

## МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И БИТУМОВ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

*А.В. Петухов<sup>1</sup>, А.А. Петухов<sup>2</sup>, М.Н. Никитин<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный горный институт, С-Петербург,  
e-mail: AV\_Petukhov@mail

<sup>2</sup> ООО «Газпром ПХГ», Москва, e-mail: alexey2096@mail.ru

На территории Тимано-Печорской провинции (ТПП) высоковязкие нефти (ВВН) и природные битумы (ПБ) пользуются широким площадным распространением и местами образуют значительные по запасам скопления. Крупные залежи ВВН и ПБ известны на Южном Тиммане, в Печоро-Колвинском авлакогене, в Варандей-Адзвинской структурной зоне и на поднятии Чернова. Более мелкие залежи выявлены в большинстве других районов. По величине запасов преобладают ВВН. Полуужидкие и твердые скопления углеводородов, составляющие меньшую часть разведанных запасов, представлены различными классами битумов от малых до антраксалитов. Преобладающий тип таких скоплений — твердые битумы (асфальты и асфальтиты).

Разведанные ВВН и ПБ образуют в ТПП разнообразные типы залежей и скоплений в отложениях широкого стратиграфического диапазона (от триаса до силура) и породах-коллекторах различного типа. Все выявленные скопления ВВН и ПБ характеризуются резким изменением таких важнейших параметров залежей, как нефтенасыщенность и битумосодержание, эффективная толщина коллекторов, пористость и проницаемость нефтенасыщенных пород, морфология и глубина залегания продуктивных горизонтов.

В ТПП разведанные геологические запасы ВВН и ПБ составляют миллиарды тонн, однако колоссальный потенциал этих природных ресурсов до настоящего времени используется достаточно слабо. Это связано с аномальными свойствами ВВН, которые создают сложные проблемы при разработке, транспортировке и переработке этих углеводородов. Наиболее эффективной технологией извлечения ВВН и ПБ является тепловое воздействие на пласт. Для добычи ВВН и ПБ как в России, так и за рубежом широко применяются пароциклические обработки скважин (ПЦО), площадная закачка пара и внутрипластовое горение. В последнее время широкое распространение (особенно в Канаде) получило также термогравитационное дренирование пласта и холодная, нетермическая добыча нефти. В России тепловые методы в промышленных масштабах применяются в основном на двух крупных месторождениях — Ярегском и Усинском, расположенных в ТПП. На этих месторождениях за счет тепловых методов ежегодно добывается более 1 млн. т ВВН, а всего здесь добыто около 30 млн. т термической нефти. На этих уникальных месторождениях время в разное время испытывались различные технологии добычи ВВН, многие из которых применяются в промышленном масштабе и сегодня.

Длительный опыт разработки Ярегского и Усинского месторождений ВВН показал, что практически все варианты теплового воздействия на пласт имеют определенные ограничения. Например, в сложных карбонатных коллекторах (порово-каверново-трещинного типа), с которыми связана пермо-карбоновая залежь Усинского месторождения, при площадной закачке пара не удается получить приемлемые технико-экономические показатели разработки из-за преждевременных прорывов теплоносителя по высокопроницаемым каналам: трещинам, кавернам и карстовым полостям. На длительно разрабатываемых шахтным способом участках Ярегского месторождения, ранее отработанных на естественном режиме, также неэффективно применение технологий, основанных на закачке в пласт теплоносителя высоких параметров, из-за неконтролируемых прорывов пара в старые скважины и горные выработки.

Одним из главных направлений освоения залежей ВВН и ПБ в настоящее время является разработка и внедрение комбинированных технологий воздействия на продуктивные пласты, включающих тепловые и другие физико-химические методы. Однако эффективное применение таких комбинированных технологий не возможно без комплексного системного изучения всех геолого-промысловых параметров разрабатываемых объектов. В результате комплексного воздействия на залежи ВВН и ПБ и системного подхода к процессу разработке можно получить синергетический эффект, если сложная иерархическая система продуктивного пласта будет грамотно сопряжена с системой комбинированного воздействия. В качестве комплексных технологий воздействия на продуктивные пласты при разработке залежей ВВН и ПБ в настоящее время рассматриваются следующие: комбинирование теплового воздействия и закачки химических реагентов (полимеров, ПАВ, щелочей, термогелей и пр.) с поверхности; комбинирование теплового воздействия с внутрипластовой генерацией различных реагентов, увеличивающих вытеснение и охват; сочетание теплового воздействия и закачки в пласт растворителей; комбинирование теплового и волнового воздействия; совместная закачка в пласт теплоносителей и различных газов; термогазовое воздействие, основанное на внутрипластовой генерации газа за счет низкотемпературного окисления нефти и др.

