

УДК 622.276.652

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ИНИЦИИРОВАНИЕ
ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЛАСТ ПРИ ДОБЫЧЕ
ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ**

**PHYSICO-CHEMICAL INITIATION OF THERMAL
STIMULATION WITH HIGH-VISCOSITY OIL PRODUCTION**

Слюсарев Н.И., Мухаметшин Г.Р.

Санкт-Петербургский Государственный Горный Институт им.
Г.В. Плеханова (ТУ), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
ООО «Башнефть-Добыча», г. Уфа, Российская Федерация

N.I. Sliusarev, G.R. Muhametshin

St. Petersburg State Mining Institute. G.v. Plehanova (TU),
St. Petersburg, the Russian Federation

LLC “Bashneft-mining”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: gizar84@mail.ru

Аннотация. В связи с ростом количества месторождений с трудно - извлекаемыми запасами высоковязких нефтей, необходимы новые нетрадиционные подходы и методы к разработке таких месторождений.

При выборе метода воздействия и технологии разработки важное значение имеет степень использования тепловой энергии, вводимой в пласт. Совершенствование технологий термических методов и повышение их эффективности необходимо основывать на создании тепловых оторочек за счет физико-химического инициирования с последующим их перемещением по пласту другими

вытесняющими агентами с низкой теплопроводностью и заданными параметрами вязкости. Размер оторочек зависит от геолого-физических характеристик пласта, темпов генерации в нем теплоты и расстояния между нагнетательными и добывающими скважинами. В связи с чем был разработан новый метод регулируемого катализатором теплового воздействия на основе пероксида водорода, который при взаимодействии с пластовой водой выделяет необходимое количество тепла, приводящая к растеплению пласта, уменьшению толщины адсорбционного слоя поверхностно-активных молекул нефти на поверхности поровых каналов, в результате чего увеличивается проницаемость пласта для нефти, вязкость нефти уменьшается, в следствии коэффициент подвижности нефти значительно увеличивается, что существенно повышает коэффициент охвата пласта. Разработанная технология является альтернативой существующих и применяемых на практике термических методов, и по существу не имеет ограничений, как по глубине залегания пластов, так и по их толщине, содержание связанной или погребенной воды. Для его осуществления не требуется применения нагнетательных скважин специальной конструкции, специальных теплоизоляционных материалов и энергоемкого оборудования.

Abstract. The increasing number of fields with hard-recoverable reserves of high-viscosity oil require new and innovative approaches and methods for the development of such deposits.

When choosing a method of exposure and development technologies the level of input heat energy use is important. Perfection of technologies of thermal methods and increase of their efficiency must be based on creation of the thermal edging due to physical and chemical initiation with

subsequent their moving on a layer by other ousting agents with low heat conductivity and preset parameter of viscosity. The size of edging depends on geologo-physical descriptions of layer, rates of generation in it of warmth and distance between forcings and extractive mining holes. The new method was developed based on controlled catalytic heat stimulation using hydrogen peroxide, which in interaction with produced water releases the required amount of heat, which leads to reservoir thawing, reducing the thickness of the adsorption layer of surface active molecules of oil on the surface of the pore channels, thus increasing the permeability of the reservoir for oil, and oil viscosity is reduced, and, as a consequence, oil increases the mobility factor, which significantly increases the rate of participation. The developed technology is an alternative to current thermal methods applied in practice, and, in fact, has no restrictions as to reservoir depth and thickness, the content of linked or buried water. It does not require the use of injection wells of special design, special heat-insulating materials and energy intensive equipment.

Ключевые слова: пероксид водорода, скважина, термические методы, высоковязкие тяжелые нефти, физико-химическое инициирование, пласт.

Key words: hydrogen peroxide, a well, thermal methods, high viscosity heavy oil, physico-chemical initiation, formation.

