



СТАТЬИ И КОММЕНТАРИИ.

Тематическое приложение

октябрь 2023

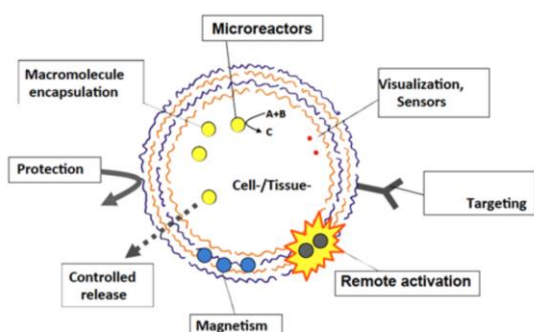
Перед Вами очередной выпуск тематического приложения к Бюллетеню Экспертно-аналитического центра Союза Нефтегазопромышленников России.

Текущий выпуск представляет из себя научную статью, в которой рассмотрены актуальные проблемы добычи нефти в России, выявлены комплексные направления модернизации нефтедобывающего комплекса, а также сформулирована необходимость использования методов увеличения нефтеотдачи (МУН). Рассмотрены проблемы применения МУН, обоснована их важность для современных процессов добычи нефти. Приведен анализ современных физико-химических методов увеличения нефтеотдачи. Доказана важность применения ХМУН, рассмотрены условия применения, механизм действия, а также преимущества и недостатки каждого из методов. Выделен ряд проблем, связанных с химическими методами увеличения нефтеотдачи, выявлена необходимость модернизации современных технологий ХМУН.

Материал опубликован в журнале "Neftegaz.ru №9" (2023)

Умные микрочастицы для повышения эффективности физико-химических МУН

NANOENGINEERED POLYMERIC CAPSULES



Дмитриевский А.Н., академик РАН, научный руководитель института, главный научный сотрудник ИПНГ РАН, д.г.-м.н.

Максимов А.Л., член-корр. РАН, директор ИНХС РАН

Антонов С.В., заведующий лабораторией ИНХС РАН, к.х.н.

Нургалиев Д.К. директор института геологии и нефтегазовых технологий КФУ, д.г.-м.н.

Еремин Н.А., профессор РГУНГ, заведующий центром ИПНГ РАН, д.т.н.

Замрий А.В., генеральный директор Межотраслевого экспертно-аналитического центра

Дарищев В.И., заместитель генерального директора по научно-техническому развитию и инновациям, ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», к.т.н.

Варфоломеев М.А., заведующий кафедрой КФУ, к.т.н.

Безруков Н.П., младший научный сотрудник ИНХС РАН

Алиева Л.А., Чурина А.А., Ахметзянов И.И., Бахмутов А.В., МЭАЦ



Введение

Добыча нефти – процесс, благодаря которому один из основных природных энергоносителей становится доступным для использования.

В настоящее время извлечение нефти происходит как на относительно недавно вступивших в разработку месторождениях, так и на месторождениях, эксплуатируемых длительное время с падающими показателями. К последним относится большинство средних и крупных месторождений России, что говорит о необходимости широкого применения методов увеличения нефтеотдачи (МУН).

В данный момент накоплен обширный опыт применения различных методов увеличения нефтеотдачи, к использованию которых прибегают на стадии падающей добычи нефти.

Необходимость применения МУН вызвана следующими факторами:

- снижение дебитов скважин, связанное с выработкой месторождения;
- увеличение обводненности продукции;
- понижение коэффициента охвата – доли объема пласта, охваченной процессом фильтрации.

В настоящее время в мире доля нефти, добытой за счет МУН, составляет всего 2–3% [1]. Зачастую компании отдают предпочтение проектам, приносящим быструю прибыль, в то время как применение МУН требует существенных денежных затрат, большого периода планирования, тестирования и реализации. В отличие от технологии интенсификации добычи, таких как гидроразрыв пласта и кислотные обработки скважин, позволяющих кратковременно увеличить добычу нефти, применение МУН обеспечивает комплексное воздействие на пласт, что приводит к повышению коэффициента извлечения нефти (КИН), увеличению объема добытой нефти в перспективе всего периода разработки. Именно поэтому по мере истощения запасов роль МУН в нефтедобыче будет неизбежно расти [13].

