

УДК 553.98; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2024-1.03>
<https://orcid.org/0000-0002-7979-1188>
<https://orcid.org/0000-0001-9891-035X>
<https://orcid.org/0000-0003-4229-429X>
<https://orcid.org/0000-0003-1947-2449>
<https://orcid.org/0000-0002-0182-4330>

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГИДРОФОБНЫХ ЭМУЛЬСИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОДОИЗОЛЯЦИОННЫХ РАБОТ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ



Б.С. АХЫМБАЕВА¹,
 PhD, ассоц. профессор
 кафедры «Нефтяная
 инженерия»,
*b.akhymbayeva@satbayev.
 university*



С.З. КАБДУЛОВ²,
 доктор технических наук,
 профессор кафедры
 «Нефтегазовая инженерия»,
serik_kabd@mail.ru



Б.К. МАУЛЕТБЕКОВА¹,
 магистр техники и технологии,
 докторант,
*b.mauletbekova@satbayev.
 university*



А.Х. СЫЗДЫКОВ¹,
 кандидат технических наук,
 PhD, профессор кафедры
 «Нефтяная инженерия»,
a.syzdykov@satbayev.university



А.Т. БАКШЕВА¹,
 PhD, ассоц. профессор
 кафедры «Нефтяная инженерия»,
a.bakesheva@satbayev.university

¹«SATBAYEV UNIVERSITY»,
Республика Казахстан, г. Алматы, 050013, ул. Сатпаева, 22а

²АО «КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»,
Республика Казахстан, г. Алматы, 050000, ул. Толе Би, 59

Данная статья посвящена исследованию и внедрению методов обеспечения водоизоляции работ в нефтяной сфере с использованием гидрофобных эмульсий. В контексте современных требований к экологической безопасности и эффективности производственных процессов в нефтяной отрасли, где вода может стать источником проблем, внедрение инновационных материалов и технологий играет важную роль.

Проведение лабораторных исследований гидрофобных эмульсий для водоизоляционных работ в нефтяной сфере представляет собой многопроцессный подход, начиная от первичной оценки химической составляющей и заканчивая тщательным тестированием на соответствие требованиям конкретных условий эксплуатации. В ходе анализа осуществляется оценка физико-химических свойств эмульсии, таких как плотность, вязкость, уровень pH, степень дисперсии, а также ее адгезионные и когезионные характеристики.

Особое внимание уделяется исследованию поверхностных свойств гидрофобных эмульсий, так как их способность образовывать устойчивые водоотталкивающие покрытия напрямую влияет на эффективность защиты от воздействия воды. Для этого проводятся тесты на смачиваемость, контактный угол, адгезию к различным типам поверхностей, что позволяет определить оптимальные условия применения эмульсий в конкретных ситуациях.

Статья описывает принципы действия гидрофобных эмульсий в контексте водоизоляционных работ, подчеркивая их способность создавать защитный барьер, предотвращая проникновение влаги в нефтяные сооружения. В работе представлены результаты лабораторных исследований, демонстрирующих эффективность применения гидрофобных эмульсий в различных условиях эксплуатации.

Статья обсуждает технические аспекты применения гидрофобных эмульсий в процессе ВИР, анализирует их стойкость к различным факторам окружающей среды, а также рассматривает перспективы развития данной технологии в нефтяной промышленности. Полученные результаты могут быть полезными для специалистов, занимающихся вопросами водоизоляции в нефтяных предприятиях, а также для научного и инженерного сообщества, заинтересованного в развитии инновационных технологий в нефтяной сфере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВИР, полимер, эмульсия, полиакриламид, реагент, водоизоляция.

МҰНАЙ КЕН ОРЫНДАРЫНДА СУ ОҚШАУЛАУ ЖҰМЫСТАРЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ ҮШІН ГИДРОФОБТЫ ЭМУЛЬСИЯЛАРҒА ЗЕРТХАНАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕР ЖҮРГІЗУДІ ТАЛДАУ

Б.С. АХЫМБАЕВА¹, PhD, «Мұнай инженериясы» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, b.akymbayeva@satbayev.university

С.З. КАБДУЛОВ², т.ғ.д., «Мұнай-газ инженерия» кафедрасының профессоры, serik_kabd@mail.ru

Б.К. МАУЛЕТБЕКОВА¹, техника және технология магистрі, докторант, b.mauletbekova@satbayev.university

А.Х.СЫЗДЫКОВ¹, техника ғылымдардың докторы, PhD докторы, «мұнай өндірісі» кафедрасының профессоры, SU, a.syzdykov@satbayev.university

А.Т. БАКЕШЕВА¹, PhD, "Мұнай инженериясы" кафедрасының қауымдастырылған профессоры, a.bakesheva@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сәтбаев к-сі, 22

²«ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІ» АҚ,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ., 050000, Төле Би 59 көшесі

Бұл мақала гидрофобты эмульсияларды қолдана отырып, мұнай саласындағы су оқшаулау жұмыстарын (СОЖ) қамтамасыз ету әдістерін зерттеуге және енгізуге арналған. Су проблемалардың көзіне айналуы мүмкін мұнай өнеркәсібіндегі экологиялық қауіпсіздік пен өндірістік процестердің тиімділігіне қойылатын заманауи талаптар аясында инновациялық материалдар мен технологияларды енгізу маңызды рөл атқарады.