В настоящее время более 60 % отечественных запасов нефти приурочено к коллекторам с трудноизвлекаемыми запасами, обусловленных низкой проницаемостью пород с содержанием высоковязких нефтей с аномальными свойствами. Запасы высоковязких нефтей только в зарубежных странах составляют более

500 млрд. т. Разработка месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти требует значительных материальных затрат и определенных технических решений. Для этого необходимо создание принципиально новых подходов к разработке технологий, учитывающих особенности извлечения из залежей нефти с аномальными свойствами, при этом наиболее технологическими являются те новые методы воздействия, которые изменяют структурные связи углеводородов и фильтрационные условия за счет уменьшения вязкости нефти, увеличение её подвижности, перехода компонентов в газообразное состояние с наложением гидродинамического процесса вытеснения. Основой для таких воздействий являются методы, позволяющие увеличить температурный охват нефтяного пласта по простиранию.

Методов увеличения нефтеотдачи пластов на сегодняшнее время достаточно много, но при выборе метода воздействия и технологии разработки важное значение имеет степень использования тепловой энергии, вводимой в пласт.

При паротепловом воздействии с возрастанием глубины скважины существенно увеличиваются энергетические затраты на компримирование, а также имеют место значительные потери теплоты, как в наземной обвязке, так и при движении теплоносителя по стволу скважины. Кроме того, при паротепловом нагнетании высокая температура пара оказывает существенное негативное влияние на обсадные трубы, насосно-компрессорные трубы, внутрискважинное оборудование и на устойчивость цементного кольца. Поэтому ограничивающим фактором применения существующих технологий термического воздействия являются глубина залегания объекта и технические проблемы, связанные с

нагнетанием пара. Применение паротепловых методов в пластах с небольшой нефтенасыщенной толщей связано с большими потерями теплоты. Поэтому, имеющиеся запасы высоковязких нефтей, содержащихся в пластах толщиной менее 4 метров, практически не используются для разработки с применением паротеплового воздействия. К недостаткам паротеплового воздействия относятся также разрушение скелета пласта и вынос большого объема песка в скважину, проблема коррозии, а также образование стойких эмульсий.

Тепловое воздействие горячей нефтью, горячей водой, электропрогревом, термокислотными и термогазохимическими обработками целесообразно осуществлять для удаления из призабойных зон добывающих скважин отложений парафина, смол и асфальтенов.

Совершенствование технологий термических методов и повышение их эффективности необходимо основывать на создании тепловых оторочек за счет физико-химического инициирования с последующим их перемещением по пласту другими вытесняющими агентами с низкой теплопроводностью и заданными параметрами вязкости. Размер оторочек зависит от геолого-физических характеристик пласта, темпов генерации в нем теплоты и расстояния между нагнетательными и добывающими скважинами.

Анализ физико-химических процессов, протекающих при определенных превращениях веществ с выделением большого количества теплоты, которую можно использовать для прогрева нефтяного пласта, позволяет обосновывать для этих целей реакцию разложения перекиси водорода H_2O_2 с помощью различных катализаторов. Из одного литра жидкого пероксида водорода, при быстром разложении, можно получить до 5000 литров нагретой до

700 °С смеси кислорода с водяным паром. Пероксид водорода – это один из крупнотоннажных продуктов современной промышленной химии. Пероксид водорода является экологически безопасным, эффективным окисляющим агентом, который широко используется в промышленности для очистки сточных вод, в медицине в качестве антисептика, в парфюмерии для крашения волос, в быту для выведения пятен, на отбелку различных материалов, а также в целлюлозно-бумажной промышленности для отбелки массы и в нефтехимической отрасли.

Очень концентрированные (80 % и выше) водные растворы H_2O_2 находят применение в качестве самостоятельных источников энергии. В настоящее время разрабатываются небольшие автономные установки получения пероксида водорода непосредственно в месте потребления.

