

сразу за неделю, и более чем неделя держатся высокие температуры, малоблачное небо и нет осадков. Все проведенные эксперименты в данной работе, отражают и подтверждают современные представления об изменении климата в Беларуси.

Список литературы

1. Михеева, А. И. Географическое распределение температуры воздуха в Беларуси / А. И. Михеева // Сборник докладов Республиканской научно-технической конференции аспирантов, магистрантов и студентов «Инновации в технике и технологии дорожно-транспортного комплекса». Секция «Дорожная климатология». В 6 ч. Ч.1 / науч. рук. И. И. Леонович. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 116–138.
2. Изменения климата Беларуси и их последствия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vuzlit.com/1060678/vlazhnost_vozduha_oblachnost_atmosfernye_osadki#995. – Дата доступа: 12.07.2024.
3. Рамка – определитель облаков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://vk.com/wall-153039337_7086. – Дата доступа: 14.06.2024.
4. Черноульский, А. В. Анализ глобального поля облачности и связанных с его вариациями климатических эффектов : автореф. дис...канд. физ-мат. Наук : 12.10.2010 / А. В. Черноульский, Рос. Академ.наук. – Москва, 2010. – 26 с.

УДК 622.276.66

А. В. Пикас

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНОЛОГИЙ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

*УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины»,
г. Гомель, Республика Беларусь,
pikas.leha@gmail.com*

В статье рассмотрены наиболее эффективные современные технологии МГРП в ГС. Описаны преимущества и недостатки каждого из способов. Статья предназначена для специалистов в области разработки нефтегазовых месторождений и нефтяной геологии, а также студентов и преподавателей, специализирующихся в этой области.

С момента своего появления гидравлический разрыв пласта (ГРП) зарекомендовал себя как высокоэффективный способ увеличения притока в скважину, а также, в определенной степени, метод повышения нефтеотдачи пласта. В процессе своего развития он существенно видоизменялся, а область его применения увеличивалась. Изначально ГРП появился как метод стимуляции скважин в низкопроницаемых коллекторах, позже его стали применять и в высокопроницаемых коллекторах, однако наибольшего успеха достигло его применение в сверхнизкопроницаемых коллекторах, где он является ключевым звеном освоения. Прорыв в освоении месторождений со сверхнизкопроницаемыми коллекторами произошел после того, как технологию ГРП стали применять в горизонтальных скважинах (ГС), в таком случае производится множество гидроразрывов в одном стволе, из-за чего такой ГРП называется многостадийным (МГРП). Образование в пласте множества трещин значительно увеличивает проницаемость породы, что приводит к росту дебита скважины и позволяет вести рентабельную добычу на месторождениях с очень низкой проницаемостью коллекторов. Период массового внедрения МГРП

на таких месторождениях в США получил название «сланцевая революция». В это время было произведено огромное число операций ГРП, накоплен значительный опыт их применения, разработаны и внедрены наиболее эффективные методы МГРП.

Для осуществления МГРП в скважину спускается специальная компоновка, состоящая из различных элементов, выполняющих ту или иную функцию в процессе ГРП (пакеры, муфты и т. д.). Состав этой компоновки может существенно изменяться, в различных схемах проведения ГРП. Среди наиболее эффективных технологий МГРП можно выделить следующие:

1. Использование шаровых (активируемых шарами) компоновок (*ball drop*).
2. Комбинирование установки пробок и перфорации (*plug&perf*).
3. Использование селективных пакеров на ГНКТ.

Каждая из перечисленных технологий обладает своими преимуществами, недостатками и перспективами дальнейшего развития.

Для проведения ГРП по технологии ***ball drop*** в скважину спускают компоновку, состоящую из пакеров, изолирующих интервалы проведения ГРП, муфт ГРП, в которых находятся порты ГРП, открываемые при определенных условиях и необходимые для доступа нагнетаемого флюида к самому пласту. Для отсечения отработанных интервалов, а также для активации портов ГРП используются специальные шары разного диаметра. При проведении ГРП они сбрасываются в скважину, за что эта технология получила название *ball drop* (рисунок 1). Компоновка спускается в скважину в собранном виде за одну СПО. Хвостовик при использовании этого метода, как правило, не цементируется.

