ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАЗРЫВ ПЛАСТА

Сущность гидравлического разрыва пласта состоит в образовании и расширении в пласте трещин при создании высоких давлений на забое скважины жидкостью, закачиваемой в скважину. В образовавшиеся трещины нагнетают отсортированный крупно-зернистый песок, роль которого состоит в том, чтобы не дать тре­щине сомкнуться после снятия давления.

Образованные в пласте новые трещины или открывшиеся и расширившиеся имеющиеся, соединяясь с другими, становятся проводниками нефти и газа, связывающими скважину с удаленными от забоя продуктивными зонами пласта. Протяженность трещин в глубь пласта может достигать нескольких десятков метров.

Образовавшиеся в породе трещины шириной 1—2 мм, заполнен­ные крупнозернистым песком, высокопроницаемы; фильтрационные сопротивления в призабойной зоне скважины, имеющей такие трещины, приближаются к нулю, что обусловливает увеличение производительности скважины после гидроразрыва пласта в не­сколько раз.

При разрыве фильтрующейся в пласт жидкостью механизм об­разования трещин можно представить в следующем виде.

В каждой сцементированной горной породе имеются естествен­ные микротрещины, которые под действием горного давления, т. е. давления, создаваемого залегающими выше породами, плотно сжаты. Проницаемость таких трещин незначительна. Под давле­нием, создаваемым в скважине при нагнетании жидкости, послед­няя фильтруется в первую очередь по зонам наибольшей проница­емости, в том числе в естественные трещины. При этом между пропластками по вертикали создается разность давления, так как в более проницаемых пропластках и трещинах давление будет боль­ше, чем в мало- или практически непроницаемых. В результате возникает усилие, действующее на кровлю и подошву проницаемо­го пласта; вышележащие породы подвергаются деформации, и на границах пропластков образуются трещины или же расширяются уже имеющиеся микротрещины.

При использовании нефильтрующейся жидкости механизм раз­рыва пласта становится сходным с разрывом толстостенных сосу­дов. Образующиеся при этом трещины имеют, как правило, вертикальное или наклонное направление. При разрыве фильтрую­щейся жидкостью давление разрыва обычно бывает значительно меньше, чем при разрыве нефильтрующимися жидкостями.

Раньше считалось, что давление разрыва пластов должно пре­вышать горное давление, создаваемое массой пород. Практически оказалось, что чаще всего давление разрыва бывает меньше, чем горное давление, и равно 1,5—2,5 гидростатического давления в скважине, т. е.

 (237)

где рр—давление разрыва, Па; Н—глубина скважины, м.



Рис. 178. Схема гидравлического разрыва пласта

I—нагнетание жидкости разрыва; II—нагнетание жидкости-песконосителя; III — нагнетание продавочной жидкости. 1 — глины; 2 — нефтяной пласт

Причину образования трещин при давлении, меньшем горного давления, акад. С. А. Христианович объясняет пластическими де­формациями глин и глинистых пород в процессе бурения скважин залегающих в кровле или в самом продуктивном пласте. Предпо­лагается, что глины «вытекают» в скважину после их вскрытия под действием лежащих выше пород. Это приводит к возникновению «разгружающих сводов» в зоне пластов, охваченных пластической деформацией, и вследствие этого вертикальное горное давление оказывается уменьшенным вблизи скважины.

Операция гидравлического разрыва пласта состоит из следую­щих последовательных этапов (рис. 178): I) закачка в пласт жид­кости разрыва для образования трещин в пласте; II) закачка жидкости-песконосителя; III) закачка жидкости для продавливания песка в скважину.

Для проведения этих операций заранее устанавливают качест­во и объем рабочей и продавочной жидкостей, количество песка и его концентрацию в рабочей жидкости.

Обычно в качестве жидкости разрыва и жидкости-песконосителя применяют одну и ту же жидкость. Поэтому для упрощения терминологии эти жидкости объединяют под одним названием— жидкость разрыва. Жидкости разрыва применяют в основ­ном двух видов: 1) углеводородные жидкости и 2) водные раство­ры. Иногда применяют водонефтяные и нефтекислотные эмульсии.

Углеводородные жидкости применяют в нефтяных скважинах; к ним относятся сырая нефть повышенной вязкости, мазут или его смесь с нефтями, дизельное топливо или сырая нефть, загущен­ные нафтеновыми мылами.

Водные растворы применяют в нагнетательных скважинах; к ним относятся вода, водный раствор сульфитспиртовой барды, рас­творы соляной кислоты, вода, загущенная различными реагентами, а также загущенные растворы соляной кислоты.

