

УДК 622.276.5 + 622.297.5 (072.8)

## Инновационные шахтно-скважинные технологии освоения и эксплуатации запасов сланцевой нефти Западной Сибири и Поволжья

### Innovative Silo-Borehole Technology Development and Exploitation of Shale Oil Reserves in Western Siberia and the Volga Region

*В.Я. Афанасьев, д. э. н., профессор, А.В. Ильюша, д. т. н., профессор, Ю.Н. Линник, д. т. н., профессор, В.Ю. Линник, д. э. н., доцент, В.В. Шерсткин, к. т. н., доцент, ФГБОУ ВПО «Государственный университет управления»*

*V. Afanasyev, A. Ilyusha, Yu. Linnik, V. Linnik, V. Scherstkin*

#### АННОТАЦИЯ

*Рассмотрены основные принципы построения инновационной шахтно-скважинной технологии отработки сланцевых глубокозалегающих нефтегазосодержащих залежей для обеспечения рентабельной и экологически безопасной добычи сланцевой нефти.*

**Ключевые слова:** *сланцевая нефть, добыча, освоение месторождений, шахтно-скважинная технология.*

#### ABSTRACT

*The basic principles of the innovative silo borehole mining technology of deep shale deposits neftegazosoderzhaschih to provide cost-effective and environmentally safe production of shale oil.*

**Keywords:** *shale oil production , field development , mine - well technologies.*

Совокупность технологий, методов и способов воздействия на нефтесодержащие пласты и добычи нефти подразделяют на две большие группы [1]: открытые способы (методы) добычи и разработка способом дренирования нефтегазоносных залежей с помощью скважин, пробуренных с поверхности земли. При этом практически вся существующая и повсеместно применяемая

сегодня скважинная технология добычи нефти и газа относится к группе технологий с дренированием скважинами, пробуренными с поверхности земли. К открытым же технологиям относят также известные, хотя и менее распространенные, карьерные и шахтные технологии, первые из которых используют при разработке битуминозных песков и горючих сланцев для последующей



го извлечения из них углеводородов, а вторые – применяют для термошахтной добычи высоковязкой нефти, например [2–4], при разработке относительно неглубоко залегающих (до 300–400 м) продуктивных залежей.

В целом сложившаяся на данный момент скважинная технология освоения и отработки традиционных нефтегазовых залежей (месторождений) в значительной степени носит хаотический характер со значительной долей случайности и достаточно низким коэффициентом извлечения нефти. Поэтому при освоении глубокозалегающих сланцевых нефтегазовых месторождений, в особенности таких как отложения баженовской свиты Западной Сибири и нефтеносные сланцевые залежи Поволжья, необходимы принципиально новые подходы, которые бы, с одной стороны, минимизировали элементы неопределенности и стоимости ведения горных работ, а с другой стороны, обеспечивали максимизацию коэффициента извлечения нефти и газа и приводили тем самым к значительному повышению экономической эффективности нефтегазового производства в целом. При широкомасштабном освоении нефтегазовых сланцевых залежей к тому же на первый план выдвигаются проблемы экологической чистоты добычи углеводородов при одновременном обеспечении и требований экономической целесообразности (ценовой конкурентоспособности) такого производства.

В конечном итоге поэтому речь идет о необходимости перехода на технологии сплошной «выемки» или, скажем так, «зачистки» сланцевой залежи в некотором смысле подобно тому, как это на протяжении нескольких последних столетий осуществляется при подземной отработке пластовых месторождений твердого топлива – угля. Дело в том,

что, по имеющимся данным, в силу мозаичного характера нефтегазоносности сланцевых залежей баженовской свиты только 30% ресурсов углеводородов сосредоточено в так называемых интервалах повышенной нефтегазоотдачи. На поиск и вовлечение в разработку этих «включений» с помощью существующих скважинных технологий, естественно, и направлены сегодня основные усилия нефтяных компаний. При этом, разумеется, оставшиеся 70%, что называется, в расчет не берутся.

