УДК 622.24

А.В.ШИПУЛИН
ЗАО «РЭНЕС»

УДАРНО-ИМПУЛЬСНЫЙ ГИДРОРАЗРЫВ ПЛАСТА

Ударно-импульсное воздействие на пласт позволяет осуществлять рыхление прискважинной зоны пласта без опасности возникновения длинных трещин. По сравнению с штатной технологией гидроразрыва пласта обработка проводится с малыми материальными затратами, без применения дорогостоящей техники, с малой вероятностью порыва колонны труб.

Percussive-impulse bed stimulation enables well bore zone ripping without risks of long crack formation. As compared to standard hydraulic fracturing technology this stimulation is carried out at low material costs, without application of expensive equipment and a little probability of pipe string breaking.

Гидроразрыв пластов (ГРП) – наиболее эффективный способ при разработке пластов с низкими фильтрационно-емкостными свойствами. При повышении давления в породах пласта образуются новые или открываются и расширяются имеющиеся трещины. Вся эта система трещин связывает скважину с удаленными от забоя продуктивными частями пласта. Главным фактором является рост эффективного радиуса скважины, при котором в разработку вовлекается максимальное число продуктивных прослоев и удаленных участков.

При своей эффективности гидроразрыв пласта применяется нечасто. Это объясняется применением более простых воздействий на призабойную зону, а также следующими недостатками: дороговизной и высокой трудоемкостью проведения операций технологии; необходимостью применения дорогостоящих агрегатов АН-700 и пескосмесителей; опасностью разрыва труб от высокого давления закачки жидкости; образованием длинных трещин с опасностью прорыва в водоносные горизонты.

Возникает необходимость модификации ГРП, чтобы при малых материальных затратах производить разрушение массива пласта, непосредственно прилегающего к забою скважины.

Идея «метода георыхления», разработанного в Институте проблем механики РАН, состоит в том, что, используя упругую энергию массива горных пород и энергию пластовой жидкости в породе, вокруг прискважинной зоны пласта поверх старых закольматированных каналов искусственно создается разветвленная сеть трещин и формируется новая система фильтрационных каналов, по которым нефть и газ получают возможность притекать из пласта в скважину [2].

Для создания новых каналов технология предполагает нарезание горизонтальных щелей выше и ниже интервала перфорации, углубление щелей пескоструйными аппаратами с целью ориентирования векторов давления, прилагаемых к блоку породы и получения сети вертикальных трещин.

Применение технологии георыхления требует значительно больших материальных и временных затрат, чем ГРП. Необходимо, имея информацию о месторождении, провести предварительные исследования с выемкой керна, определить необходимые напряжения для растрескивания породы, время их воздействия, а также выбор необходимых предварительных технологических операций.

Проведением опытов по передаче ударного воздействия через скважинную жидкость определена возможность получения эффекта георыхления значительно менее затратными средствами. Суть нового метода

заключается в том, что вместо приложения высокого давления прискважинную зону пласта подвергают сериям коротких ударов, при которых жидкость не успевает фильтроваться в образующиеся трещины и увеличивать их длину. Короткие удары способствуют выкрашиванию породы, образованию каверны вокруг призабойной зоны и увеличению ее эффективного радиуса.

Растрескивание и разрыхление породы можно вызвать, используя упругую энергию, запасенную в массиве пород, и инерцию массы жидкости, находящейся в скважине над призабойной зоной. В развитии сети трещин большую роль играет напряженность среды. Трещины в своем развитии взаимодействуют с полем напряжения и перераспределяют его.

Жидкость поступает в пласт ударным давлением, что приводит к образованию новых и открытию ранее существовавших трещин. Ударная волна, контактируя с породой, трансформируется в волну напряжений, возникает поле квазистатических напряжений. При распространении радиальных трещин происходит перераспределение напряжений. Отражение ударной волны от поверхности скелета пласта приводит к возникновению радиальных трещин, направленных внутрь массива. Затем опять перераспределяется напряжение в массиве, происходит образование тангенциальных трещин и снова перераспределение напряжений в массиве.

Тангенциальные напряжения определяются радиальными напряжениями

$$\sigma_t = \frac{\mu}{1-\mu}\sigma_r,$$

где μ – коэффициент Пуассона.

При $\mu = 0{,}25$ величина тангенциального напряжения равна трети радиального напряжения, $\sigma_t = 1/3\sigma_r$. Развитие тангенциальных трещин приводит к отколу породы. При периодическом снижении давления и дренаже пластовой жидкости в полость скважины трещины смыкаются, отколотые частицы скелета пласта зажимаются в них, деформируют поверхность и вызывают появление новых трещин.

При проведении ГРП важным является обеспечение заданного направления и пространственной конфигурации создаваемых в пласте трещин.