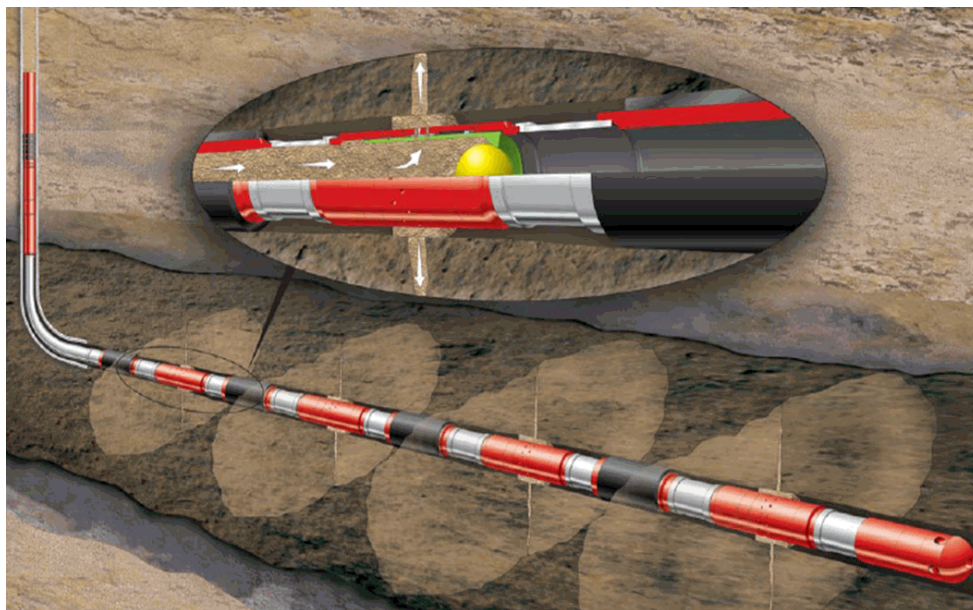


Рисунок 1 – МГРП по технологии *ball drop*

Технология *ball drop* обладает рядом преимуществ, заключающихся в следующем:

1. Наиболее высокая, среди всех вышеперечисленных технологий, скорость проведения операции, что позволяет проводить больше стадий и быстрее вводить месторождение в эксплуатацию.
2. Более редкое непредусмотренное концевое экранирование.
3. Снижение стоимости за счет сокращения срока работ.
4. Меньшее количество необходимых повторных промывок по сравнению с технологией *plug&perf* [1].
5. Возможность использования растворимых шаров, что устраняет необходимость их последующего выбуривания и риска кольятации трещин.

Однако она имеет и существенное количество недостатков, к числу которых относятся:

1. Ограниченное число стадий вследствие увеличения размеров шара, необходимого для выполнения каждой последующей стадии.
2. Использование нецементированного хвостовика, являющегося менее надежным, с риском повреждения хвостовика и нежелательных заколонных перетоков.
3. Сложности в проведении повторного ГРП из-за особенностей конструкции.
4. Сложность промывки в случае получения СТОПа (необходимо задействование ГНКТ для промывки муфт).
5. Сложность компоновки. Риск негерметичности пакеров, их срыва, несвоевременной активации муфт, недооткрытия порта при недоходе шара и другие технические риски [2].
6. Негибкость. Отсутствие возможности корректировать местоположения стадий ГРП в ГС в процессе проведения работ.
7. Сложность или невозможность последующих геофизических исследований для оценки эффективности операции.

Таким образом можно сказать, что несмотря на ряд преимуществ, в основном связанных со скоростью и стоимостью проводимых работ, недостатки технологии ball drop существенно ограничивают область ее применения. В частности ее не надежно применять в сложных геологических условиях (неустойчивых породах или пластах с высокой изменчивостью пород по простиранию скважины), в связи с рисками обрушения при нецементированном хвостовике и невозможностью коррекции намеченных интервалов ГРП. Таким образом она лучше подходит для однородных пластов, особенно когда требуется дешевизна и большая скорость проведения работ.

