

7. Шаов А.М., Хараев А.М., Микитаев А.К., Карданов А.З., Хасбулатова З.С. Ароматические полиэфиркетоны и полиэфирэфиркетоны (обзор) // Пластические массы. 1990. № 11. С. 14-17.

8. Хараев А.М., Бажева Р.Ч., Чайка А.А. Композиционные материалы на основе поликарбоната (обзор). Пластические массы. 2006. № 8. С. 26-31.

9. Машуков Н.И., Халиков Р.М., Хараев А.М. Стабилизация и модификация молекулярных структур. – Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. -216 с.

10. Хараев А.М., Микитаев А.К., Шустов Г.Б. Синтез и некоторые свойства блок-сополисульфонарилатов на основе олигосульфенфенолфталеинов // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. 1984. Т. 26. № 4. С. 271-274.

11. Kharayev A.M., Mikitaev A.K., Bazheva R.C., Zaikov G.E. The synthesis and properties of unsaturated halogen-containing poly (arylene ether ketone)s // Monomers, oligomers, polymers, composites and nanocomposites research. Pethrick R.A., Zaikov G.E., Pielichowski J. USA, 2009. P. 103-114.

12. Хасбулатова З.С., Шаов А.Х., Хараев А.М., Микитаев А.К., Матвелашвили Г.С. Сложные полиэфиры на основе производных п-оксибензойной кислоты // Пластические массы. 1992. № 3. С. 3-7.

13. Barokova E.B., Haraev A.M., Bazheva R.C., Haraeva R.A. Oligosulphonates on the basis of 1,1-dichloro-2,2-di(4-oxophenyl)ethylene and 4-4'-dichlorodiphenylsulphone obtained by high-temperature polycondensation. Journal of the Balkan Tribological Association. 2010. Т. 16. № 2. P. 284-287.

14. Ozden S., Charayev A.M., Shaov A.H., Shustov G.B. Synthesis and assessment of the properties of polyetherketones (pek) based on polyglycol ketone phenolphthaleins (okpp)-polyester block copolymers. Journal of Applied Polymer Science. 1998. Т. 68. № 6. P. 1013-1017.

15. Ozden S., Charayev A.M., Bazheva R.C. Synthesis and modification of aromatic polyesters with chloroacetyl 3,5-dibromo-p-hydroxybenzoic acid. Journal of Applied Polymer Science. 2009. Т. 111. № 4. P. 1755-1762.

16. Kharaev A., Oshroeva R., Bazheva R., Sakhtueva L. Synthesis and properties of halogen containing simple and complex block copolyethers. Chemistry and Chemical Technology. 2017. Т. 11. № 2. P. 166-170.

### References

1. Haraev A.M., Bazheva R.C.H. Poliefirketon: sintez, struktura, svojstva, primeneniye (obzor) // Plasticheskie massy. 2013. № 8. P. 13-19.

2. Polimer poliefirfirketon – unikal'nyj material himicheskij promyshlennosti [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://polimerinfo.com/kompozitnye-materialy/poliefirfirketon.html>.
3. Patent 2680596 RF. Nenasyshchennyj aromaticheskij poliefirfirketon / Sulyt'gova Z.H., Inarkieva Z.I., Haraev A.M., Bazheva R.CH. Opubl. 25.02.2019. Byul. № 6.
4. Patent 2605554 RF. Monomer dlya polikondensacii / Bazheva R.CH., Bazhev A.Z., Haraev A.M. Opubl. 20.12.2016. Byul. № 35.
5. Sulyt'gova Z.H., Inarkieva Z.I., Haraev A.M., Bazheva R.CH., Pashtova L.R. Aromaticheskie poliefirfirketony: sintez i svoystva // Novye polimernye kompozicionnye materialy. Mikitaevskie chteniya: sbornik materialov XV mezhd. nauch.-prakt. konf., Na'chik, 03-07 iyulya 2019 g. – Na'chik: Print-Centr, 2019. P. 365-368.
6. Haraev A.M., Bazheva R.CH., Kerefova L.YU., Lukozhev R.V. Sintez i svoystva nenasyshchennyh poliefirfirketonov blochnogo stroeniya // Plasticheskie massy. 2012. № 12. P. 38-42.
7. SHAov A.M., Haraev A.M., Mikitaev A.K., Kardanov A.Z., Hasbulatova Z.S. Aromaticheskie poliefirfirketony i poliefirfirketony (obzor) // Plasticheskie massy. 1990. № 11. P. 14-17.
8. Haraev A.M., Bazheva R.CH., CHajka A.A. Kompozicionnye materialy na osnove polikarbonata (obzor). Plasticheskie massy. 2006. № 8. P. 26-31.
9. Mashukov N.I., Halikov R.M., Haraev A.M. Stabilizaciya i modifikaciya molekulyarnyh struktur. – Saarbrucken: Palmarium Academic Publishing, 2014. -216 p.
10. Haraev A.M., Mikitaev A.K., SHustov G.B. Sintez i nekotorye svoystva blok-sopolisul'fonarilatov na osnove oligosul'fonfenolftaleinov // Vysokomolekulyarnyesoedineniya. Seriya B. 1984. T. 26. № 4. P. 271-274.
11. Kharayev A.M., Mikitaev A.K., Bazheva R.C., Zaikov G.E. The synthesis and properties of unsaturated halogen-containing poly (arylene ether ketone)s // Monomers, oligomers, polymers, composites and nanocomposites research. Pethrick R.A., Zaikov G.E., Pielichowski J. USA, 2009. P. 103-114.
12. Hasbulatova Z.S., SHAov A.H., Haraev A.M., Mikitaev A.K., Matvelashvili G.S. Slozhnye poliefiry na osnove proizvodnyh p-oksibenzojnoj kisloty // Plasticheskie massy. 1992. № 3. P. 3-7.
13. Barokova E.B., Haraev A.M., Bazheva R.C., Haraeva R.A. Oligosulphones on the basis of 1,1-dichloro-2,2-di(4-oxyphenyl)ethylene and 4-4'dichlorodiphenylsulphone obtained by high-temperature polycondensation. Journal of the Balkan Tribological Association. 2010. T. 16. № 2. P. 284-287.
14. Ozden S., Charayev A.M., Shaov A.H., Shustov G.B. Synthesis and assessment of the properties of polyetherketones (pek) based on polygoketonephenolphthaleines (okpp)-polyester block copolymers. Journal of Applied Polymer Science. 1998. T. 68. № 6. P. 1013-1017.
15. Ozden S., Charayev A.M., Bazheva R.C. Synthesis and modification of aromatic polyesters with chloroacetyl 3,5-dibromo-p-hydroxybenzoic acid. Journal of Applied Polymer Science. 2009. T. 111. № 4. P. 1755-1762.
16. Kharaev A., Oshroeva R., Bazheva R., Sakhtueva L. Synthesis and properties of halogen containing simple and complex block copolyethers. Chemistry and Chemical Technology. 2017. T. 11. № 2. P. 166-170.

*Статья поступила 11.09.2021 г.*

*© А.А. Конганшев, Р.С. Бажева, А.М. Хараев, 2021*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Конгапшев Аскер Анибальевич* – аспирант кафедры органической химии и высокомолекулярных соединений Института химии и биологии Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

*Asker Kongapshev* – Postgraduate Student of the Institute of Chemistry and Biology, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekova.

*Бажева Рима Чамаловна* – доктор химических наук, профессор кафедры органической химии и высокомолекулярных соединений Института химии и биологии Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

*Rima Bazheva* – Doctor of Chemistry, Professor of the Department of Organic Chemistry and Macromolecular Compounds of the Institute of Chemistry and Biology, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekova.

