УДК 622.276
МРНТИ 52.47.27
DOI 10.56525/FZBE7391

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ РАСТВОРОВ ДЛЯ ЗАВОДНЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КАЗАХСТАНА

Танашин А.Б., Табылганов М.Т.
Университет Есенова, г. Актау, Казахстан
e-mail: ay.amangeldynaa@gmail.com, maxat.tabylganov@yu.edu.kz

Аннотация: Целью данного исследования является систематизация результатов опытно-промышленных испытаний (ОПИ) полимерного заводнения на нефтяных месторождениях Казахстана. Проведён анализ промысловых данных пяти месторождений – Каламкас, Забурунье, Нуралы, Кумколь и Узень, – на которых в период с 2013 по 2025 год реализованы пилотные и расширенные проекты полимерного заводнения. Установлено, что суммарная дополнительная добыча нефти на первых трёх объектах составила порядка 150 000 тонн, а на Кумколе за 19 месяцев получено 14585 тонн дополнительной нефти с использованием биополимера геллановой камеди. Особую научную значимость имеет доказательство работоспособности технологии при экстремальной минерализации пластовых вод до 130 г/л (месторождение Каламкас), что расширяет глобальные границы применимости метода. Результаты исследований обосновывают переход к полномасштабному полимерному заводнению Каламкаса (80 нагнетательных и более 600 добывающих скважин) с прогнозируемым приростом коэффициента извлечения нефти на 7,5%. Область применения результатов – проектирование и оптимизация процессов увеличения нефтеотдачи на зрелых месторождениях Западного Казахстана.

Ключевые слова: полимерное заводнение, увеличение нефтеотдачи, полиакриламид, месторождения Казахстана, обводнённость, коэффициент извлечения нефти.

Введение

Республика Казахстан входит в число крупнейших нефтедобывающих стран мира. В 2024 году добыча составила 87,7 млн тонн нефти и газового конденсата, а в 2025 году установлен исторический рекорд – 99,4 млн тонн. При этом практически весь прирост добычи обеспечивают три мегапроекта – Тенгиз, Кашаган и Карачаганак, дающие около двух третей национальной добычи. За последние десять лет добыча нефти на месторождениях, оперируемых казахстанскими компаниями, снизилась на 35% [1].

Нефтегазовый комплекс Казахстана находится в стадии трансформации, где ключевую роль играют инновационные технологии разработки [2, 3].

Мангистауская область – второй по объёмам нефтедобывающий регион (около 8,2 млн тонн в 2023 году) – располагает более чем 70 месторождениями с извлекаемыми запасами 725 млн тонн [4, 5]. Подавляющее большинство месторождений находится на поздней стадии разработки: средняя обводнённость превышает 90%, а остаточные запасы классифицируются как трудноизвлекаемые. В соответствии с Кодексом о недрах Казахстана месторождение признаётся истощённым при выработке запасов более 70%, обводнённости более 85% или достижении коэффициента извлечения нефти (КИН) 0,4 и выше [6]. Как отмечается в ряде работ, микробиологические и химические методы увеличения нефтеотдачи являются перспективным направлением для зрелых месторождений Казахстана [7].

В этих условиях полимерное заводнение представляет особый интерес как один из наиболее экономически эффективных методов увеличения нефтеотдачи (МУН). В мировой практике данный метод обеспечивает прирост КИН на 10-15% от начальных геологических запасов при стоимости дополнительной добычи 3-6 долларов за баррель [8, 9]. На

месторождении Дацин (Китай), где полимерное заводнение применяется промышленно с 1996 года на более чем 3 000 нагнетательных скважинах, прирост нефтеотдачи составил около 11% от начальных запасов [10, 11]. Опыт применения комплексных полимер-ПАВ-систем в Китае также подтверждает высокую эффективность химических методов МУН [12].