Мұнай саласындағы СОЖ үшін гидрофобты эмульсияларға зертханалық зерттеулер жүргізу химиялық құрамдас бөлікті бастапқы бағалаудан бастап нақты пайдалану жағдайларының талаптарына сәйкестігін мұқият тестілеуге дейінгі көп процестік тәсілді білдіреді. Талдау барысында эмульсияның тығыздығы, тұтқырлығы, рН деңгейі, дисперсия дәрежесі, сондай-ақ оның адгезиялық және когезиялық сипаттамалары сияқты физика-химиялық қасиеттері бағаланады.

Гидрофобты эмульсиялардың беткі қасиеттерін зерттеуге ерекше назар аударылады, өйткені олардың тұрақты су өткізбейтін жабындарды қалыптастыру қабілеті судың өсерінен қорғаудың тиімділігіне тікелей әсер етеді. Ол үшін ылғалдылық, байланыс бұрышы, әр түрлі беттерге адгезия сынақтары жүргізіледі, бұл нақты жағдайларда эмульсияларды қолданудың оңтайлы шарттарын анықтауға мүмкіндік береді.

Мақалада гидрофобты эмульсиялардың су оқшаулау жұмыстары контекстінде әрекет ету принциптері сипатталған, олардың мұнай құрылымдарына ылғалдың енуіне жол бермей, қорғаныс тосқауылын жасау қабілетіне баса назар аударылады. Жұмыста өртүрлі жұмыс жағдайларында гидрофобты эмульсияларды қолданудың тиімділігін көрсететін зертханалық зерттеулердің нәтижелері келтірілген.

Мақалада СОЖ процесінде гидрофобты эмульсияларды қолданудың техникалық аспектілері талқыланады, олардың қоршаған ортаның өртүрлі факторларына төзімділігін талдайды, сонымен қатар мұнай өнеркәсібінде осы технологияның даму перспективаларын қарастырады. Алынған нәтижелер мұнай кәсіпорындарындағы су оқшаулау мәселелерімен айналысатын мамандар үшін, сондай-ақ мұнай саласындағы инновациялық технологияларды дамытуға мүдделі ғылыми және инженерлік қоғамдастық үшін пайдалы болуы мүмкін.

Осы мақаланың мақсаты зертханалық зерттеулер жүргізуді талдау, полимерлік құрамды қолдану бойынша ұсыныстар беру болып табылады.

ТҮЙІНДІ СӨЗДЕР: СОЖ, полимер, эмульсия, полиакриламид, реагент, су оқшаулау.

ANALYSIS OF LABORATORY STUDIES OF HYDROPHOBIC EMULSIONS TO ENSURE WATER INSULATION WORK IN OIL FIELDS

B.S. AKHYMBAYEVA¹, PhD, Associate Professor of the Department of «Petroleum Engineering»,
b.akhymbayeva@satbayev.university

S.Z. KABDULOV², Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of «Oil and Gas Engineering»,
serik_kabd@mail.ru

B.K. MAULETBEKOVA¹, Master of Engineering and Technology, PhD student,
b.mauletbekova@satbayev.university

A.Kh. SYZDYKOV¹, Candidate of Technical Sciences, PhD, Professor of the Department of «Petroleum Engineering»,
a.syzdykov@satbayev.university

A.T. BAKESHEVA¹, PhD, associated professor, department of «Petroleum Engineering»,
a.bakesheva@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Republic of Kazakhstan, 050043, Almaty, Satpayev st., 22

²JSC «KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY»,
Republic of Kazakhstan, Almaty, 050000, 59 Tole Bi str.

This article is devoted to the research and implementation of methods for ensuring water insulation works (WIW) in the oil sector using hydrophobic emulsions. In the context of modern requirements for environmental safety and efficiency of production processes in the oil industry, where water can become a source of problems, the introduction of innovative materials and technologies plays an important role.

Conducting laboratory studies of hydrophobic emulsions for WIW in the oil sector is a multi-process approach, starting from the initial assessment of the chemical component and ending with thorough testing for compliance with the requirements of specific operating conditions. The analysis evaluates the physico-chemical properties of the emulsion, such as density, viscosity, pH level, degree of dispersion, as well as its adhesive and cohesive characteristics.

Special attention is paid to the study of the surface properties of hydrophobic emulsions, since their ability to form stable water-repellent coatings directly affects the effectiveness of protection against water exposure. To do this, tests are carried out on wettability, contact angle, adhesion to various types of surfaces, which allows us to determine the optimal conditions for the use of emulsions in specific situations.

The article describes the principles of action of hydrophobic emulsions in the context of waterproofing works, emphasizing their ability to create a protective barrier, preventing moisture penetration into oil facilities. The paper presents the results of laboratory studies demonstrating the effectiveness of the use of hydrophobic emulsions in various operating conditions.