Сегодня, как известно, повышение эффективности добычи нефти даже на месторождениях с традиционными коллекторами связывают с применением дорогостоящих технологий горизонтального бурения скважин и гидравлического разрыва (ГРП) продуктивных пластов. И именно эти технологии, как известно, лежат в основе пресловутой сланцевой революции. Однако при освоении и эксплуатации нетрадиционных источников и ресурсов нефти, к которым, разумеется, относятся сланцевые нефтегазовосные залежи и месторождения высоковязкой (битумной) нефти, приходится сталкиваться со многими осложняющими факторами и обстоятельствами, которые серьезно затрудняют производство работ. В целом поэтому требуются большие усилия не только для наращивания объемов добычи нефти, но даже и для поддержания ее на достигнутых уровнях.

Прежде всего, это необходимость значительного увеличения объемов бурения как вследствие увеличения глубины залегания продуктивных пластов, так и из-за требующегося при этом существенного уплотнения сетки скважин для повышения интенсивности извлечения и нефтеотдачи пластов. Другим весомым фактором является необходимость проведения в процессе эксплуатации опе-



раций по многостадийному ГРП в добычных (горизонтальных) скважинах, что существенно сказывается на издержках производства. Дело в том, что сами технологии ГРП и их эффективность различаются свойствами и качеством рабочей (технологической) жидкости гидроразрыва и пропантов, закачиваемых в пласт с поверхности земли по скважинам для искусственного создания и закрепления в пласте трещин, протяженность которых определяется объемами закачки жидкости гидроразрыва и может иметь длину от 10–20 м при локальном характере ГРП, достигать 80–120 м при глубокопроникающем гидроразрыве, а при массивном ГРП – доходить до 1000 м и более. Основное назначение жидкости гидроразрыва в этих способах – это передача с дневной поверхности на забой скважин (точнее, в зону гидроразрыва пласта) энергии, необходимой для раскрытия трещины и транспортировки (продавливания) пропанта вдоль всей трещины. Применяемая жидкость гидроразрыва должна обладать свойствами деструкции (разложения) после обработки пласта, оказывать минимальное отрицательное воздействие на пласт при контакте с породой и пластовыми флюидами, а также удовлетворять другим важным технологическим требованиям. При этом гидроразрыв пласта необходимо применять как на добывающих, так и на нагнетательных скважинах, а в качестве рабочей жидкости гидроразрыва в настоящее время необходима в больших количествах пресная вода, что во многом предопределяет высокую стоимость этих работ и ограничивает область их широкого практического применения.

Однако при осуществлении многоступенчатых гидроразрывов продуктивного пласта (сланцевой залежи), находящегося на значительной глубине от

дневной поверхности, откуда производится нагнетание под высоким давлением рабочей среды гидроразрыва, необходимы значительные объемы этой рабочей среды ГРП (например, воды), а также дорогостоящих и агрессивных химических добавок, воздействующих на пласт, которые циркулируют между дневной поверхностью и продуктивным пластом в процессе многоступенчатых гидравлических разрывов пласта. Все это приводит к высокой стоимости работ по многоступенчатому ГРП и выполнению физико-химических воздействий на пласт, необходимых для повышения интенсивности и величины нефтегазоотдачи пласта и добывающих скважин, а также приводит к повышенной опасности значительных утечек указанных веществ в окружающую среду (атмосфера, поверхностные и подпочвенные воды, водоносные горизонты и т.д.). К числу существенных недостатков известного способа добычи сланцевой нефти скважинами, которые бурятся непосредственно с поверхности над сланцевой залежью, в особенности из глубокозалегающих продуктивных пластов, относятся также высокая неопределенность результатов многоступенчатых ГРП и интенсифицирующих физико-химических воздействий на пласт и добывающие скважины, наблюдающаяся из-за большого разнообразия коллекторских свойств и характеристик проницаемости коллекторов в сланцевых залежах.

Создание в таких условиях эффективной, достаточно устойчивой и длительно действующей дренирующей системы и геометрии гидроразрыва пласта является достаточно проблематичным и весьма затратным, а разработка типовых и общеприменимых схем и приемов для решения этой, можно сказать, центральной при добыче сланцевой нефти проблемы и вообще вряд ли возможна.



