

Методология лабораторного сопровождения проектов ПАВ-полимерного заводнения

Морозюк О.А.^{1,2}, Беленкова Н.Г.¹, Поляков А.В.¹, Неклеса Р.С.¹, Шульга Р.С.¹, Мелехин С.В.¹, Новосадова И.В.¹, Серкин М.Ф.¹

¹ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия; ²Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
oamorozyk@gmail.com

Аннотация

В работе представлена авторская методология, регламентирующая необходимый порядок, этапность, перечень и объем лабораторных исследований технологии ПАВ-полимерного заводнения в рамках научного сопровождения проектов химических МУН.

Основная цель предпроектных, научно-исследовательских работ (НИР) — оценить технико-экономическую эффективность и применимость технологии в условиях потенциального объекта внедрения. Авторская методология исследований технологии ПАВ-полимерного заводнения включает в себя следующие основные этапы работ: входной контроль химических реагентов (ХР), отобранных для исследований; оценка физико-химических и технологических свойств образцов полимеров и ПАВ; ранжирование химических реагентов по технологической эффективности; выбор наиболее эффективных образцов для формирования ПАВ-полимерных композиций; исследование ключевых свойств ПАВ-полимерных композиций.

Материалы и методы

Методология сформирована на основе накопленного опыта авторов и системного анализа научно-технической литературы. Оценка технологической эффективности технологии ПАВ-полимерного заводнения выполняется на основе физико-математического моделирования с использованием специализированных лабораторных комплексов, кернового материала и пластовых

флюидов изучаемого объекта, специализированного программного обеспечения.

Ключевые слова

методология лабораторных исследований МУН, экспериментальные исследования, ПАВ-полимерное заводнение, свойства ПАВ и полимеров, фильтрационные исследования на керне, ранжирование химических реагентов

Для цитирования

Морозюк О.А., Беленкова Н.Г., Поляков А.В., Неклеса Р.С., Шульга Р.С., Мелехин С.В., Новосадова И.В., Серкин М.Ф. Методология лабораторного сопровождения проектов ПАВ-полимерного заводнения // Экспозиция Нефть Газ. 2026. № 6. С. 65–71.
DOI: 10.24412/2076-6785-2026-6-65-71

Поступила в редакцию: 12.07.2026

OIL PRODUCTION

UDC 622.276 | Original Paper

Methodology for laboratory support of Surfactant-Polymer flooding projects

Morozuk O.A.^{1,2}, Belenkova N.G.¹, Polyakov A.V.¹, Neklesa R.S.¹, Shulga R.S.¹, Melekhin S.V.¹, Novosadova I.V.¹, Serkin M.F.¹

¹“RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia; ²Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
oamorozyk@gmail.com

Abstract

The paper presents the author's methodology, which regulates the necessary order, stage, list and volume of laboratory studies of surfactant polymer flooding technology in the framework of scientific support of chemical research projects. The main purpose of pre-design, scientific research (R&D) is to evaluate the technical and economic efficiency and applicability of the technology in the context of a potential implementation facility. The author's research methodology for surfactant polymer flooding technology includes the following main stages of work: input control of chemical reagents selected for research; assessment of physico-chemical and technological properties of polymer and surfactant samples; ranking of chemical reagents by technological efficiency; selection of the most effective samples for the formation of surfactant polymer compositions; research of the key properties of surfactant polymer compositions.

Materials and methods

The methodology is based on the authors' accumulated experience and a systematic analysis of scientific and technical literature. The assessment of the technological efficiency of the surfactant-polymer flooding technology is carried out based on physico-mathematical modeling using specialized laboratory complexes, core samples, and reservoir fluids from the object under study, as well as specialized software.

Keywords

methodology of laboratory research on EOR, experimental research, surfactant-polymer flooding, properties of surfactants and polymers, core filtration research, and ranking of chemical reagents

For citation

Morozuk O.A., Belenkova N.G., Polyakov A.V., Neklesa R.S., Shulga R.S., Melekhin S.V., Novosadova I.V., Serkin M.F. Methodology for laboratory support of Surfactant-Polymer flooding projects. Exposition Oil Gas, 2026, issue 6, P. 65–71. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2026-6-65-71

Received: 12.07.2026

Введение

Для увеличения степени выработки запасов на действующих месторождениях применяются различные технологии увеличения нефтеотдачи (МУН) пластов, часть из которых направлена на повышение вытесняющей и отмывающей способности воды за счет добавления в нее различных химических реагентов [1–5]. К таким технологиям относится ПАВ-полимерное заводнение, которое в последнее время получило наибольшее распространение среди химических МУН [5–7].

Промысловая реализация ПАВ-полимерного заводнения требует предварительной оценки эффективности и применимости технологии в условиях потенциального объекта внедрения, подбора эффективных химических реагентов и определения оптимального дизайна для проведения ОПР (в т.ч. конфигурации оторочек реагентов, длительности закачек, целевых преимуществ, требований к оборудованию и др.). Для решения этих вопросов на этапе предпроектной проработки проекта выполняют научные исследования, ключевым этапом которых являются комплексные лабораторные испытания технологий [6–7].