Особый интерес представляют физико-химические МУН, эффективные, как правило, на давно разрабатываемых месторождениях с высокой обводненностью, низкой вязкостью нефти и высокой проницаемостью.

К таким месторождениям можно отнести ряд важнейших месторождений: Самотлорское, Ромашкинское, Мамонтовское. В России средняя обводненность продукции составляет 86% [2], а для крупнейших месторождений Западной Сибири этот показатель равен 89% [3], что говорит о высоком потенциале применения физико-химических МУН.

В нашей стране в разработке находятся несколько проектов с использованием химических МУН: ПАВ-полимерное заводнение на Холмогорском, Суторминском месторождениях, полимерное заводнение на Восточно- Мессояхском месторождении. Одним из ярких примеров успешной реализации технологий ХМУН является закачка ASP-реагента на Западно-Салымском месторождении. С технологической точки зрения проект показал отличный результат: на пилотном участке КИН был увеличен на 17 п.п. и достиг 65% – в два раза выше, чем средний по РФ [1]. Интерес к химическим МУН в отрасли есть, однако по ряду причин, таких как высокая стоимость реагентов и адсорбция активных веществ внутри коллектора, применяются они достаточно редко. Острая необходимость состоит в том, чтобы вывести технологический уровень химических МУН на качественно новую ступень.

Современные технологии увеличения нефтеотдачи

К настоящему времени разработаны методы увеличения нефтеотдачи, основанные на различных физических механизмах. Как правило, применение МУН ведет либо к изменению свойств нефти, либо вытесняющего агента (изменение вязкости, подвижности). Ниже представлена классификация современных технологий (рис. 1).

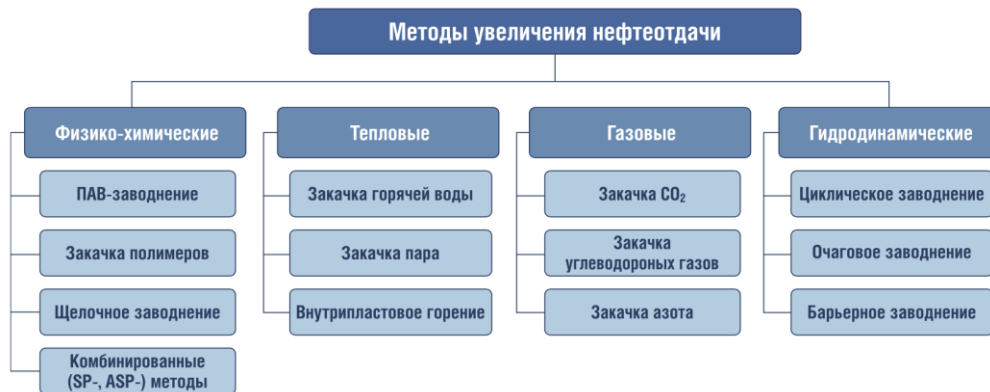


Рисунок 1. Классификация современных методов увеличения нефтеотдачи

Поскольку в рамках данной статьи наибольший интерес представляют физико-химические МУН, необходимо более подробно изложить принципы действия данных технологий.

ПАВ-заводнение

Метод ПАВ-заводнения основан на изменении смачивающих свойств воды и снижении поверхностного натяжения на границе «нефть- вода», вследствие чего повышается коэффициент вытеснения нефти. Применение данного метода осложняется явлением адсорбции поверхностно-активного вещества на поверхности породы и, как следствие, необходимостью закачки больших объемов раствора, поэтому в настоящее время растворы ПАВ применяют в основном для обработки призабойных зон нагнетательных скважин для увеличения их приемистости. В качестве активного вещества применяются:

- алкилсульфаты;
- сульфонаты;
- алифатические амины;
- оксиэтилированные алкилфенолы.