Целью настоящей работы является обобщение и систематический анализ результатов опытно-промышленных испытаний полимерного заводнения на месторождениях Казахстана. Задачи исследования включают: оценку эффективности различных типов полимеров в условиях высокой минерализации пластовых вод; сравнительный анализ промысловых результатов на пяти месторождениях; определение оптимальных геолого-физических условий для применения технологии; обоснование перспектив масштабирования полимерного заводнения на зрелых месторождениях Западного Казахстана [13, 14].

Научная новизна работы определяется комплексным сопоставлением результатов ОПИ полимерного заводнения на пяти казахстанских месторождениях с различными геолого-физическими условиями. Впервые систематизированы данные об эффективности полимерного заводнения при экстремальной минерализации пластовых вод (до 130 г/л), что является уникальным условием, ранее считавшимся непригодным для данной технологии [9]. Показаны преимущества амфотерных терполимеров с антиполиэлектролитным эффектом и биополимера геллановой камеди для высокоминерализованных коллекторов. Применение нанотехнологий в оценке продуктивности пластов открывает дополнительные возможности для повышения эффективности МУН [15].

Материалы и методы

Настоящая работа представляет собой систематическое обзорно-аналитическое исследование, базирующееся на агрегации данных из открытых источников. Для достижения поставленной цели был применен метод мета-анализа опубликованных результатов опытно-промышленных испытаний (ОПИ) полимерного заводнения на месторождениях Казахстана за период с 2013 по 2025 год.

Исследование проводилось в три основных этапа:



Рисунок 1. Блок-схема методологии проведения систематического обзора

1. Стратегия поиска информации. Информационную базу исследования составили научные статьи, материалы международных нефтегазовых конференций (SPE, EAGE), профильные отраслевые журналы, а также открытые корпоративные отчеты недропользователей (АО «НК «КазМунайГаз», ТОО «КМГ Инжиниринг»). Поиск литературы осуществлялся в международных и национальных базах данных, по ключевым словам, полимерное заводнение, методы увеличения нефтеотдачи, химические МУН, месторождения Казахстана.

2. Критерии отбора и систематизация источников. В итоговую выборку для анализа были включены работы, содержащие конкретные количественные показатели реализации проектов ПЗ на месторождениях Каламкас, Забурунье, Нуралы, Кумколь и Узень. Основной фокус при отборе литературы делался на публикациях, освещающих:

- Результаты лабораторного скрининга (реология, адсорбция, фильтрационные эксперименты на керне);
- Данные гидродинамических исследований скважин (ГИС, трассерные тесты, КВД);

• Фактические промысловые показатели (дополнительная добыча, динамика обводненности);

• Оценку экономической рентабельности проектов (ТЭО, NPV).

3. Анализ и обобщение извлеченных данных. Извлеченные из разрозненных источников промысловые, лабораторные и экономические данные были стандартизированы, сведены в единую аналитическую матрицу и подвергнуты сравнительному анализу. Это позволило сопоставить технологическую эффективность применения различных полимерных систем (ГПАА, АТБС-терполимеры, гелановая камедь) в контрастных геолого-физических условиях исследуемых месторождений [16].

Результаты

Результаты опытно-промышленных испытаний полимерного заводнения на месторождениях Казахстана представлены в таблице 1 и на рисунке 1. Таблица 1 обобщает основные технологические и промысловые параметры проектов, включая период проведения ОПИ, число нагнетательных и добывающих скважин, тип и концентрацию применяемого полимера, дополнительную добычу нефти, прирост коэффициента извлечения нефти и изменение обводнённости продукции. Рисунок 1 наглядно иллюстрирует два ключевых показателя эффективности технологии: прирост КИН (рисунок 1А) и кумулятивную дополнительную добычу нефти (рисунок 1Б).

Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, наибольший прогнозируемый прирост КИН характерен для месторождений Каламкас и Узень, где он составляет соответственно 7,5% и 7,0%. Это свидетельствует о высокой перспективности применения полимерного заводнения на зрелых, высокообводнённых месторождениях Западного Казахстана. В то же время наиболее выраженный фактический прирост дополнительной добычи нефти зафиксирован на месторождениях Каламкас, Забурунье и Нуралы, где получены соответственно 166,0 тыс. т, 97,9 тыс. т и 92,6 тыс. т дополнительной нефти. На месторождении Кумколь дополнительная добыча составила 14,6 тыс. т, что уступает другим объектам по абсолютному значению, но подтверждает технологическую применимость биополимеров в условиях повышенной минерализации пластовых вод.

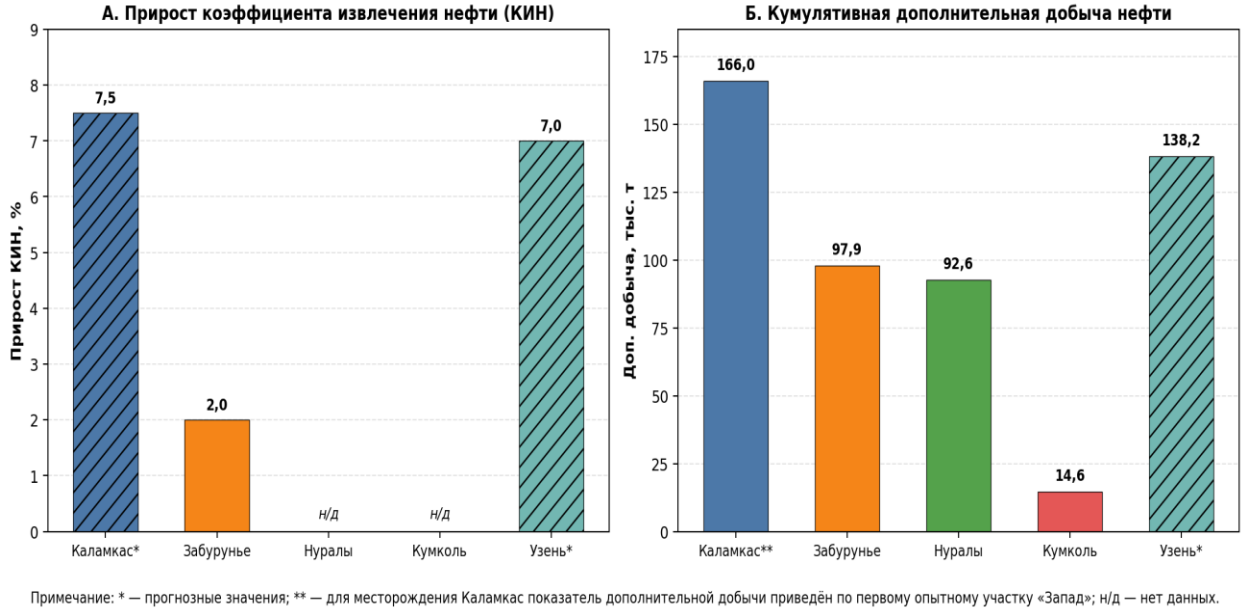


Рисунок 2 – Результаты применения полимерного заводнения на месторождениях Казахстана: А – фактический и прогнозный прирост КИН; Б – кумулятивная дополнительная добыча нефти

Таблица 1 – Сводные результаты ОПИ полимерного заводнения на месторождениях Казахстана

Параметр	Каламкас	Забурунье	Нуралы	Кумколь	Узень
Период ОПИ	2014-наст.	2014-2017+	2014-2017+	2013–2015	2022-проект
Нагн. скв.	2 (пилот)	6	2+2	5	2 (план)
Доб. скв.	23	62	38	–	11 (план)
Тип полимера	ГПАА	АТБС-тер.	ГПАА	Геллан	ГПАА
Конц., мг/л	2 600	1 950	н/д	порошок	1 500
Доп. добыча, тыс. т	166,0*	97,9	92,6	14,6	138,2 (прогн.)
Прирост КИН, %	+7,5 (прогн.)	+2	Н/Д**	Н/Д**	+7 (прогн.)
Сниж. обв., %	+	–8,1	–7	+	–9,5 (прогн.)
Минерал., г/л	130	средняя	низкая	71–73	>25

