

22 86
167

СХ

Министерство
нефтяной
промышленности

**ВСЕСОЮЗНЫЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ОРГАНИЗАЦИИ,
УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

Для служебного пользования

Экз. № 303

**АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ
ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ
ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ
В ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТАХ**

Сборник научных трудов

**ВНИИОЭНГ
МОСКВА-1985**

МИНИСТЕРСТВО НЕФТЯНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОРГАНИЗАЦИИ, УПРАВЛЕНИЯ И ЭКОНОМИКИ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

22 $\frac{86}{167}$

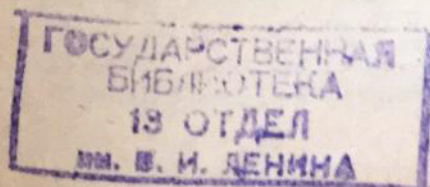
11/58

Для служебного пользования

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ
И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ПРОДУКТИВНЫХ
ПЛАСТАХ

Сборник научных трудов

Москва ВНИИОЭНГ 1985





Сборник составлен по материалам заседания научно-технического совета Миннефтепрома по проблеме: "Анализ результатов и перспективы повышения эффективности технологии применения методов теплового воздействия и технических средств для использования теплоносителей в продуктивных пластах".

Приводятся результаты опытно-промышленной разработки залежей высоковязких нефтей с применением тепловых методов в различных районах страны. Рассматриваются проблемы проектирования и применения тепловых методов увеличения нефтеотдачи пластов, итоги научно-исследовательских работ в области методов теплового воздействия на пласты. Описываются работы по созданию и испытанию специального скважинного оборудования по состоянию методов и технических средств контроля разработки залежей тепловыми методами.

Ответственный за выпуск к.т.н. Г.И. Григорашенко

Редакционный совет:

Григорашенко Г.И. (председатель), Бичковский А.Д., Воскресенский И.А., Завертайло М.М., Зубов Н.В., Иванов В.А. (зам. председателя), Ишханов В.Г., Митин Н.Е., Булатова Н.М.

ваемых газов и, следовательно, с улучшением условий эксплуатации добывающих скважин.

Кардинальное решение проблемы сокращения объемов добываемых газов заключается в нагнетании в пласт для поддержания внутрипластового горения чистого кислорода или обогащенного кислородом воздуха. Судя по публикациям, в настоящее время в США и Канаде уже проводятся несколько промысловых опытов нагнетания в нефтяные пласты чистого кислорода. Сообщается также, что для этой цели созданы специальные безопасные технические системы. Следует к этому добавить, что образующийся при закачке в пласт чистого кислорода углекислый газ является более эффективным повышающим нефтеотдачу пластов агентом, чем в случае, когда он существенно разбавлен азотом воздуха.

Таким образом, совершенствование технологии тепловых методов увеличения нефтеотдачи пластов в направлении интеграции методов закачки в пласт теплоносителей и воздуха (окислителя) может привести к значительному расширению области применения теплового воздействия.

Сочетание комбинированных тепловых методов увеличения нефтеотдачи со сравнительно простыми физико-химическими средствами воздействия на пласт (например, загустителями, пенообразующими агентами, щелочными растворами и т.п.), а также со специально организованным неустановившимся режимом нагнетания и отборов жидкостей и газов может стать основой создания новых комбинированных систем разработки нефтяных месторождений.

УДК 622.276.65.001

РЕЗУЛЬТАТЫ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ В ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТЫ*

Ю.П. Желтов, Б.Ф. Губанов, А.Б. Золотухин, И.Н. Стрижов,
В.И. Иванов (МИНХ и ГП имени И.М. Губкина)

Проведенные к настоящему времени в Советском Союзе и за рубежом теоретические и лабораторные работы по раз-

* В работе принимали участие: Нагорный Л.А., Гусейн-Заде А.М., Коробков Е.И., Блох С.С., Гнатченко В.В., Бондаренко В.В., Еремин Н.А., Хромовичев М.Н.