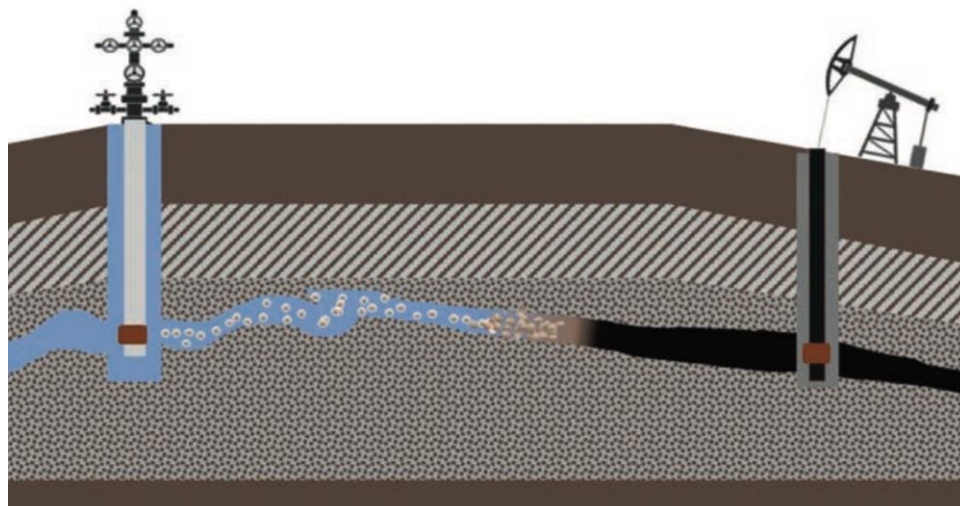


Рисунок 2. Принципиальная схема технологии капсулирования химического реагента в виде ПАВ внутри полимерной оболочки (УМК-МУН) с целью адресного доизвлечения нефти из удаленных от скважины зон или целиков с остаточной нефтью



Полимерное заводнение

Метод полимерного заводнения заключается в увеличении охвата пласта за счет снижения подвижности (повышения вязкости) вытесняющего агента при растворении в воде высокомолекулярного соединения – полимера [4]. Повышается также фильтрационное сопротивление в результате адсорбции полимера на поверхности пористой среды и последующего образования геля. Эти эффекты вызывают перераспределение потоков в пласте и, как следствие, – повышение нефтеотдачи пласта. Применяются следующие высокомолекулярные соединения:

- поливинилсахариды (сахарные фрагменты в боковой цепи);
- природные биополимеры растительного происхождения и продукты жизнедеятельности микроорганизмов (т.е. незаряженные полисахариды);
- модифицированные биополимеры, имеющие боковую синтетическую цепь;
- синтетические полимеры.

Поскольку закачка полимера увеличивает вязкость среды заводнения, она, как правило, эффективна только при высокой проницаемости коллектора [5]. В породе с низкой проницаемостью вытеснение полимера быстро достигает точки, при которой оно больше не дает результатов.

Щелочное заводнение

Метод щелочного заводнения нефтяных пластов основан на взаимодействии щелочей с пластовыми нефтью и породой. К таким реагентам относятся:

- гидроксид натрия NaOH (каустическая сода);
- кальцинированная сода Na₂CO₃;
- аммиак (гидроксид аммония) NH₄OH;
- силикат натрия Na₂SiO₃.

Метод щелочного заводнения основан на взаимодействии щелочи с органическими кислотами [6], при этом происходит образование ПАВ, которые снижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз «нефть- порода».

Существует три возможных механизма щелочного заводнения для улучшения добычи нефти, которые включают в себя дисперсию нефти, изменение смачиваемости коллектора, эмульгирование и охват нефти.

Среди недостатков щелочного заводнения стоит выделить узкую применимость (данный вид МУН эффективен лишь при высоком кислотном числе нефти), а также риск выпадения нерастворимых осадков в карбонатных породах, что может привести к снижению проницаемости [7]. Ниже представлена сводная таблица по химическим МУН (см. табл. 1).