Для увеличения охвата пласта при паротепловом воздействии в Институте химии нефти СО РАН в последние годы были созданы и предложены к практическому применению термотропные неорганические и полимерные гелеобразующие составы, позволяющие генерировать гели непосредственно в пласте. Эти составы применяются в широком интервале температур, они приемлемы для низкопроницаемых коллекторов, могут закачиваться без предварительного растворения путем дозирования непосредственно в водовод, вполне применимы в зимних условиях. В настоящее время такие композиции применяются в промышленном масштабе на пермо-карбоневой залежи ВВН Усинского месторождения. Здесь на участках теплового воздействия с площадной закачкой пара в нагнетательные скважины для увеличения нефтеотдачи пласта осуществляется периодическая закачка гелеобразующего состава ГАЛКА и нефтевытесняющей композиции НИНКА, разработанных в ИХН СО РАН. Для повышения эффективности ПЦО и снижения обводненности скважин на Усинском месторождении также используется композиция ГАЛКА.

В последнее время резко повысился интерес к комплексному использованию теплового и волнового воздействия. Установлено, что процесс передачи тепла значительно интенсифицируется, если совместить тепловую обработку пласта с волновой, например, ультразвуковой. Воздействие на пласт волновыми полями также может увеличить нефтеотдачу за счет интенсификации режимов растворенного газа, капиллярной пропитки и гравитационной сегрегации газа и нефти. Учитывая длительный опыт разработки Ярегского месторождения термошахтным способом, который показал, что основную роль при разработке этого уникального объекта играет теплопроводный прогрев через систему тектонических нарушений и трещин, среднее расстояние между которыми составляет около 20 м, в СПГИ был разработан способ волновых обработок продуктивных пластов с трещинным типом коллектора.

Трещиноватый нефтяной пласт Ярегского месторождения представляет собой сложную систему матричных пористых блоков и открытых трещин различного масштаба. Наиболее эффективной волновая обработка будет при совпадении размеров характерных блоков  $L$  с длиной волны излучаемых колебаний  $\lambda$ , так как в этом случае будет происходить резонансное увеличение амплитуды колебаний горной породы-коллектора. С учетом того, что нефтяной пласт являет собой систему блоков различного масштаба, необходимо определить отдельные характерные (преобладающие) размеры блоков от микро- до макромасштаба, т.е. от размеров зерен породы и разделенных микротрещинами частиц до размеров крупных отдельностей горных пород. Изучая данные о линейных размерах отдельных блоков, полученную информацию можно представить в виде гистограммы размеров блоков продуктивного пласта, из которой можно выделить локальные максимумы, которые и составят дискретный ряд ха-

рактерных линейных размеров блоков продуктивного пласта. Для каждого значения ряда линейных размеров блоков  $L_i$  рассчитывается резонансная частота колебаний  $\nu_i$  из уравнения:

$$\nu_i = \frac{L_i}{c},$$

где  $c$  — скорость распространения упругих волн в породе нефтяного пласта.

Таким образом, имеем ряд частот. Волновую обработку нефтяной залежи предлагается проводить в несколько этапов, последовательно, волнами частот, значения которых равны значениям рассчитанных величин из полученного ряда значений.

Характерные размеры отдельных разностей  $L$  продуктивного пласта предлагается определять как среднегеометрическое из максимального  $L_{\max}$  и минимального  $L_{\min}$  его видимых размеров (М.А. Садовский, Л.Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко. Деформирование геофизической среды и геофизический процесс. М.: Наука, 1987):

$$L = \sqrt{L_{\max} \cdot L_{\min}}.$$

Данный способ определения ряда частот для серии последовательных волновых обработок может найти широкое применение в условиях Ярегского нефтяного месторождения, единственного в России, разрабатываемого шахтным способом, применение которого позволило с высокой точностью, преимущественно визуально, изучить количественно систему трещин и размеры отдельных блоков. Способ предназначен для повышения эффективности обработок скважинными волновыми излучателями на поздних стадиях разработки нефтяного месторождения путем подбора группы дискретных частот излучаемых волн, которые соответствуют резонансным частотам блоков нефтяного пласта различного масштаба. При этом используются данные о трещиноватости нефтяного пласта, в частности, геометрические размеры характерных блоков пористой матрицы, ограниченных трещинами. На основании полученного ряда наиболее характерных размеров блоков рассчитывается ряд частот волн, для которых, с учетом скорости распространения упругих волн через породу продуктивного пласта рассчитывается ряд таких частот, для каждой из которых длина волны равна характерному размеру блоков породы пласта. Упругие волны найденных частот будут способствовать резонансному увеличению амплитуды колебаний блоков породы пласта и тем самым способствовать вовлечению в активную зону застойных зон нефтяного пласта, что позволит повысить нефтеотдачу и эффективность волнового воздействия, в частности. Проводить обработку пласта предлагается последовательным воздействием волнами предварительно рассчитанного ряда частот, от меньшего к большему.

Таким образом, на основе комплексного системного подхода и комбинированного теплового и волнового воздействия предполагается получить значительный экономический эффект от использования такой технологии на Ярегском месторождении. В настоящее время в лаборатории «Повышения нефтеотдачи пластов» кафедры РНГМ СПГГИ проводятся лабораторные эксперименты с использованием представительных образцов нефтенасыщенного песчаника и нефти Ярегского месторождения.