The article discusses the technical aspects of the use of hydrophobic emulsions in the WIW process, analyzes their resistance to various environmental factors, and also considers the prospects for the development of this technology in the oil industry. The results obtained can be useful for specialists dealing with water insulation in oil companies, as well as for the scientific and engineering community interested in the development of innovative technologies in the oil sector.

The purpose of this article is to analyze laboratory research and provide recommendations on the use of polymer composition.

KEY WORDS: *WIW, polymer, emulsion, polyacrylamide, reagent, water insulation.*

Введение. Большинство нефтяных месторождений Республики Казахстан находятся на поздней и завершающих стадиях разработки, которые характеризуются увеличением доли трудноизвлекаемых запасов нефти, снижением годовых отборов нефти и высокой обводненностью добываемой продукции. Поэтому проблемы совершенствования ранее известных технологии, направленных на снижение объемов попутно добываемой воды и увеличение нефтеотдачи частично заводненных пластов, является весьма актуальными.

С увеличением плотности сетки скважин, степени разбуренности месторождения и старением фонда весьма актуальным вопросом остается работа с переходящим фондом скважин. Повышение эффективности диагностики и систематичность подбора скважин для ремонтно-изоляционных работ является важным элементом для рационализации разработки месторождения в нынешних условиях изменчивости рентабельности нефтегазовой индустрии. В целях оптимизировать операционные затраты и ускорить оперативность принятий инженерно-технических решений в данной статье предложен лабораторный анализ проведения водоизоляционных работ (ВИР) с применением гидрофобных эмульсий.

Гидрофобные материалы обладают уникальными свойствами, которые позволяют им эффективно отталкивать воду и предотвращать ее проникновение в структурные элементы сооружений. Применение гидрофобных эмульсий в нефтяной сфере может повысить устойчивость сооружений к коррозии, уменьшить риск разрушения материалов под воздействием воды и обеспечить долгосрочную защиту от агрессивных внешних факторов [1].

Анализ различных аспектов применения гидрофобных эмульсий в нефтяной промышленности позволит сформировать полное представление о возможностях и перспективах данной технологии в области водоизоляции. Это, в свою очередь, может способствовать улучшению устойчивости инфраструктуры нефтегазовых объектов, снижению затрат на ремонтные работы и обеспечению более эффективной и безопасной эксплуатации нефтяных сооружений.

Целью данной статьи является рассмотрение методов и технологий применения гидрофобных эмульсий, анализ проведения лабораторных исследований, выдача рекомендаций по применению полимерного состава гидрофобных эмульсий.

Материалы и методы исследований. В связи с необходимостью обеспечения надежной водоизоляции в нефтяной сфере проведение лабораторных исследований гидрофобных эмульсий становится актуальной задачей. Гидрофобные эмульсии представляют собой эффективные средства для формирования гидрофобных покрытий, способных эффективно защищать от воздействия воды и влаги. В данной статье рассматриваются методы и используемые материалы при проведении лабораторных исследований гидрофобных эмульсий для обеспечения водоизоляционных работ в нефтяной сфере [2].

Методология лабораторных исследований основа на следующем:

Выбор составов гидрофобных эмульсий. Исследования начинаются с выбора оптимальных составов эмульсий, учитывая требования для применения в нефтяной сфере. Различные комбинации гидрофобных компонентов подвергаются анализу для определения наилучшего сочетания свойств (*рисунок 1*)

Физико-химические испытания. Проводятся испытания для оценки физико-химических свойств гидрофобных эмульсий, таких как вязкость, стабильность, растворимость в различных средах, pH и др. Эти параметры напрямую влияют на эффективность покрытия [3].

Проведение лабораторных исследований служит основанием подбора оптимальных параметров применения полимерного состава для потоко-корректирующих технологий (ПКТ) в условиях месторождения X.

В результате проведенных лабораторных исследований выдаются рекомендации по применению полимерного состава, обеспечивающего достижение запроектированных свойств закачиваемого агента, оценивается возможность применения состава при реализации потоко-корректирующих технологий.

Подобрано 11 образцов химических реагентов (полиакриламидов) для проведения исследований с целью разработки вязкоупругого состава для закрытия высокопроницаемых пропластков и предотвращения прорыва воды, заколонных перетоков и др. Все образцы являются продукцией промышленного производства [4].

Основными критериями выбора реагента для исследований служило потенциально приемлемые физико-химические характеристики реагентов в соответствии с техническими требованиями [5].

Представлен перечень подобранных полимеров в *таблице 1*.