работке нефтяных месторождений с использованием тепловых методов воздействия на нефтяные пласты убедительно свидетельствуют о возможности существенного повышения конечной нефтеотдачи. Вместе с тем теория и опыт показывают, что существуют границы применимости этих методов или условия, при которых указанные методы могут быть не так эффективны, как предполагалось.

Отсюда следует вывод о необходимости проведения широкого комплекса исследований — от теоретических и лабораторных до опытно-промышленных.

В МИНХ и ГП имени И.М. Губкина проводятся исследования в области промысловой геологии и эксперименты по изучению физико-химических особенностей указанных методов и их механизма, а также исследования, связанные с техникой и технологией добычи нефти, автоматизацией процесса сбора и транспорта нефти, охраной окружающей среды и техникой безопасности.

Большое значение в вопросах экспериментального и теоретического исследования тепловых и термохимических методов применительно к методам внутрипластового горения представляет изучение кинетики окисления нефтей в пластовых условиях.

Исследования процесса окисления нефти в пористой среде проводились на специально созданной экспериментальной установке в широком диапазоне температур (от 293 до 624 К) при любой степени окисленности нефтей и давлениях, близких к пластовым (до 15 МПа).

В ходе опытов исследовались 13 проб нефти различных месторождений Советского Союза, различающихся по плотности (от 834 кг/м³ нефти Старогрозненского месторождения до 976 кг/м³ нефти месторождения Зыбза-Глубокий Яр), вязкости (от 4,7 мПа·с нефти Старогрозненского месторождения до 20000 мПа·с нефти Ярегского месторождения) и компонентному составу (высокосмолистые нефти месторождений Зыбза-Глубокий Яр, Ярегского и Усинского, высокопарафинистые нефти Узенского месторождения, легкие нефти Гнединцевского и Старогрозненского месторождений).

В результате проведенных экспериментов установлено, что для большинства исследований нефтей кинетические константы в диапазоне температур от 293 до 523 К постоянны.

В экспериментах по длительному окислению нефтей было зафиксировано заметное снижение скорости окисления нефти с ростом степени ее окисления. Для исследованных нефтей константа K при степени окисления f в формуле Аррениуса изменялась в пределах от 2,9 до 8,2.

$$W = A_0 (P_{O_2})^n \cdot \exp(-E/RT - k f).$$

В результате экспериментов также установлено, что даже для нефтей, значительно различающихся по свойствам, значения скорости их взаимодействия с кислородом воздуха меняются мало.

Для теоретического исследования механизма ВГ нефти использовалась математическая модель, учитывающая гидродинамику трехфазного потока, химическую кинетику окисления нефтяного топлива, процессы испарения и конденсации воды, теплоотдачу в окружающие пласты породы и др. В определенном смысле эта модель является универсальной, так как позволяет рассчитывать процессы сухого, влажного и сверхвлажного внутрипластового горения.

Теоретические исследования проводились с наиболее и наименее активными из экспериментально изученных нефтей. Моделировались процессы влажного и сверхвлажного горения. Результатом этих исследований явился вывод о том, что скорость реакции нефтей со временем стабилизируется и не зависит от температуры. Второй результат указывает на то, что при влажном горении зоны интенсивного окисления (зона горения) сосредоточиваются в узкой области и скорость их практически постоянна.

Математическое моделирование сверхвлажного горения позволяет сделать вывод, что кинетические параметры существенно образом влияют на протекание процесса горения нефти, изменяя скорость продвижения тепловой волны. При этом наибольшее влияние кинетические параметры оказывают на начальную стадию процесса внутрипластового горения. Последний вывод является справедливым не только для сверхвлажного, но и для других видов ВГ.

Интересным результатом экспериментальных исследований явился вывод о том, что наличие в пласте глин и природных катализаторов способствует ускорению процесса окисления нефти и, следовательно, повышает надежность

розжига пласта. Этот вывод полностью согласуется с результатами работ /1, 2/.