Для создания горизонтальных трещин в породе достаточно, чтобы давление разрыва соответствовало или немного превышало горное давление, поскольку расслоение пласта обычно происходит по плоскостям напластования. Более эффективным является создание вертикальных трещин, что дает возможность вовлечь в процесс разработки разнопроницаемые пропластки. Для образовывания вертикальной трещины необходимо создать перепад между давлением жидкости в скважине и пластовым при меньшем боковом давлении. Многочисленными промысловыми исследованиями установлено, что при осуществлении процесса разрыва нефильтрующимися жидкостями происходит быстрое нарастание давления и, как правило, образование вертикальной трещины. При ударно-импульсном воздействии давлением на пласт глубокая фильтрация жидкости не происходит, поскольку периодически высокое давление в скважине сменяется давлением ниже пластового, способствующим депрессивному оттоку жидкости из пласта в скважину. Расход жидкости гидроразрыва минимален.

При проведении ГРП на нефтепромыслах Урало-Поволжья создают статическое давление порядка 20 МПа, но трещины начинают появляться уже при давлениях закачки в 8 МПа. Прочность горных пород зависит от вида деформации. Значительную стойкость горные породы проявляют при сжатии, при других деформациях их прочность невелика.

Прочность породы пласта характеризуется следующими значениями, кг/см^2:

Порода	Сжатие	Растяжение	Изгиб	Сдвиг
Песчаники	200-5000	5-250	15-1000	20-50
Известняки	50-2600	2-250	5-250	200

При развитии тангенциальных трещин порода испытывает напряжение на растяжение, изгиб и сдвиг, которые значительно меньше напряжения на сжатие. Предшествующий гидроразрыву гидравлический удар

значительно снижает модуль градиента давления ГРП, что уменьшает пороговое давление гидроразрыва.

С.М.Гадиевым было исследовано изменение прочности пластовой породы, ее предел усталости. В процессе экспериментов по образцам горных пород наносили определенное число ударов, после чего их подвергали раздавливанию на прессе. Если без воздействия ударной нагрузки сопротивление сжатию составляло в среднем 840 кг/см^2, то после серии ударных воздействий оно снижалось до 555 кг/см^2 [1].

Таким образом, при ударных воздействиях прочность пластовой породы ниже, чем при воздействии постоянным давлением, поскольку куски массива не раздавливаются, а расшатываются, отламываются и выкрашиваются. Возможно проведение многократного разрыва без необходимости закупоривания уже образованной трещины или разобщения зоны пласта специальными пакерами и проведения разрыва в каждой отдельной зоне. Этим увеличивается количество трещин, получаемых одновременно.

При наличии большой остаточной деформации эти трещины после снятия давления полностью не смыкаются. Однако необходимо обратить внимание на возможность смыкания микротрещин вследствие чрезмерного снижения забойного давления. На практике замечено, что трещинный коллектор при увеличении депрессии на пласт существенно снижает фильтрационно-емкостные свойства. При значениях избыточного давления в 5,5 МПа и более возможно почти полное смыкание трещин [3]. Целесообразно выбрать интенсивность дренажа пластовой жидкости таким образом, чтобы обеспечить вынос в полость скважины кольматанты, а более тяжелые частицы разрыхленной породы оставлять в образованных трещинах в качестве проппанта, препятствующего смыканию.

Скважинная жидкость, большую часть которой составляет вода, в силу высокой плотности и малой сжимаемости является благоприятной средой для передачи перепадов давления на значительные расстояния. Металлическая стенка колонны труб, обладая значительной упругостью, способствует своеобразной «канализации» траектории волнового фронта. Аналогично производится передача светового импульса через оптоволоконный кабель. Сказанное справедливо для волн инфранизкой частоты, имеющих малое затухание.

Проведение испытаний с применением резонансной раскачки столба скважинной жидкости показало возможность возникновения трещин и рыхления породы при воздействии с поверхности. При этом на породу воздействуют короткие повторяющиеся удары, при которых невозможно образование длинных трещин, возникает эффект георыхления прискважинной зоны.

При проведении испытаний не отмечено случаев порыва труб. Это объясняется тем, что для разрушения трубы к ней необходимо приложить механическое напряжение и выдержать время для ее деформации. Скорость ударной волны составляет величину порядка 1300 м/с, при ее прохождении по колонне трубы, имея значительную массу, не успевают деформироваться и не разрушаются даже при высоких величинах импульсного давления.

Таким образом, применение технологии ударного гидроразрыва решает главные недостатки классического ГРП: дешевизна технологических операций, отсутствие необходимости применения дорогостоящей техники, малая вероятность повреждения колонны труб, управляемость длиной образуемой трещины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гадиев С.М.* Использование вибрации в добыче нефти. М.: Недра, 1977. 158 с.

2. *Коваленко Ю.Ф.* Метод георыхления – новый подход к проблеме повышения продуктивности скважин / Ю.Ф.Коваленко, В.И.Карев // Технологии ТЭК, 2003. № 1. С.31-35.

3. *Кудинов В.И.* Интенсификация добычи вязкой нефти из карбонатных коллекторов / В.И.Кудинов, Б.М.Сучков. Самара, 1996. 440 с.