В лабораторных условиях изучены возможности использования высокоэнергетического вещества – перекись водорода – для тепловой обработки призабойной зоны пласта (ПЗП). Перекись водорода при разложении в присутствии катализатора разлагается на воду и кислород с выделением значительного количества тепла. Свободный кислород при высокой температуре окисляет компоненты нефти до углекислого газа также с выделением тепла. В итоге один килограмм перекиси водорода выделяет более 3700 кДж тепла при полном распаде, что соизмеримо с теплотой, выделяемой при горении одного килограмма пороховых зарядов. Обработка скважины с использованием перекиси водорода и катализатора, ускоряющего её распад, обеспечивает прогрев ПЗП, деструктуризацию и испарение АСПО, а при определенных условиях (ГРП из-за генерации давления в зоне протекания распада перекиси водорода, прогрева пласта в

глубине, освобождение зацементированной и пленочной остаточной нефти, снижения вязкости тяжелых нефтей и т.д.) повышает дебит обработанной скважины. В отличие от обработки паром, растворителями, перекись водорода не образует языков обводнения, не снижает дебит вследствие привноса воды в продуктивный пласт, нефть не оттесняется от скважины из-за щадящего воздействия на пласт и пластовый флюид. При обработке горизонтальных скважин перекись водорода оптимально воздействует теплом на весь продуктивный интервал без теплотерь на нагрев труб в верхней части скважины, как это имеет место при паротепловой обработке.

На основе комплексного исследования физико-химических процессов, протекающих в присутствии различных катализаторов и добавок поверхностно-активных веществ выявлены кинетические закономерности распада пероксида водорода в зависимости от различных факторов: температуры, давления, pH – среды, мольного соотношения, концентрации, молекулярной массы добавки, определены технологические параметры процесса более совершенного термического метода добычи высоковязких тяжелых нефтей.

Технология обработки пласта данным методом осуществляется следующим образом. В нефтеносный пласт через нагнетательные скважины закачивают жидкость, нейтральную от перекиси водорода в размере 0,1 порового объема для изоляции зоны пласта от притока пластовых вод и определения приемистости пласта. Затем по насосно-компрессорным трубам подают 50%-ю перекись водорода в размере 0,2 порового объема. Использование 50%-й перекиси водорода и подачи её в размере 0,2 порового объема позволят осуществлять эффективное воздействие на нефтяной пласт за счет разложения

перекиси водорода с выделением тепла непосредственно в глубине нефтяного пласта. После закачки 50%-й перекиси водорода, производят ее продавку продавочной жидкостью для повышения безопасности производства работ. После этого осуществляют подачу катализатора в размере 0,013 порового объема, который подают совместно с водой, нагнетаемой с помощью системы поддержания пластового давления для вытеснения нефти по добывающим скважинам.

В качестве ацетатного буфера – как жидкости, нейтральной от 50%-й перекиси водорода, – используют 5%-й раствор уксусной кислоты и ее натриевой соли, имеющих химическую формулу вида $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa}$, что позволяет повысить безопасность процесса.

В качестве катализатора используют 5%-й раствор марганца, позволяющий регулировать выделение количества тепла и скорость разложения раствора в нефтяном пласте.

После осуществления комплекса операций в нефтяном пласте начинается реакция взаимодействия пластовой и закачиваемой воды с перекисью водорода, которая сопровождается выделением тепла, приводящее к растеплению пласта и расщеплению молекул связанной воды. Задача о взаимодействии 50%-й перекиси водорода со связанной водой решалась методом теории поля и квантовой статистики на основе современных моделей связанной воды. В области температур выше 343К наблюдалось расслоение фаз связанной воды, в том числе и входящей в нее неподвижной составляющей с выделением фазы свободной воды. Таким образом происходит разрушение структуры и удаление физически связанной воды.

С повышением температуры уменьшается толщина адсорбционного слоя поверхностно-активных молекул нефти на поверхности поровых каналов, в результате чего увеличивается проницаемость пласта для нефти [2]. С увеличением температуры вязкость нефти уменьшается более интенсивно, по сравнению с вязкостью воды, коэффициент подвижности нефти значительно увеличивается, что существенно повышает коэффициент охвата пласта. Наряду со снижением вязкости нефти происходит термическое расширение пластовых флюидов, способствующие повышению нефтеотдачи пластов. Известно, что прирост нефтеотдачи вследствие термического расширения при повышении температуры до $100 \div 120$ °С может составлять $7 \div 8$ % [2].