Эти же эксперименты показывают, что присутствие воды затрудняет процесс окисления нефти. Создание фронта горения в сильно обводненных нефтяных коллекторах затруднено, и продолжительность розжига возрастает, иногда в 5-6 раз по сравнению с необводненными коллекторами.

Тесно связано с этим другое направление работ - изучение коксуемости различных нефтей.

Эксперименты, выполненные на нефти X1У горизонта месторождения Узень, показали, что зависимость величины коксоподобного остатка от расхода воздуха имеет ярко выраженный минимум при линейной скорости подачи воздуха, равной 4,56 м/ч.

Из серии опытов, посвященных моделированию внутрипластового горения применительно к условиям месторождения Узень, несколько опытов относились к сухому горению. При этом было установлено, что процесс сухого горения носил неустойчивый характер. Температура на фронте быстро понижалась, и после прохождения приблизительно 70 см (половина длины модели пласта) горение прекращалось.

Из сказанного следует, что на месторождении Узень, по-видимому, возможными окажутся только процессы влажного и сверхвлажного горения.

На рис. 1 показаны профили температуры по длине модели пласта при осуществлении в одном из опытов процесса влажного горения. Характер кривых указывает на то, что процесс горения носит сравнительно устойчивый характер, а фронт горения переместился от нагревателя до выходного конца модели.

На рис. 2 представлена зависимость концентрации сгорающего топлива от водовоздушного отношения. График имеет вид кривой с максимумом при водовоздушном отношении, равном 0,0008-0,0009.

На рис. 3 приведена зависимость удельного расхода воздуха от водовоздушного отношения. Как следует из рисунка, этот график аналогичен по своему характеру предыдущему. Максимальный удельный расход воздуха приходится на водовоздушное отношение от 0,0005 до 0,0009.

Рис. 4 иллюстрирует зависимость скорости продвижения

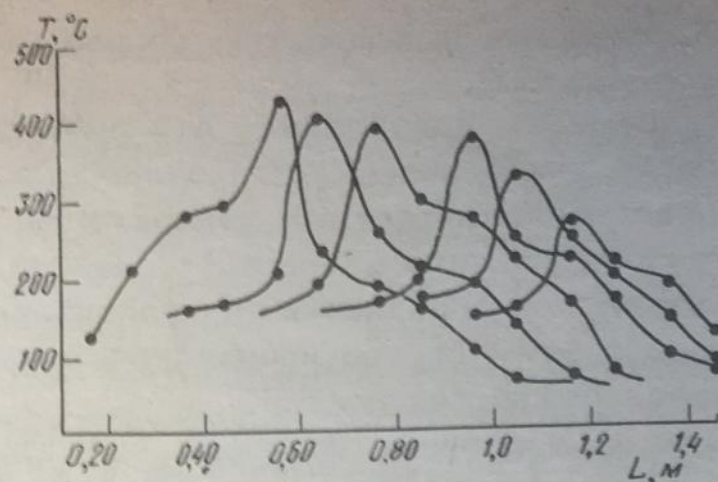


Рис. 1. Профили распределения температуры в процессе влажного внутрипластового горения

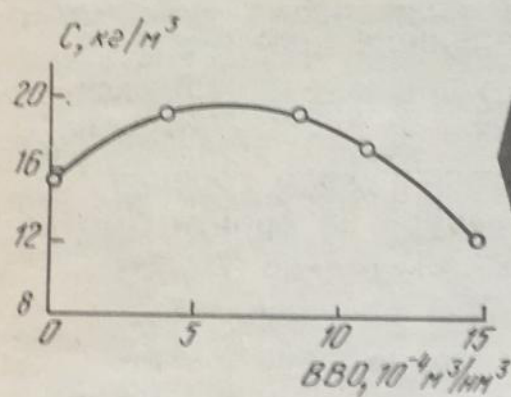


Рис. 2. Зависимость концентрации сгорающего топлива (C) от водовоздушного отношения (BBO)

