



УДК 622.276.6

ОБЗОР ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДОБЫЧИ АНОМАЛЬНО-ВЯЗКОЙ НЕФТИ

OVERVIEW OF APPLIED TECHNOLOGIES OF PRODUCTION ABNORMALLY-VISCOUS OIL

Шишкин Никита Александрович

студент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Nekit.94@mail.ru

Лысенков Алексей Владимирович

научный руководитель,
кандидат технических наук, доцент,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет

Аннотация. Одним из направлений пополнения и укрепления ресурсной базы топливно-энергетического комплекса страны является вовлечение в активную разработку огромных запасов высоко-вязких нефтей (ВВН) и битумов. Несмотря на то, что эти запасы значительно превышают запасы лёгких нефтей, их потенциал используется недостаточно.

Мировой опыт освоения залежей ВВН и битумов показал, что наиболее перспективной технологией их разработки являются термические методы добычи нефти.

К термическим методам воздействия на пласт относятся: паротепловое воздействие, внутрискважинное горение, закачка горячей воды, пароциклические обработки призабойных зон добывающих скважин и сочетание этих методов с другими физико-химическими методами (комбинированные методы).

Автором выполнен обзор наиболее часто встречающихся технологий по добыче высоко-вязкой нефти в России, Канаде США и других нефтяных державах.

Ключевые слова: тяжелая нефть, природные битумы, интенсификация добычи, карбонатные коллекторы, термическая обработка, закачка теплоносителя, трудноизвлекаемые запасы.

Shishkin Nikita Alexandrovich

Student,
Ufa state petroleum technological university
Nekit.94@mail.ru

Lysenkov Alexey Vladimirovich

Research supervisor,
Candidate of Technical Sciences,
Associate professor,
Ufa state oil technical university

Annotation. One of the directions of replenishment and strengthening of resource base of fuel and energy complex of the country is involvement in active development of huge stocks of high-viscous oils (VVN) and bitumen. Despite the fact that these reserves significantly exceed the reserves of light oils, their potential is not sufficiently used.

World experience in the development of deposits of VVN and bitumen showed that the most promising technology for their development are thermal methods of oil production.

Thermal methods of influence on the reservoir include: steam-thermal effect, intra-reservoir combustion, hot water injection, steam-cyclic treatment of bottom-hole zones of producing wells and a combination of these methods with other physical and chemical methods (combined methods).

The author gives an overview of the most common technology for the extraction of high-viscous oil in Russia, Canada, USA and other oil powers.

Keywords: heavy oil, natural bitumen, intensification of production, carbonate reservoirs, heat treatment, coolant injection, hard-to-recover reserves.

Известно, что термины «тяжелые» и «высоковязкие» нефти в основе своего понимания имеют существенные различия. Общего и устоявшегося взгляда на границу между ними до сих пор нет, однако в основе этой границы по-прежнему лежат плотность и вязкость нефти.

Принято считать, что высоко-вязкими нефтями считаются те нефти, вязкость которых превышает 25 мПа·с [6].

Запасы такой нефти оценивались в бывшем СССР в 8,6 млрд т и распределялись по категориям следующим образом:

- Остаточные балансовые запасы категорий А + В + С₁ – 7,4 млрд т.
- Балансовые запасы категории С₂ – 729 млн т.
- Забалансовые запасы – 486 млн т.

Остаточные извлекаемые запасы категорий А + В + С₁ и категорий С₂ составляли соответственно 1,4 млрд т и 118 млн т. Большая часть остаточных балансовых запасов высоко-вязких нефтей промышленных категорий А + В + С₁ сосредоточена в Российской Федерации (6,2 млрд т), Казахстане (726 млн т), Азербайджане (389 млн т.). Всего в этих странах содержалось порядка 85 % высоко-вязких нефтей промышленных категорий [1–3].