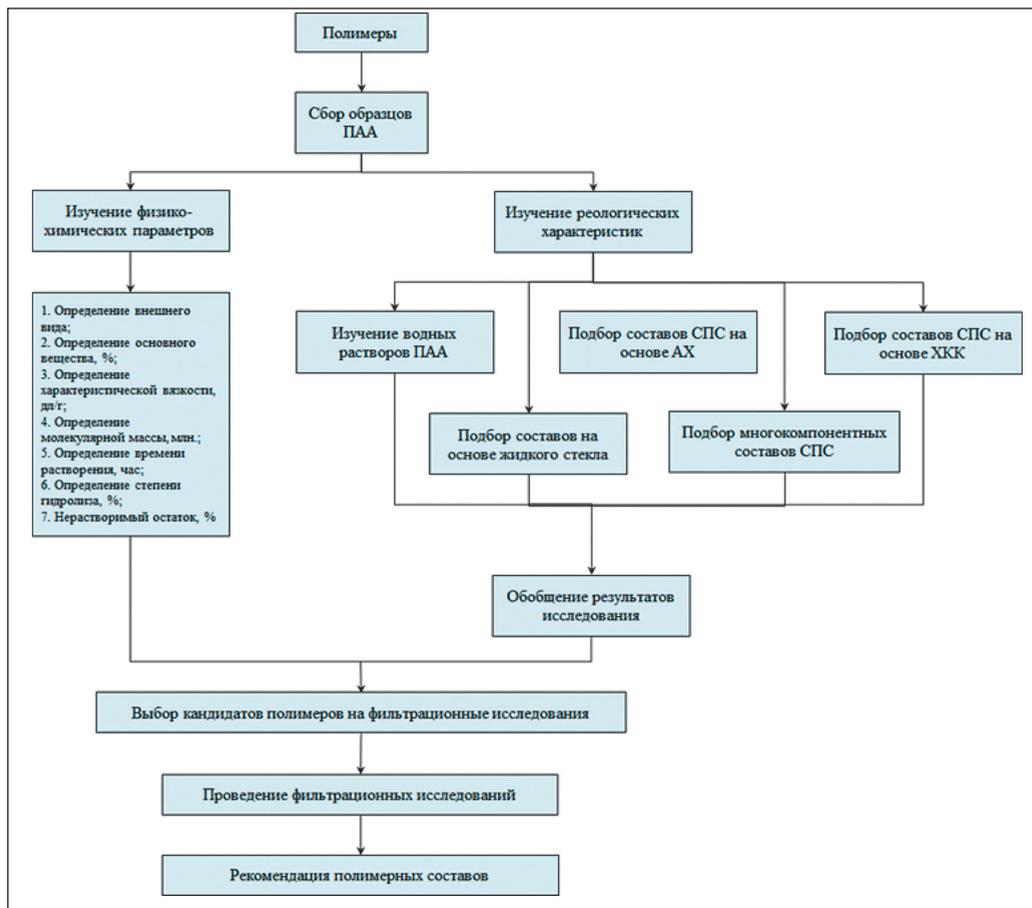


Рисунок 1 – Схема подбора и исследования свойств полимеров

Таблица 1 – Перечень подобранных полимеров

№ п/п	Наименование продукции	Страна производитель	Завод изготовитель
1.	FP-107	Франция	SNF S.A.S.
2.	FP-307		SNF S.A.S.
3.	Superpusher K-129		SNF S.A.S.
4.	SD-6800	Китай	–
5.	GL-50		ТОО «Кэчуан-Биохимия»
6.	GL-50-аналог		ТОО «Кэчуан-Биохимия»
7.	ЭНМ-П-20	Россия	ООО «ЭЛКАМ-сервис»
8.	Seurvey R1		ООО «Химическая группа Основа»
9.	Темпоскрин-Люкс		ООО НТФ «Атомбиотех»
10.	Жидкое стекло		ЗАО «Партнер-М»
11.	Polycar-MEGPT	Оман	«Gulf power technologies» LLC

Исследуемые химические реагенты представляют собой высокомолекулярные частично гидролизованный полиакриламид (сополимер полиакриламида и акрилата натрия) и принадлежат к группе синтетических, водорастворимых полимеров, специально разработанных для неблагоприятных сред с различной температурой и минерализацией [6].

Структурная формула гидролизованного полиакриламида показана на *рисунок 2*.

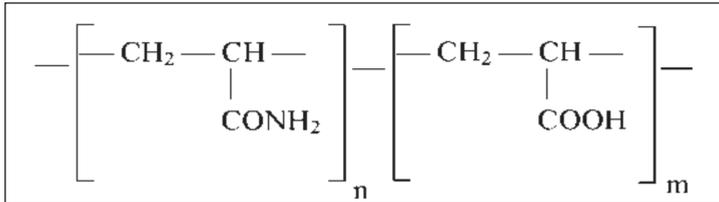


Рисунок 2 – Структурная формула гидролизованного полиакриламида, где (n + m) представляет собой степень полимеризации

В качестве сшивающих агентов применяли ацетат хрома, квасцы хромокалиевые, шиватели марок «TD-2А» и «TD-2В». Реагенты предназначены для связывания молекулы полимера между собой, что понижает растворимость полимера, тем самым придает полимерному составу упругость, прочность и ограниченную набухаемость.

В *таблице 2* приведены показатели и нормативы технических требований ПАА.