Методология лабораторных исследований

В ООО «РН-ГРП» на системной основе ведется работа по развитию научных подходов к сопровождению проектов МУН [8–11], в том числе особое внимание уделяется формированию методологии лабораторного сопровождения МУН: обоснованию необходимых этапов, видов и объемов исследований, последовательности их выполнения, разработке лабораторно-методической базы для

проведения исследований и др. Регламентация и унификация подходов к лабораторным исследованиям МУН позволяют выполнять качественную оценку эффективности той или иной технологии в условиях изучаемого объекта, подбирать наиболее эффективные реагенты для закачки в пласт, а также получать необходимые экспериментальные данные для создания ГДМ и корректной оценки эффективности МУН в масштабе промышленного участка/объекта внедрения [10–12].

На основе накопленного опыта [10–14], системного анализа научно-технической литературы [4, 6–7, 15–18] и имеющихся компетенций в области МУН сформированы методология и программа лабораторных исследований технологии ПАВ-полимерного заводнения. Основные этапы, виды и цели исследований представлены в таблице 1. Ниже будут представлены краткая характеристика и ожидаемый результат для каждого этапа работ.

Подготовка

До начала проведения исследований составляется подробная программа лабораторных исследований, в которой описывается геолого-физическая характеристика объекта исследований, в том числе смачиваемость, параметры и условия проведения испытаний, используемые материалы (пробы пластовых флюидов, керновый материал, химические реагенты), перечень и объем планируемых экспериментов, методики проведения испытаний. Предварительная оценка доступности необходимого объема керна является важным фактором успешной реализации дальнейших работ.

В ООО «РН-ГРП» имеется полный набор компетенций как по работе с историческим керном, так и новым керном, в том числе комплекс работ по изучению изолированного керна с оценкой исходной смачиваемости и подбором технологий восстановления смачиваемости для негидрофильных коллекторов.

На первом этапе работ осуществляется подготовка устьевых проб флюидов (нефти, воды), которая включает в себя обезвоживание и дегазирование нефти, очистку флюидов от механических примесей. Определяются свойства флюидов: плотность, вязкость, состав нефти и молярная масса нефти, химический состав воды и другие параметры. В дальнейших исследованиях используются подготовленные устьевые пробы флюидов или их модели (в т.ч. рекомбинированные пробы нефти), соответствующие параметрам пластовых флюидов.

Для фильтрационных исследований используют составные колонки образцов керна. Изготовление и подготовка образцов проводятся в соответствии с отраслевым стандартом [19]. Образцы керна (архивные и/или изготовленные) проходят компьютерную томографию, по результатам которой выбирают представительную коллекцию образцов для изучаемого объекта. Далее определяют абсолютную проницаемость и пористость образцов по газу. Рекомендуется также провести анализ структуры порового пространства (капилляриметрия и (или) ЯМР) и оценить смачиваемость горной породы. Для проведения исследований выбирают коллекцию образцов с необходимыми фильтрационно-емкостными свойствами. Коллекцию образцов

Табл. 1. Алгоритм лабораторных исследований
Tab. 1. Laboratory research algorithm

Этап	Вид работ/исследований	Цель работ/исследований
Подготовка	1. Подготовка программы лабораторных исследований (ЛИ) 2. Подготовка керна и пластовых флюидов 3. Входной контроль химических реагентов (ХР)	Формирование алгоритма и методик проведения ЛИ, представительной выборки керна образцов с необходимыми свойствами, подготовка проб/моделей пластовых флюидов, проверка соответствия свойств ХР техническим условиям (ТУ).
	Исследования ФХС и технологических свойств ПАА	Определение свойств различных марок ПАА в условиях объекта исследований.
	Экспресс-тесты на кернах	Определение ключевых технологических параметров ПАА в ТБУ объекта исследований.
Исследования полимеров	Ранжирование ПАА по эффективности	Выбор «лучшего» ПАА на основе физико-математического моделирования с учетом влияния параметров ПАА на КИН.
	Исследования ФХС и технологических свойств ПАВ	Определение свойств различных марок ПАВ в условиях объекта исследований.
	Экспресс-тесты на кернах	Экспресс-оценка вытесняющей способности различных марок ПАВ в ТБУ объекта, выбор «лучшего» ПАВ.
Исследования ПАВ-полимерных композиций	Исследования ФХС и технологических свойств ПАВ+ПАА композиций	Определение свойств композиции в условиях объекта исследований, оценка совместимости ПАВ и ПАА.
	Оценка устойчивости водонефтяных эмульсий	Оценка влияния ПАВ+ПАА на подготовку нефти, подбор дозировок деэмульгатора.
	Фильтрационные исследования на кернах	Оценка эффективности композиции и ключевых параметров для ГДМ.

Табл. 2. Основные свойства полимеров, методы и критерии их оценки
Tab. 2. The main properties of polymers, as well as the methods and criteria for their assessment

Параметр	Метод оценки	Целевое значение / Критерии
Степень гидролиза	Титриметрический	5–30 %
Молекулярная масса	Вискозиметрический	$6-20 \cdot 10^{-6}$ Да
Время растворения	Ротационная вискозиметрия	Для минерализованных вод не более 240 минут
Динамическая вязкость	Ротационная вискозиметрия	Целевая вязкость для объекта
Термостабильность (не менее 30 сут, $T_{\text{пласт}}$)	Ротационная вискозиметрия	Снижение вязкости не более 30 %

вакуумируют и насыщают пластовой водой (или ее моделью). На водонасыщенном образце определяются пористость и объем пор. Водонасыщенные образцы помещают в индивидуальный или групповой капилляриметр, где создается неснижаемая (остаточная) водонасыщенность. Возможно использование ультрацентрифуги для создания остаточной водонасыщенности образцов. Образцы с остаточной водонасыщенностью помещают в термобарические условия (ТБУ), насыщают нефтью и выдерживают в ТБУ (не менее 3 суток) для восстановления смачиваемости.