Метод	Механизм действия	Достоинства	Недостатки	Зона применения
Нагнетание водных растворов ПАВ	Снижение межфазного натяжения на границе «нефть – вода» с последующим эмульгированием нефти	Значительное повышение коэффициента вытеснения	• Адсорбция ПАВ на поверхности породы • Большие объемы закачки • Высокая стоимость реагентов	Призабойная зона нагнетательных скважин на залежах с высокой проницаемостью
Полимерное заводнение	Выравнивание фронта вытеснения путем увеличения вязкости воды и блокирования высокопроницаемых участков	Снижение обводненности продукции, вовлечение в добычу пропластков с меньшей проницаемостью	• Термическая деструкция полимеров • Риск преждевременного гелеобразования	Закачка в нагнетательные скважины с последующим воздействием на пласты с высокой степенью неоднородности
Щелочное заводнение	Щелочь, реагируя с нефтяными кислотами, образует соли, являющиеся поверхностно-активными веществами	Низкая стоимость реагента	• Низкая эффективность по сравнению с ПАВ-заводнением; • Риск выпадения осадков в карбонатных породах и снижения проницаемости	Закачка в нагнетательные скважины. Основное условие – высокое содержание кислот в нефти
Нагнетание водных растворов анионного поверхностно-активного вещества, соды/щелочи и полимера (ASP)	Представляет собой комбинацию ПАВ-, полимерного и щелочного заводнения	Существенное повышение нефтеизвлечения, эффект синергии трех видов химических методов увеличения нефтеотдачи	• Высокая стоимость реагентов • Необходимость подбора композиции ASP • Риск деструкции полимера в присутствии щелочи	Закачка в нагнетательные скважины

Примечание: ПЗ – полимерное заводнение; ЩЗ – щелочное заводнение.

Таблица 1. Обзор химических МУН [4, 6, 8 – 37]

Недостатки современных методов

Несмотря на то, что современные физико-химические методы увеличения нефтеотдачи позволяют значительно увеличить темпы добычи, существуют недостатки, осложняющие применение подобных технологий:

- Адсорбция ПАВ приводит к большому расходу реагента, что является критичным для проектов ПАВ-заводнения ввиду высокой стоимости поверхностно-активных веществ;
- Движение реагентов химических методов увеличения нефтеотдачи внутри коллектора слабоуправляемо, что снижает точность воздействия на пласт и ведет к повышенному расходу активных веществ;
- При полимерном заводнении есть риск преждевременного гелеобразования, что ограничивает область воздействия зоной, близкой к нагнетательной скважине;
- Термическая деструкция полимеров ограничивает их применение при высоких пластовых температурах.

Предлагаемое решение

Ключевым принципом инновационной технологии (аббревиатура УМК-МУН) является капсулирование действующего химического реагента в виде ПАВ (умный контейнер или УМК) внутри полимерной оболочки, а также последующее перемещение и раскрытие капсул под действием тех или иных физических факторов.

В данный момент изучается возможность контроля движения капсул умных контейнеров при помощи магнитного поля, а также вопросы капсулирования и раскрытия капсул умных контейнеров под воздействием сверхвысокочастотного, ультразвукового воздействия и магнитной индукции. Внедрение технологии УМК-МУН предполагает



несколько стадий, первая из которых заключается в закачке закапсулированного рабочего раствора ПАВ внутри полимерной оболочки в нагнетательную скважину. Далее, в результате воздействия магнитного поля капсулы фиксируются на определенном интервале в пористом пространстве, выбранном в соответствии с горно-геологическими условиями пласта, для обеспечения адресного воздействия композиции химических реагентов.

Капсулы вместе с водой перемещаются к нефтенасыщенной части пласта с минимальной адсорбцией, после чего при воздействии определенного физического фактора (сверхвысокочастотное излучение, ультразвуковое воздействие, индукционное и пр.) оболочка капсул разрушается, высвобождая ПАВ.