Выбор жидкости разрыва определяется в основном такими ее параметрами, как вязкость, фильтруемость и способность удерживать зерна песка во взвешенном состоянии.

При слишком малой вязкости жидкости разрыва для достиже­ния давления разрыва требуется закачка в пласт значительного объема жидкости, поэтому необходимо большое число одновремен­но работающих насосных агрегатов. При слишком большой вязко­сти жидкости для образования трещин необходимы высокие давле­ния, так как с увеличением вязкости растут потери напора при прокачке жидкости по трубам.

Обычно вязкость жидкости разрыва в зависимости от прони­цаемости пород пласта выбирают в пределах от 50 до 500 сП (от 0,05 до 0,5 Па\*с). В отдельных случаях, особенно при закачке жидкости через обсадную колонну, применяют жидкость вязкостью до 1000, а иногда до 2000 сП (до 2 Па\*с).

Удерживающая способность жидкости, т. е. способность удер­живать песок во взвешенном состоянии, находится в прямой зави­симости от ее вязкости.

Жидкость разрыва должна обладать низкой фильтруемостью, чтобы она слабо поглощалась стенками трещины; это дает воз­можность поддерживать трещины в открытом состоянии и запол­нять их песком при малых объемах закачиваемой жидкости и не­высоких темпах ее нагнетания. Фильтруемость проверяют на при­боре по определению водоотдачи глинистого раствора. Низкой считается фильтруемость менее 10 см5 за 30 мин.

Более вязкие жидкости имеют меньшую фильтруемость. Удов­летворительную фильтруемость имеет большинство мазутов при температуре менее 20 °С, сырые же нефти в основном хорошо фильтруются, поэтому они не рекомендуются для применения при гидроразрыве.

Повышения вязкости и уменьшения фильтруемости жидкостей, применяемых для разрыва пластов, достигают введением в них со­ответствующих загустителей. Такими загустителями для углево­дородных жидкостей являются соли органических кислот, высоко­молекулярные и коллоидные соединения нефтей.

Очень низкой фильтруемостью обладают растворы сульфитспиртовой барды, широко применяемой при гидроразрывах в наг­нетательных водяных скважинах.

Песок для заполнения трещин при гидравлическом разрыве пласта должен удовлетворять следующим требованиям: 1) иметь высокую механическую прочность, чтобы образовывать надежные песчаные подушки в трещинах и не разрушаться под давлением пород; 2) сохранять высокую проницаемость. Этим требованиям удовлетворяет крупнозернистый, хорошо скатанный и однородный по составу кварцевый песок. Нежелательно содержание в песке больших примесей полевого шпата, ракушечника, так как они об­ладают меньшей механической прочностью. Окатанность зерен песка способствует лучшему его проникновению в глубь трещин.

Наилучшими для гидравлического разрыва пласта являются пески с крупностью зерен от 0,5 до 1,0 мм.

Количество песка для закачки в пласт зависит от степени трещиноватости пород. В сильнотрещиноватые породы (известня­ки и доломиты) закачивают больше пес­ка—до нескольких десятков тонн на сква­жину. Большие количества песка закачива­ют также и в рыхлые породы, обычно уже значительно дренированные предыдущей эксплуатацией и склонные к пробкообразованию.

В пласты, сложенные из песчаников и малотрещиноватых известняков, считается целесообразным закачивать в среднем 8— 10 т песка на скважину. В отдельных слу­чаях это количество уменьшают до 4—6 т или, наоборот, увеличивают до 20 т.

Концентрация песка в жидкости-песконосителе зависит от ее фильтруемости и удерживающей способности и может коле­баться от 100 до 600 кг на 1 м3 жидкости. Повышать концентрацию выше 600 кг/м3 не рекомендуется вследствие затруднений при закачке и быстрого износа насосного оборудования.

Технология гидроразрыва пласта состо­ит -в следующем. Вначале скважину иссле­дуют на приток, определяют ее поглоти­тельную способность и давление поглоще­ния. Результаты исследования скважины позволяют определять количество жидко­сти и давления, необходимые для проведе­ния разрыва, а также судить о качестве проведенного разрыва, об изменениях проницаемости призабойной зоны после раз­рыва.

Забой скважины очищают от песчаной и глинистой пробок и отмывают стенки от загрязняющих отложений. В ряде случаев перед гидроразрывом целесообразно проводить солянокислотную обработку или дополнительную перфорацию. Эти мероприятия снижают давление разрыва и повышают его эффективность. Наи­лучшим из этих мероприятий является гидропескоструйная пер­форация интервала, намеченного для разрыва. При этом все опе­рации по гидропескоструйной перфорации проводятся теми же средствами и оборудованием, что и сам гидравлический разрыв.