*Хараев Арсен Мухамедович* – доктор химических наук, профессор, директор Института химии и биологии Кабардино-Балкарского государственного университета имени Х.М. Бербекова.

*Arsen Kharaev* – Doctor of Chemical Sciences, Professor, Director of the Institute of Chemistry and Biology, Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekova.

Ссылка для цитирования: *Конгапшев А.А., Бажева Р.Ч., Хараев А.М.* Свойства и синтез полиэфиркетонов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 42-50. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-42-50.

## ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ САЛОМАСА ОТ НЕНАСЫЩЕННЫХ КИСЛОТ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИМЕРНЫХ СОРБЕНТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭТИЛЕНПОЛИАМИНОВ

Ю.М.-А. Султанов, М.Г. Мурсалова

*Дагестанский государственный технический университет, Махачкала  
E-mail: yusultanov@mail.ru*

**Аннотация.** Разработана технология очистки саломаса от свободных ненасыщенных кислот с использованием полимерных сорбентов, которая исключает из процесса промывку, фильтрацию, а также связанные с этим потери. Предложено в процессе рафинации в качестве химического реагента использовать полимерные сорбенты на основе полиэтиленполиаминов. Исследованы характеристики образцов саломаса при одно- и двукратном пропускании масла через слой сорбента. Предложенная технология позволяет упростить многостадийную и трудоемкую очистку растительных масел и жиров.

**Abstract.** A technology for cleaning salomas from free unsaturated acids using polymer sorbents has been developed, which excludes washing, filtration, and associated losses from the process. It is proposed to use polymer sorbents based on polyethylene polyamines as a chemical reagent in the refining process. The characteristics of the samples of salomas were investigated with one- and two-fold passing of oil through the sorbent layer. The proposed technology makes it possible to simplify the multistage and laborious purification of vegetable oils and fats.

**Ключевые слова:** саломас, свободные ненасыщенные кислоты, полимерные сорбенты, очистка масел.

**Keywords:** salomas, free unsaturated acids, polymer sorbents, oil refining.

### **Введение**

Растительные масла, получаемые любым способом и из любого сырья, обязательно подвергают очистке. По степени очистки пищевые растительные масла разделяют на сырые, нерафинированные и рафинированные.

В результате рафинации обеспечивается прозрачность масла, отсутствие отстоя, неприятного запаха и вкуса.

Саломасом называется продукт

гидрогенизации некоторых жидких растительных и животных жиров. При обыкновенной температуре саломас – твердое вещество, не имеющее запаха. Саломас омыляется растворами едких щелочей средней крепости и дает хорошее ядровое мыло, пригодное для переработки в туалетное.

Сырьем для получения растительных масел являются масличные культуры, произрастающие на почвах, со-

держатся тяжелые металлы, поэтому в растительных маслах в том или ином количестве они могут содержаться.

Для получения саломаса подсолнечное масло и лауриновый жир смешивают в соотношении 1:1,22 по массе, добавляют никелевый катализатор и подают на гидрирование. Для безопасности жизни и здоровья людей содержание тяжелых металлов в растительных маслах регламентируется соответствующими техническими нормативными правовыми актами и в обязательном порядке контролируется. Важнейшими нормативно-правовыми актами для растительных масел являются санитарные правила и нормы и стандарты, например ГОСТ 1129-93 [1]. Согласно техническим нормативно-правовым актам содержание тяжелых металлов во всех видах растительных масел не должно превышать (мг/кг): свинец – 0,1; мышьяк – 0,1; кадмий – 0,05; ртуть – 0,03; железо – 5,0; медь – 0,5.

Наличие следов переходных металлов в растительных маслах и жирах придает им неприятный привкус и запах, отрицательно влияет на процесс дезодорации, а также приводит к прогорканию масла в процессе хранения, так как металлы даже в очень малых количествах являются катализаторами окисления масел. Также отрицательно сказывается наличие в растительных маслах свободных ненасыщенных жирных кислот, склонных к окислению и полимеризации.

Для осуществления известных способов адсорбционной очистки растительных масел и жиров от свободных ненасыщенных жирных кислот используют полярные адсорбенты: бентонитовые глины-алюмосиликаты или активи-

рованные угли. Существующая технология экстракционной очистки масел имеет существенные недостатки, вызванные тем, что реакция связывания свободных ненасыщенных жирных кислот происходит на границе раздела водной и углеводородной фаз, для чего необходимо организовать интенсивное диспергирование водной фазы в углеводородной среде. Затем водорастворимые продукты, содержащие кислоты, нужно разделять на сепарационных устройствах, при этом происходят потери масла, а сам процесс является длительным и многостадийным [2, 3, 4].

#### ***Технология использования полимерных сорбентов для очистки саломаса от свободных ненасыщенных жирных кислот***

С целью упрощения технологии очистки саломаса и сокращения потерь в процессе рафинации в качестве химического реагента были использованы полимерные сорбенты на основе полиэтиленполиаминов.

Все сорбенты в этом случае, кроме обработки по стандартной методике, проходили специальную обработку для использования в пищевой промышленности.

Процесс очистки растительных масел проводился в широком интервале температур 288-363 К. Оптимальный температурный режим определяется физико-химическими и физико-механическими характеристиками этих образцов. Оптимальные температуры для очистки саломаса 313-348 К. Осуществление процесса очистки растительных масел и жиров при температурах выше 348 К нецелесообразно, так как это не приводит к дальнейшему

снижению содержания кислот, но сопряжено с дополнительными энергетическими затратами. А очистка при температурах ниже 313 К неэффективна, так как увеличивается продолжительность процесса ввиду увеличения вязкости и снижения динамических характеристик.

Давление не влияет на эффективность очистки саломаса с помощью сорбентов и, поэтому, процесс целесообразно проводить при атмосферном давлении.

Использование полимерных сорбентов для очистки масел, вместо традиционных кислотных химических реагентов с последующей промывкой или обработкой адсорбентами, позволяет:

- упростить многостадийную и трудоемкую технологию очистки растительных масел и жиров;
- проводить очистку при атмосферном давлении, исключить из процесса стадию обработки жиров химическими

реагентами в вакууме;

- исключить фильтрацию, сепарацию и промывку, а также связанные с этим потери масел.

Сорбент загружали в стеклянную колонку диаметром 30 мм и высотой 200 мм. Оптимальное отношение высоты загруженного слоя сорбента к диаметру колонки составляло 3:1. Время контакта – 5 часов.

Остаточное содержание исходных продуктов синтеза сорбентов, которые, несмотря на сшитую структуру, могли частично перейти в масла, было определено с помощью атомно-абсорбционного метода. Результаты показали полное отсутствие полимерного реагента или фрагментов полимера в рафинируемом жировом сырье.

Результаты использования полимерных сорбентов для очистки саломаса от свободных ненасыщенных жирных кислот приведены в таблице.

Таблица – Результаты очистки саломаса от свободных ненасыщенных жирных кислот

| Характеристика  | Номер исследуемого образца жира |      |      |                 |      |
|---|---------------------------------|------|------|-----------------|------|
|   | саломас пищевой                 |      |      | саломас пищевой |      |
|   | 1                               | 2    | 3    | 1               | 2    |
| Начальное содержание свободных жирных кислот, мг КОН/г                                      | 3,0                             |      |      | 6,2             |      |
| Температура, °С   | 65                              | 45   | 40   | 65              | 75   |
| Количество пропущенного жира, г   | 400                             | 400  | 400  | 400             | 350  |
| Содержание жирных кислот после однократного пропускания масла через слой сорбента, мг КОН/г | 2,0                             | 2,3  | 2,6  | 5,3             | 5,3  |
| Содержание жирных кислот после двукратного пропускания масла через слой сорбента, мг КОН/г  | 1,01                            | 1,15 | 1,34 | 1,25            | 1,20 |

В процессе очистки полимерными сорбентами при однократном пропускании через слой сорбента содержание свободных ненасыщенных жирных кислот в саломасе уменьшается в 1,5 раза. Кроме того, использование полимерных сорбентов позволило исключить потери масла. Двукратное пропускание саломаса через слой сорбента приводит к дальнейшему уменьшению содержания свободных ненасыщенных жирных кислот в саломасе.