Также на подготовительном этапе выполняется входной контроль образцов ХР (ПАВ, полиакриламида (ПАА)), включающий оценку внешнего вида, содержания активного вещества, массовой доли хлорорганических соединений, температуры застывания и других физико-химических свойств. По результатам этих работ оценивается соответствие свойств

параметрам, указанным в паспорте химического реагента (соответствие ТУ производителя), и принимается решение о допуске ХР к дальнейшим исследованиям.

Исследования полимеров

На первом этапе выполняется оценка технологических свойств полимеров в «свободном объеме». В таблице 2 представлены основные свойства и методы их определения.

Важным свойством полимеров, отвечающим за сохранение их вязкости в термобарических условиях пласта, является термическая стабильность. Она оценивается путем выдержки полимерного раствора в анаэробных условиях при пластовой температуре (не менее 30 суток) с периодическим замером его вязкости с определенным шагом (1–7 суток). Количественная оценка термодеструкции (коэффициент стойкости) полимера выполняется путем расчета

отношения значения конечной вязкости полимера после термостатирования к исходной вязкости в начальный период времени.

По результатам исследований в «свободных объемах» определяются свойства всех образцов полимеров и формируются критерии (табл. 2), которым должны соответствовать их свойства; выполняется оценка соответствия свойств критериям и допуск образцов полимеров к дальнейшим исследованиям.

На следующем этапе выполняются фильтрационные экспресс-тесты на керновых моделях пласта с целью оценки ключевых технологических параметров полимеров и дальнейшего их ранжирования по эффективности. В первой серии экспериментов определяются фактор сопротивления, фактор остаточного сопротивления и коэффициент довытеснения нефти полимером на нефтенасыщенных образцах керна. Во второй

Табл. 3. Пример оценки влияния ключевых параметров ПАА на коэффициент извлечения нефти (по результатам ГДМ)
Tab. 3. An example of assessing the impact of key parameters of PAA on the oil recovery factor (based on the results of GDM)

Параметры ПАА добыча нефти	Базовый вариант (средние параметры ПАА)	Диапазоны изменения ключевых параметров ПАА для ГДМ					Влияние параметров ПАА на ΔQ_n , %
		1 вар	2 вар	3 вар	4 вар	5 вар	
Вязкость, мПа·с		18	12	6	–	–	30
Добыча нефти, тыс. м ³	50	60	55	45	–	–	
Добыча нефти, % от базов. вар.		20	10	-10	–	–	
Адсорбция, мг/г		0,6	0,8	1	–	–	12
Добыча нефти, тыс. м ³	50	58	55	52	–	–	
Добыча нефти, % от базов. вар.		16	10	4	–	–	
ФОС, ед.		50	40	25	10	1	8
Добыча нефти, тыс. м ³	50	56	–	54	–	52	
Добыча нефти, % от базов. вар.		12	–	8	–	4	

Табл. 4. Пример оценки весовых коэффициентов параметров ПАА для ранжирования (на основе ГДМ)
Tab. 4. Example of assessing the weighting coefficients of PAA parameters for ranking (based on GDM)

Параметр	Вязкость (Vis)	ФОС (RRF)	Адсорбция (Ads)
Влияние параметра на КИН, %	30	8	12
Коэффициент вклада (вес), д.ед.	0,6	0,16	0,24

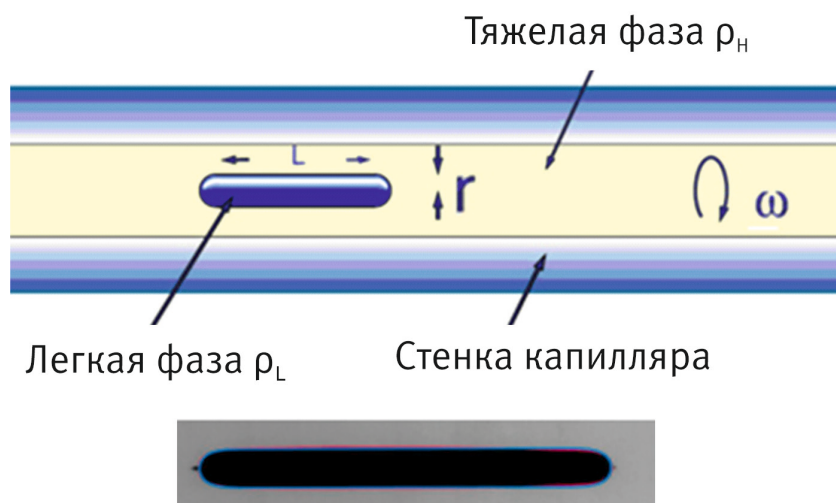
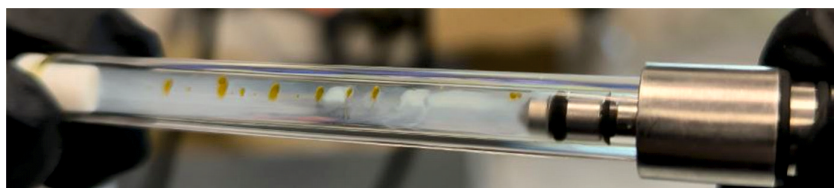