ГРП по технологии *plug&perf* (рисунок 2) производится в цементированном хвостовике, что обуславливает необходимость перфорации обсадной колонны для вскрытия продуктивного интервала. Первоначально осуществляется первая стадия разрыва в конечном участке скважины. Далее на ГНКТ или, что предпочтительнее, на геофизическом кабеле происходит спуск компоновки, состоящей из изолирующей пробки, посадочного инструмента, перфорационной системы и прочих вспомогательных устройств. По достижении компоновкой проектной глубины производится установка пробки и отделение ее от остальной части компоновки, после чего перфорационная система поднимается на проектную глубину перфорации. Далее следует перфорация одного или нескольких кластеров, в зависимости от проекта, после чего компоновка извлекается на поверхность. Далее осуществляется непосредственно сам гидроразрыв, закачка происходит по обсадной колонне. Для осуществления последующих стадий операция повторяется. После осуществления всех запланированных стадий ГРП установленные пробки разбуриваются при помощи фрезерного инструмента на ГНКТ.

Технология *plug&perf* имеет множество преимуществ таких как:

1. Неограниченное количество возможных стадий ГРП.
2. Полнопроходное отверстие скважины по окончании операции [1].
3. Более простое строение компоновки, что снижает риск различных аварий в ходе проведения операции ГРП.
4. Гибкость – возможность корректировать положение интервалов, намеченных для проведения ГРП.
5. Возможность производить ГРП одновременно в нескольких кластерах за одну стадию (образуется несколько трещин одновременно).
6. Осуществление операции силами флота ГРП и управления промысловой геофизики без необходимости привлечения бригады КРС для СПО, что упрощает организацию и снижает стоимость операции ГРП.
7. Возможность проведения повторного ГРП, а также геофизических исследований скважины после ГРП для оценки его эффективности за счет одинакового диаметра скважины на всем ее протяжении.

8. Более простая промывка при получении СТОПа.
9. Возможность использования растворимых пробок, что позволяет снизить затраты на разбуривание пробок, а также риск кольтатации трещин при этом процессе.
10. Использование цементированного хвостовика.

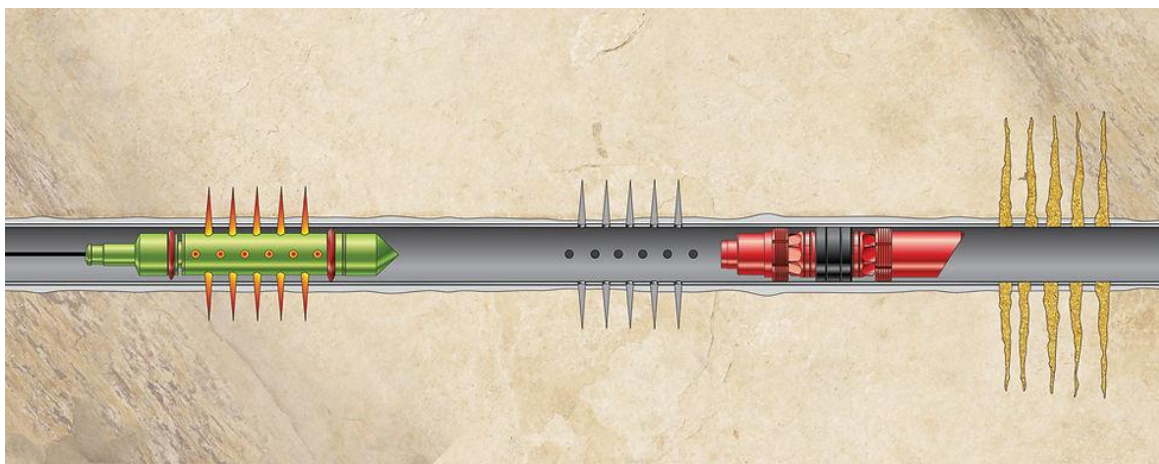


Рисунок 2 – МГРП по технологии *plug&perf*

Также эта технология имеет ряд недостатков:

1. Необходимость многократного спуска компоновки в скважину [1].
2. Более низкая скорость работы, что при большом количестве стадий может существенно замедлить ввод скважины в эксплуатацию.
3. Более высокая стоимость по сравнению с *ball drop*.
4. Необходимость разбуривания пробок (при использовании нерастворимых пробок), что увеличивает риск загрязнения трещин продуктами их разрушения.

