

Литература

1. Современные проблемы геологического картирования : материалы X Унив. геол. чтений, Минск, 14–15 апр. 2016 г. / Белорус. гос. ун-т ; редкол.: В. И. Зуй (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2016. – С. 4–5.
2. Билибин, С. И. Технология создания и сопровождения трехмерных цифровых геологических моделей нефтегазовых месторождений: на основе интеграции данных петрофизики, ГИС и сейсморазведки : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 25.00.10 / Билибин Святослав Игоревич. – М., 2010. – 45 с.
3. Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса : сб. материалов V Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 6 окт. 2022 г. – СПб., 2022.
4. Алешин, А. С. Цифровые модели в геологии нефти и газа / А. С. Алешин. – М. : Недра, 2015.
5. Основы трехмерного цифрового геологического моделирования : учеб. пособие / К. В. Абабков, Д. Д. Сулейманов, Ш. Х. Султанов [и др.]. – Уфа : Нефтегаз. дело, 2010. – 199 с.

**ОПИСАНИЕ И СРАВНЕНИЕ ВИДОВ МНОГОСТАДИЙНОГО
ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИН
БАРСУКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НЕФТИ**

А. А. Комарницкий

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

И. С. Шепелева, О. Л. Войтехин, К. В. Мироненко

РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», г. Гомель

Рассмотрены особенности применения многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) для интенсификации добычи трудноизвлекаемых запасов на примере Барсуковского месторождения. Приведено описание различных технологических подходов к МГРП и их сравнительный анализ. Выделены преимущества технологии Plug & Perf, использованной на месторождении, а также полученные результаты по увеличению дебита и снижению обводненности продукции. Установлено, что применение МГРП позволило достичь начального дебита до 50 м³/сут при стабильной работе скважины в первые месяцы эксплуатации.

Ключевые слова: многостадийный гидроразрыв пласта, трудноизвлекаемые запасы, горизонтальная скважина, технология Plug & Perf, Барсуковское месторождение, интенсификация добычи, дебит скважины.

Многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП) – это современный и высокоэффективный метод интенсификации добычи углеводородов, особенно в условиях плотных низкопроницаемых коллекторов. МГРП представляет собой последовательное проведение гидроразрыва в нескольких интервалах ствола скважины, применяется преимущественно в горизонтальных и наклонно-направленных скважинах.

Главные цели проведения МГРП заключаются в увеличении эффективной площади дренирования, повышении продуктивности и вовлечении в разработку ранее неосвоенных участков залежей. К задачам относятся: создание трещин в пласте, улучшение фильтрационных свойств призабойной зоны, равномерное распределение дебита по всему стволу, а также достижение экономической эффективности разработки месторождений.

Метод широко применяется в горизонтальных скважинах и зарекомендовал себя как один из ключевых инструментов для освоения трудноизвлекаемых запасов, особенно в зрелых, низкопроницаемых месторождениях.

К трудноизвлекаемым относятся запасы УВ, заключенные в пласты с низкой проницаемостью и насыщенностью, сложенные трещиноватыми, плотными и неоднородными породами. Они требуют применения методов интенсификации, таких как МГРП, для эффективного извлечения нефти.

Современная практика предусматривает несколько подходов к реализации многостадийного гидроразрыва пласта. Основными из них являются:

1. Шаровые многопортовые компоновки «Ball-Drop» – технология заключается в поэтапной обработке с использованием технологий гидроразрыва протяженной целевой зоны (либо разрозненных зон), оборудованной шаровой многопортовой компоновкой «Ball-Drop». Компоновка представляет собой незацементированный (либо зацементированный) сегмент хвостовой эксплуатационной колонны, оборудованный заколонными пакерами (для задания границ воздействия по стволу скважины в условиях отсутствия заколонной крепи) и активируемыми шарами механическими устройствами (портами для обеспечения гидравлической связи в системе «пласт – скважина»), при этом шары не только активируют последующие порты, но и механически отсекают ранее обработанные зоны. Для данного решения характерны высокие технико-технологические риски, критичность возникновения осложнений (особенно на ранних этапах), низкая прогнозируемость мест инициации трещин и их сравнительно небольшая плотность. Описанная технология затрудняет проведение повторной адресной стимуляции отдельных зон и не позволяет управлять профилем притока в процессе эксплуатации скважины.

2. Управляемые многопортовые компоновки – в отличие от технологии «Ball-Drop» используемая компоновка оборудована механическими устройствами (портами для обеспечения гидравлической связи в системе «пласт – скважина») активируемыми и деактивируемыми специальным ключом, спускаемым на гибкой трубе (первичная активация может осуществляться сбросом шаров). Для данного решения характерна низкая прогнозируемость мест инициации трещин и их сравнительно небольшая плотность. Теоретически метод позволяет выполнять обработку целевых зон в любой последовательности, обеспечивает адресность повторной стимуляции и при необходимости дает возможность выборочного выключения обработанных зон в работающей скважине, однако, как показывает практика, применяемое скважинное оборудование зачастую показывает неудовлетворительную надежность.