Рис. 1. Пример инструментального определения межфазного натяжения
Fig. 1. An example of instrumental determination of interfacial tension

серии определяются динамическая адсорбция и вязкость полимера (до/после фильтрации) на водонасыщенных образцах керна. Экспресс-тесты выполняются в условиях максимальной идентичности параметров моделирования (ФЕС и насыщенность керновых моделей, температура, давление, объемный расход фильтрации) на составных образцах керна (не менее 3 образцов) с использованием пластовых флюидов объекта. Эксперименты выполняют при одной концентрации полимера, соответствующей целевой вязкости.

На основе результатов экспресс-тестов выполняется ранжирование образцов полимеров по технологической эффективности. Ранжирование выполняется по авторской методике, которая состоит в следующем:

1. оценка и анализ физико-химических и технологических свойств полимеров по результатам исследований в «свободных объемах», первичный «отсев» образцов ПАА, не соответствующих критериям;
2. оценка технологических параметров образцов ПАА по результатам экспресс-тестов на керне;

3. оценка влияния технологических параметров ПАА на эффективность полимерного заводнения на основе 3D-гидродинамического моделирования (модель участка ОПР). Анализ чувствительности и количественная оценка влияния (веса) параметров ПАА на коэффициент извлечения нефти (КИН) участка ОПР (табл. 3–4);
4. ранжирование образцов полимеров с учетом влияния (веса) ключевых технологических параметров ПАА, полученных по результатам лабораторных исследований.

По результатам экспресс-тестов на керне и с учетом весовых коэффициентов (табл. 4) по формуле 1 определяется «Rang» для каждой марки ПАА и составляется итоговый рейтинг ПАА по технологической эффективности. Чем выше значение «Rang», тем выше рейтинг ПАА.

$$\text{«Rang»} = 0,6\text{Vis} + 0,16\text{RRF} - 0,24\text{Ads.} \quad (1)$$

По результатам исследований определяется «лучший» образец полимера для условий изучаемого объекта, который в дальнейшем используется для формирования ПАВ-полимерной композиции. Также в рамках данного этапа для выбранного образца ПАА рекомендуется выполнить детальные фильтрационные эксперименты на керне с целью получения зависимости параметров ПАА (ФОС, Квт., адсорбция) от концентрации и возможности дальнейшего сопоставления эффектов от полимерного и ПАВ-полимерного заводнения.

Исследования ПАВ

До начала проведения лабораторных исследований формируются технические требования на разработку образцов ПАВ для ПАВ-полимерного заводнения в условиях изучаемого объекта. В техническом задании указываются требования к величине межфазного натяжения (МФН) на границе «раствор ПАВ-пластовая нефть», фазовому поведению (образование микроэмульсии), термостабильности, температуре замерзания и доле активного вещества в товарной форме. Для разработки образцов ПАВ производителям предоставляются образцы нефти, воды и характеристики объекта исследований. Разработанные образцы подвергаются лабораторному тестированию.

Исследования образцов ПАВ в «свободном объеме» начинают с оценки растворимости и длительной термостабильности (не менее 30 суток) в пластовой и закачиваемой воде при пластовой температуре. По результатам исследований визуально оценивается наличие осадка, помутнение и расслоение растворов на фоне белого листа в проходящем свете. Допускается незначительное помутнение/опалесценция растворов ПАВ при условии возможности визуальной оценки наличия осадка/расслоения в проходящем свете.

Ключевым этапом исследований является оценка величины межфазного натяжения в системе «раствор ПАВ-нефть». Измерение МФН выполняют на тензиометрах, как правило методом «вращающейся капли» (сверхнизкие МФН). Метод заключается в следующем: капля легкой фазы (образец нефти) вводится с помощью капилляра в толщу тяжелой фазы (вода затворения). При вращении капилляра вдоль своей оси с определенной частотой, капля жидкости деформируется в вытянутую форму до тех пор, пока межфазное натяжение и центробежные силы не уравновесятся (рис. 1). Зная разность плотностей тяжелой и легкой фазы, радиус вращения капли и частоту вращения определяют межфазное натяжение. МФН определяется

Табл. 5. Основные свойства ПАВ, методы и критерии их оценки
Tab. 5. The main properties of surfactants, methods and criteria for their assessment

Параметр	Метод оценки	Целевое значение / Критерии
Активная основа	Гравиметрический	Не менее 50 %
Растворимость	Визуальный	Отсутствие осадков/ расслоения/ геля
Термостабильность (не менее 30 сут, $T_{\text{пласт}}$)	Визуальный	Отсутствие осадков/ расслоения/ геля
Межфазное натяжение (в т.ч. ККМ)	Метод «вращающейся капли»	$> 10^{-2}$ мН/м
Фазовое поведение	Визуальный	эмульсия типа Винзор III

Табл. 6. Основные свойства ПАВ-полимерных композиций, методы и критерии их оценки
Tab. 6. The main properties of surfactant-polymer compositions, as well as the methods and criteria for their evaluation