Таблица 2 – Технические требования к полиакриламидам (ПАА)

№ п/п	Показатели	Единица измерения	Норма
1.	Товарная форма	–	порошок
2.	Содержание основного вещества, не менее	%	90
3.	Характеристическая вязкость	дл/л	15–20
4.	Содержание карбоксильных групп	% (моль)	5–30
5.	Время растворения, не более: в пресной воде в соленой воде	мин. мин.	60 240
6.	Нерастворимый остаток, не более	%	0,3
7.	Фильтруемость раствора в пористой среде	–	хорошая
8.	Срок хранения, не менее	мес.	12
9.	Растворы полимера не должны вызывать (по сравнению с закачиваемой водой) коррозию оборудования	–	–

Результаты и обсуждение. Высокая технологическая эффективность потоко-корректирующих составов может быть достигнута при использовании высококачественных полимеров, полностью отвечающих техническим требованиям, предъявленным в *таблице 2*.

С целью оценки качества исследуемых полимеров, согласно РД-39-0148311-206-85, определены следующие основные физико-химические параметры:

1. товарная форма (внешний вид) полимера;
2. содержание основного вещества;
3. характеристическая вязкость;
4. степень гидролиза (содержание карбоксильных групп);
5. нерастворимый осадок;
6. молекулярная масса полимеров;
7. растворимость в воде;
8. реологические характеристики полимеров.

Эффективность потоко-корректирующих технологий (ПКТ) в значительной степени определяется свойствами используемых реагентов [7]. Выбор реагентов осуществлялся с учетом индивидуальных особенностей и состояния разработки конкретного месторождения.

Результаты входного контроля испытуемых полимеров (ПАА) сведены в *таблицу 3*.

Все проанализированные реагенты соответствуют принятым нормативным требованиям по содержанию основного вещества, характеристической вязкостью, молекулярным массам и карбоксильных групп [8].

Результаты исследований растворимости полимеров показали, что 9 из 11 образцов полимеров акриламида хорошо растворяются в минерализованной воде месторождения X. Плохой растворимостью в данной воде характеризуются образцы «Темпоскрин-Люкс» и жидкое стекло.

Техническим требованиям по содержанию нерастворимого осадка не соответствует образец «GL-50».

По результатам входного контроля испытуемых реагентов на соответствие техническим требованиям по содержанию нерастворимого осадка реагенты марок «Темпоскрин-Люкс», «GL-50» и жидкое стекло исключаются из дальнейших исследований.

Таблица 3 – Результаты входного контроля испытуемых полимеров

№	Наименование показателя	Марка полимеров											
		Норма	FP-307	FP-107	SD-6800	Superpusher K-129	GL-50-аналог	GL-50	Темпоскрин-Люкс	Polysar-MEGPT	Seurvey R1	ЭНП-20	Жидкое стекло
1.	Товарная форма	порошок	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.	Содержание основного вещества, %	>90	91,59	90,88	90,42	90,98	90,99	90,76	90,94	90,48	93,82	90,88	39,75
3.	Характеристическая вязкость, дл/л	15–20	18	17,7	16,9	17	15,1	16	15,1	17,2	19,6	16,9	2,24
4.	Содержание карбоксильных групп, % мольн.	5–30	7,45	9,33	24,94	7,45	9,89	15,67	10,84	24,73	12,37	5,23	-
5.	Время растворения, в соленой воде, мин.	<240	180	180	150	150	120	120	2880	120	150	120	не совмес.
6.	Нерастворимый остаток, %	<0,3	0,1	0,12	0,04	0,05	0,27	0,79	2,69	0,18	0,05	0,02	1,6

Для исследования использовались свежеприготовленные растворы полимера. Исходные растворы полимеров готовили на основе сточной воды месторождения X смешиванием ингредиентов в заданном соотношении.

Исследования проведены на пробе сточной воды месторождения X, место отбора БКНС-4. Плотность пробы воды составляет 1,0178 г/см³, общая минерализация – 25,4 г/л. Для исследования образцы вод тщательно перемешивали в сосуде хранения и перед приготовлением полимерных растворов пропуская через фильтр, освобождали от механических примесей [9].

Физико-химические свойства воды БКНС-4 приведены в *таблице 4*.

Таблица 4 – Результаты физико-химического анализа воды с БКНС-4, месторождения X

ρ при 20°С, г/см ³	рН	Содержание ионов, мг/л						Общая минерализация, мг/л	Общая жесткость, мг-экв/л	Тип воды по Сулину	Механические примеси, мг/л
		НСО ₃ ⁻	SO ₄ ⁻²	Cl-	Ca ²	Mg ²⁺	Na ⁺ + K ⁺				
1,0178	6,32	512,4	37,04	15178,98	1002	304	8334,05	25368,5	75	Cl-Ca	6,16

Для сравнения приведем результаты физико-химического анализа воды месторождения Жетыбай. По группе скважины были выявлены следующие показатели: рН-5, НСО₃⁻ 463,6, SO₄⁻² 38,4, Cl-12408, Ca²- 800, Mg²⁺- 480, Na⁺ + K⁺- 6219,2, общая минерализация составляет 20,4 мг/л, жесткость – 79 экв/л. Как видно по анализу, свойства пластовой воды двух месторождений схожи.