Наиболее крупными месторождениями ВВН являются: Ван-Еганское – 1,3 млрд т; Северо-Комсомольское – 700 млн т; Усинское – 601 млн т; Русское – 299 млн т; Каражанбас – 230 млн т; Северные Бузачи – 195 млн т; Ярегское – 137 т; млн.; Балаханы-Сабунчи-Романы – 114 млн т; Гремичинское – 74 млн т; Кенкияк – 72 млн т.

Основная часть (93,7 %) остаточных балансовых запасов ВВН категорий А + В + С₁ на территории России расположена в следующих субъектах Российской Федерации: Тюменская область, Республика Татарстан Республика Коми, Удмуртская Республика, Самарская область, Пермский край, Республика Башкортостан.

По величине запасов месторождения ВВН разделяют на четыре группы:

- 1) мелкие, с запасами менее 10 млн т;
- 2) средние, с запасами от 10 до 30 млн т;
- 3) крупные, с запасами от 30 до 300 млн т;
- 4) уникальные, с запасами свыше 300 млн т;

Суммарная доля запасов уникальных и крупных месторождений категорий А + В + С₁ составляет 67,7 % от общих запасов ВВН.

Структурно-механические свойства нефти и связанные с ними аномалии вязкости значительно осложняют процессы вытеснения нефти из пласта. При фильтрации через породу тяжелой нефти наблюдается зависимость ее подвижности от действующих градиентов давления. Уменьшение градиентов давления ниже градиента динамического давления сдвига сопровождается многократным уменьшением подвижности нефти. Особенно это заметно в низкопроницаемых породах. Большим количеством исследований [11] доказано, что проницаемость породы в свою очередь также зависит от градиента давления. Это объясняется физико-химическим взаимодействием породы и насыщающей ее жидкости. Отечественными и зарубежными учеными было установлено затухание фильтрации нефти через пористую среду вследствие образования граничных слоев, обладающих структурно-механическими свойствами.[1, 2, 4–6] Состоят эти слои из асфальтено-смолистых веществ. Толщина граничных слоев, по разным данным, может достигать 2–5 мкм, что соизмеримо с размерами пор малопроницаемых естественных песчаников.

Как правило, залежи нефти приурочены к неоднородным по проницаемости пластам, а значит, даже при одинаковых градиентах давления в разных точках пласта скорости фильтрации нефти могут быть не пропорциональны проницаемости. В низкопроницаемых коллекторах аномалии вязкости и подвижности проявляются сильнее, поэтому охват пласта заводнением оказывается низким.

Остающаяся за фронтом вытеснения нефть, обладая аномалиями вязкости будет малоподвижной. Аномалии вязкости могут заметно ослабить процессы капиллярной пропитки и капиллярного вытеснения в пласте, а значит могут быть одной из главных причин низкой нефтеотдачи при разработке нефтяных залежей. Причинами этому могут являться такие факторы как: неравномерное продвижение водо-нефтяного контакта, более интенсивное обводнение скважин, существенное снижение охвата пласта фильтрацией. Разработка месторождений с такими нефтями осложняется тем, что градиенты динамического давления сдвига и градиента предельного разрушения нефти на отдельных участках залежей оказывается выше фактических градиентов давления. Это приводит к образованию «застойных зон» или зон с ухудшенной фильтрацией. В последних нефть остается неподвижной или течет с практически неразрушенной структурой, то есть повышенной вязкостью. Таким образом, при разработке месторождений большие запасы аномально-вязкой нефти могут находиться в «застойных» зонах и извлечение их на поверхность будет затруднительно. Подавление аномалий вязкости пластовой нефти позволит улучшить условия ее вытеснения и облегчить выработку «застойных» зон. Для этого необходимо уменьшить у нефти предельное динамическое напряжение сдвига и напряжение сдвига предельного разрушения структуры. В литературе имеется достаточно сведений о способах изменения реологических параметров нефти [1–5,10,12]. К таким способам относятся термообработка, добавление различных растворителей, присадок и поверхностно-активных веществ. В данной статье описаны наиболее распространенные категории интенсификации добычи аномально-вязкой нефти применяемые в России и Зарубежом.