Регенерация стационарного слоя сорбента осуществляется промывкой растворителем (бензин, гексан, серный эфир) с последующей обработкой 1 н. раствором соляной кислоты и затем 1н. раствором щелочи. Жиры, полученные

после отгонки растворителя, содержат значительное количество свободных ненасыщенных жирных кислот. Тем не менее, они могут быть использованы как техническое жировое сырье, т.е. в тех отраслях промышленности, где содержание свободных ненасыщенных жирных кислот в жирах не так строго регламентируется, например, для получения мыла, жирных кислот.

### **Заключение**

Разработанная технология полимерных сорбентов для очистки саломаса от свободных ненасыщенных жирных кислот позволяет проводить процесс с высокой эффективностью по сравнению с традиционными методами.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 1129-2013. Масло подсолнечное. Технические условия. - М.: Изд-во Стандартиформ, 2014.
2. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / Р. О'Брайен; пер. с англ. 2-го изд. В. Д. Широкова, Д. А. Бабейкиной, Н. С. Селивановой, Н. В. Магды. - СПб.: Профессия, 2007. - 752 с.
3. Паронян В. Технология жиров и жирозаменителей. - М.: ДеЛи принт, 2006. - 760 с.
4. Ипатова Л. Г., Кочеткова А. А., Нечаев А. П., Тутельян В. А. Жировые продукты для здорового питания. Современный взгляд. - М.: ДеЛи принт, 2009. - 396 с.

### **References**

1. GOST 1129-2013. Maslo podsolnechnoe. Tekhnicheskie usloviya. - M.: Izd-vo Standartinform, 2014.
2. O'Brajen R. ZHiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svojstva, primenenie / R. O'Brajen; per. s angl. 2-go izd. V. D. SHirokova, D. A. Babejkinoj, N. S. Selivanovoj, N. V. Magdy. - SPb.: Professiya, 2007. - 752 p.
3. Paronyan V. Tekhnologiya zhиров i zhировzamenitelej. - M.: DeLi print, 2006. - 760 p.
4. Ipatova L. G., Kochetkova A. A., Nechaev A. P., Tutel'yan V. A. ZHirovye produkty dlya zdorovogo pitaniya. Sovremennyj vzglyad. - M.: DeLi print, 2009. - 396 s.

*Статья поступила 21.11.2021 г.  
© Ю.М.-А. Султанов, М.Г. Мурсалова, 2021*

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Султанов Юсуф Магомед-Агаевич* – доктор химических наук, доцент кафедры химии Дагестанского государственного технического университета.

*Yusuf Sultanov* – Doctor of Chemistry, Associate Professor of the Department of Chemistry, Daghestan State Technical University.

*Мурсалова Марьям Гашумовна* – кандидат химических наук, доцент химии Дагестанского государственного технического университета.

*Maryam Mursalova* – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of Chemistry, Daghestan State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Султанов Ю.М.-А., Мурсалова М.Г.* Технология очистки саломаса от ненасыщенных кислот с помощью полимерных сорбентов на основе полиэтиленполиаминов // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 51 - 55. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-51-55.

# ТРАНСПОРТ И ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

.....  
.....  
.....

УДК 662.769.2

doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-2-56-62

## АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПЛАТИНОВЫМ КАТАЛИЗАТОРОМ И ПОЛИМЕРНОЙ МЕМБРАНОЙ

*К.Р. Коробейникова, Г.С. Мазлумян*

*Московский автомобильно-дорожный государственный технический  
университет (МАДИ), Москва  
korobeynikova909@mail.ru*

**Аннотация.** Обосновано масштабное применение водородных топливных элементов на автотранспорте в ближайшем будущем. Рассмотрены характеристики источников выработки топлива нового поколения с использованием различных типов катализаторов: в виде полимерной мембраны на основе перфторированной сульфокислоты и углеводородной сульфокислоты. Выдвинуты основные требования к мембране и, в частности, к ее протонной проводимости.

**Abstract.** The large-scale application of hydrogen fuel cells in road transport in the near future has been substantiated. The characteristics of new generation fuel sources using various types of catalysts are considered: in the form of a polymer membrane based on perfluorinated sulfonic acid and hydrocarbon sulfonic acid. The basic requirements are put forward for the membrane and, in particular, for its proton conductivity.

**Ключевые слова:** водород, топливный элемент, автотранспорт, катализатор, мембрана.

**Keywords:** hydrogen, fuel cell, vehicles, catalyst, membrane.

### **Введение**

Растущая углеводородная экономика неотвратимо ведет человечество к общемировой энергетической и экологической катастрофе (усиливающийся парниковый эффект, расширение озоновых дыр в стратосфере, кислотные

дожди, предельно опасные канцерогенно-мутагенные загрязнения атмосферы городов с развитым автомобильным транспортом и т.д.) [1]. Значительный прирост энергопотребления, который весь мир ожидает к 2030-2050 годам, толкает человечество к принятию быст-

рых и решительных действий в данном вопросе.

Сегодня мировой спрос на альтернативные источники энергии растет с каждым днём. Водород – один из самых перспективных возобновляемых источников энергии по всему миру, он находит своё применение во многих областях промышленности, в том числе и на транспорте [2]. Но применение водорода в явном виде влечет за собой ряд особенностей, которые указывают на нерентабельность использования данного вида сырья в чистом виде, поэтому использование топливных элементов с различными видами катализаторов позволит оценить весь спектр показателей применения водородных технологий на автотранспорте. Цель работы – провести анализ топливных элементов с полимерной мембраной разных типов и выявить преимущества и недостатки их использования в силовых автомобильных установках.

### **Материалы и методы исследования**

Среди всего многообразия источников энергии свою определенную нишу занимают топливные элементы. Принципиальным их отличием от аккумуляторов является то, что топливо находится вне конструкции самого аппарата. Вследствие этого энергосистема не требует глобального повышения мощности. Последние несколько десятков лет топливные элементы набирают всё большие обороты развития, их схема приведена на рисунке 1 [3].

Топливные элементы вырабатывают электроэнергию за счет химической реакции газообразного водорода и кислорода. Каждый отдельный топливный элемент в блоке осуществляет превра-

щение химической энергии топлива в электричество в процессе электрохимической реакции, в которой водород используется со стороны анода и кислород на стороне катода. Единственным побочным продуктом реакции является обычная вода.

В процессе реакции молекулы водорода разделяются на электроны и катионы водорода на стороне анода. На платиновом катализаторе анода молекулярный водород теряет электроны. Поток электронов движется к катоду кислорода, вырабатывая электроэнергию для питания электродвигателя.

Между тем, катионы водорода проводятся через полимерную мембрану на сторону катода, где при соединении с кислородом образуется вода. Для этой реакции в качестве катализатора также используется платина.