Используемая вода является слабосульфатным рассолом хлоркальциевого типа. В составе воды обладают хлориды и сумма натрия с калием. Минерализация вод составляет 25,4 г/л, при плотности – 1,0178 г/см³. Вода нейтральная, водородный показатель (рН) равен 6,34.[10]

Далее проводились исследования составов на основе полимера марки «SD-6800» со шшивателями марок «TD-2А» и «TD-2В» без докрепления и с докреплением наполнителем. В качестве наполнителя применялась водонабухающая смола для повышения прочности ПКС. [11] Водонабухающая смола отвечает всем требованиям, предъявляемым к наполнителям, является тонкодиспенсерным для проникновения в трещины, меньше оседает в воде и хорошо смачивается водой и полимерным раствором.

Для исследования были выбраны следующие составы:

состав №1. 0,5% и 1,0% масс. водные растворы полимера «SD-6800» с добавлением шшивателей марок в количестве: «TD-2А»–0,04% масс, и «TD-2В»–0,06% масс.;

состав №2. 0,5% и 1,0% масс. водные растворы полимера «SD-6800» с добавлением шшивателей марок в количестве: «TD-2А»–0,04% масс, и «TD-2В»–0,06% масс., наполнитель–водонабухающая смола в количестве 0,1% масс.;

состав №3. 0,5% и 1,0% масс. водные растворы полимера «SD-6800» с добавлением шшивателей марок в количестве: «TD-2А»–0,04% масс, и «TD-2В»–0,06% масс., наполнитель–водонабухающая смола в количестве 0,15% масс.;

состав №4. 0,5% и 1,0% масс. водный раствор полимера «SD-6800» с добавлением сшивателей марок в количестве: «TD-2A»–0,04% масс, и «TD-2B»–0,06% масс., наполнитель–водонабухающая смола в количестве 0,2% масс.;

Результаты исследования составов приведены в *таблице 5*.

Таблица 5 – Динамика изменений эффективной вязкости (мПа·с) состава на основе полимера «SD-6800» в зависимости от времени (ч.) термостатирования

ПКС	СПАА, %	Время, ч	Эффективная вязкость (мПа·с) при скорости сдвига (с-1)								
			0,61	1,22	3,05	5,0	6,10	12,20	24,40	61,0	100,0
SD-6800 + TD-2A (0,04%) + TD-2B (0,06%)	0,5	2	681	579	551	472	423	310	218	97,7	72,4
		5	1190	1220	1150	738	617	338	228	148	104
		12	7310	6880	3840	2490	2340	1270	764	304	31,8
		24	7870	7310	5530	4070	3510	2110	635	127	101
	1,0	2	1860	1440	1350	1070	929	548	393	200	130
		5	2490	1900	1830	1480	1250	837	557	276	188
		12	16600	15000	7140	5180	4770	1960	1030	255	117
		24	29600	21700	20700	11800	9440	4050	1930	734	3,46
SD-6800 + TD-2A (0,04%) + TD-2B (0,06%) + 0,1% смолы	0,5	2	361	298	251	200	181	126	84,3	48,9	36,5
		5	413	349	290	229	207	146	97,6	53,4	38,2
		12	551	469	399	315	286	198	133	72,6	51,1
		24	570	502	438	358	332	234	159	82,8	58
	1,0	2	1340	1170	981	749	648	343	229	103	62,4
		5	1900	1620	1340	1070	943	566	342	164	101
		12	2630	2010	1720	1380	1230	805	572	244	145
		24	3200	2880	2530	2140	1960	1310	856	344	189
SD-6800 + TD-2A (0,04%) + TD-2B (0,06%) + 0,15% смолы	0,5	2	834	753	726	683	627	432	288	160	92,6
		5	1690	1570	1460	1170	1050	580	373	195	137
		12	3930	2930	1770	1240	1170	765	496	253	138
		24	10300	10300	4720	2440	2180	969	691	345	214
	1,0	2	699	626	567	472	436	309	211	75,6	11
		5	3280	2520	1800	1240	1090	664	406	204	141
		12	3130	2430	1780	1250	1100	699	461	226	143
		24	3940	3220	2870	2530	2330	1320	800	320	187
SD-6800 + TD-2A (0,04%) + TD-2B (0,06%) + 0,2% смолы	0,5	2	862	772	745	689	608	395	270	139	85,8
		5	1090	935	924	910	830	544	390	210	121
		12	1620	1470	1500	1280	1130	780	567	281	155
		24	1860	1560	1440	1360	1360	1020	589	284	162
	1,0	2	2620	2160	1820	1480	1330	805	548	210	123
		5	3000	2780	2380	1850	1720	1320	800	212	137
		12	3940	3220	2870	2530	2330	1330	956	320	187
		24	9730	7170	4340	2480	2100	1420	989	354	197

Исходный состав №1 (0,5% и 1,0% масс. водные растворы полимера «SD-6800» с добавлением сшивателей марок в количестве: «TD-2A»–0,04% масс, и «TD-2B»–0,06% масс.) обладает в большей степени вязкостными свойствами, чем с наполнителем.

При содержании полимера в количестве 1,0% масс, и сшивателей –0,04÷0,06% масс. наблюдается существенное увеличение динамической вязкости, что свидетельствует о сшивке полимера. Полученные зависимости показывают, что с уве-

личением времени выдерживания при температуре, прочность образования геля увеличивается [12].