При тепловом воздействии на нефтяные пласты происходят и другие сложные технологические процессы обусловленные дистилляцией. Дистиллирующая часть пластовой нефти составляет ее легкие компоненты углеводородов, обладающие более высокой упругостью паров. Легкие углеводороды переносятся по пласту в менее нагретые участки конвективного массообмена, перемешиваются с нефтью, снижают её вязкость и способствуют более интенсивному вытеснению нефти. При температуре 375 °С и атмосферном давлении может дистиллироваться до 10 % нефти плотностью $934 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. По существу дистиллят является растворителем тяжелых нефтей. Экспериментальными исследованиями установлено, что при давлении 20 МПа и температуре 310 °С нефть практически полностью растворяется в воде и полностью вытесняется из пористой среды [1]. Таким образом происходит процесс смешивающего вытеснения. Такие температурные поля можно создавать только

управляя скоростью реакции распада диоксида водорода. Разработанная технология является альтернативой существующих и применяемых на практике термических методов, и по существу не имеет ограничений, как по глубине залегания пластов, так и по их толщине, содержание связанной или погребной воды. Для его осуществления не требуется применения нагнетательных скважин специальной конструкции, специальных теплоизоляционных материалов и очень энергоемких компрессоров - парогенераторов.

По результатам лабораторных исследований коэффициент нефтеизвлечения тяжелых высоковязких нефтей может достигать значения $0,7 \div 0,75$ (рисунок 1), что позволяет создавать более совершенные экологически надежные технологии с высокой экономичностью.

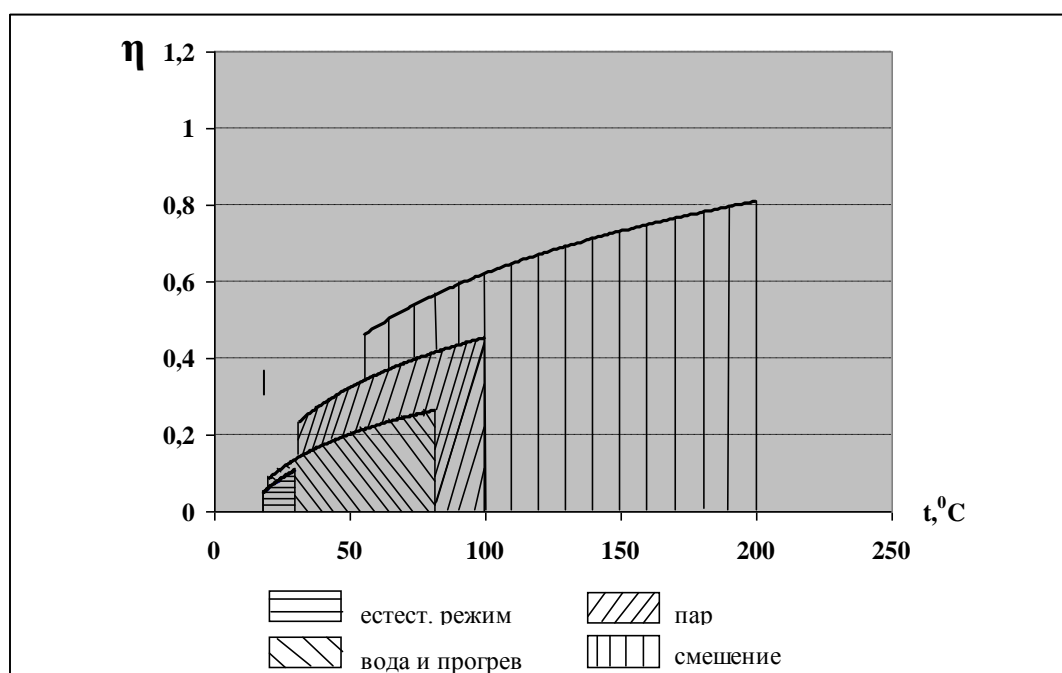


Рисунок 1. График зависимости коэффициента нефтеизвлечения от применения различных термических методов воздействия на нефтеносный пласт

Выводы

Применение данного метода позволяет осуществлять наиболее полный охват нефтяного пласта для вытеснения нефти вследствие того, что на границе реакции образуется газообразная оболочка в виде пены, не позволяющая прорыва в сторону более проницаемых участков и ухода туда закачиваемых реагентов, что в свою очередь дает возможность применения данного метода циклически на одном и том же объекте. Выработка продуктивного пласта при этом будет наиболее максимальной, а прорыв воды будет минимальным. Такая ситуация не наблюдается, например, при применении метода ЗГРП, который по физическо-химическим процессам идентичен данному методу.