Наиболее часто встречающимся методом интенсификации добычи и улучшения использования запасов ВВН и битумов является термическое воздействие на пласт. В последние годы в разных странах мира на 60 месторождениях ВВН и битумов закачивалось в среднем свыше 200 млн т пара в год, за счёт чего дополнительно добывается 75 млн.т нефти [11–17].

Ведущее место по масштабам добычи ВВН и битумов занимают США, Канада, Венесуэла, Китай, Индонезия.

США

Закачка пара в США началась 45 лет назад на месторождениях ВВН в Калифорнии и оказалась очень успешной. В процессе развития термических МУН в Калифорнии выделяется несколько этапов.

В начальный период (с 1960 по 1965 г.) попытки увеличить добычу ВВН в Калифорнии были связаны с забойными нагревателями и внутрипластовым горением (ВПГ). Забойные нагреватели спо-



способствовали некоторому увеличению продуктивности скважин, но их основной недостаток заключался в малом радиусе прогрева, поскольку этот прогрев происходит только за счёт теплопроводности. Хотя некоторый успех был получен с использованием ВПГ, большое количество выделяющегося в пласте кокса из ВВН стало причиной высокого потребления воздуха. Это обстоятельство совместно со сложностями в управлении и контроле за процессом ВПГ ограничило его применение.

Первое официальное упоминание о закачке пара в Калифорнии связано с пароциклическими обработками (ПЦО) скважин на месторождении Йорба-Линда (Yorba Linda) в 1960 г. В 1961 г. проведение ПЦО скважин началось на месторождении Керн Ривер (Kern River) и в 1962 г. на двух других месторождениях Коалинга (Coalinga) и Маккиттрик (McKittrick), а на месторождении Керн Ривер была организована площадная закачка пара. В 1966 г. в Калифорнии при проведении ПЦО в 6621 скважинах на 38 месторождениях закачивалось 40 тыс. т пара в сутки. Такой уровень закачки пара на ПЦО удерживался в течение последующих 35 лет.

К 1966 г. площадная закачка пара (ПЗП) испытывалась на 17 месторождениях, при этом в 135 нагнетательных скважин закачивалось около 7 тыс. т пара в сутки. Объём закачки пара на ПЗП начал интенсивно возрастать с 1967 по 1973 гг. В 1977 г. ПЗП испытывалось на 24 месторождениях. В следующие 10 лет число таких месторождений оставалось в пределах от 19 до 23 единиц, однако число используемых парогенераторов продолжало увеличиваться с 1973 по 1985 гг., что способствовало увеличению практически в 4,4 раза годового уровня закачки пара, который в 1985 г. достиг 300 тыс. т в сутки. При этом число нагнетательных скважин за это время увеличилось с 1 136 до 5 001 единиц.

Максимальный объём закачки пара в Калифорнии был достигнут в 1985 г., когда закачивалось до 430 тыс. т пара в сутки. Общий фонд нагнетательных скважин увеличился до 13 798 единиц, из которых на 8794 скважинах были проведены ПЦО. Максимум термической добычи нефти был достигнут в 1988 г. и составил около 30 млн т, после чего термическая добыча нефти начала непрерывно снижаться.

В течение 90-х годов были предприняты попытки по применению концепции эффективного использованию тепла на месторождениях ВВН, разрабатываемых с помощью ПЗП, что привело к общему сокращению количества закачиваемого пара. Концепция эффективного использования закачиваемого тепла основана на том, что на поздней стадии ПЗП необходимо постепенно снижать темпы закачки пара или переходить к циклической закачке. В 2012 г. в США действовал 61 проект по термическим методам, основная доля проектов (48) приходится на закачку пара, число проектов по внутривластовому горению составляло 11. Практически все проекты считаются успешными.

Канада

На рисунке 1 приведена карта провинции Альберта (Канада), на которой показаны основные месторождения битуминозных песчаников (Атабаска, Колд Лэйк, Пис Ривер).