В случае применения ПАВ-заводнения микроконтейнеры будут двигаться непосредственно к водонефтяному контакту и высвободятся ближе к нефтенасыщенной части пласта, тем самым сокращая потери поверхностно-активного вещества при адсорбции на породе. Применение УМК при полимерном заводнении приведет к более точечному воздействию на пласт и предотвратит преждевременное гелеобразование.

Технология УМК-МУН позволяет, с одной стороны, снизить расход дорогостоящего химического реагента, избежать нежелательной высокой адсорбции ПАВ матрицей горной породы, а с другой – обеспечить адресное воздействие на гетерогенные нефтенасыщенные пласты для извлечения остаточной нефти и вовлечь в процесс фильтрации менее проницаемые пропластки.

Вывод

Применение технологии умных микроконтейнеров позволит существенно увеличить эффективность методов увеличения нефтеотдачи и снизить их стоимость за счет следующих факторов:

- сокращение потерь реагентов, в частности ПАВ, в ходе движения раствора к нефтенасыщенной части коллектора;
- более точное воздействие раствора на интервалы изоляции в ходе применения полимерного заводнения;
- возможность применения различных технологий полимерного заводнения с заданным временем загеливания и с более высокой точностью подачи полимеров.

На основании всего вышперечисленного можно с уверенностью заявить, что разрабатываемая инновационная технология «УМК-МУН» позволит повысить эффективность физико-химических методов увеличения нефтеотдачи и обеспечить дополнительную добычу нефти.

Литература

1. В.И. Дарищев «Современные проекты ХМУН в России» в Международная научно-техническая конференция по химическим МУН, Казань, 2022.
2. Д.С. Леонтьев. Разработка и исследование технологий ограничения и ликвидации водопритоков в нефтяных скважинах, Тюмень: ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2020.
3. А.Н. Янин «Ретроспективный обзор показателей разработки крупнейших месторождений Западной Сибири», Бурение и Нефть, No 7, 2010.
4. К.А. Нурмаганбетова. Эффективность применения технологии ASP-заводнения при разработке нефтяных месторождений, Томск: ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ), 2021.



5. J.J. Sheng «Status of Polymer-Flooding Technology» Journal of Canadian Petroleum Technology, No 3, pp. 116 – 126, 2015.
6. И.Р. Юшков, А.А. Ерофеев, А.И. Юшков и А.А. Злобин «Оценка результатов щелочного заводнения в Пермском крае», Нефтепромысловое дело, No 9, 2013.
7. Д.А. Вендина «XXIV Международный симпозиум имени академика М.А. Усова», в Анализ геологических условий, влияющих на полимерное заводнение, Томск, 2020.
8. J.J. Sheng «Status of Alkaline Flooding Technology», Journal of Petroleum Engineering & Technology, т. V, No 1, pp. 44 – 50, 2015.
9. А.В. Замрий и Н.В. Викторова «Умные микроконтейнеры», Нефтегазовая вертикаль, No 10, pp. 27 – 31, 2019.
10. Экспресс-метод расчета технологических показателей дополнительной добычи нефти (при применении методов повышения нефтеотдачи) / Н.А. Еремин, А.Б. Золотухин, С.В. Михайлов [и др.] // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности. Том Выпуск 2. – Москва: Издательство ГЕОС, 2002. – С. 329 – 334. – EDN WGWCDJ.
11. Eremin N.A. Enhanced Oil Recovery Methods / N.A. Eremin, L.N. Nazarova. – Moscow: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2001. – 153 p. – EDN WIJBVX.
12. Выбор метода воздействия на нефтяную залежь / Н.А. Еремин, А.Б. Золотухин, Л.Н. Назарова, О.А. Черников. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 1995. – 190 с. – EDN WGVZZZ.
13. Инновационные технологии предупреждения осложнений и аварийных ситуаций при строительстве нефтяных и газовых скважин. Применение технологии микроконтейнеров для борьбы с поглощениями / А.Н. Дмитриевский, А.Л. Максимов, С.В. Антонов [и др.] // Бурение и нефть. – 2022. – No 9. – С. 6 – 13. – EDN PJMJWJ.
14. Еремин, Н.А. Углекислый газ как эффективный химический агент увеличения коэффициента нефтеотдачи месторождений / Н.А. Еремин, Г. У. Хакимов // Актуальные проблемы освоения нефтегазовых месторождений приарктических территорий России: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Архангельск, 27 – 28 октября 2022 года. Том Выпуск 5. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 144–150. – EDN ESYAHB.
15. О термическом повышении нефтеотдачи при добыче высоковязких нефтей и битумов для месторождений Венесуэлы / А.А. Маркано Гонсалес, И.К. Басниева, Н.А. Еремин [и др.] // Актуальные проблемы нефти и газа. – 2019. – No 1 (24). – С. 9. – DOI 10.29222/ ipng.2078-5712.2019-24. art9. – EDN ZDXSRF.
16. Еремин, Н.А. МПН/МУН – современное состояние и тренды развития / Н.А. Еремин, А.Н. Еремин, А.Н. Еремин // Нефть. Газ. Новации. – 2016. – No 4. – С. 47 – 52. – EDN WBFVCSX.
17. Биометоды увеличения нефтеотдачи: Лекционный курс / Н.А. Еремин, Р.Р. Ибатуллин, Т.Н. Назина, А.А. Ситников. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 2003. – 125 с. – ISBN 5-7246-0236-9. – EDN WGTZRZ.
18. Ермаков, П.П. Нагнетание азота в пористые среды для увеличения нефтеотдачи / П.П. Ермаков, Н.А. Еремин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 1996. – No 11. – С. 45–50. – EDN YSZANN.
19. Применение экспертно-статистического анализа в выборе метода воздействия на нефтяные пласты / И.К. Басниева, Н.А. Еремин, В.В. Сурина, Е.Ф. Юдовина // Нефтяная