Рис. 179. Расположение подземного оборудова­ния при гидравлическом разрыве пласта:

1 — обсадная колонна; 2-— насосно-компрессорные тру­бы; 3 — гидравлический якорь; 4 — пакер; 5 — про­дуктивный пласт; 6 — хво­стовик

Примерная схема подземного оборудования скважины для гидравлического разрыва пласта приведена на рис. 179.

В промытую, очищенную и проверенную специальным шабло­ном скважину спускают трубы диаметром 89—114 мм, по которым жидкость разрыва подается на забой. Трубы меньшего диаметра 1 для гидравлического разрыва применять не следует, так как при прокачке жидкости в них возникают большие потери давления.

Для предохранения обсадной колонны от воздействия большого давления над разрываемым пластом устанавливают пакер, ко­торый полностью разобщает фильтровую зону скважины от ее вы­шележащей части. При этом давление, создаваемое насосами, передается только на фильтровую зону и на нижнюю поверхность пакера. При значительных давлениях, создаваемых в процессе гид­равлического разрыва пласта, на пакер снизу вверх действуют большие усилия.

Для предотвращения сдвига пакера по колонне при повышении давления на трубах устанавливают гидравлический якорь. При на­гнетании в трубы жидкости давление действует на поршеньки в якоре, выдвигает их из гнезд и прижимает к обсадной колонне. Чем выше давление, тем с большей силой поршеньки будут прижиматься к колонне. Кольцевые грани на торце поршеньков, врезаясь в колонну, будут оказывать тормозящее действие на Дви­жение насосно-компрессорных труб.

Устье скважины оборудуется специальной головкой, к которой подключаются агрегаты для нагнетания в скважину жидкостей разрыва. Общая схема обвязки и расположения у скважины обо­рудования для гидроразрыва приведена на рис. 180.

Порядок работ при гидравлическом разрыве пласта следующий.

1. В подготовленной и оборудованной скважине производят гид­ропескоструйную перфорацию (если это предусмотрено планом работ); освобождают пакер, вымывают шариковый клапан гидро-пескоструйной насадки; производят вторичную посадку пакера.

2. В трубы закачивают нефть (при обработке нефтяной скважины) или воду (при обработке нагнетательной скважины) и создают максимально возможное давление. По отсутствию перелива жидкости через затрубное пространство судят о герметичности пакера.

3. При максимальном числе подключенных насосных агрегатов в скважину закачивают жидкость разрыва. О разрыве пласта су­дят по резкому увеличению приемистости (поглотительной способности) скважины. Отсутствие резкого спада давления в насосах указывает на высокую проницаемость пласта или на существова­ние в пласте естественных трещин, ширина которых постепенно увеличивается по мере нарастания давления.

Резкий спад давления при разрыве пласта, сопровождающийся одновременным увеличением приемистости скважины, происходит при обработке пластов с малой проницаемостью при отсутствии в пласте естественной трещиноватости.

4. Закачивают в пласт песок с жидкостью. Последняя порция песка в количестве 100—150 кг должна содержать радиоактивные вещества, чтобы в дальнейшем можно было при помощи гамма-каротажа проверить зоны поглощения песка.



Рис. 180. Обвязка оборудования при гидравлическом разрыве пласта:

1—насосный агрегат; 2—пескосмесительный агрегат; 3 — автоцистерна; 4—песковоз; 5—блок манифольда; 6—арматура устья; 7 — станция контроля и управления процессом

5. Прокачивают в скважину продавочную жидкость при макси­мальных давлениях, обеспечивающих раскрытие трещин и введе­ние в них песка. Для этого к скважине должно быть подключено наибольшее число насосных агрегатов, чтобы достигнуть макси­мальной скорости прокачки.

Количество продавочной жидкости должно быть равно емкости колонны насосно-компрессорных труб. При прокачке излишнего количества продавочной жидкости она может оттеснить песок в глубь пласта: это приведет к тому, что после снятия давления тре­щина в непосредственной близости к скважине снова сомкнется и эффект от разрыва пласта будет сведен к нулю.

6. Снимают давление в скважине и извлекают остаток песка с забоя (если он там имеется) путем обычной промывки скважины.

На этом операции по гидравлическому разрыву пласта закан­чиваются: нефтяную скважину сдают в эксплуатацию, а из наг­нетательной скважины вымывают закачанную вязкую жидкость.

В неглубоких скважинах разрыв пласта обычно проводят без спуска насосно-компрессорных труб или с трубами, но без пакера. В первом случае жидкость нагнетается непосредственно по обсад­ным трубам, во втором—по трубам и затрубному пространству. Такая технология проведения процесса позволяет значительно со­кратить потери давления в скважине при нагнетании жидкости с высокой вязкостью.