Основное количество ВВН и битумов извлекается на месторождениях провинции Альберта: Атабаска (Athabasca), Колд Лэйк (Cold Lake), Ллойдмин-стер (Lloydminster), Пис Ривер (Peace River), где применяются внепластовая (карьерным способом с последующей экстракцией нефтеносного песка) и внутривластовая (с использованием скважин) добычные технологии.

Вязкость нефти чрезвычайно высокая: в пластовых условиях она находится в нетекучем состоянии, в зависимости от глубины залегания пласта и термобарических условий вязкость нефти различных месторождений изменяется в диапазоне от нескольких десятков тысяч до нескольких миллионов мПа·с. Несмотря на очень высокую вязкость, при увеличении температуры она очень быстро снижается. Так, например, нефть месторождения Колд Лэйк при пластовой температуре 16 °С имеет вязкость около 70 Па·с, при увеличении температуры до 150 °С вязкость составляет около 900 мПа·с.

На рисунке 1 приведена динамика добычи нефти в Канаде.

Из рисунка 1 видно, что за счёт применения эффективных технологий общая добыча битумной нефти с вязкостью десятки и сотни тысяч мПа·с в провинции Альберта в 2010 г. составила 90 млн т. При этом за последние 10 лет доля битумной нефти в общих ресурсах увеличилась с 48 до 80 %.

Все коммерческие технологии, применяемые в Канаде, делятся на две большие группы: внепластовые (карьерная разработка), за счёт которой было добыто 67 млн т и внутривластовые или скважинные, за счёт которых добыли 23 млн т битумной нефти. Ниже приведена добыча нефти за счёт коммерческих технологий, применяемых в Канаде в промышленном масштабе, и перечислены технологии, находящиеся в стадии опытных работ.

Коммерческие технологии:

- внепластовые (карьер) – 67 млн т;
- внутривластовые – 23 млн т;

в том числе:

- пароциклические обработки (CSS) – 10 млн т;
- термогравитационное дренирование пласта (SAGD) – 5,6 млн т;
- холодная добыча (chops) – 4,6 млн т;
- первичные методы – 2,8 млн т.

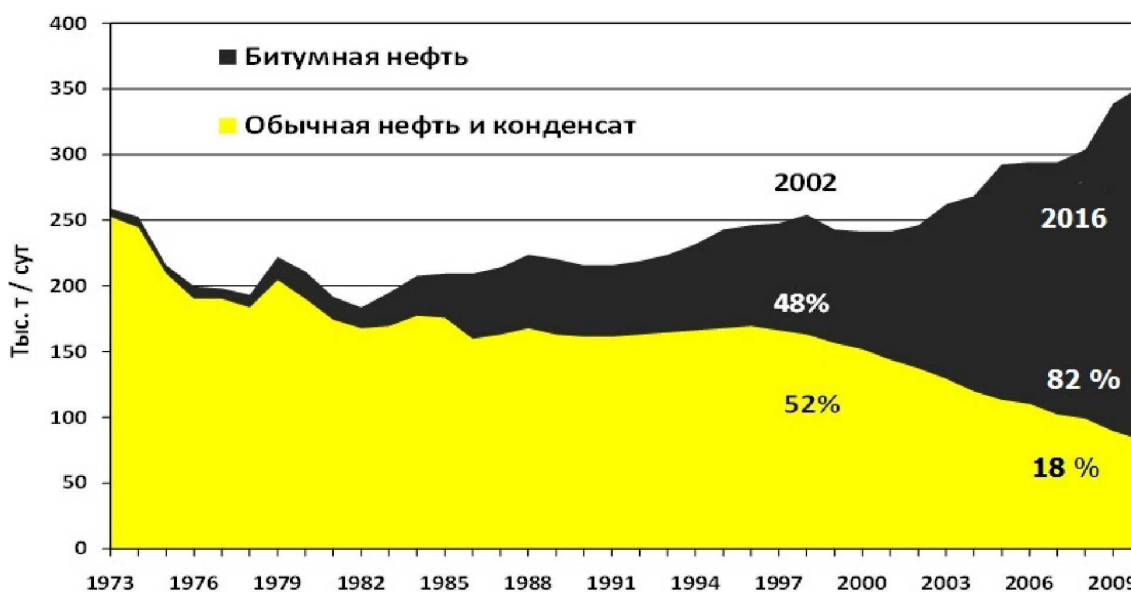


Рисунок 1 – Динамика добычи нефти районе Альберта (Канаде)