промышленность. Обзорная информация. Серия: Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. – 1995. – No 4. – С. 35–39. – EDN UZTDLD.

20. Еремин Н.А. Оценка применения полимерного заводнения с использованием теории нечетких множеств / Н.А. Еремин, В.В. Сурина, М.С. Приказчикова // Нефтяное хозяйство. – 1994. – No 4. – С. 54–57. – EDN YSZAFF.

21. Еремин Н.А. Литологические и седиментологические аспекты применения методов воздействия на нефтяные пласты / Н.А. Еремин // Нефтяное хозяйство. – 1994. – No 7. – С. 43 – 46. – EDN VQPJXG.

22. Еремин Н.А. Плотность сетки скважин при применении методов увеличения нефтеотдачи пластов / Н.А. Еремин, Ю.П. Желтов, Е.С. Макарова // Нефтяное хозяйство. – 1993. – No 11. – С. 28 – 32. – EDN YSZAHJ.

23. Золотухин А.Б. Способы оценки успешности применения методов воздействия на нефтесодержащие пласты / А.Б. Золотухин, Н.А. Еремин, Л.Н. Назарова // Труды Государственной академии нефти и газа им. И.М. Губкина. – 1992. – No 236. – С. 6–15. – EDN YUXHNF.

24. Еремин Н.А. Методика оценки уровня и конкурентоспособности технологий и методов увеличения нефтеотдачи / Н.А. Еремин, А.Б. Золотухин, Л.М. Сургучев; РД Миннефтегазпром СССР. – Москва: Миннефтегазпром СССР, 1990. – 56 с. – EDN UVBAKS.

25. Теория нечетких множеств в выборе методов воздействия на нефтяные пласты / А.Б. Золотухин, Н.А. Еремин, Л.Н. Назарова, Е.М. Пономаренко // Нефтяное хозяйство. – 1991. – No 3. – С. 21 – 23. – EDN XROZIT.

26. Система автоматизированного проектирования разработки нефтяных месторождений (САПР РНМ) с применением тепловых методов увеличения нефтеотдачи / Ю.П. Желтов, А.Б. Золотухин, Н.А. Еремин, Л.Н. Назарова // Развитие и совершенствование систем разработки нефтяных месторождений. – Москва: Наука, 1989. – С. 119 – 131. – EDN YTDLQT.