Более того, технологии водного ГРП (так называемый водный фрекинг) и водогазового воздействия на продуктивные пласты с глинистыми породами и вовсе, что называется, противопоказаны из-за их разбухания при контакте с водой и, следовательно, из-за ухудшения фильтрационно-емкостных свойств пластов коллекторов. Именно это принципиальное ограничение, по мнению многих специалистов, становится все более очевидным и выдвигается на первый план при освоении месторождений баженовской свиты.

Но все же, по-видимому, главным препятствием на пути широкого распространения по миру технологий добычи сланцевых углеводородов методом водного фрекинга является большая экологическая нагрузка на окружающую среду непосредственно на дневной поверхности и в подземном пространстве над продуктивными пластами, возникающими при отработке продуктивных пластов скважинами, которые бурятся с поверхности.

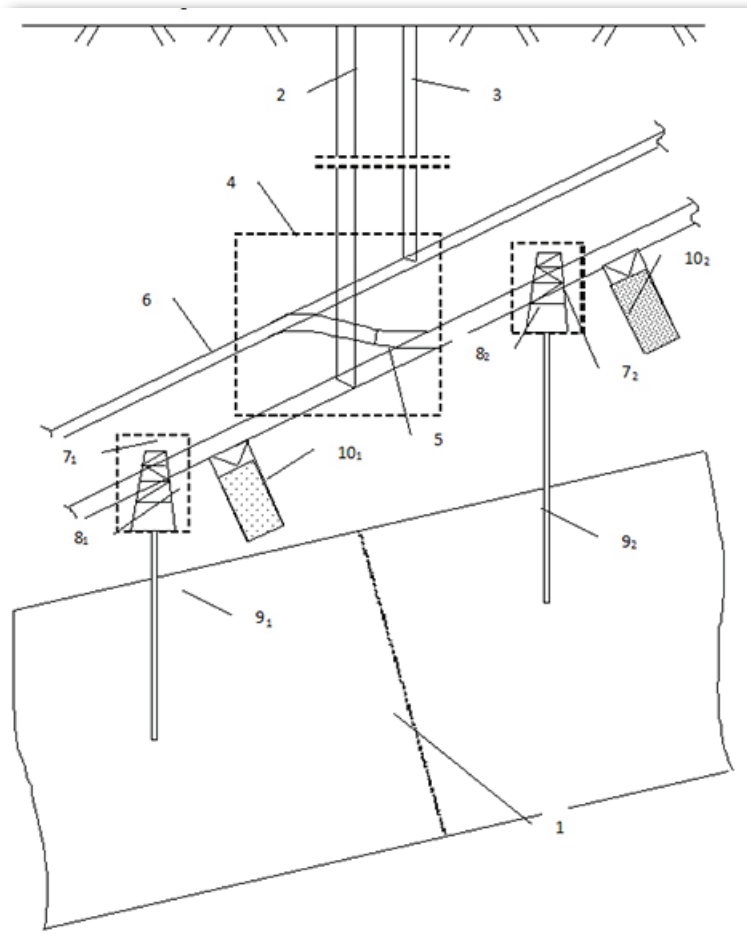
Как показывают проведенные нами исследования, для кардинального решения основных проблем добычи нефти из глубокозалегающих нефтегазоносных сланцевых залежей и прежде всего применительно к проблеме широкомасштабного освоения ресурсов нефти и газа баженовской свиты горных пород Западной Сибири требуется рациональное комплексное использование в рамках единого энерготехнологического комплекса как упомянутого выше «открытого» [1] (точнее было бы, горношахтного способа разработки) – в целом для освоения, вскрытия и подготовки к отработке месторождения, так и одновременно последующего использования способов дренирования продуктивных залежей, но уже с помощью скважин, пробуренных из подземных

буровых камер. Фактически речь идет о разработке, скажем так, третьей группы, назовем их шахтно-скважинных технологий, которые рациональным образом сочетают в себе весь накопившийся, можно сказать, веками опыт подземной (шахтной) технологии разработки пластовых месторождений, прежде всего твердого топлива – угля, а с другой стороны, включают в себя все достижения современного нефтегазового дела.