Технологии в стадии ОПР:

- экстракция нефти растворителем в паровой фазе – VAPEX;
- термогравитационное дренирование с добавкой растворителя;
- ПЦО горизонтальных скважин;
- усовершенствованная технология внутрислоевого горения – THAI;
- технология волнового воздействия на пласт.

Канадский опыт освоения месторождений ВВН и битумов свидетельствует о том, что организация эффективного крупномасштабного производства возможна только после получения обоснованных выводов на базе проведённых научных и лабораторных исследований, а также опытно-промышленных работ. Здесь широко используется технология и опыт смежных отраслей ТЭК – горной, химической, машиностроения и т.д. Обращает на себя внимание комплексное использование извлекаемого сырья, серьёзное отношение к экологической безопасности ведения работ.

Кратный рост добычи ВВН и битумов в Канаде связан, прежде всего, со значительными научно-техническими достижениями в создании новых технологий закачки пара через горизонтальные скважины, способов «холодного» нефтеизвлечения, передовых видов внутрискважинного оборудования. Это оказалось возможным благодаря качественной организации и крупному инвестированию научно-исследовательских разработок.

Венесуэла

В 2015 г. на месторождениях Венесуэлы осуществлялось 37 проектов по паротепловому воздействию на пласт, которые обеспечивали 7,6 % суммарной добычи нефти страны.

Месторождения ВВН и битумов на восточном побережье озера Маракайбо (Maracaibo) (боливарское побережье) – Тихуана (Tia Juana), Лагунильяс (La-guniilas), Бачакьеро (Bachaquero) характеризуются следующими показателями: глубина залегания пластов варьирует от 300 до 1 350 м, вязкость нефти в поверхностных условиях – от 100 до 50 000 мПа·с, толщина песчаников – от 60 до 360 м, содержание глин в них – до 30 %. Основным режимом разработки является режим сжатия пород, хотя пески имеют высокую проницаемость [11].

С 1957 г. на этих месторождениях испытывались различные методы термического воздействия, в том числе вытеснение нефти паром и внутрислоевого горение. Венесуэла считается родиной пароциклических обработок призабойных зон добывающих скважин, как показал анализ выполненных исследований, именно этот метод является наиболее эффективным, экономические показатели ПЦО оказываются наиболее предпочтительными.

Индонезия

Основные запасы и добыча ВВН в Индонезии приурочены к месторождению Дури (Duri), которое расположено на острове Суматра и разрабатывается совместной индонезийско-американской компанией «Кальтекс» (Caltex). На месторождении реализуется крупнейший в мире проект по применению паротеплового воздействия, за счёт чего добывается 22,1 % всей нефти в Индонезии [12].

Структура месторождения Дури представляет собой ассиметричную антиклиналь, простирающуюся в меридиальном направлении, площадью 130 км². Месторождение связано с терригенными



отложениями миоцена. В продуктивном разрезе выделено два объекта разработки – пласты Пертама (Pertama) и Кедуа-Бажи (Kedua-Baji), которые имеют слоистое строение и расположены на глубинах 150–450 м [14]. Общая толщина верхнего пласта Пертама – 60 м, пористость – 32 %, проницаемость изменяется от 500 мД до 2 Д. Проницаемость пласта Кедуа-Бажи варьирует в пределах 1–5 Д. Начальная нефтенасыщенность пластов не превышала 55 %. Нефть характеризуется как высоковязкая (400 мПа·с) и тяжёлая (930 кг/м³). Месторождение разделено на 13 площадей разработки, 8 из которых находятся под закачкой пара. Термическое воздействие было начато в 1985 г. Основная цель внедряемой технологии состоит в увеличении использования запасов высоковязкой нефти за счёт её прогрева и вытеснения закачиваемым паром. За 13 лет реализации термического воздействия коэффициент нефтеотдачи охваченных паротепловым воздействием площадей месторождения увеличилась с 8 до 64 %.