Докрепление композиции наполнителем в ПКС не приводит к заметному улучшению свойства составов. Присутствие наполнителя в максимальном количестве (0,2% масс.) приводит к снижению динамической вязкости в 3–4 раза относительно исходного состава №1 [13].

Представлена зависимость динамической вязкости (мПа*с) ПКС на основе полимера марки «SD-6800» от скорости сдвига (с-1) при 30°C на *рисунке 3*.

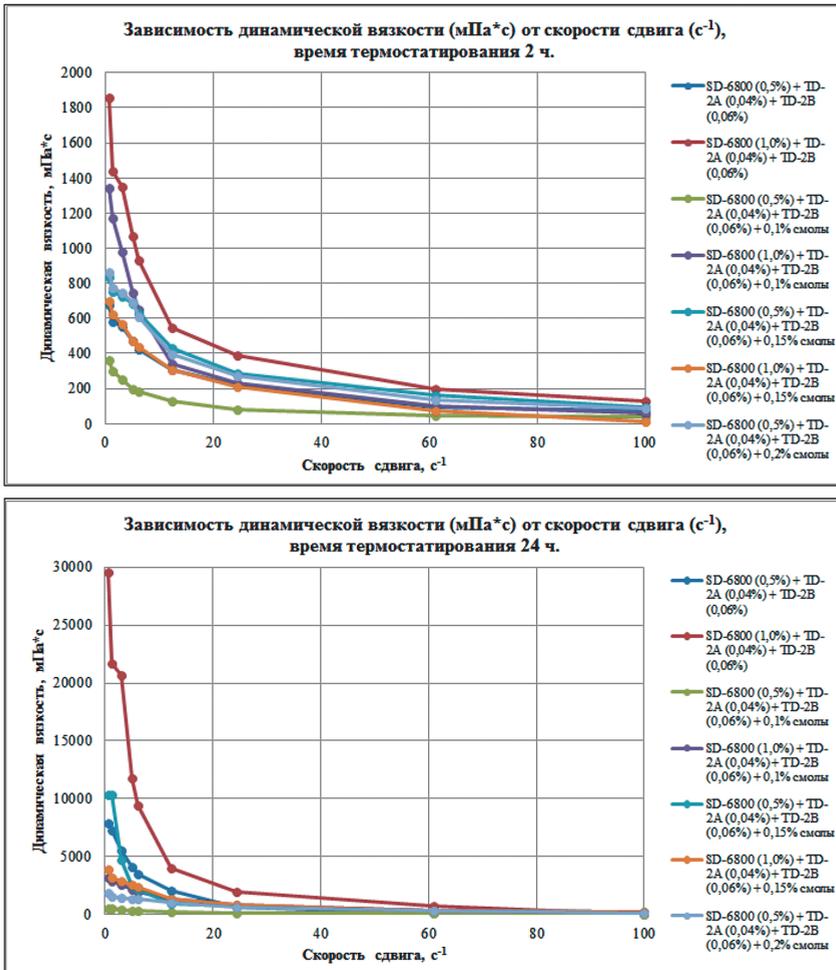


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости (мПа*с) ПКС на основе полимера марки «SD-6800» от скорости сдвига (с-1) при 30°C

После сшивки по вышеописанной методике получен не прочный состав (*таблица б*) в условиях месторождения X и в нем образуется свободная вода [14]. Рекомендуется в зависимости от минерализации воды концентрацию полимера увеличить до 12 кг/м³. Также добавление в жидкость затворением от 0,5% до 2,0% масс. КС1 увеличивает адгезию и прочность геля.

Таблица 6 – Рекомендованные ПКС на проведение фильтрационных исследований

№ п/п	Название полимера	Концентрация полимера, %	Название сшивателя
1.	«Superpusher K-129»	1,0	ацетат хрома - 0,05%;
2.	«SD-6800»	1,0	«TD-2A»-0,04 % масс. + «TD-2B»-0,06 % масс.
3.	«ЭНМ-П-20»	0,6	КСИ - 0,5 % масс. + тиосульфат натрия - 0,6 % масс. + бихромат калия - 0,1% масс.

Заключение и выводы. Тестирование составов №1 и №2 показало, что происходит гелеобразование через 12 часов при температуре 30°C, а через 72 часа полимер высаживается из состава в следствие протекания синерезиса (выделение свободной воды не наблюдается).

Таким образом, сравнивая результаты лабораторных исследований, состав №3 проявляет хорошие свойства по реологическим характеристикам и обладает большей устойчивостью к термодиструкции.

Приведенные результаты физико-химических исследований позволяют сделать следующие выводы:

Эффективность ПКТ в значительной степени определяется свойствами используемых реагентов. Выбор реагентов должен осуществляться с учетом индивидуальных особенностей и состояния разработки конкретного месторождения.

Для проведения лабораторных исследований по подбору потоко-корректирующих составов было выбрано 11 образцов водорастворимых полимеров различного типа.

Все реагенты были проанализированы на соответствие принятым нормативным требованиям.

По результатам входного контроля испытуемых реагентов на соответствия техническим требованиям не соответствовали реагенты марок «Темпоскрин-Люкс», «GL-50» и жидкое стекло, которые были исключены из дальнейших исследований.