Рис. 3. Зависимость удельного расхода воздуха γ от водовоздушного отношения (BBO)

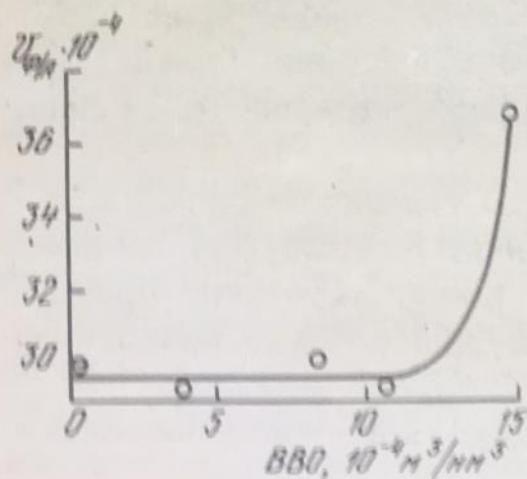
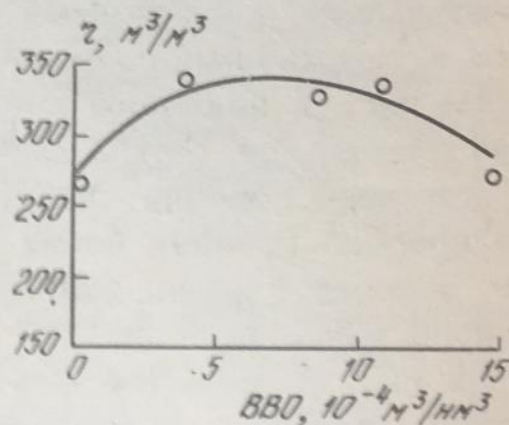


Рис. 4. Зависимость скорости перемещения фронта горения U_f (в долях от плотности потока закачиваемого воздуха ρ) от водовоздушного отношения (BBO)

фронта горения от ВВО. Скорость перемещения фронта горения выражена в долях плотности потока закачиваемого воздуха. Из рисунка видно, что только при $VVO=0,0015$ происходит резкий прирост скорости фронта горения при практически тех же значениях плотности потока воздуха, что и при меньших в 1,5 раза значениях ВВО.

Весьма перспективным является так называемое жидкофазное окисление, экспериментальные и опытно-промышленные работы по изучению которого ведутся в МИНХ и ГП имени И.М. Губкина. По итогам проведенных работ была доказана принципиальная возможность осуществления реакции жидкофазного окисления легких углеводородов в нефтяном пласте с получением целевых продуктов и высокая эффективность данного метода.

Одним из недостатков тепловых методов, особенно метода вытеснения нефти из пластов теплоносителями, является их высокая энергоемкость.

Учитывать энергоемкость тепловых методов разработки нефтяных месторождений особенно необходимо при разработке пластов со сравнительно низкой нефтенасыщенностью, а также сильно расчлененных пластов и пластов с низкой пористостью. Вместе с тем необходимо учитывать, что тепловые методы в принципе позволяют, даже при неблагоприятных условиях, создать, по крайней мере вблизи скважины, тепловые зоны довольно значительных размеров. Продвижение этих зон вплоть до линии отбора с условием сохранения температуры $50-70^{\circ}\text{C}$, как показывают проведенные в институте исследования, оказывается возможным при сочетании тепловых методов с химическими.

Одним из таких методов термохимического воздействия является термощелочное заводнение. Технологически оно может быть осуществлено следующим образом: если в пласте с низкой начальной нефтенасыщенностью создать определенных размеров прогретую зону, то продвигая эту зону по пласту с помощью закачки водного раствора щелочи (например, NaOH), можно сочетать положительные качества теплового и химического воздействия. Такая технология позволяет в принципе достичь высокой конечной нефтеотдачи при небольших энергозатратах. В экспериментах по влиянию температуры на состояние имеющихся в нефти и вновь об-

разрушающихся ПАВ было установлено, что щелочная смесь при высоких температурах не приводит к термическому разрушению ПАВ. Об этом, в частности, свидетельствуют характеристики зависимости межфазного натяжения от массового содержания щелочи (рис. 5).