С 1996 по 2001 гг. добыча нефти по месторождению в целом снизилась с 17,4 до 16,2 млн м³. Основной причиной является замедление темпов расширения масштабов термической разработки новых площадей месторождения, что, главным образом, обусловлено колебаниями мировой цены на нефть.

Китай

Запасы ВВН в Китае сосредоточены в четырёх основных нефтедобывающих районах: Ляохэ (Liaohé), Синьцзян (Xinjiang), Шэнли (Shengli), Хэнань (Henan).

Китай имеет много различных по структуре месторождений (однопластовые, многопластовые и массивные) с различной вязкостью нефти от 100 до 100 000 мПа·с и глубиной залегания от 200 до 2 000 м. В основном месторождения ВВН представлены рыхлыми песчаниками с небольшим углом падения, имеют большую толщину, высокую пористость, проницаемость и начальную нефтенасыщенность.

Промышленная разработка месторождений ВВН в Китае началась в 1982 г., когда были проведены успешные испытания технологии ПЦО на месторождении Ляохэ [1]. В 1996 г. добыча ВВН в Китае достигла 13,0 млн т, в том числе 11 млн т за счёт закачки пара и примерно такой уровень годовой добычи ВВН удерживается до настоящего времени.

Основные технологии, которые обеспечивают добычу ВВН в Китае в течение последних 20 лет:

- ПЦО;
- площадная закачка пара (ПЗП);
- термогравитационное дренирование пласта (ТГДП) для разработки запасов сверхвязких нефтей;
- технология холодной добычи (ТХД);
- заводнение для разработки средневязких нефтей;
- закачка горячей воды совместно с азотом и пенными системами для увеличения коэффициента вытеснения при заводнении.

ПЦО широко применяется на месторождениях Ляохэ и Синьцзян с глубинами залегания от 400 до 1 600 м и вязкостью нефти от 100 до 50 000 мПа·с.

Использование ПЦО началось с 1982 г., и в настоящее время годовая добыча за счёт ПЦО на этих месторождениях составляет более 9 млн т в год, при этом нефтеотдача составляет не более 20 %. Разработка месторождения Синьцзян, расположенного на северо-западе Китая, началась в 1984 г., а применение ПЗП – только в 1991 г. К концу 2004 г. накопленная добыча ВВН на этом месторождении достигла 35 млн т при накопленном ПНО равном 4 т/т и нефтеотдаче 21 %. С августа 1991 г. ПЗП применялась на 7 блоках месторождения и охватывало 535 элементов разработки и 1794 добывающие скважины. Наибольшая годовая добыча нефти была достигнута в 2002 г. и равнялась 980 тыс. т. В 2015 г. добыча нефти за счёт ПЗП составила 875 тыс. т, а накопленная нефтеотдача превысила 40 %.

Для разработки сверхвязких нефтей применяется технология ТГДП. В 2009 г. добыча сверхвязкой нефти, главным образом, на месторождении Ляохэ увеличилась до 2,6 млн т и в настоящее время играет важную роль в процессе стабилизации добычи ВВН в Китае.

Пилотные испытания закачки горячей воды с азотом и пенными системами проводилось с 1996 по 1999 гг. на одном из блоков месторождения Ляохэ. За счёт закачки азота, химических реагентов и воды дополнительная добыча нефти составила 22 тыс. т. С 1999 г. испытания стали проводиться на 8 элементах разработки. К 2004 г. накопленная добыча нефти увеличилась до 225 тыс. т, нефтеотдача – до 6,7 %. Для поддержания уровня добычи ВВН в Китае планируется:

- усовершенствовать технологию ПЦО за счёт использования много забойных скважин, одновременно-раздельной закачки пара и добычи нефти и применения химических реагентов или совместной закачки пара с углекислым газом;
- для улучшения технологии ПЗП на неглубокозалегających месторождениях необходимо оптимизировать процесс закачки пара и использовать гелеобразующие составы в целях выравнивания профилей приёмистости нагнетательных скважин;



- для применения ПЗП на глубокозалегающих месторождениях необходимо обеспечить закачку на забой пара с высокой степенью сухости и решить проблему подъёма высокотемпературной жидкости
- разработать технологию применения горизонтальных скважин на неглубоко залегающих месторождениях для использования технологии ТГДП;
- оценить экономическую возможность закачки инертного газа и парообразных растворителей для добычи ВВН.