Параметр	Метод оценки	Целевое значение / Критерии
Растворимость	Ротационная вискозиметрия, визуальный	Для минерализованных вод не более 240 минут, + отсутствие осадков/ расслоения/ геля
Динамическая вязкость	Ротационная вискозиметрия	Целевая вязкость для объекта
Термостабильность (не менее 30 сут, $T_{\text{пласт}}$)	Ротационная вискозиметрия, визуальный	Отсутствие снижения вязкости с/без ПАВ, + отсутствие осадков/ расслоения/ геля
Фазовое поведение	Визуальный	эмульсия типа Винзор III
Скорость отделения воды из водонефтяной эмульсии с/без ПАВ+ПАА	Метод статического отстоя	Отсутствие влияния ПАВ+ПАА композиции на процесс подготовки нефти
Содержание остаточной воды с/без ПАВ+ПАА в водонефтяной эмульсии		

при пластовой температуре объекта при разных концентрациях ПАВ в растворе (в том числе для оценки критической концентрации мицеллообразования — ККМ). Также, рекомендуется выполнить оценку влияния температуры и минерализации воды на МФН [4].

Одним из важных параметров при выборе ПАВ является его способность образовывать микроэмульсию типа III по Винзору [15, 20–21] на границе «нефть-раствор ПАВ». Тип эмульсии определяют визуально по характеру распределения и соотношению объема фаз. Эмульсионная фаза должна иметь низкую вязкость и быть устойчивой в течение длительного времени. Формирование микроэмульсии указывает на то, что образец ПАВ обладает высокой солюбилизирующей активностью по отношению к нефти, и величина МФН на границе раздела фаз достигает ультранизких значений [22].

По результатам исследований в «свободных объемах» определяют свойства образцов ПАВ и формируют критерии (табл. 5), которым должны соответствовать свойства ПАВ, выполняется оценка соответствия свойств критериям и допуск образцов к дальнейшим исследованиям.

На следующем этапе, для отобранных на этапе «свободных объемов» образцов ПАВ выполняются фильтрационные экспресс-тесты на керне с целью оценки их вытесняющей способности и выбора наиболее эффективных образцов ПАВ для формирования ПАВ-полимерных композиций. Экспресс-тесты выполняют на составных образцах керна (не менее трех образцов) с использованием пластовых флюидов объекта исследований, в условиях максимальной идентичности параметров моделирования. Эксперименты выполняют при одной концентрации ПАВ, соответствующей критической концентрации мицеллообразования (ККМ).

По результатам комплексных исследований выбирают «лучший» и альтернативные образцы ПАВ для дальнейших исследований.

Исследования ПАВ-полимерных композиций

Из подобранных образцов полимера и ПАВ формируют основную и минимум две альтернативные ПАВ-полимерные композиции с целью оценки их свойств и совместимости образцов ПАВ и ПАА.

Определяется растворимость ХРв воде, термостабильность, динамическая вязкость и фазовое поведение композиции, выполняется оценка влияния композиции на процесс подготовки нефти (табл. 6).

Оценка растворимости и термостабильности композиций основана на периодическом замере вязкости через определенные интервалы времени. Растворимость считается удовлетворительной если вязкость композиции достигается и стабилизируется на уровне целевого значения менее чем за 240 минут. Термостабильность композиции оценивается путем сравнения потерь вязкости полимерного раствора с/без добавки ПАВ. Дополнительно, в экспериментах выполняется визуальная оценка наличия осадков/ помутнений/расслоений в течение всего времени растворения и термостатирования.

Фазовое поведение ПАВ-полимерных композиций оценивается визуально, после перемешивания с пробой нефти и ее выдержки при пластовой температуре в течение семи суток. Тип сформировавшейся эмульсии определяют по характеру распределения и соотношению объемов фаз в различных временных интервалах (1, 3 и 7 суток). Оптимальным является состав, при котором в формировании эмульсионной фазы вовлекаются максимально равные объемы нефтяной и водной фаз.

В лабораторных условиях, влияние композиции на процесс подготовки нефти оценивается по скорости отделения воды из водонефтяной эмульсии и содержанию остаточной воды в водонефтяной эмульсии в присутствии и без ПАВ-полимерной композиции. Количественная оценка параметров проводится путем сравнения времени разрушения устойчивых водонефтяных эмульсий без/с добавкой композиции (при не менее 3-х дозировках) с использованием промысловых деэмульгаторов. Деэмульсация проводится по методу статического отстоя («бутылочная» проба). Добавка композиции не должна оказывать существенного влияния на процесс подготовки нефти.

Рекомендуется

По результатам анализа физико-химических и технологических свойств ПАВ-полимерных композиций, составленных из «лучших» образцов ПАВ и ПАА, определяют одну

композицию для финальных фильтрационных исследований.

На завершающем этапе исследований выполняется серия фильтрационных экспериментов на керновом материале с целью оценки эффективности ПАВ-полимерной композиции в условиях изучаемого объекта, получения экспериментальных параметров для создания/настройки ГДМ и дальнейшего моделирования ПАВ-полимерного заводнения в масштабе участка/объекта внедрения.