Преимущества метода:

1. отсутствия любых тепловых потерь на поверхности или в скважине;
2. поступление в продуктивный пласт очень небольшого количества воды (причем каждый кубический метр произведенной воды уменьшает добычу нефти на 2 м^3 ; каждый кубический метра отработанного пара уменьшает добычу нефти на 20 м^3 ; большое количество воды уменьшает проницаемость нефтесодержащего пласта);
3. нефть остается вблизи скважины. Большая часть тепла распространяется путем теплопередачи, поэтому из скважин удается очень небольшое количество нефти;
4. в циклах обработки используется предшествующий нагрев, поэтому при многостадийной обработке теряется незначительная часть тепла;

5. в вертикальных скважинах не происходит никакого перерегулирования. Отсутствие тепловых потерь в горизонтальной скважине означает, что тепловая интенсификация может происходить по всей длине продуктивной зоны. А углекислый газ, образовавшийся при сгорании, растворяется в нефти, отдавая ей теплоту конденсации. Вязкость нефти под влиянием раствора снижает до 90 %, а пластовое давление в коллекторе восстанавливается.

Список используемых источников

1. Аббасов М.Г., Везиров Д.Ш. Экспериментальное исследование термохимического процесса воздействия на пласт в сочетании с заводнением. М.: Недра, 1999.

2. Байбаков Н.К., Грушев А.Р. Тепловые методы разработки нефтяных месторождений. М.: Недра, 1988, 343 с.

3. Способ разработки нефтяного месторождения /Слюсарев Н.И. и др.: пат. №2283949, Рос. Федерация. № 2005113850/03; заявл. 05.05.05; опубл. 20.09.06. Бюл. № 26. 3 с.

4. Способ разработки нефтяного месторождения/ Слюсарев Н.И. и др.: пат. №2276256, Рос. Федерация. № 2004134779/03; заявл. 29.11.04 ; опубл. 10.05.06. Бюл. № 13. 4 с.

References

1. Abbasov M.G., Vezirov D.Sh. experimental study of thermochemical process stimulation in combination with flooding. M.: Nedra, 1999. [in russian].

2. Baybakov N.K, Hruszew A.R. Thermal methods of oil field development. M.: Nedra, 1988, 343 s. [in russian].

3. Method of oilfield Sliussarev N.I., Moser S.L., Ibrayev, R.A. Grigoriev L.V.: Patent No. 2283949, grew up. Federation. No. 2005113850/03; Appl. 05.05.05; in English. 20.09.06. Newsletter. No. 26. 3 с.

4. Method of oilfield Sliussarev N.I., Moser S.L., Ibraev R.A., Tuhteev, R.M. Danilenko V.N., Zaramenskih N.M.: Patent No. 2276256, grew up. Federation. No. 2004134779/03; Appl. 29.11.04; in English. 10.05.06. Newsletter. No. 13. 4.

Сведения об авторах

Information about authors

Слюсарев Н.И., д-р техн. наук, проф. кафедры «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений», СПГГИ им. Г.В. Плеханова (ТУ), г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

N.I. Sliusarev, Doctor of Technical Sciences, Professor, department of “Development and operation of oil and gas fields”, St. Petersburg State Mining Institute. G.V. Plehanova (TU), St. Petersburg, the Russian Federation

Мухаметшин Г.Р., ведущий эколог ООО «Башнефть-Добыча», г.Уфа, Российская Федерация

G.R. Muhametshin, a leading ecologist L “Bashneft-mining”, Ufa, the Russian Federation

e-mail: gizar84@mail.ru