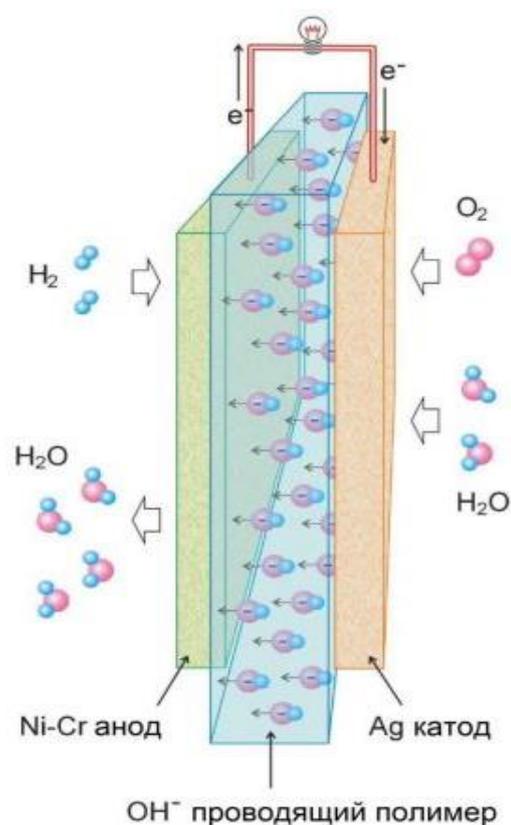


Рисунок 1 – Схема топливного элемента

Таким образом, платина – необходимый компонент для производства электроэнергии в топливных элементах, играющий жизненно важную роль в повышении их эффективности. Сложность заключается в том, что платина – редкий и дорогостоящий элемент. В процессе реакции наночастицы платины укрупняются, что приводит к снижению количества электроэнергии, вырабатываемого топливным элементом.

Недостатком водородных топливных элементов является довольно высокая стоимость материалов, используемых для производства катализаторов. Топливные элементы пока остаются дорогими. Это обусловлено небольшими объемами их выпуска. Переход к массовому производству неизбежно приведет к кратному снижению их стоимости. Кроме того, эффективность систем такого типа ниже, чем при хранении энергии в аккумуляторах. Процесс производства водорода также требует определенных затрат энергии. Несмотря на это, считается, что водород имеет значительный потенциал в качестве источника энергии, как для автомобилей, так и для стационарных установок. Следует, однако, помнить, что водородные топливные элементы – это технология, которая все еще находится на стадии разработки, но значение компаний в этом секторе постоянно растет.

Топливные элементы имеют множество разновидностей катализаторов. Современные платиновые катализаторы – полиметаллические устройства, изготовленные из оксида алюминия, с хлористыми микродобавками и равномерно распределенными по всему объему платиной и вторым металлом [4, 5].

Платина в этом случае имеет структуру порошка, который равномерно нанесен на окись алюминия, либо на другой материал.

Преимущества данного катализатора заключаются в достаточно высоком коэффициенте полезного действия, в долговечности, но не стоит забывать, что такие катализаторы очень быстро выходят из строя и загрязняются различными примесями. Основным недостатком таких катализаторов является их чрезвычайно высокая стоимость, которая в значительной мере препятствует их коммерциализации и в целом к внедрению в транспортную отрасль. В другом виде топливных элементов в качестве катализатора используется полимерная мембрана, которая имеет толщину в среднем 3 – 4 листа белой бумаги. Основной плюс таких мембран – это эффективно работать в условиях низких температур, что актуально для России. Схема такого топливного элемента приведена на рисунке 2.

В данном типе топливных элементов отделение ионов обеспечивает сама мембрана топливного элемента. Мембрана обеспечивает проводимость протонов, но не электронов. Структура самой полимерной мембраны представлена на рисунке 3 [6]. Отличительной особенностью таких топливных элементов является максимально допустимая доля примесей окиси углерода – 10–100 мг/кг. Такие топливные элементы значительно дешевле, просты в использовании и обладают высоким выходом мощности. Так как топливный элемент должен быть рассчитан на продолжительную работу, все его элементы должны быть устойчивы ко многим его составляющим.

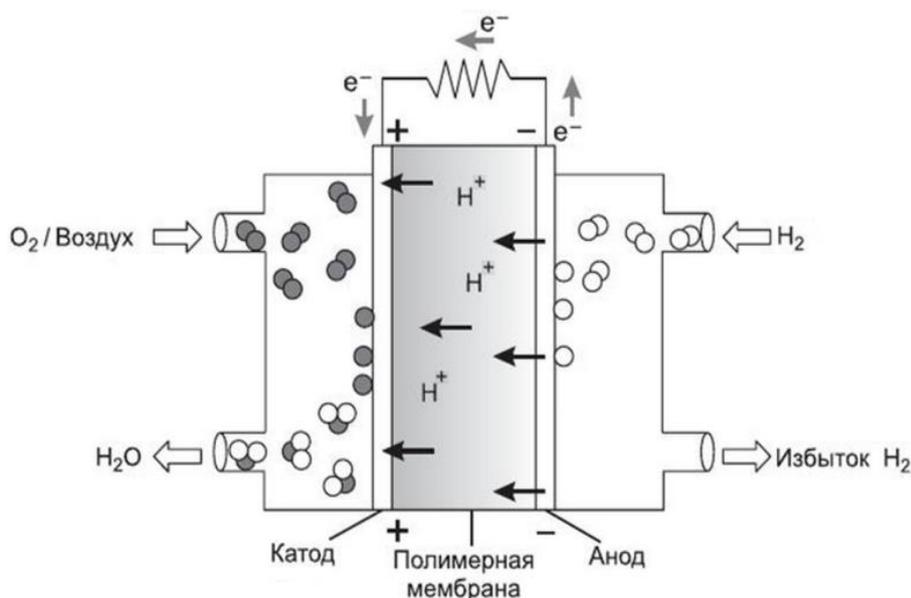


Рисунок 2 – Схема топливного элемента с полимерной мембраной

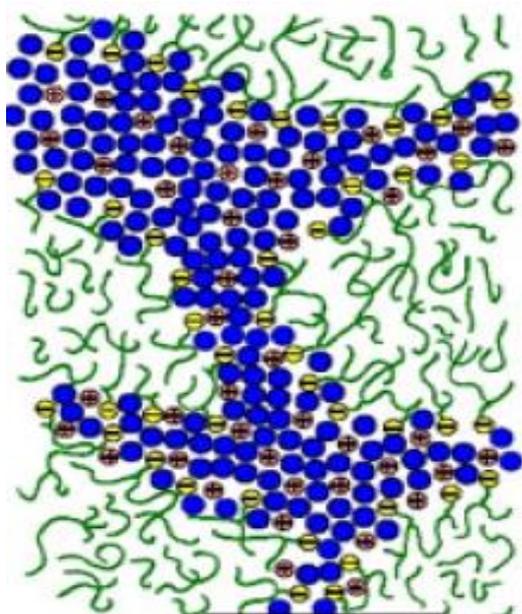


Рисунок 3 – Канальная структура полимерной мембраны

В том числе мембрана должна быть устойчива к основному продукту реакции (т. е. воде) и к побочным продуктам. Поэтому, для обеспечения хороших выходных и ресурсных характеристик топливных элементов, должны выполняться следующие основные требования к мембране [7]:

- отсутствие электронной проводимости;
- высокая протонная проводимость (высокое значение  $S/cm$ );
- сопротивление механическому изменению;
- малая проницаемость для реагентов;
- долговременная стабильность.

### Результаты и обсуждение

Полимерные мембраны делятся на два вида (на основе перфторированной серной кислоты и углеводородной серной кислоты). Мембраны на основе перфторированной кислоты отличаются рядом положительных свойств. Они имеют высокую газонепроницаемость, инертны, имеют достаточно хорошую протонную проводимость (примерно  $0,1 S/cm$ ) и не подвергаются механическим воздействиям от внешних источников. Зависимость протонной проводимости мембраны на основе перфторированной серной кислоты от температуры при относительной влажности 100% представлена на рисунке 4 [8].