** Примечание: Данные по дополнительной добыче для месторождения Каламкас указаны по результатам первого опытного участка «Запад».*

*** Примечание: Н/Д – нет данных.*

Обсуждение

Месторождение Каламкас. Месторождение Каламкас (Мангистауская область) разрабатывается более 45 лет компанией «Мангистаумунайгаз». Текущий коэффициент извлечения нефти составляет 27%, обводнённость превышает 90%, а вязкостное соотношение нефть–вода в пластовых условиях превышает 20. Средняя проницаемость продуктивных пластов достигает 946 мД при высокой послойной неоднородности (коэффициент вариации 1,6). Особенностью объекта является чрезвычайно высокая минерализация пластовых вод — до 130 г/л, что относится к числу наиболее экстремальных условий для полимерного заводнения [17].

Пилотные испытания были начаты в 2014 году на участке, включающем 2 нагнетательные и 23 добывающие скважины. По данным таблицы 1, на первом опытном участке «Запад» была получена дополнительная добыча 166,0 тыс. т нефти, а результаты ОПИ подтвердили снижение обводнённости, рост охвата пласта и потенциал повышения нефтеотдачи. На рисунке 1А показано, что для полномасштабного внедрения прогнозируется прирост КИН на 7,5%, что является максимальным значением среди рассмотренных объектов. В 2024 году предложен проект расширения технологии на 26 новых участков, охватывающих 80 нагнетательных и более 600 добывающих скважин, с расчётным сроком реализации 20 лет [18].

Месторождение Забурунье. Месторождение Забурунье (Атырауская область) разрабатывается с 1981 года. Основной продуктивный горизонт – II неокомский, залегающий на глубине 889-960 м. Пластовая температура составляет 38,9°С, вязкость нефти в пластовых условиях - 15,3 мПа·с. ОПИ полимерного заводнения были начаты в ноябре 2014 года. В качестве реагента использовался полимер FLOPAAM 5205 VHM AL-888 (SNF, Франция), представляющий собой АТБС-терполимер с молекулярной массой 13,53 млн Да и концентрацией 1950 мг/л. Как показано в таблице 1, проект был расширен до 6 нагнетательных и 62 добывающих скважин. В результате получен прирост КИН на 2% и дополнительная добыча 97,9 тыс. т нефти, а обводнённость продукции снизилась на 8,1%. На рисунке 1А Забурунье характеризуется умеренным приростом КИН по сравнению с Каламкасом и Узенью, однако рисунок 1Б демонстрирует, что по величине дополнительной добычи этот объект остаётся одним из наиболее успешных среди фактически реализованных проектов [19].

Месторождение Нуралы. Месторождение Нуралы (Кызылординская область, Южно-Тургайский бассейн) характеризуется благоприятными фильтрационно-ёмкостными свойствами: вязкость нефти изменяется в пределах 0,4-1,7 сПз, а проницаемость пластов – от 31 до 2200 мД. Полимерное заводнение было начато в 2014 году на участке с 2 нагнетательными и 38 реагирующими добывающими скважинами. Согласно таблице 1, к сентябрю 2017 года кумулятивная дополнительная добыча составила 92,6 тыс. т нефти, что отражено на рисунке 1Б. При этом количественные данные по приросту КИН в доступных материалах отсутствуют, что отмечено в таблице как Н/Д. Несмотря на отсутствие этого показателя, по величине дополнительной добычи Нуралы относится к числу наиболее результативных проектов полимерного заводнения в Казахстане [20].