Основная идея предлагаемой инновационной шахтно-скважинной технологии добычи нефти и газа из сланцевых залежей баженовской свиты горных пород Западной Сибири и сланцевых залежей Поволжья заключается в том, что вскрытие и подготовку продуктивного пласта осуществляют шахтными стволами и капитальными подземными горно-подготовительными выработками, а добычу углеводородов осуществляют выемочными блоками добычных скважин с гидроразрывом и другими видами воздействия на пласт, которые бурят из подземных камер основных горно-подготовительных выработок, предварительную очистку и сепарацию сланцевой нефти ведут в подземных условиях, сланцевый газ используют для энергообеспечения и повышения эффективности функционирования подземного энерготехнологического комплекса, а сланцевую нефть после окончательной очистки и подготовки на дневной поверхности поставляют потребителям [5].

Обобщенная технологическая схема подземного энерготехнологического комплекса шахтно-скважинной добычи нефти из глубокозалегающих сланцевых залежей и месторождений высоковязкой (битумной) нефти представлена на рис. 1, где изображены: 1 – сланцевая нефтегазосодержащая залежь (месторождение); 2 – главный вертикальный шахтный ствол; 3 – вспомогательный





**Рисунок 1 – Обобщенная технологическая схема шахтно-скважинной добычи нефти из глубокозалегающих нефтегазоносных сланцевых залежей**

(вентиляционный) шахтный ствол; 4 – околоствольный двор; 5 – основные подготовительные подземные выработки; 6 – вспомогательные (вентиляционные) подготовительные подземные выработки; 7, 8 – подземные камеры и буровые установки (вышки) соответственно; 9 – бурильные колонны; 10 – подземные аккумулирующие выработки-камеры (бассейны) обратного притока жидкости после гидроразрывов продуктивного пласта.

Данная обобщенная технологическая схема в зависимости от конкретных особенностей и характеристик залегания продуктивного пласта на участке сланцевой залежи (в пределах шахтного поля), а также конкретных целей и особенно-

стей создания таких комплексов может быть реализована с помощью ряда так называемых базовых технологических, различающихся по типу и совокупности материально-технических потоков, циркулирующих (проходящих) между дневной поверхностью и подземным пространством в шахтной части энергокомплекса.

Общая идеология и основные принципы построения и функционирования подземных энерготехнологических комплексов детально были изложены ранее в ряде работ применительно к отработке пластовых месторождений твердого топлива – угольных месторождений, например [6–8].

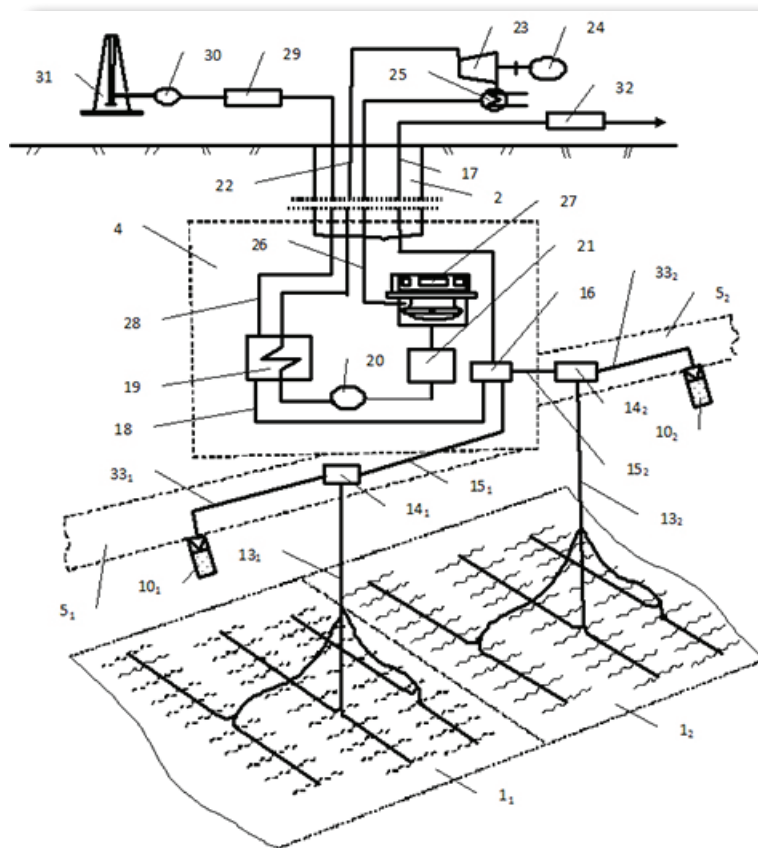
Таким образом, одна из базовых технологических схем подземного энерготехнологического комплекса для добычи нефти и газа из сланцевых залежей баженовской