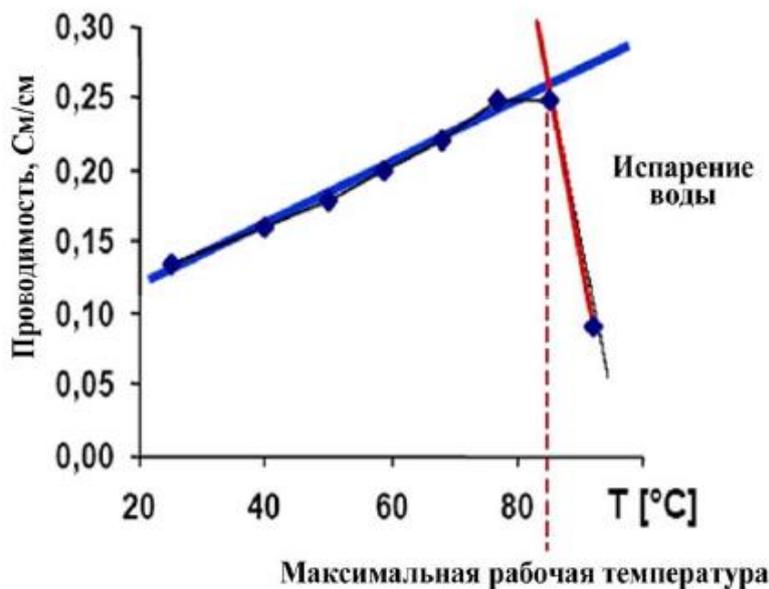


Рисунок 4 – Зависимость протонной проводимости мембраны на основе перфторированной сульфокислоты от температуры при относительной влажности 100%

Однако существует отличительная особенность у мембраны на основе перфторированной кислоты, которая связана с её проводимостью – степень увлажнения мембраны достаточно

сильно влияет на протонную проводимость мембраны. Зависимость протонной проводимости мембраны от влажности окружающей среды при 25°C представлена на рисунке 5 [8].

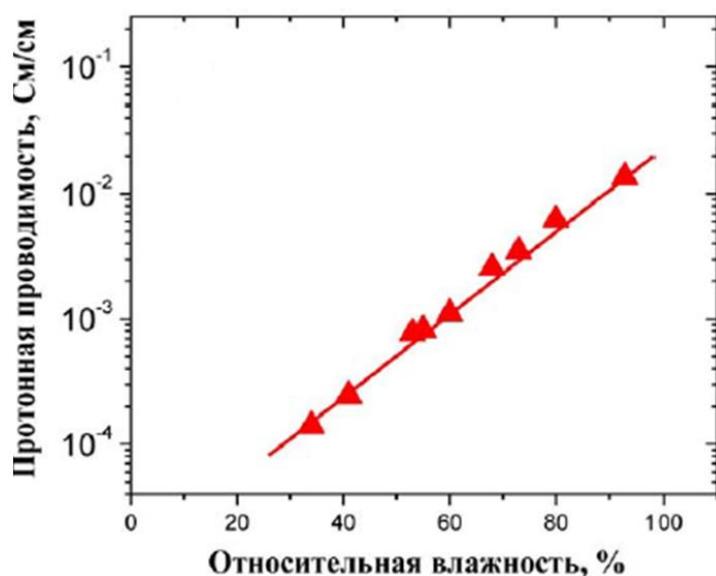


Рисунок 5 – Зависимость протонной проводимости мембраны от влажности окружающей среды при 25°C

Перфторированные сульфокислоты имеют выраженную гидрофобность, что приводит в проблеме удержания воды и проводимости протонов [8]. Как следствие, температурный диапазон работы топливного элемента имеет ограничение до 80°C. Также они имеют доста-

точно высокую стоимость, как и платиновые катализаторы.

Другой тип мембран – на основе полимерной углеводородной сульфокислоты. Структура у такой мембраны также канальная, но положительным отличительным свойством этого материала является менее дорогой синтез

углеводородных полимеров и малая гидрофобность материала. Данная способность расширяет рабочий температурный диапазон топливных элементов. К незначительным минусам можно отнести низкую проницаемость мембраны по метанолу и кислороду и более плохие механические свойства.

### **Заключение**

Выявлены преимущества использования топливных элементов с полимерной мембраной разных типов. Отличительная особенность у мембраны на основе перфторированной кислоты – степень увлажнения мембраны достаточно сильно влияет на протонную проводимость мембраны. Исследования показали, что использование топливных элементов с платиновыми катализаторами будет значительно дороже и сложнее в применении в промышленных масштабах, чем такие же топливные элементы с альтернативным катализатором.

тальная особенность у мембраны на основе перфторированной кислоты – степень увлажнения мембраны достаточно сильно влияет на протонную проводимость мембраны. Исследования показали, что использование топливных элементов с платиновыми катализаторами будет значительно дороже и сложнее в применении в промышленных масштабах, чем такие же топливные элементы с альтернативным катализатором.

### **Библиографический список**

1. Канило П.М., Костенко К.В. Перспективы становления водородной энергетики и транспорта // Автомобильный транспорт (Харьков). 2008. № 23. С. 107-113.
2. Филиппов С., Голодницкий А., Кашин А. Топливные элементы и водородная энергетика // Энергетическая политика. 2020. № 11 (153). С. 28-39.
3. Лебедева М.В., Яштулов Н.А. Топливные элементы – характеристика, физико-химические параметры, применение. – М.: Мир науки, 2020. Сетевое издание. Режим доступа: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPU20.pdf>.
4. Хорошилова П.Я. Катализаторы нефтепромышленности платиновые и палладиевые [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://katalizator1.ru/blog/2018/07/19/katalizatory-neftepromyshlennosti-platinovye-i-palladievye/> (дата обращения: 21.09.2021).
5. Ола Дж., Гепперт А., Пракаш С. Метанол и энергетика будущего. Когда закончатся нефть и газ. - М.: Лаборатория знаний, 2020. - 419 с.
6. Левин А.В., Улямаев М.А., Безгин А.А. Мембраны топливных элементов // Молодой ученый. 2019. № 47 (285). С. 16-19. URL: <https://moluch.ru/archive/285/64207/> (дата обращения: 26.12.2021).
7. В.Г. Пономарева. В кн.: Мембраны и мембранные технологии / Под ред. А.Б. Ярославцева. – М.: Научный мир, 2013. С. 169.
8. Пирский Ю.К. Низкотемпературные топливные элементы: проблемы и перспективы // Выездная сессия научного совета НАН Украины по проблеме «Электрохимия», 21-25 января 2013 г., Ивано-Франковск.

### **References**

1. Kanilo P.M., Kostenko K.V. Perspektivy stanovleniya vodorodnoj energetiki i transporta // Avtomobil'nyj transport (Har'kov). 2008. № 23. P. 107-113.
2. Filippov S., Golodnickij A., Kashin A. Toplivnye elementy i vodorodnaya ener-getika // Energeticheskaya politika. 2020. № 11 (153). P. 28-39.
3. Lebedeva M.V., YAshtulov N.A. Toplivnye elementy – harakteristika, fiziko-himicheskie parametry, primenenie. – M.: Mir nauki, 2020. Setevoe izdanie. Rezhim dostupa: <https://izd-mn.com/PDF/23MNNPU20.pdf>.