Месторождение Кумколь. На месторождении Кумколь в качестве реагента применялся биополимер геллановой камеди, что отличает этот проект от остальных, основанных преимущественно на использовании полиакриламидов. Пластовая температура составляет 55°С, минерализация пластовых вод – 71-73 г/л. За два цикла ОПИ в период с октября 2013 по май 2015 года была получена суммарная дополнительная добыча 14,6 тыс. т нефти. Хотя по абсолютной величине этот показатель ниже, чем на других месторождениях, результаты имеют важное научно-практическое значение, поскольку подтверждают работоспособность биополимерных систем в сложных пластовых условиях. На рисунке 1Б Кумколь характеризуется наименьшим значением дополнительной добычи среди рассмотренных объектов, однако сам факт положительного результата указывает на перспективность дальнейшего развития данного направления [21].

Месторождение Узень. Месторождение Узень разрабатывается с 1965 года и относится к числу классических зрелых месторождений Казахстана. Текущий КИН составляет 34,6%, а обводнённость достигает 94%. Для пилотного участка XVII горизонта было выполнено технико-экономическое обоснование полимерного заводнения с рабочей концентрацией ГПАА 1500 мг/л и целевым объёмом закачки 70% порового объёма за 7 лет. Как видно из таблицы 1 и рисунка 1, для данного объекта прогнозируется прирост КИН на 7,0% и дополнительная добыча 138,2 тыс. т нефти, при этом ожидается снижение обводнённости с 94,1% до 84,6%. По величине прогнозной дополнительной добычи Узень занимает одно из ведущих мест среди рассматриваемых объектов, что подтверждает высокую экономическую и технологическую обоснованность внедрения полимерного заводнения на данном месторождениию Проект рентабелен при цене нефти выше 55 долларов за баррель [22,23].

Таким образом, представленные данные показывают, что эффективность полимерного заводнения на месторождениях Казахстана варьирует в зависимости от геолого-физических условий, минерализации пластовых вод, типа применяемого полимера и масштаба охвата залежи. При этом как фактические, так и прогнозные показатели подтверждают высокую перспективность данной технологии для повышения нефтеотдачи зрелых месторождений.

Заключение

Анализ опытно-промышленных испытаний полимерного заводнения на месторождениях Каламкас, Забурунье, Нуралы, Кумколь и Узень показал, что в условиях Казахстана эта технология эффективна для зрелых и высокообводнённых месторождений. Применение полимерных растворов сопровождается снижением обводнённости продукции, увеличением коэффициента извлечения нефти и получением дополнительной добычи нефти.

Сравнение результатов по месторождениям показало, что эффективность полимерного заводнения определяется минерализацией пластовых вод, свойствами нефти, фильтрационно-ёмкостными характеристиками коллекторов, типом полимера и масштабом охвата залежи. По рассмотренным объектам получены значимые результаты по дополнительной добыче нефти, а для Каламкаса и Узеня обоснованы высокие прогнозные показатели прироста КИН.

Наиболее важный результат получен для месторождения Каламкас, где подтверждена работоспособность технологии при минерализации пластовых вод до 130 г/л. Это показывает

возможность применения полимерного заводнения в высокоминерализованных коллекторах и расширяет область его практического использования в Западном Казахстане.

Результаты также показали, что положительный эффект достигается как при использовании традиционных полиакриламидных систем, так и при применении биополимеров. На месторождении Кумколь гелланова камедь обеспечила дополнительную добычу нефти, что подтверждает перспективность расширения спектра полимерных реагентов с учётом конкретных пластовых условий.