Программа фильтрационных исследований состоит из трех серий экспериментов. В первой серии, определяют фильтрационные параметры и коэффициенты вытеснения нефти (остаточной нефтенасыщенности) ПАВ-полимерной композицией в зависимости от концентрации ПАВ и ПАА (при необходимости). Выполняют не менее пяти экспериментов на нефтенасыщенных керновых моделях (рекомендуемая длина не менее 15 см) с близкими ФЕС, в термобарических условиях объекта исследований. В результате, получают зависимость коэффициента вытеснения нефти, фактора сопротивления и остаточного сопротивления от концентрации ХР.

Во второй серии, определяют относительные фазовые проницаемости/подвижности (ОФП) при стационарной двухфазной фильтрации в системах «нефть-вода» (базовый вариант) и «нефть-ПАВ-полимерная композиция». Метод определения ОФП при стационарной фильтрации основан на том, что в модель пласта одновременно подаются две жидкости с заданным соотношением фиксированных объемных скоростей фильтрации. Измерение ОФП при двухфазной фильтрации выполняется при не менее трех соотношениях доли жидкостей в потоке. Кривые ОФП используются в дальнейшем для создания/настройки ГДМ (в том числе для расчета базового заводнения).

В третьей серии, оценивается адсорбция/десорбция ПАВ/ПАА и вязкость ПАВ-полимерного раствора после фильтрации в зависимости от концентрации ПАВ и ПАА (при необходимости). Выполняют не менее пяти экспериментов на водонасыщенных керновых моделях (рекомендуемая длина не менее 15 см) с близкими ФЕС, в термобарических условиях объекта исследований. Адсорбция/десорбция ПАВ/ПАА рассчитывается исходя

из известного объема прокачки раствора, концентрации раствора на входе и выходе из модели пласта, а также характеристик кривой модели (масса, пористость). Определение концентрации ПАА в отобранных пробах раствора выполняется фотометрическим методом, концентрация ПАВ — двухфазным титрованием. Оценка концентрации ПАА/ПАВ в растворе также может выполняться хроматографическим методом.

Итоги

Предложенный алгоритм исследований обеспечивает подбор эффективных химических композиций для ПАВ-полимерного заводнения и оценку/сбор необходимых экспериментальных данных для ГДМ и ТЭО проектов ПАВ-полимерного заводнения.

Выводы

- Сформирована методология лабораторного изучения технологии ПАВ-полимерного заводнения, регламентирующая этапность, виды и объем необходимых исследований, последовательность их выполнения, методики проведения экспериментов, и перечень необходимых экспериментальных параметров для ГДМ.
- На основе физико-математического моделирования предложен научно-обоснованный подход к оценке весовых коэффициентов параметров ХР и ранжированию химических реагентов по технологической эффективности.
- На основе предложенной методологии выполнены лабораторные исследования технологии ПАВ-полимерного заводнения для условий одного из месторождений Западной Сибири. По результатам исследований подобрана наиболее эффективная ПАВ-полимерная композиция, определены физико-химические и технологические свойства композиции, получены экспериментальные параметры, необходимые для ГДМ и выполнения ТЭО проекта.

Литература

1. Сургучев М.Л. Вторичные и третичные методы увеличения нефтеотдачи пластов. М.: Недра, 1985. 308 с.
2. Сургучев М.Л., Горбунов А.Т., Забродин Д.П. и др. Методы извлечения остаточной нефти. М.: Недра, 1991. 347 с.
3. Ленченко Л.Е. Повышение нефтеотдачи пластов физико-химическими методами. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1998. 394 с.
4. Бязров Р.Р. Обоснование технологии заводнения неоднородных терригенных коллекторов с использованием

ПАВ-полимерного состава: 2.8.4: дис. кан-та тех. наук. Санкт-Петербург, 2025. С. 159.

5. Ибатуллин Р.Р., Гаффаров Ш.К., Хисаметдинов М.Р., Минихайров Л.И. Обзор мировых проектов полимерных методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. 2022. № 7. С. 32–37.
6. Круглов Д.С., Корнилов А.В., Алтынбаева Д.Р., Ткачев И.В., Сансиев Г.В. Создание линейных гидродинамических моделей фильтрационных экспериментов для оптимизации ПАВ-полимерного заводнения // Нефтяное хозяйство. 2023. № 2. С. 46–50.
7. Кудин Е.В., Кургузкина И.В., Нгуен Т.З. Основные положения экспериментальных исследований для обоснования эффективности ПАВ-полимерного заводнения в условиях месторождения Белый Тигр // Нефтяное хозяйство. 2022. № 8. С. 76–80.
8. Афонин Д.Г., Левагин С.А., Морозовский Н.А., Ручкин А.А., Торопов К.В., Федоров К.М. Системный подход к ранжированию потенциальных объектов для применения газовых методов увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. 2021. № 10. С. 69–75.
9. Аржиловский А.В., Афонин Д.Г., Ручкин А.А., Кобышев А.В., Морозовский Н.А., Торопов К.В. Экспресс-оценка прироста коэффициента извлечения нефти в результате применения водогазового метода увеличения нефтеотдачи // Нефтяное хозяйство. 2022. № 9. С. 63–67.
10. Морозюк О.А., Афонин Д.Г., Кобышев А.В., Долгов И.А. Лабораторные исследования как ключевая составляющая реализации проектов газовых МУН // Нефтяное хозяйство. 2023. № 10. С. 76–81.
11. Морозюк О.А., Кочетов А.В., Загоровский А.А. и др. Экспериментальное обоснование эффективного метода добычи высоковязкой нефти для одного из месторождений Западной Сибири // Нефтяное хозяйство. 2023. № 4. С. 66–70.
12. Морозюк О.А., Заночуев С.А., Поляков А.В. и др. Лабораторное сопровождение проекта по закачке CO₂ в низкопроницаемый пласт // Нефтяное хозяйство. 2024. № 10. С. 103–109.
13. Бондаренко А.В., Морозюк О.А., Калинин С.А., и др. Результаты комплексных исследований термохимической технологии повышения нефтеотдачи пластов высоковязкой

нефти // Научно-технический журнал «Neftegaz.RU». 2024. № 2. С. 24–32.