В Китае разработан ряд современных методов геологического и гидродинамического моделирования залежей высоковязких нефтей, учитывающих большую глубину залегания залежей и высокую неоднородность терригенных отложений континентального типа. Для моделирования активно используются данные трёхмерной сейсмоки, материалы петрофизических и гидродинамических исследований. По результатам экспериментального и численного моделирования сделана оценка влияния закачки пара на изменение фильтрационно-ёмкостных свойств пластов – коллекторов.

Освоено собственное производство парогенераторов по лицензии США. Для минимизации теплопотерь в стволе скважины при закачке пара на глубину более 1000 м создана новая конструкция термоизолированных НКТ, которая совместно с установкой термостойкого пакера и заполнением затрубного пространства азотом обеспечивает надёжную защиту обсадной колонны от чрезмерного термического и коррозионного воздействия.

Разработана технология послойной и селективной закачки пара с использованием силикатных шариков, которые бросают в колонну, и они перекрывают интервалы с максимальной приёмистостью.

Россия

Наиболее крупными проектами в конце 80-х – начале 90-х годов были проекты по тепловому воздействию на пласты месторождений Усинское и Ярегское (Коми), Оха (Сахалин), Кенкияк и Каражанбас (Казахстан), Гремихинское (Удмуртия) и других. Наибольшее количество технологий и технических средств было испытано на участке ОПУ-1 Льяельской площади Ярегского месторождения.

В начале 90-х годов с переходом нефтяной промышленности на новую систему хозяйствования перестали действовать механизмы стимулирования увеличения нефтеотдачи, существенно уменьшилась активность научных исследований, объёмы применения методов стали снижаться. Большинство опытно-промышленных работ было остановлено.

В настоящее время тепловые методы в опытно-промышленном или промышленном масштабе применяются только в республике Коми (Ярегское и Усинское месторождение) и в Татарстане. Планируется организовать закачку в пласт теплоносителей на Гремихинском месторождении и на месторождении Катангли (о. Сахалин).

В наибольшем масштабе термические методы применяются в настоящее время в Республике Коми, которая занимает ведущее место в РФ не только по объёмам добычи высоковязкой нефти, но и по масштабам применения современных технологий и технических средств разработки залежей ВВН. В промышленной разработке находятся два крупных месторождения с суммарными геологическими запасами ВВН, превышающими 1 млрд т. Более чем за 30-летний период накоплен большой опыт в области исследований, проектирования и практического освоения новых технологий. Многие термические технологии, например, термощахтный метод, термоциклическое воздействие на пласт в сочетании с закачкой гелеобразующих составов, ПЦО скважин с радиальными отводами являются уникальными и применяются только на этих месторождениях. Суммарная добыча ВВН на территории республики Коми на 01.01.2016 г. составила около 90 млн т, в том числе около 34 млн т добыто за счёт тепловых методов.

Выводы

В статье рассмотрены наиболее распространённые методики добычи аномально-вязкой нефти. Исходя из приведенной информации можно сделать вывод о том, что повсеместно используются термические методы интенсификации добычи тяжелых, битуминозных нефтей. Повышение коэффициента нефтеизвлечения месторождений, содержащих аномально-вязкую нефть чрезвычайно важная задача, поскольку с каждым годом легкоизвлекаемой нефти становится все меньше, а спрос неуклонно растёт.