свиты в Западной Сибири и Поволжье с помощью шахтно-скважинной технологии представляется в виде схемы, изображенной на рис. 2, где показаны: 11, 12 – выемочные (добычные) блоки сланцевой залежи; 2 – основной (главный) шахтный ствол технологического комплекса; 4 – горные выработки околоствольного двора; 51, 52 – основные подземные подготовительные выработки; 141, 142 – фонтанная арматура и устьевое оборудование для эксплуатации подземных добывающих скважин; 151, 152 – трубопроводы для сбора продукции добывающих скважин; 16 – подземное оборудование для сепарации (разгазирования) и предварительной очистки сланцевой нефти; 17 – стволовой нефте-



провод сланцевой нефти; 18 – питающий газопровод сланцевого газа; 19 – паровой котел; 20 – питающий водяной насос; 21 – подземный гидроаккумулирующий резервуар; 22 – стволовой термоизолированный паропровод; 23 – паровая турбина поверхностного паротурбинного отделения; 24 – электрический генератор; 25 – конденсатор отработанного пара; 26 – трубопровод стволового водосброса; 27 – подземный гидрогенератор; 28 – стволовой (отводящий) трубопровод дымовых газов; 29 – поверхностные очистные фильтры; 30 – дымосос; 31 – дымовая труба; 32 – поверхностное оборудование (отделение) очистки и подготовки сланцевой нефти; 33 – сливные трубопроводы жидкости обратного притока после гидроразрывов пласта. На данном рисунке позиции 11 и 12 условно не показаны. Под ними понимаются технологические элементы для создания и подготовки эффективной дренажной системы добычных скважин в выемочных блоках 11, 12 – сланцевой залежи, что является одним из решающих условий для экономически эффективного и экологически безопасного освоения и разработки глубокозалегающих нефтегазоносных сланцевых залежей. В силу особой сложности и важности эта проблема заслуживает отдельного (самостоятельного) рассмотрения.

Детально функционирование этого энерготехнологического комплекса по добыче сланцевой нефти изложено в [5] и вкратце сводится к следующему. Продукция добывающих скважин 131 и 132 через устьевое оборудование 141 и 142 подается по трубопроводам 151 и 152 на



**Рисунок 2 – Базовая технологическая схема подземного энерготехнологического комплекса при шахтно-скважинной отработке глубокозалегающих сланцевых залежей**

подземное оборудование для сепарации (разгазирования) и предварительной очистки сланцевой нефти (подземную установку подготовки нефти) 16, откуда сланцевая нефть, прошедшая первую стадию подготовки (прежде всего обезвоживание и сепарацию газа) по стволовому нефтепроводу 17 подается на дневную поверхность для дальнейшей и окончательной подготовки перед отправкой потребителям. Отбираемый при этом из продукции добывающих скважин сланцевый газ из установки подземной подготовки нефти 16 подается газопроводом 18 в паровой котел 19, размещенный в околоствольном дворе 4. Питание водой парового котла 19 осуществляется насосом 20 из подземного гидроаккумулирующего резервуара 21,



вырабатываемый водяной пар как промежуточное рабочее тело в паросиловом цикле преобразования энергии электроэнергетической установки (станции) с разнесенными по геодезической высоте парогенерирующим и паротурбинным отделениями подается по стволловому термоизолированному паропроводу 22 на паровую турбину 23 с электрическим генератором 24 и конденсатором отработанного водяного пара 25. Сконденсировавшийся водяной пар (вода) по трубопроводу стволлового водосброса 26 подается на подземный гидрогенератор 27 и далее в аккумулирующий (компенсирующий) подземный резервуар 20, а вырабатываемая электрическая энергия в электрическом генераторе 24 и гидрогенераторе 27 используется на собственные нужды энерготехнологического комплекса и для поставок внешним потребителям.