4. Horoshilova P.YA. Katalizatory neftepromyshlennosti platinovye i palladievye [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://katalizator1.ru/blog/2018/07/19/katalizatory-neftepromyshlennosti-platinovye-i-palladievye/> (data obrashcheniya: 21.09.2021).

5. Ola Dzh., Geppert A., Prakash S. Metanol i energetika budushchego. Kogda zakonchatsya neft' i gaz. - M.: Laboratoriya znaniy, 2020. - 419 p.

6. Levin A.V., Ulyamaev M.A., Bezgin A.A. Membrany toplivnyh elementov // Molodoj uchenyj. 2019. № 47 (285). S. 16-19. URL: <https://moluch.ru/archive/285/64207/> (data obrashcheniya: 26.12.2021).

7. V.G. Ponomareva. V kn.: Membrany i membrannye tekhnologii / Pod red. A.B. YAroslavceva. – M.: Nauchnyj mir, 2013. P. 169.

8. Pirskij YU.K. Nizkotemperaturnye toplivnye elementy: problemy i perspektivy // Vyezdna-ya sessiya nauchnogo soveta NAN Ukrainy po probleme «Elektrohimiya», 21-25 yanvarya 2013 g., Ivano-Frankovsk.

*Статья поступила 29.10.2021 г.*  
© К.Р. Коробейникова, Г.С. Мазлумян, 2021

---

**Сведения об авторах**  
**List of Authors**

---

*Коробейникова Кристина Рудольфовна* – инженер кафедры транспортных установок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

*Kristina Korobeynikova* – Engineer of the Department of Transport Installations, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI)

*Мазлумян Григорий Сергеевич* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой транспортных установок Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ).

*Grigory Mazlumyan* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Transport Installations, Moscow Automobile and Road Construction State Technical University (MADI).

Ссылка для цитирования: *Коробейникова К.Р., Мазлумян Г.С.* Анализ характеристик водородных топливных элементов с платиновым катализатором и полимерной мембраной // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 56 – 62. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-56-62.

## ПОДБОР СОСТАВА БЕТОННОЙ СМЕСИ, ПЕРЕКАЧИВАЕМОЙ БЕТОНОНАСОСОМ, В СООТВЕТСТВИИ С НОРМАТИВНЫМИ ТРЕБОВАНИЯМИ

А.А. Постовой, С.А. Масленников

*Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал)  
Донского государственного технического университета, г. Шахты  
E-mail: aleksandr.postovoy01@mail.ru*

**Аннотация.** *Статья посвящена анализу существующих нормативных документов, регламентирующих требования к бетонной смеси, перекачиваемой бетононасосом и правильному подбору ее состава. Выявлены достоинства и недостатки использования бетононасосов для подачи бетонной смеси к месту укладки. В ходе выполнения исследования был выполнен сравнительный анализ требований действующих нормативных документов и определены требования к бетонной смеси, определяющие эффективную ее подачу на строительный объект.*

**Abstract.** *The article is devoted to the analysis of existing regulatory documents governing the requirements for the concrete mixture pumped by a concrete pump and the correct selection of its composition. The advantages and disadvantages of using concrete pumps for supplying concrete mixture to the place of laying are revealed. In the course of the study, a comparative analysis of the requirements of the current regulatory documents was carried out and the requirements for the concrete mixture were determined, which determine its effective supply to the construction site.*

**Ключевые слова:** *бетононасос, бетоновод, требования, бетонная смесь, мелкий заполнитель, крупный заполнитель, нормативный документ.*

**Keywords:** *concrete pump, concrete pipeline, requirements, concrete mix, fine aggregate, large aggregate, normative document.*

### **Введение**

Современное строительство сложно представить без использования специальной техники, благодаря которой снижаются временные затраты и уве-

личиваются темпы возведения зданий и сооружений. Увеличение объёмов строительства и необходимость подачи бетонной смеси к месту укладки с ограниченным доступом обуславливает все

более широкое применение бетононасосов. Подобные установки реализуются на российском рынке представителями ряда крупных производителей, а также доступны для аренды в большинстве сколько-нибудь крупных городов РФ (рисунок). Бетононасосы активно используются при строительстве высотных зданий и сооружений, железнодорожных объектов и мостов, а также в других местах, где требуются большие объемы подачи бетонной смеси к месту укладки [1].

Широкая область применения бетононасосов обусловлена целым рядом следующих достоинств:

- небольшие трудозатраты;
- высокие темпы подачи бетонной смеси к месту укладки;
- возможность подачи смеси в места с ограниченным доступом;
- мобильностью;
- непрерывность подачи бетонной смеси;
- возможность подачи смеси на большие расстояния, как по горизонтали, так и по вертикали.

В работе [2] автором обоснована перспективность, технологичность, низкая стоимость и другие преимущества

способа подачи бетонной смеси с использованием бетононасосов.

Следует отметить, что при использовании бетононасосов особые требования предъявляются к составу смеси, их несоблюдение приводит к преждевременному изнашиванию, поломке бетоновода, его закупорке и невозможности дальнейшей подачи смеси. Рекомендации по составу смеси приводят производители оборудования в технических паспортах. Эти требования отражены также в действующих нормативных документах [3, 4]. Особенность транспортировки строительного раствора заключается в учете определенных качеств состава: однородности, пригодности к перекачке и связанности компонентов, чтобы избежать расслоения. Все ингредиенты, используемые при изготовлении раствора, должны соответствовать стандартам.

Целью исследования является разработка методики подбора состава бетонной смеси, соответствующего требованиям [4], при использовании местных мелкозернистых песков с большим содержанием пылеватых частиц.



*Рисунок – Использование бетононасоса на стройке*

На первом этапе исследования были определены требования к бетонной смеси, предъявляемые действующими нормативными документами и проведен их сравнительный анализ.

Сбор необходимой информации был осуществлен по следующим источникам: учебные и учебно-методические пособия; отчеты о выполнении научно-исследовательских работ; научные статьи; сайты организаций, выпускающих и представляющих в аренду бетононасосы; нормативная документация.

### **Анализ нормативных документов**

На основе собранной информации были выделены два нормативных документа [3, 4] в которых приведены требования к бетонной смеси. Они были проанализированы и сведены в таблицы 1 и 2.

При сравнении требований к бетонной смеси нормативных документов [3, 4], выявлены существенные различия, которые сведены в таблицу 3.

*Таблица 1 – Требования и рекомендации к материалам и бетонным смесям, перекачиваемым по бетоноводу [3]*

| Характеристики   |                     | Значения   |
|--|---------------------|--|
| Подвижность  | рекомендуемая       | от 4 до 14 см  |
|  | оптимальная         | 6-8 см   |
| Водоцементное отношение  | рекомендуемая       | не выше 0,75   |
|  | оптимальная         | 0,4-0,6  |
| Пылевидные частицы крупностью менее 0,14 мм                    |                     | до 3-7 %   |
| Мелкие частицы крупностью менее 0,31 мм                        |                     | 15-20 %  |
| Мелкие, менее 0,06 мм, пылевидные, илистые и глинистые частицы |                     | не должно превышать 3 % в природном песке и 5 % в дробленном |
| Доля песка в общей массе заполнителей                          | гравий              | 32-50 %  |
|  | щебень              | 40-60 %  |
| Максимальный размер зерен                                      | гравий              | 0,4  |
|  | щебень              | не более одной трети внутреннего диаметра бетоновода         |
| МЗ (песчаная мелочь и пылевидные частицы)                      |                     | от 32 до 45 %  |
| КЗ   | гравий              | до 55 %  |
|  | щебень              | до 60 - 65 %   |
| Добавки  | суперпластификаторы | С-3, МФ-АР, 10-03, 40-03, 50-03                              |
|  | пластификаторы      | НИП-20, СДБ, ЛСТМ-2, НККОД и др.                             |

*\*МЗ – мелкий заполнитель; \*\*КЗ – крупный заполнитель*

### **Результаты**

По результатам сравнительного анализа данных сделаны следующие выводы:

1. В документе [4], в отличие от [3], отсутствуют рекомендации по подвиж-

ности и водоцементному отношению. Это может быть связано с тем, что в 80-е годы прошлого века не было большого опыта применения бетононасосов и в нормативные документы были внесены единичные результаты передового

опыта. В последующие годы был накоплен большой опыт работы подобной техники, сама конструкция претер-

пела изменения, стала более надежной и менее чувствительной к подвижности смеси.