Полученные фактические данные и прогнозные показатели для Каламкаса и Узеня подтверждают целесообразность дальнейшего промышленного внедрения и масштабирования полимерного заводнения на месторождениях Казахстана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Forecast of the long-term trajectory of the potential GDP of Kazakhstan in the context of the global energy transition // Energies. – 2022. – https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9491661/

2. The innovative ways of development in the oil and gas industry of Kazakhstan // International Journal of Energy Economics and Policy. – 2022. – Vol. 12, № 1. – С. 154–162. https://econjournals.com/index.php/ijeep/article/download/11505/6183

3. Foresight management of national oil and gas industry development // Energies. – 2022. – Vol. 15, № 2. – Article 491. https://www.mdpi.com/1996-1073/15/2/491

4. АО «НК «КазМунайГаз». Годовой отчет за 2024 год. – Алматы : КазМунайГаз, 2025. – 150 с. – https://kmg.kz/ru/investors/results-and-reports

5. АО «НК «КазМунайГаз». Годовой отчет за 2023 год (прогноз 2025). – Алматы : КазМунайГаз, 2024. – 140 с. https://kmg.kz/ru/investors/results-and-reports

6. Кодекс Республики Казахстан о недрах и недропользовании : от 27 дек. 2017 г. № 125-VI ZRK (с изм. от 2025). https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000238

7. Exploring the use of microbial enhanced oil recovery in Kazakhstan: a review // Frontiers in Microbiology. – 2024. – Vol. 15.https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmicb.2024.1394838/full

8. An overview: practice, experience and achievement of polymer flooding in Daqing oilfield // Atlantis Press. – 2016. http://www.atlantis-press.com/php/paper-details.php?id=25857139

9. Recent advances in polymer flooding in China // Polymers. – 2022. – Vol. 14, № 20. – Article 6978. https://www.mdpi.com/1420-3049/27/20/6978

10. A systematical review of the largest polymer flood project in the world: from laboratory to pilots and field application // Reservoir Evaluation & Engineering. – 2023. – Vol. 26, № 3. – С. 708–728: https://onepetro.org/REE/article/26/03/708/517541

11. Best practice case to improve oil recovery: revisit of the largest oilfield in China // SPE Conference. – 2024: https://onepetro.org/SPECTCE/proceedings/24CTC/24CTC/D031S016R005/607292

12. Recent advances of surfactant-polymer (SP) flooding enhanced oil recovery field tests in China // Geofluids. – 2020. – Vol. 2020. – Article ID 8286706. https://www.hindawi.com/journals/geofluids/2020/8286706/

13.Use of a new miscible agent as a perceived need for Uzen oil field development // NGDelo. – 2019. – № 2. – С. 56–67. http://ngdelo.ru/files/ngdelo/2019/2/ngdelo-2-2019-p56-67.pdf

14.The impact of diversification of the oil and gas complex on economy of the national Kazakhstan // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 540. – 02006 https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/pdf/2024/24/e3sconf_aees2024_02006.pdf

15.Rapid assessment of deposit production capacity for determination of nanotechnologies application efficiency // Nanobuild. – 2017. – № 3. – С. 20–34.: http://nanobuild.ru/en_EN/journal/Nanobuild-3-2017/20-34.pdf

16.Improving the fuel and energy complex of Kazakhstan: the path to a sustainable energy future // Journal KAINAR University. – 2023. – № 4. https://www.journal-kainar.kz/jour/article/download/125/27

17.Kushekov, R., Sagyndikov, M., Seright, R. Evaluation of Polymer Flooding Efficiency at Brownfield Development Stage of Giant Kalamkas Oilfield, Western Kazakhstan // SPE Annual Caspian Technical Conference. – Астана: SPE, 2018. – SPE-192555-MS. – 18 с.

18.Kushekov, R., Sagyndikov, M., Seright, R., et al. Full-Field Polymer Flooding Project – Principles and Challenges at the Kalamkas Oilfield // SPE Improved Oil Recovery Conference. – Tulsa: SPE, 2024. – SPE-218213-MS. – 21 с.

19.Мусаев, Н.Б., Кашаганов, Е.Т., Есиркепов, Т.С. Опыт внедрения технологии полимерного заводнения на месторождении Забурунье как метода разработки зрелых месторождений // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2021. – № 3. – С. 62–75.