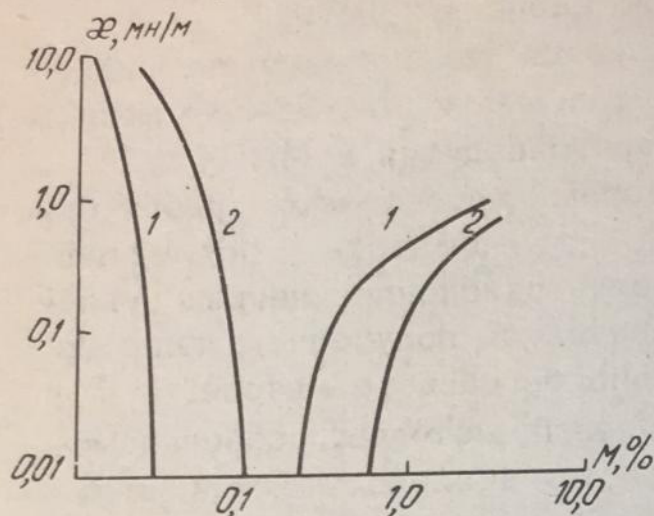
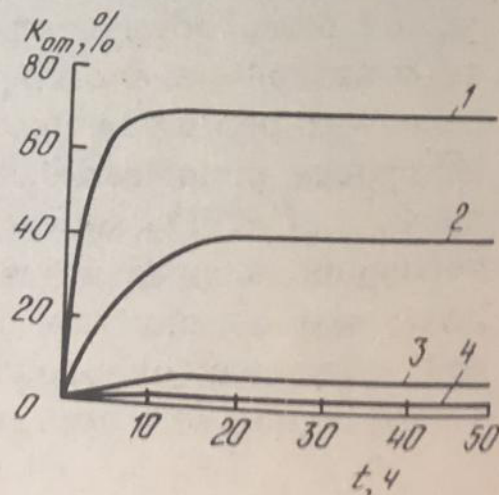


Рис. 5. Зависимость межфазного натяжения σ от массового содержания щелочи M для нефти месторождения Уса (1) и Ярега (2)

Одной из важнейших характеристик вытесняющего агента является его способность отмывать так называемую пленочную нефть, содержащую повышенное количество высокомолекулярных компонентов, обладающую структурно-механическими свойствами. Исследования, проведенные в институте, показали, что повышение температуры существенно увеличивает омывающую способность вытесняющего агента. Так, при воздействии нагретой до 30°C водой коэффициент отмыва составил 8 %, а при вытеснении с помощью щелочного раствора той же температуры – 40 % (рис. 6). При этом твердая поверхность становится практически гидрофильной.

Другим важным вопросом явилось исследование поглощения щелочи различными типами горных пород-коллекто-

Рис. 6. Зависимость коэффициента отмыва от времени процесса:
1 – 0,4 % NaOH при 70°C ; 2 – 0,4 % NaOH при 30°C ; 3 – дистиллированная вода при 70°C ; 4 – дистиллированная вода при 30°C



ров. Так, исследованиями установлено, что большое поглощение горячей щелочи наблюдается в породах со значительным содержанием глин и гипса. Однако дополнительный расход щелочи при взаимодействии с породой не превышал 10 % даже при самых худших соотношениях количества глины и гипса.

Образование ПАВ является весьма положительным фактором, обуславливающим повышение вытесняющей способности данного агента. Повышение температуры щелочного раствора интенсифицирует образование ПАВ и создает тем самым более благоприятные условия вытеснения нефти из пористой среды.