3. Технология «Plug & Perf» – технология заключается в поэтапной обработке с использованием технологий гидроразрыва протяженной целевой зоны (либо разрозненных зон) в обсаженных зацементированной эксплуатационной колонной скважинах. Конструкция скважины (и спускаемого лифта НКТ при его наличии) обеспечивает равнопроходное внутреннее сечение от устья до забоя. Обработка осуществляется циклично, каждый полный цикл включает следующие операции: перфорация целевой зоны (на геофизическом кабеле либо с использованием гибкой трубы), стимуляция по технологии гидроразрыва, отсечение обработанного интервала пробкой-отсекателем (на геофизическом кабеле либо с использованием гибкой трубы), при этом отсечение и перфорация осуществляются за одну спускоподъемную операцию. Количество полных циклов зависит от геолого-технических условий и стоящей геологической задачи. Использование геофизического кабеля (либо гибкой трубы) для комплекса подготовительных работ между стадиями позволяет существенно сократить время ГТМ и делает возможным выполнение операции за одну постановку флота ГРП. Данная технология позволяет управлять местом инициации трещин ГРП и их количеством, в конечном итоге обеспечивая плотность сети трещин гидроразрыва, недостижимую для других технологических решений.

Барсуковское нефтяное месторождение представляет собой зрелый актив с высокой степенью выработанности и сложно-коллекторским строением. Многостадийный гидроразрыв пласта на рассматриваемом применяется с 2020 г., начиная с 2023 г. МГРП реализуется по технологической схеме Plug&Perf: технология опробирована в трех скважинах с протяженностью горизонтальных интервалов освоения от 363 до 379 м, стадийность работ составила от 5 до 6 (всего 17 стадий), при этом обработано от 9 до 10 отдельных интервалов перфорации (всего 28 интервалов).

Технология Plug&perf обеспечила точную изоляцию интервалов и качественное вскрытие продуктивных зон. Благодаря применению этой технологии достигнут высокий контроль над качеством разрыва, а также увеличен охват ствола скважины стимулирующим воздействием.

Кроме того, процесс позволил оптимизировать потребление проппанта и жидкости, а также обеспечить равномерный приток по всей длине горизонтального ствола. Это привело к снижению риска раннего обводнения и увеличению добычного потенциала скважин. По результатам внедрения Plug&Perf МГРП на Барсуковском месторождении фактический вводный дебит по некоторым объектам достиг 50 т/сут, что в 3–4 раза превышает дебит объектов, осваиваемых без МГРП.

Общий прирост дебита по нефти на скважинах с Plug&perf МГРП составил более 100 т/сут. Это подтверждает эффективность метода Plug & Perf для геологических условий месторождения и оправдывает инвестиции в многостадийный гидроразрыв, особенно в условиях зрелых и низкопроницаемых пластов.

Проведенное исследование и анализ результатов применения различных технологий многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП) на Барсуковском месторождении позволили сделать ряд важных выводов. Наиболее эффективной технологией в условиях зрелого, низкопроницаемого месторождения с усложненным коллекторским строением показала себя схема Plug & Perf. Ее применение обеспечило высокий уровень управляемости процессом разрыва, равномерный охват продуктивного интервала, снижение обводненности и значительный прирост добычи нефти.

Сравнительный анализ показал, что Plug & Perf имеет ряд технологических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с другими схемами МГРП, особенно в части качества вскрытия продуктивных пластов и возможности адресной стимуляции. Достигнутый прирост дебита до 50 т/сут и совокупное увеличение добычи более чем на 100 т/сут подтверждают целесообразность и эффективность инвестиций в данный метод.

Таким образом, технология Plug & Perf может быть рекомендована для широкого применения при разработке трудноизвлекаемых запасов на зрелых месторождениях с горизонтальными скважинами, где необходимы точность, управляемость и высокая результативность методов интенсификации добычи.

Л и т е р а т у р а

1. Порошин, В. В. Д. Разработка нефтяных и газовых месторождений : учеб. пособие / В. Д. Порошин, С. В. Козырева, С. Л. Порошина. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2024. – 399 с.
2. Шепелева, И. С. Промысловая геофизика : практикум по выполнению лаборатор. работ по одноим. дисциплине для студентов специальности 1-51 02 02 «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» днев. и заоч. форм обучения / И. С. Шепелева. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2020. – 54 с.
3. Классификатор технологий гидравлического разрыва пласта, применяемых в РУП «Производственное объединение «Белоруснефть». – М. : РУП «Производственное объединение «Белоруснефть», 2020.