Таблица 2 – Требования и рекомендации к материалам и бетонным смесям, перекачиваемым по бетоноводу [4]

| Характеристики   |                     | Значения   |
|--|---------------------|--|
| Минимальный расход цемента без добавок                                       |                     | не менее 300 кг/м <sup>3</sup> при классе бетона В20   |
| Вид  | гравий              | лучше применять  |
|  | щебень              | ухудшает перемещение бетонной смеси по бетоноводу и приводит к ускоренному износу бетононасоса |
| Рекомендуемый размер, если другие требования не указаны в паспорте механизма |                     | не должен превышать 20 мм  |
| Пылевидные частицы крупностью до 0,15 мм                                     |                     | до 5 %   |
| Мелкие частицы крупностью до 0,3 мм  |                     | в пределах 20 % от общей массы   |
| МЗ (песчаная мелочь и пылевидные частицы)                                    |                     | от 32 до 45 %  |
| КЗ   | гравий              | до 55 %  |
|  | щебень              | до 60 - 65 %   |
| Добавки  | Суперпластификаторы | С-3, МФ-АР, 10-03, 40-03, 50-03  |
|  | пластификаторы      | НИП-20, СДБ, ЛСТМ-2, ННКОД   |

Таблица 3 – Сравнительная характеристика требований к бетонной смеси [3, 4]

| №                                      | Характеристика   | Руководство по укладке ... [2] | Рекомендации по бетонированию конструкций ... [3] |
|--|--|--------------------------------|---|
| Общие требования                       |  |                                |   |
| 1                                      | Рекомендации по подвижности                                    | +                              | -   |
| 2                                      | Рекомендации по водоцементному отношению                       | +                              | -   |
| Содержание мелкого заполнителя (песка) |  |                                |   |
| 3                                      | Пылевидные частицы, %  | до 3-7                         | до 5  |
| 4                                      | Мелкие частицы, %  | 15-20                          | в пределах 20 от общей массы                      |
| 5                                      | Мелкие, менее 0,06 мм, пылевидные, илистые и глинистые частицы | +                              | -   |
| 6                                      | Доля песка в общей массе заполнителей                          | +                              | -   |
| Крупный заполнитель                    |  |                                |   |
| 7                                      | Размер зерен   | гравий                         | 0,4   |
|  |  | щебень                         | не более 1/3 внутреннего диаметра бетоновода      |
| 8                                      | Минимальный расход цемента без добавок                         | -                              | +   |

Производители бетононасосов стали приводить свои рекомендации и требования в соответствие конструктивным особенностям выпускаемой ими техники, из-за этого исчезла необходимость в нормировании данной характеристики.

2. Содержание пылевидных частиц в заполнителе ограничили жестче, чем в документе [3]. Содержание в мелком и крупном заполнителе пылевидных фракций влечет за собой увеличение водопотребности [5], а значит, при том же водоцементном отношении, приводит к уменьшению подвижности.

3. Ограничение по содержанию мелких частиц стало менее жестким [4].

4. Содержание частицы размером менее 0,06 мм не нормируется в [4]. Подобные частицы зачастую состоят из ила, а также глинистых и минеральных частиц, присутствие которых снижает удобоукладываемость и отрицательно сказывается на свойствах бетона [6].

5. Доля песка в общей массе заполнителей не указана в документе [4]. Это связано с тем, что доля песка должна определяться экспериментально-расчетными методами, в документе [3] были приведены ориентировочные значения проведенных расчетов. Современные конструкции установок гораздо менее чувствительны к подвижности сме-

си и, соответственно, к факторам, влияющим на нее, в связи с чем и были исключены.

6. Требования к размеру зерен крупного заполнителя претерпели изменения из-за того, что более крупные фракции увеличивают вероятность возникновения пробок в бетоноводе, имеют большую инерцию при их подаче, приводят к ускоренному изнашиванию трубопровода и деталей насосного оборудования.

7. В более поздний документ включен пункт о минимальном содержании цемента при отказе от использования пластифицирующих добавок, это снижает абразивное воздействие на трубопровод.

### **Заключение**

Проведенный анализ показал, что со временем требования и рекомендации нормативных документов к бетонной смеси, перекачиваемой бетононасосом, стали более жесткими. Правильный подбор состава бетонной смеси поможет избежать поломки и закупоривания бетоновода, а также позволит избежать проблем по поиску фирм, которые согласятся оказать услуги по прокачке смеси.

### **Библиографический список**

1. Бетононасосы: виды и применение / СтройСМИ: [сайт]. URL: <https://www.stroysmi.ru/tehnika/betononasosy-vidy-i-primenenie/> (дата обращения : 16.07.2020).
2. Постовой А.А. Выбор рационального способа подачи бетонной смеси // Молодой исследователь Дона. 2020. № 6 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-ratsionalnogo-sposoba-podachi-betonnoy-smesi> (дата обращения: 28.06.2021).
3. Руководство по укладке бетонных смесей бетононасосными установками. – М.: Стройиздат, 1978. - 144 с.
4. Рекомендации по бетонированию конструкций с помощью автобетононасоса при транспортировке бетонной смеси автобетоносмесителями 102-04. – М.: ОАО ПКТИпромстрой, 2004. – 55 с.

5. Волков В.Г., Елшин И.М., Харин А.И., Хрусталеv М.Н. Обогащение и фракционирование природных песков для бетона гидравлическим способом. - М.: Стройиздат, 1964. – 163 с.

6. Монгуш С.С. Влияние свойств мелких заполнителей на качество бетона // Вестник Туvинского государственного университета. Технические и физико-математические науки. 2011. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-svoystv-melkih-zapolniteley-na-kachestvo-betona> (дата обращения: 29.06.2021).

#### **References**

1. Betononasosy: vidy i primeneniye / StrojSMI: [sajt]. URL: <https://www.strojsmi.ru/tehnika/betononasosy-vidy-i-primeneniye/> (data obrashcheniya : 16.07.2020).

2. Postovoj A.A. Vybora racional'nogo sposoba podachi betonnoj smesi // Molodoj issledovatel' Dona. 2020. № 6 (27). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vybor-ratsionalnogo-sposoba-podachi-betonnoj-smesi> (data obrashcheniya: 28.06.2021).

3. Rukovodstvo po ukladke betonnyh smesey betononasosnymi ustanovkami. – М.: Strojizdat, 1978. - 144 p.

4. Rekomendacii po betonirovaniyu konstrukcij s pomoshch'yu avtobetonososa pri transportirovke betonnoj smesi avtobetonosmesitel'nyimi 102-04. – М.: ОАО PKTIprom-stroj, 2004. – 55 p.

5. Volkov V.G., Elshin I.M., Harin A.I., Hrustalev M.N. Obogashchenie i frakcionirovanie prirodnyh peskov dlya betona gidravlicheskim sposobom. - М.: Strojizdat, 1964. – 163 p.