14. Краев А.Д. Термополимерное заводнение — перспективный ключ к добыче вязких нефтей // Решение прикладных задач нефтегазодобычи на основе классических работ Телкова А.П. и Лапердина А.Н. Тюмень: ТИУ, 2025. С. 216–219.
15. Winsor P.A. Binary and multicomponent solutions of amphiphilic compounds. Solubilization and the formation, structure, and theoretical significance of liquid crystalline solutions. Chemical Reviews, 1968, Vol. 68, issue 1, P. 1–40. (In Eng).
16. Господарев Д.А., Лымарь И.В., Ракутько А.Г. Скрининговые исследования по разработке и оценке эффективности технологии ПАВ-полимерного заводнения на моделях пласта // Нефтегазовое дело. 2022. Т. 20. № 6. С. 77–87.
17. Петраков А.М., Погова Т.С., Макашкин С.В. и др. Подбор технологии увеличения нефтеотдачи карбонатных пластов Центрально-Хорейверского поднятия с использованием ПАВ-полимерных композиций // Нефтяное хозяйство. 2020. № 1. С. 66–70.
18. Минихайров Л.И., Насыбуллин А.В. Масштабирование результатов моделирования ПАВ-полимерного заводнения на керне при переходе на модель месторождения // Нефтяная провинция. 2023. № 2. С. 130–136.
19. ГОСТ 26450.0-85 Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств. М.: Изд-во стандартов, 1985. 12 с.
20. Wenjie Tang, Patiguli Maimaiti, Hongzhi Shao, Tingli Que, and Shixun Bai. Optimizing middle-phase microemulsions for enhanced oil recovery: an HLD-NAC theoretical framework and experimental validation. ACS Omega 2025, Vol. 10, issue 44, P. 52681–52688. (In Eng).
21. Abdulkareem M. AlSofi, Vincent Miralles, David Rousseau, Waleed A. Dokhon. An all-inclusive laboratory workflow for the development of surfactant/polymer formulations for EOR in harsh carbonates. Journal of petroleum Science and Engineering, 2021, Vol. 200, P. 1–11, Art. 108131. (In Eng).
22. Бакиров А.У., Барьюдин В.Л., Бахитов Ю.Ю. и др. Химические методы в процессах добычи нефти. М.: Наука, 1987. 239 с.

ENGLISH

Results

The proposed research algorithm ensures the selection of effective chemical compositions for surfactant-polymer flooding and the assessment/collection of the necessary experimental data for the GDM and feasibility studies of surfactant-polymer flooding projects.

Conclusions

- A methodology for laboratory study of surfactant-polymer flooding technology has been developed, which regulates the stages, types and scope of the necessary studies, the sequence of their implementation, the methods for conducting experiments, and the list of required experimental parameters for GDM.

- Based on physical and mathematical modeling, a scientifically grounded approach has been proposed for assessing the weight coefficients of the parameters of the treatment regime and ranking chemical reagents according to their technological efficiency.
- Based on the proposed methodology, laboratory studies of surfactant-polymer flooding technology have been carried out for the conditions of one of the fields in Western Siberia. Based on the research results, the most effective surfactant-polymer composition was selected; the physicochemical and technological properties of the composition were determined; and the experimental parameters required for the GDM and the project feasibility study were obtained.