27. Еремин Н.А. Определение веса параметра для задачи выбора метода воздействия с помощью экспертной системы / Н.А. Еремин, А.Б. Золотухин, Л.Н. Назарова // Роль молодежи в решении конкретных научно-технических проблем нефтегазового комплекса страны: Тезисы докладов Всесоюзной конференции, пос. Красный Курган, 06 – 08 июня 1989 года. – пос. Красный Курган, 1989. – С. 187. – EDN JIMFTJ.

28. Системный подход к определению эффективности применения физико-химических методов воздействия / А.Б. Золотухин, Л.Н. Назарова, М.С. Приказчикова, Н.А. Еремин // Методология системного анализа проблем разработки нефтяных и газовых месторождений: Тезисы докладов, Пермь, 15–16 ноября 1988 года. – Пермь: Пермский политехнический институт, 1988. – С. 19 – 20. – EDN PUKHBD.

29. Еремин Н.А. Создание системы автоматизированного проектирования разработки нефтяных месторождений методом внутрислоевого горения: специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Еремин Николай Александрович. – Москва, 1987. – 22 с. – EDN RBJAXM.

30. Еремин, Н.А. Создание системы автоматизированного проектирования разработки нефтяных месторождений методом внутрислоевого горения: специальность 25.00.17 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Еремин Николай Александрович. – Москва, 1986. – 149 с. – EDN WGSCVP.



31. Золотухин А.Б. Проектирование разработки нефтяных месторождений с применением внутрислоевого горения / А.Б. Золотухин, Н.А. Еремин. – Москва: Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, 1986. – 73 с. – EDN UUGDAM.
32. The associative polymer flooding: an experimental study / R. Abirov, A.P. Ivakhnenko, Z. Abirov, N.A. Eremin // Journal of Petroleum Exploration and Production Technology. – 2020. – Vol. 10, No. 2. – P. 447 – 454. – DOI 10.1007/s13202-019-0696-8. – EDN YICCP.
33. Abirov, R. Zh. Enhanced Oil Recovery methods for students / R. Zh. Abirov, O.P. Ivakhnenko, N.A. Eremin. – Almaty: Kazakh British Technical University, 2020. – 34 p. – EDN VWNPAE.
34. Abirov, R. Zh. Polymer flooding technology investigation in reservoir conditions of the N-field / R.Zh. Abirov, O.P. Ivakhnenko, N.A. Eremin // Herald of the Kazakh-British Technical University. – 2016. – Vol. 13, No. 4 (39). – P. 7–10. – EDN SOOAZQ.
35. Sitnikov, A.A. A Mathematical Model of Microbial Enhanced Oil Recovery (MEOR) Method for Mixed Type Rock / A.A. Sitnikov, N.A. Eremin, R.R. Ibatullin // European Petroleum Conference: Society of Petroleum Engineers, London, UK, 25–27 октября 1994 года. – London, UK: Society of Petroleum Engineers (SPE), 1994. – P. 367-374. – DOI 10.2118/28903-MS. – EDN AGWSWX.
36. Comparative Analysis of Successful Application of EOR in Russia and CIS / I.K. Basnieva, A.B. Zolotukhin, N.A. Eremin, E.F. Udovina // University of Tulsa Centennial Petroleum Engineering Symposium: electronic edition, Tulsa, USA, 29–31 августа 1994 года. – Tulsa, USA: Society of Petroleum Engineers, Inc., 1994. – P. 485 – 493. – EDN VLGNQM.
37. Multicriterial approach to EOR/IOR methods application analysis in reservoir engineering projects / I.K. Basnieva, N.A. Eremin, E.M. Ponomarenko, E.F. Yudovina // Seventh European Symposium on Improved Oil Recovery: Proceedings, Moscow, 27 – 29 октября 1993 года. Vol. Volume 1. – Moscow: Russian Interbranch Scientific and Technological Complex «Oil Recovery», 1993. – P. 52 – 60. – EDN XRXXNF.