Таким образом технология *plug&perf* имеет существенные перспективы применения в сложных геологических условиях и при литологической изменчивости коллектора по простиранию скважины за счет использования цементированного хвостовика, а также возможности корректировать положение стадий в процессе ГРП. Также она хорошо проявляет себя в коллекторах с очень низкой проницаемостью за счет неограниченного числа стадий. Однако более низкая скорость и высокая стоимость могут сделать ее менее предпочтительной при освоении однородных коллекторов с более высокой проницаемостью, когда требуется большая скорость работ. Также эта технология эффективна при проведении рефраков (повторных ГРП).

Технология МГРП с использованием селективных пакеров на ГНКТ осуществляется путем спуска в цементированный хвостовик скважины компоновки, состоящей из двух пакеров, расположенных ниже и выше интервала разрыва [3]. Между пакерами расположен порт ГРП, а также возможно наличие перфоратора (рисунок 3). Перфорация может производиться заранее или в процессе операции ГРП. Во втором случае применяется, как правило, гидropескоструйная перфорация [1]. После спуска компоновки на проектную глубину происходит активация пакеров и изоляция целевого интервала. Далее происходит перфорация (в случае, если она не была проведена заранее). После чего по ГНКТ в изолированный интервал нагнетается жидкость и происходит ГРП. Затем интервал отчищается от остатков, после чего осуществляется срыв пакеров и перемещение колонны в следующий интервал. Затем операция повторяется.

Такая технология имеет ряд преимуществ:

1. Наиболее высокая точность. Возможность проведения ГРП в строго заданном интервале.
2. Полнопроходное отверстие скважины после окончания операции.

3. Использование цементированного хвостовика.
4. Возможность менять последовательность стадий ГРП.
5. Высокая эффективность данной технологии при рефракте, так как воздействие происходит в ограниченном интервале [2].
6. Возможность производить перфорацию и разрыв за одну операцию.
7. Отсутствие необходимости разбуривания пробок или шаров при завершении МГРП, что положительно сказывается на времени операции и риске загрязнения скважины.
8. Снижение затрат на оборудование за счет использования многоразовых элементов компоновки.



Рисунок 3 – Компоновка для МГРП с использованием селективного пакера

Однако данная технология имеет и ряд недостатков:

1. Высокий риск прихвата компоновки и износа эластомера при СПО [2].
2. Более низкая скорость по сравнению с *ball drop* компоновками.
3. Риск распаковки при получении СТОПа.
4. Повышенные потери давления на трение, что требует большего поверхностного давления.
5. Ограничение по глубине за счет увеличения нагрузки на инструмент установки системы на глубине [1].

6. Более высокое время работы насосов по сравнению с технологией *plug&perf*.

Таким образом, компоновка с использованием селективных пакеров является эффективным методом стимуляции в коллекторах с более сложными геологическими условиями за счет своей точности, а также возможности изменять последовательность стадий. Также высока ее эффективность для повторного ГРП. Однако применение этого метода сопряжено с повышенным риском технических поломок. Стоимость и время также не являются наиболее выгодными.

Список литературы

1. Yildizdag, K. Hydraulic fracturing [Электронный ресурс] / K. Yildizdag, F. Weber, H. Konietzky // TU Berg akademie Freiberg. – Режим доступа: https://tu-freiberg.de/sites/default/files/2023-11/15_Hydraulic_fracturing_3.pdf. – Дата доступа: 27.04.2025.
2. Гидроразрыв пласта в вертикальных и горизонтальных скважинах : учебное пособие для вузов / Г. Г. Гилаев [и др]. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 304 с.
3. Шокуров, К. П. Анализ применения и пути оптимизации технологии повторных многостадийных гидравлических разрывов пласта на месторождениях Западной Сибири [Электронный ресурс] / К. П. Шокуров. // Электронный архив ТПУ. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/72190>. – Дата доступа: 27.04.2025.