Наибольшей динамической вязкостью в минерализованной воде обладают 1,0% водные растворы ПАА марок «Polycar-MEGPT» и «Superpusher K-129». Показатель динамической вязкости выше 1000 мПа·с.

При введении в водные растворы полимеров («FP-307», «FP-107» и «Polycar-MEGPT») ацетата хрома в количестве 0,05% в некоторых композициях наблюдается высаживания полимеров из составов в следствие протекания синерезиса, потери прочности и адгезии.

В отличие от полимерного состава сшитого катионами хрома, при добавлении в 1,0% водный раствор полимера в качестве сшивателя хромокалиевых квасцов (ХКК) в количестве 0,2% приводит к снижению эффективной вязкости в 10–20 раз. Также составы на основе ХКК не проявляют хорошие свойства по термостабильности и не имеют выраженные свойства по адгезии.

Для условий месторождения X, в результате многочисленных экспериментов с использованием различных образцов полимеров на основе акриламида и сшивающих агентов, были подобраны наиболее прочные и стабильные составы, которые рекомендуются для проведения фильтрационных испытаний на кернах. 🌐

Благодарность. Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (BR21881822-«Разработка технических решений для оптимизации геолого-технических операций при бурении скважин и добычи нефти на поздней стадии эксплуатации месторождений», 2023-2025 гг.).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Akhymbayeva B., Employment of mud-pulse generator for improvement of efficiency of a wellbore producing in complex mining and geological conditions // Petroleum Research. – 2023. <https://doi.org/10.1016/j.ptlrs.2023.07.004>.
- 2 Moldabayeva G., Abileva S. Study and determination of regularities in variability of oil rheological properties to enhance oil recovery // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – N 9(4). – P. 44-60. <http://dx.doi.org/10.21533/pen.v9i4.2299>.
- 3 Akhymbayeva B., Nauryzbayeva D., Mauletbekova B., Ismailova J., Peculiarities of drilling hardrocks using hydraulic shock technology // Особливості буріння твердих порід із застосуванням гідродувної технології // Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu. – 2022. – № 5, pp. 20-25.
- 4 Akhymbayeva B.S., Akhymbayev D.G., Nauryzbayeva, D.K., Mauletbekova, B.K., The process of crack propagation during rotary percussion drilling of hard rocks // Periodicals of Engineering and Natural Sciences. – 2021. – № 9(4). – P. 392-416.
- 5 Ismailova J.A., Delikesheva D.N., Akhymbayeva B.S., Logvinenko A., Narikov K.A. Improvement of Sweep Efficiency in a Heterogeneous Reservoir Smart Science. – 2021. – № 9(1). – P. 51-59. <http://dx.10.1080/23080477.2021.1889259>.
- 6 Ахымбаева Б.С. Технология бурения направленных скважин генераторами гидроимпульсного воздействия. – Алматы, 2022. – 149 с.
- 7 Li Y., Peng J., Bo K., Huang C., Zhang Y., Zhang P. Analysis on the Mechanical Properties of Granite Rock Near the Wellbore After Percussive Drilling and AWJ Perforation // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2020. – Vol. 184. – P. 152-158.
- 8 Beike D., Holtz M.H. Cost Functions for Oil Well Drilling, Lease Equipment and Well Operation in Texas. In SPE Hydrocarbon Economics and Evaluation Symposium Dallas, 1995.
- 9 Zhao Y., Zhang C., Zhang Z., Gao K., Li J., Xie X. The Rock Breaking Mechanism Analysis of Axial Ultra-High Frequency Vibration Assisted Drilling by Single PDC Cutter // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2021. – Vol. 205. – P. 48-52.
- 10 Katiyar P. K. "A Comprehensive Review on Synergy Effect Between Corrosion and Wear of Cemented Tungsten Carbide Tool Bits: A Mechanistic Approach // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. – 2020. – Vol. 92. – P. 32-44.
- 11 Wang H., Zhao Q., Xin S., Zhao Y., Huang S., Zhou W., Zeng W. Fatigue Crack Propagation Behaviors in Ti-5Al-3Mo-3V-2Zr-2Cr-1Nb-1Fe Alloy with STA and BASCA Heat Treatments // International Journal of Fatigue. – 2021. – Vol. 151. – P. 68-76.
- 12 Bodryshev V.V., Nartova L.G., Rabinskiy L.N. Digital Interpretation of Gas Dynamics Problems as a Means of Optimizing Fundamental General Engineering Education // Asia Life Sciences. – 2019. – Vol. 2. – P. 759-774.
- 13 Kubrak M., Malesińska A., Kodura A., Urbanowicz K., Bury P., Stosiak M. Water Hammer Control Using Additional Branched HDPE // Energies. – 2021. – № 14(23). – P. 8008. <https://doi.org/10.3390/en14238008>
- 14 Santos N.B.C., Fagundes F.M., Oliveira Arouca, F., Damasceno, J.J.R. Sedimentation of solids in drilling fluids used in oil well drilling operations // Journal of Petroleum Science and Engineering. – 2018. – № 162. – P. 137-142. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2017.12.026>