Результаты описанных выше исследований позволили перейти к изучению механизма термощелочного воздействия на моделях пласта. С этой целью была создана специальная установка, позволяющая осуществить процесс вытеснения нефти из пористых сред при заданных параметрах, близких к пластовым. Объектом исследований были нефти месторождений Ярега и Каражанбас. В результате серии опытов было установлено, что применение горячего щелочного раствора позволяет увеличить коэффициент вытеснения нефти на 15–20 % по сравнению с вытеснением нефти горячей водой той же температуры. Исследования по вытеснению нефти оторочками щелочи показали, что применение оторочки вместо непрерывной закачки не снижает коэффициента вытеснения нефти. Так, при вытеснении нефти Ярегского месторождения оторочкой водного раствора гидроокиси натрия с концентрацией 0,15 %, составляющей 40 % объема пор модели пласта, коэффициент вытеснения достиг величины 0,61, что на 20 % превышает коэффициент вытеснения при закачке горячей воды с температурой 120 °C (рис.7).

Анализ результатов экспериментальных работ позволил установить, что одним из факторов, способствующих увеличению нефтеотдачи при термощелочном воздействии, является образование на фронте вытеснения эмульсионного вала типа "вода – нефть". Наличие такого вала, имеющего вязкость, намного превышающую вязкость исходного щелочного раствора, может в условиях однородного пласта способствовать значительному повышению коэффициента охвата пласта воздействием.

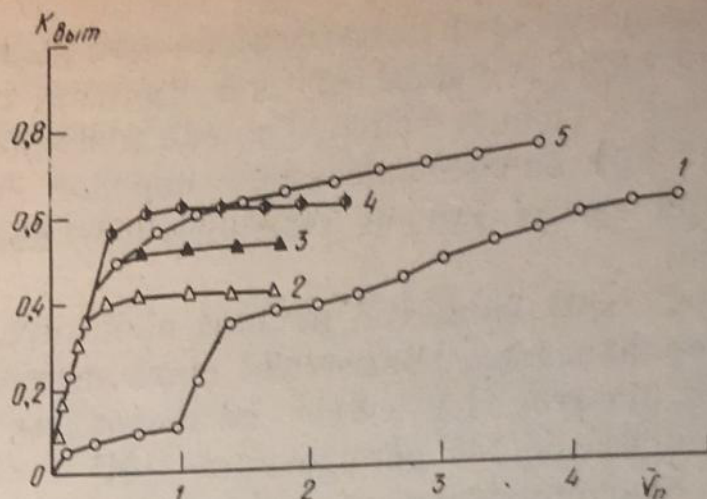


Рис. 7. Сравнение результатов вытеснения нефти водой и раствором щелочи при различных температурах:

1 - вытеснение водой (30 °C), довытеснение водой (120 °C) и 0,15 % NaOH (120 °C); 2, 3, 4, 5 - вытеснение водой; 0,04 % NaOH; 0,15 % NaOH; 2,0 % NaOH (120 °C) соответственно

Следует отметить, что применение термощелочного воздействия, по данным проведенных в институте экспериментов, не всегда высокоэффективно. Так, для нефтей месторождения Каражанбас эффект от воздействия щелочью на коэффициент вытеснения значительно ниже, чем для ярегской нефти, хотя в целом при вытеснении щелочью по сравнению с горячей водой результаты лучше. Этот факт свидетельствует о том, что механизм взаимодействия щелочи с различными нефтями неодинаков и изучен далеко не полностью.

На основе известных из литературы, а также разработанных в МИНХ и ГП имени И.М. Губкина математических моделей составлена программа расчета технологических и технико-экономических показателей разработки нефтяных месторождений с помощью тепловых и термохимических методов воздействия. Математические модели, используемые в программе, с одной стороны, достаточно просты с точки зрения их численной реализации на ЭВМ, а с другой стороны, более полно учитывают особенности процесса вытеснения нефти с помощью каждого из исследуемых методов.

В сочетании с экспериментальными работами математическое моделирование становится мощным средством изуче-

ния механизма вытеснения нефти и влияния отдельных факторов на этот процесс и позволяет дать эффективную оценку того или иного метода теплового воздействия на пласт.