6. Mongush S.S. Vliyanie svoystv melkih zapolniteley na kachestvo betona // Vestnik Tuvinского государственного университета. Tekhnicheskie i fiziko-matematicheskie nauki. 2011. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-svoystv-melkih-zapolniteley-na-kachestvo-betona> (data obrashcheniya: 29.06.2021).

*Статья поступила 03.10.2021 г.*

© А.А. Постовой, С.А. Масленников, 2021

---

#### **Сведения об авторах List of Authors**

---

*Постовой Александр Александрович* – студент кафедры строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета в г. Шахты.

*Aleksandr Postovoy* – Student of the Department of Construction and Technosphere Safety, Institute of Service and Business (branch), Don State Technical University.

*Масленников Станислав Александрович* – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой строительства и техносферной безопасности Института сферы обслуживания и предпринимательства (филиала) Донского государственного технического университета в г. Шахты.

*Stanislav Maslennikov* – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Construction and Technosphere Safety, Institute of Service and Business (branch), Don State Technical University.

Ссылка для цитирования: *Постовой А.А., Масленников С.А.* Подбор состава бетонной смеси, перекачиваемой бетононасосом, в соответствии с нормативными требованиями // Научные исследования: итоги и перспективы. 2021. Т. 2, № 4. С. 63-68. doi: 10.21822/2713-220X-2021-2-4-63-68.

## Правила оформления и представления статей

1. Статья, направляемая в редакцию журнала «Научные исследования: итоги и перспективы», должна быть тщательно отредактирована и представлена в электронном виде в формате текстового редактора «MS Word 2007» (параметры страницы – А4; поля – 2,0 см; ориентация книжная; шрифт Times New Roman, высота 12; межстрочный интервал – 1,0). Текст статьи представляют в редакцию по электронной почте: naukajournal@mail.ru.

2. Статья должна содержать краткий обзор проблемы, из которого следует постановка задачи, обосновывать актуальность темы, отражать теоретические и (или) экспериментальные результаты и содержать выводы, свидетельствующие о новизне полученных результатов. Текст статьи должен быть четко структурирован и иметь подзаголовки: введение, теоретические и (или) экспериментальные исследования, заключение, список литературы.

3. В начале статьи в левом верхнем углу ставится индекс УДК. Далее на первой странице данные идут в такой последовательности: – инициалы и фамилии авторов, – полное название статьи (шрифт жирный, буквы прописные), – краткая (5-7 строк) аннотация (курсив), – ключевые слова (5-7 слов). Далее авторы, название статьи, аннотация и ключевые слова повторяются на английском языке. Затем идет текст самой статьи и библиографический список. Статья завершается сведениями об авторах: ф.и.о. (полностью), ученая степень, ученое звание, место работы (полностью), должность, контактные телефоны. Сведения об авторах также повторяются на английском языке. Количество авторов рекомендуется не более пяти.

4. Объем статьи не должен превышать 10 страниц текста, содержать не более 5 рисунков или фотографий. Иллюстрации (рисунки, графики) должны быть расположены в тексте статьи и выполнены в одном из графических редакторов (формат tif, rcc, jpg, pcd, msp, dib, cdr, cgm, eps, wmf). Допускается также создание и представление графиков при помощи табличных процессоров Excel, Quattro Pro, MS Graph. Каждый рисунок должен иметь номер и подпись. Рисунки и фотографии должны иметь контрастное изображение. Таблицы располагаются непосредственно в тексте статьи. Каждая таблица должна иметь номер и заголовки.

5. Формулы и буквенные обозначения величин должны быть набраны во встроенном редакторе формул. Каждая формула, на которую есть ссылка в статье, должна иметь номер, расположенный у правой границы поля страницы.

6. Размерность всех величин, принятых в статье, должна соответствовать Международной системе единиц измерений (СИ). Не следует употреблять сокращенных слов, кроме общепринятых (т.е., и т.д., и т.п.). Допускается введение предварительно расшифрованных сокращений.

7. Библиографический список должен быть оформлен по ГОСТ 7.0.5-2008 и включать: фамилию и инициалы автора, название статьи, название журнала, том, год, номер или выпуск, страницы, а для книг – фамилии и инициалы авторов, точное название книги, место издания (город), издательство, год издания, количество страниц. Нумерация источников указывается в порядке упоминания в тексте.

8. При необходимости к статье прилагаются заключение о возможности открытого опубликования и экспертное заключение комиссии по экспортному контролю.

9. Все статьи проходят проверку на оригинальность.

10. Статья рецензируется ведущим учёным в данной области, как правило, доктором наук.

11. Электронная версия опубликованной статьи размещается в системе РИНЦ.

12. Редакция оставляет за собой право производить редакционные изменения, не искажающие основное содержание статьи.

13. Статьи, не отвечающие перечисленным требованиям, к рассмотрению не принимаются. Датой поступления статьи считается день получения редакцией окончательного текста. В случае отказа в публикации статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

14. Статьи публикуются бесплатно.

«Научные исследования; итоги и перспективы» – рецензируемый научно-технический журнал, публикующий статьи по следующим научным направлениям и специальностям:

**05.12.00 – Радиотехника и связь.**

05.12.04 – Радиотехника, в том числе системы и устройства телевидения.

05.12.07 – Антенны, СВЧ устройства и их технологии. 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций. 05.12.14 – Радиолокация и радионавигация.

**05.02.00 – Машиностроение и машиноведение**

05.02.02 – Машиноведение системы приводов и детали машин. 05.02.04 – Трение и износ в машинах. 05.02.08 – Технология машиностроения.

**05.27.00 – Электроника.**

05.27.01 – Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах.

**05.22.00 – Транспорт.**

05.22.01 – Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте. 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта.

**25.00.00 – Науки о Земле.**

25.00.17 – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.

25.00.19 – Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ.

25.00.35 – Геоинформатика.

**05.18.00 – Технология продовольственных продуктов.**

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов плодоовощной продукции и виноградарства.

05.18.06 – Технология жиров, эфирных масел и парфюмерно-косметических продуктов. 05.18.07 – Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ. 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания.

**05.23.00 – Строительство.**

05.23.21 – Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности. 05.23.01 – Строительные конструкции, здания и сооружения. 05.23.07 – Гидротехническое строительство. 05.23.16 – Гидравлика и инженерная гидрология.

**05.17.00 – Химическая технология.**

05.17.01 – Технология неорганических веществ. 05.17.04 – Технология органических веществ. 05.17.06 – Технология и переработка полимеров и композитов. 05.17.07 – Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ.

**НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ:  
итоги и перспективы  
2021 № 4 (Том 2)**

**SCIENTIFIC RESEARCHES:  
results and prospects  
2021 № 4 (Vol. 2)**

Ответственный за выпуск – Ирзаев Г.Х.  
Компьютерная верстка – Алиева П.А.  
Дизайн обложки – Тагиев М.Х.

Подписано в печать 10.01.2022 г. Дата выхода в свет 15.01.2022 г.  
Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 8,32. Уч.-изд. л. 3,76. Тираж 500. Заказ № 842

Электронная версия журнала  
«Научные исследования: итоги и перспективы»  
размещена на сайте [www.dstu.ru](http://www.dstu.ru)

Учредитель/редакция/издатель  
Дагестанский государственный технический университет  
Адрес: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70.  
Тел. +7 (8722) 62 37 15  
E-mail: [naukajournal@mail.ru](mailto:naukajournal@mail.ru)

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИП Тагиева Р.Х.  
г. Махачкала, ул. Батырая, 149. Тел.: 8 928 048 10 45

**“ ф о р м а т ”**