Литература:

1. Антониади Д.Г. Настольная книга по термическим методам добычи нефти / Д.Г. Антониади, А.Р. Гарушев, В.Г. Шиханов. – Краснодар : Советская Кубань, 2000. – 464 с.
2. Антониади Д.Г. Научные основы разработки нефтяных месторождений термическими методами. – М. : Недра, 1995. – 315 с.
3. Антониади Д.Г. Теория и практика разработки месторождений с высоко-вязкими нефтями. – Краснодар : Советская Кубань, 2004. – 336 с.



4. Бурже Ж. Термические методы повышения нефтеотдачи пластов / Ж. Бурже, П. Сурио, М. Комбарну. – М. : Недра, 1988. – 422 с.
5. Малофеев Г.Е. Нагнетание в пласт теплоносителей для интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи / Г.Е. Малофеев, О.М. Мирсаатов, И.Д. Чаловская. – М., Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2008. – 224 с.
6. Мучник Г.Ф. Методы теории теплообмена / Г.Ф. Мучник, Н.Б. Рубашов. – М. : Высшая школа, 1970. – 288 с.
7. Рузин Л.М. Технологические принципы разработки залежей аномально вязких нефтей и битумов : монография / Л.М. Рузин, И.Ф. Чупров. – Ухта : УГТУ, 2007. – 244 с.
8. Шейнман А.Б. Воздействие на пласт теплом при добыче нефти : учеб. для вузов / А.Б. Шейнман, Г.Е. Малофеев, А.И. Сергеев. – М. : Недра, 1969. – 256 с.
9. Шорин С.Н. Теплопередача : учеб. для вузов / С.Н. Шорин. – М. : Высшая школа, 1964. – 490 с.
10. Prats M. Thermal Recovery / Michael Prats. – SPE Monograph Series, Vol. 7. – Society of Petroleum Engineers, 1982.
11. Oil & Gas Journal. – April 15, 2002 и April 12, 2004.
12. Oil & Gas Journal. – April 17, 2006.
13. Oil & Gas Journal. – April 21, 2008.

References:

1. Antoniadis D.G. The reference book by thermal methods of oil production / D.G. Antoniadis, A.R. Garushev, V.G. Shikhanov. – Krasnodar : Soviet Kuban, 2000. – 464 p.
2. Antoniadis D.G. Scientific bases of development of oil fields by thermal methods. – М. : Nedra, 1995. – 315 p.
3. Antoniadis D.G. The theory and practice of development of fields with high-viscosity neftyan. – Krasnodar : Soviet Kuban, 2004. – 336 p.
4. Burzhe Zh. Thermal methods of increase in oil recovery of layers / Zh. Burzhe, P. Surio, M. Kombarn. – М. : Nedra, 1988. – 422 p.
5. Malofeyev G.E. Forcing in layer of heat carriers for an intensification of oil production and increase in oil recovery / G.E. Malofeyev, O.M. Mirsayetov, I.D. Chalovskaya. – М., Izhevsk : Institute of computer researches, 2008. – 224 p.
6. Muchnik G.F. Methods of the theory of heat exchange / G.F. Muchnik, N.B. Rubashov. – М. : The higher school, 1970. – 288 p.
7. Ruzin L.M. Technological principles of development of deposits abnormally viscous neftyan and bitumens : monograph / L.M. Ruzin, I.F. Chuprov. – Ukhta : UGTU, 2007. – 244 p.
8. Sheynman A.B. Impact on layer heat at oil production : studies for higher education institutions / A.B. Sheynman, G.E. Malofeyev, A.I. Sergeyev. – М. : Nedra, 1969. – 256 p.
9. Shorin S.N. Heat transfer: studies. for higher education institutions / S.N. Shorin. – М. : Higher school, 1964. – 490 p.
10. Prats M. Thermal Recovery / Michael Prats. – SPE Monograph Series, Vol. 7. – Society of Petroleum Engineers, 1982.
11. Oil & Gas Journal. – April 15, 2002 и April 12, 2004.
12. Oil & Gas Journal. – April 17, 2006.
13. Oil & Gas Journal. – April 21, 2008.