Литература

1. Automation of an in-situ combustion tube and study of the effect of clay on the in-situ combustion process. Vossocghis, et al. SPEJ, 1982, vol. 22, № 4, pp. 493-502.

2. Мехтибейли Р.М., Султанов З.А., Ширинов Ш.Г. Исследование влияния пористой среды на особенности гетерогенного окисления нефти в процессе внутрипластового горения. - Азербайджанское нефтяное хозяйство, 1977, № 3, с. 17-19.

УДК 622.276.031:532.546

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОВЫШЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

В.М. Ентов, А.Ф. Зазовский (Институт проблем
механики АН СССР)

Исследования неізотермических режимов процессов повышения нефтеотдачи проводятся в Институте проблем механики АН СССР как часть общих исследований по физико-химической подземной гидродинамике - гидродинамической теории методов, повышения нефтеотдачи (МПН). Эта теория обобщает классическую теорию двухфазной фильтрации Баклея - Леверетта /1/ и позволяет единообразно рассматривать основные методы повышения нефтеотдачи в рамках общей схемы вытеснения нефти раствором активной примеси. Под активной примесью понимается вещество (химреагент) или физический фактор, в частности температура, которое может переноситься потоком воды и (или) нефти, сорбироваться скелетом пористой среды и оказывать влияние на гидродинамику процесса вытеснения. При этом выделяются крупномасштабные процессы, происходящие в масштабах всего пласта и расстояния между скважинами, и локальные процессы, к которым относятся капиллярная пропитка в трещиновато-пористых и слоистых пластах, и процессы, происходящие вблизи фронтов вытеснения, в зонах резкого изменения характеристик потока.

СОДЕРЖАНИЕ

Путилов М.Ф., Сорокин В.А., Щитов Б.В. Состояние и задачи совершенствования тепловых методов добычи нефти	3
Аржанов Ф.Г., Бичкевский А.Д., Гарушев А.Р., Григорашенко Г.И., Ишханов В.Г., Фоменко И.Е. Результаты опытно-промышленной разработки залежей высоковязких нефтей с применением термических методов воздействия на пласты.	9
Боксерман А.А., Раковский Н.Л., Иванов В.А. Проблемы проектирования и применения тепловых методов увеличения нефтеотдачи пластов	21
Желтов Ю.П., Губанов Б.Ф., Золотухин А.Б., Стрижов И.Н., Иванов В.И. Результаты научно-исследовательских работ в области применения методов теплового воздействия на пласты	28
Ентов В.М., Зазовский А.Ф. Гидродинамические расчеты неизотермических процессов повышения нефтеотдачи	37
<u>Левченко И.А.</u> , Свиридов В.С., Горбиков Б.П., Лысов В.А., Кидалов И.В. Внедрение термических методов на месторождениях Краснодарского края	44
Коньшев Б.И., Лозюк Д.П., Мазка С.А., Оноприенко В.П., Середницкий Л.М. Результаты промысловых испытаний сверхвлажного горения на Гнединцевском месторождении	6
Рузин Л.М., Тюнькин Б.А. Результаты и особенности разработки высоковязких нефтей Ярегского месторождения	58

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ
ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ В ПРОДУК-
ТИВНЫХ ПЛАСТАХ. (Сборник научных трудов). М.:
ВНИИОЭНГ, 1985.

Ведущий редактор Е.М. Григоренко
Технический редактор А.А.Благовещенская
Корректоры Н.Г.Евдокимова, Н.А.Митрохина

Подп. в печать 15.10.85. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Офсетная печать. Усл.печ.л. 5,35.
Усл.кр.-отт. 5,58. Уч.-изд.л. 4,75. Тираж 310 экз.
Заказ № 71. Цена 95 к. ВНИИОЭНГ № 4-157/210.
113162, Москва, Хавская, 11, ВНИИОЭНГ.
Тел.ред. 137-61-35.

Типография ХОЗУ Миннефтепрома.
113035, Москва, набережная Мориса Тореза, 26/1.