Продукты сгорания сланцевого газа (дымовые газы) из парового котла 19 по стволловому (отводящему) трубопроводу 28 выдаются на поверхность комплекса и после обработки в очистных фильтрах 29 дымососом 30 через дымовую трубу 31 выбрасываются в атмосферу. Одновременно в поверхностной установке подготовки сланцевой нефти 32 производится окончательная очистка и разгазирование (сепарация) нефти, чистая нефть подается в магистральные средства транспорта для дальнейшего использования (на переработку), а отделяемые остатки сланцевого газа используются для газоснабжения местных потребителей или для последующей газохимической переработки.

В заключение следует остановиться еще на одной, исключительно важной, по нашему мнению, проблеме, с которой все в большей степени сталкивается современное нефтегазовое производство. Дело в том, что создание инфраструк-

туры и основных фондов, необходимых для освоения и отработки нефтегазовых месторождений, в особенности для удаленных и северных регионов Российской Федерации, сопряжено с весьма высокой капиталоемкостью и значительными первоначальными затратами. С другой стороны, при высокой интенсивности отработки месторождений срок службы последних в силу исчерпания извлекаемых запасов сокращается до 25–30 лет, после чего вся эта дорогостоящая инфраструктура фактически становится бесполезной, и остаточная стоимость созданных основных фондов становится близкой к нулю. В этом смысле при шахтно-скважинной отработке глубоководных сланцевых нефтегазовых месторождений ситуация является более благоприятной, поскольку освоенное (созданное) подземное пространство в шахтной части энерготехнологического комплекса может получить другую, нередко длительную жизнь с точки зрения других целей применения и возможностей рационального использования. Особенно это становится важным для Западной Сибири, где фактически уже имеется вся необходимая инфраструктура для нефтегазодобычи и на территории которой находится одна из крупнейших в мире нефтегазоносных сланцевых залежей баженовской свиты горных пород, уже не говоря о том, что в еще более глубоко залегающих продуктивных пластах недр Западной Сибири сосредоточены, можно сказать, неисчерпаемые ресурсы нефти и газа, а также других полезных ископаемых. К тому же, как известно, например, в Поволжье (да и в Западной Сибири тоже), в этажах нефтегазоносности содержатся угольные пласты, отработка которых создаваемыми для добычи нефти подземными энерготехнологическими комплексами с помощью предлагавшихся ранее



[6–8] безлюдных термогазодинамических технологий отработки угольных пластов может обеспечивать продление жизненного цикла создаваемых основных фондов на многие десятилетия вперед. ■

## ЛИТЕРАТУРА

1. Халимов Э.М. Инновационное развитие технологии разработки нефтяных месторождений//Нефтегазовая технология. Теория и практика. – 2008. – Т. 3. – № 2.
2. Рузин Л.М. и др. Способ разработки нефтяного пласта//Патент РФ № 2199004 от 20.02.2003. – Патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».
3. Чикишев Г. Ф. и др. Термошахтный способ разработки трещиноватой залежи высоковязкой нефти//Патент РФ № 2467161 от 20.11.2012. – Патентообладатель ООО «ЛУКОЙЛ-Коми».
4. Рузин Л. М. и др. Термошахтный способ разработки трещиноватой залежи высоковязкой нефти//Патент РФ № 2535326 от 10.12.2014. Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет».
5. Ильюша А.В. и др. Способ разработки сланцевых нефтегазосодержащих залежей и технологический комплекс оборудования для его осуществления//Патент РФ № 2547847 от 20.02.2014. – Патентообладатель ФГБОУ ВПО «Государственный университет управления».
6. Ильюша А.В. и др. Способ разработки угольных месторождений и комплекс оборудования для его осуществления//Патент РФ № 2027854 от 27.01.1995.
7. Ильюша А.В. Базовые технологические схемы работы подземных энергокомплексов для производства продуктов теплоэнергоснабжения// Промышленная энергетика. – 1996. – № 4.
8. Ильюша А.В. Основные направления и принципиальные особенности технологической интеграции энергоугольных производств//Уголь. – 2002.