References

1. Surguchev M.L. Secondary and tertiary methods of increasing oil recovery. Moscow: Nedra, 1985, 308 p. (In Russ).
2. Surguchev M.L., Gorbunov A.T., Zabrodin D.P. et al. Methods of residual oil extraction. Moscow: Nedra, 1991, 347 p. (In Russ).
3. Lenchenkova L.E. Increasing oil fields productivity with physical and chemical methods. Moscow: Nedra-Biznescenter LLC, 1998, 394 p. (In Russ).
4. Byazrov R.R. Justification of the technology of flooding heterogeneous terrigenous reservoirs using a surfactant-polymer composition: 2.8.4: dis. cand. tech. sciences. St. Petersburg, 2025, P. 159. (In Russ).
5. Ibatullin R.R., Gaffarov Sh.K., Khisametdinov M.R., Minikhairov L.I. Review of world polymer flooding EOR projects. Oil Industry, 2022, issue 7, P. 32–37. (In Russ).
6. Kruglov D.S., Kornilov A.V., Altyntaeva D.R., Tkachev I.V., Sansiev G.V. Creation of linear simulation models of coreflooding experiments for optimization of surfactant-polymer flooding technology. Oil Industry, 2023, issue 2, P. 46–50. (In Russ).
7. Kudin E.V., Kurguskina I.V., Nguen T.D. The main principles of the experimental studies to substantiate the effectiveness of surfactant-polymer flooding for the conditions of White Tiger field. Oil Industry, 2022, issue 8, P. 76–80. (In Russ).
8. Afonin D.G., Levagin S.A., Morozovsky N.A., Ruchkin A.A., Toropov K.V., Fedorov K.M. System approach to ranking potential objects for applying gas methods of enhanced oil recovery. Oil Industry, 2021, issue 10, P. 69–75. (In Russ).
9. Arzhilovsky A.V., Afonin D.G., Ruchkin A.A., Kobayashv A.V., Morozovsky N.A., Toropov K.V. Express assessment of the increase in the oil recovery as a result of water-alternating-gas technology application. Oil Industry, 2022, issue 9, P. 63–67. (In Russ).
10. Morozuk O.A., Afonin D.G., Kobayashv A.V., Dolgov I.A. Laboratory studies as a key component of gas EOR projects. Oil Industry, 2023, issue 10, P. 76–81. (In Russ).
11. Morozuk O.A., Kochetov A.V., Zagorovsky A.A. et al. Experimental confirmation of the performance of high-viscosity oil extraction method. Oil Industry, 2023, issue 4, P. 66–70. (In Russ).
12. Morozuk O.A., Zanochev S.A., Polyakov A.V. et al. Laboratory support of a project on CO₂ injection into a low-permeability reservoir. Oil Industry, 2024, issue 10, P. 103–109. (In Russ).
13. Bondarenko A.V., Morozuk O.A., Kalinin S.A. et al. Results of comprehensive studies of thermochemical technology for increasing the oil recovery of high-viscosity oil reservoirs. Neftegaz.RU, 2024, issue 2, P. 24–32. (In Russ).
14. Kraev A.D. Thermopolymer flooding is a promising key to the extraction of viscous oils. In the collection. olving applied problems of oil and gas production based on the classical works of Telkov A.P. and Laperdin A.N. Tyumen: IUT, 2025, P. 216–219. (In Russ).
15. Winsor P.A. Binary and multicomponent solutions of amphiphilic compounds. Solubilization and the formation, structure, and theoretical significance of liquid crystalline solutions. Chemical Reviews, 1968, Vol. 68, issue 1, P. 1–40. (In Eng).
16. Gospodarev D.A., Lymar I.V., Rakutko A.G. Screening studies for design and efficiency evaluation of the surfactant-polymer flooding technology on reservoir models. Petroleum engineering, 2022, Vol. 20, issue 6, P. 77–87. (In Russ).
17. Petrakov A.M., Rogova T.S., Makarshin S.V. et al. Selection of surfactant-polymer technology for enhanced oil recovery project in carbonate formations of Central Khoreiver uplift. Oil Industry, 2020, issue 1, P. 66–70. (In Russ).
18. Minikhairov L.I., Nasybullin A.V. Scaling of simulation results of a surfactant-polymer flooding on the core in transition to the field model. Neftyanaya Provintsiya, issue 2, 2023, P. 130–136. (In Russ).
19. GOST 26450.0-85 Rocks. General requirements for sampling and sample preparation for determination of collecting properties. Moscow: Publishing House of Standards, 1985, 12 p. (In Russ).
20. Wenjie Tang, Patiguli Maimaiti, Hongzhi Shao, Tingli Que, and Shixun Bai. Optimizing middle-phase microemulsions for enhanced oil recovery: an HLD-NAC theoretical framework and experimental validation. ACS Omega 2025, Vol. 10, issue 44, P. 52681–52688. (In Eng).
21. Abdulkareem M. AlSofi, Vincent Miralles, David Rousseau, Waleed A. Dokhon. An all-inclusive laboratory workflow for the development of surfactant/polymer formulations for EOR in harsh carbonates. Journal of petroleum Science and Engineering, 2021, Vol. 200, P. 1–11, Art. 108131. (In Eng).
22. Bakirov A.U., Baryudin V.L., Bakhishev Yu.Yu. et al. Chemical methods in oil production processes. Moscow: Nauka, 1987, 239 p. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Морозук Олег Александрович, к.т.н., старший эксперт, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия; доцент, Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия
Для контактов: oamorozyk@gmail.com

Беленкова Наталья Геннадьевна, к.х.н., эксперт, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Поляков Антон Владимирович, менеджер, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Некlesa Роман Сергеевич, менеджер, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Шульга Роман Сергеевич, начальник управления, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Новосадова Ирина Владимировна, начальник управления, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Мелехин Сергей Викторович, начальник управления, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Серкин Максим Филитерович, директор по лабораторным исследованиям, ООО «РН-Геология Исследования Разработка», Тюмень, Россия

Morozyuk Oleg Alexandrovich, candidate of technical sciences, senior expert, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia; associate professor, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russia
Corresponding author: oamorozyk@gmail.com

Belenkova Natalya Gennadyevna, candidate of chemical sciences, expert, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Polyakov Anton Vladimirovich, manager, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Neklesa Roman Sergeevich, manager, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Shulga Roman Sergeevich, head of department, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Novosadova Irina Vladimirovna, head of department, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Melekhin Sergey Viktorovich, head of department, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia

Serkin Maxim Filiterovich, director of laboratory research, “RN-Geology Research Development” LLC, Tyumen, Russia