20.Zhalmuganbetov, T. Case-Study of Successful Pilot Polymer Flooding in the South Turgay Basin's Oilfield // SPE Annual Caspian Technical Conference. – Баку: SPE, 2015. – SPE-177339-MS. – 14 с

21.Berzhanova, R.Zh., Kudaibergenov, S.E., Gussenov, I.S. Exploring Potential of Gellan Gum for Enhanced Oil Recovery // Gels (MDPI). – 2023. – Т. 9, № 11. – С. 858.

22.Иманбаев, Б.Т., Сагындиков, М.С., Кушеков, Р.М., и др. Оценка и научное обоснование применения полимерного заводнения на месторождении Узень // Kazakhstan Journal for Oil & Gas Industry. – 2022. – № 2. – С. 34–52.

23.Тогашева А.Р., Алданыш А., Хайитов О.Г. Физико -химические и реологические свойства полиакриламидов в технологии полимерного заводнения//Yessenov Science Journal.- 2025.- № 3. - С.355-364.

ҚАЗАҚСТАН КЕН ОРЫНДАРЫН СУЛАНДЫРУ ҮШІН ПОЛИМЕРЛІК ЕРІТІНДІЛЕРДІ ҚОЛДАНУ ТИІМДІЛІГІНІҢ ТӘЖІРИБЕЛІК-ӨНЕРКӘСІПТІК ЗЕРТТЕУЛЕРІ

Танашин А.Б., Табылғанов М.Т.
Есенов университеті, Ақтау қ., Қазақстан
e-mail: ay.amangeldynaa@gmail.com, maxat.tabylganov@yu.edu.kz

Аңдатпа: Бұл зерттеудің мақсаты – Қазақстан мұнай кен орындарында полимерлік суландыруды тәжірибелік-өнеркәсіптік сынау (ТӨС) нәтижелерін жүйелеу. Қаламқас, Забурунье, Нұралы, Құмкөл және Өзен кен орындарының 2013–2025 жылдар аралығындағы деректері талданды. Алғашқы үш нысанда қосымша мұнай өндіру шамамен 150 000 тоннаны құрады, ал Құмкөл кен орнында биополимер геллан камедін қолдану арқылы 19 ай ішінде 14 585 тонна қосымша мұнай алынды. Минералдануы 130 г/л-ге дейін жететін қабат суларында (Қаламқас) технологияның жұмысқа жарамдылығы дәлелденді. Нәтижелер Қаламқасты толық ауқымды полимерлік суландыруға көшуді негіздейді.

Түйін сөздер: полимерлік суландыру, мұнай бергіштікті арттыру, полиакриламид, Қазақстан кен орындары, сулануы, мұнай алу коэффициенті.

PILOT AND INDUSTRIAL-SCALE INVESTIGATIONS OF POLYMER FLOODING EFFICIENCY FOR WATERFLOODING AT OILFIELDS OF KAZAKHSTAN

Tanashin A., Tabylganov M.
Yessenov University, Aktau, Kazakhstan
e-mail: ay.amangeldynaa@gmail.com, maxat.tabylganov@yu.edu.kz

Abstract: The aim of this study is to systematize the results of pilot and industrial-scale polymer flooding tests at oil fields of Kazakhstan. Field data from five oil fields – Kalamkas, Zaburunye, Nuraly, Kumkol, and Uzen – covering the period 2013–2025 were analyzed. The cumulative incremental oil production at the first three fields totaled approximately 150,000 tonnes, while at Kumkol, 14,585 tonnes of additional oil were produced over 19 months using gellan gum biopolymer. The operability of the technology under extreme formation water salinity of up to 130 g/L (Kalamkas field) was demonstrated, extending the global boundaries of the method's applicability. The findings support the transition to full-field polymer flooding at Kalamkas (80 injection and over 600 production wells) with a projected oil recovery factor increase of 7.5%. The results are applicable to the design and optimization of enhanced oil recovery processes at mature fields in Western Kazakhstan.

Keywords: polymer flooding, enhanced oil recovery, polyacrylamide, Kazakhstan oilfields, water cut, oil recovery factor.