В скважинах, имеющих фильтровую зону большой мощности или вскрывших несколько продуктивных пропластков, проводят многократные поинтервальные гидравлические разрывы.

Многократный разрыв нласта можно осуществлять следующими способами.

1. Проводить гидравлический разрыв по обычной технологии, а затем в скважину вместе с жидкостью нагнетать вещества, вре­менно закупоривающие трещину или закрывающие перфорацион­ные отверстия против интервала разрыва. Это дает возможность вновь повысить давление и разорвать пласт в другом месте. В ка­честве закупоривающего материала используются зернистый наф­талин, эластичные шарики из пластмассы и др. При освоении скважин нафталин растворяется в нефти и удаляется из трещины, а шарики выносятся потоком на поверхность.

2. Зону, предназначенную для образования трещин, можно каждый раз разобщать двумя пакерами или гидравлическими за­творами и проводить разрыв пласта по обычной технологии.

3. Осуществлять многократный разрыв с изоляцией нижележа­щих прослоев продуктивного пласта песчаной пробкой.

В разрезах с большим числом прослоев глин, т. е. с низкой про­ницаемостью по вертикали, весьма желательно создавать верти­кальные трещины, соединяющие продуктивные пропластки. Для образования вертикальных трещин применяют нефильтрующиеся жидкости разрыва. Вертикальные трещины могут образоваться также при нагнетании фильтрующихся жидкостей разрыва с быст­рым повышением жидкости и давления на забое.

При гидравлическом разрыве пласта применяют комплекс спе­циального оборудования, в который входят насосные агрегаты, пескосмесительные машины, автоцистерны для транспортирования жидкостей разрыва, устьевая обвязка, пакеры, якоря и другое вспомогательное оборудование.

ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

Основное оборудование: насосные агрегаты 4АН-700, модерни­зированные 5АН-700 или рамные АНР-700. Агрегаты 4АН-700 и 5АН-700 монтируются на шасси высокопроходимого автомобиля КрАЗ-257. Максимальное давление этих агрегатов 700 кгс/см2 (70 МПа) при подаче 6 л/с, при давлении 200 кгс/см2 (20 МПа) подача составляет 22 л/с. Двигатель агрегата дизельный с но­минальной мощностью 800 л. с. (588 кВт).

Рамный агрегат АНР-700 имеет параметры, аналогичные пара­метрам агрегата 5АН-700, и состоит из унифицированных узлов: силовой установки, коробки передач, насоса, манифольда, кабины с пультом управления и др.

Для смешивания жидкости-песконосителя с песком применяют пескосмесительные установки типа 3 Па или 4 Па, также смон­тированные на высокопроходимых автомобилях.

Процесс смешивания песка с жидкостью и подачи смеси на прием насосных агрегатов полностью механизирован.

Пескосмесительный агрегат типа 4 Па имеет грузоподъемность '9 т и производительность 50 т/ч песка. Он оборудован загрузочным шнеком. Этими агрегатами готовится смесь песка с жидко­стью любой заданной концентрации.



Рис. 181. Арматура устья 2 АУ-700

Жидкости разрыва перевозятся большегрузными цистернами, смонтированными на автомобилях МАЗ-500А или КрАЗ-257. Автоцистерна 4ЦР предназначена для перевозки 10 т жидкости, авто­цистерны АЦН-7,5 и АЦН-11—для перевозки соответственно 7,5 и 11 т. Эти цистерны снабжены насосами для перекачки жидкости в пескосмесительную установку и вспомогательным оборудова­нием.

При проведении гидроразрыва устье скважины оборудуется ар­матурой типа 1 АУ-700 или 2 АУ-700.

Арматура 2 АУ отличается от 1 АУ габаритными размерами и возможностью подключения ее к 73- и 89-мм подъемным трубам, а также гибкими соединениями отводов.

Арматура (рис. 181) состоит из трубной головки (крестовины) 1 с патрубком 2, устьевой головки 3 с сальником, пробковых кра­нов 4 и других элементов.

Трубная головка рассчитана на рабочее давление 700 кгс/см2 (70 МПа) и служит для соединения насосно-компрессорных труб, спущенных в скважину. Из трех горизонтальных отводов трубной головки к двум через пробковые краны присоединяются напорные линии. Устьевая головка имеет четыре отвода, три из них имеют пробковые краны. К четвертому отводу присоединен манометр и предохранительный клапан гвоздевого типа. На нижнем конце головки нарезана резьба для присоединения к эксплуатационной колонне.

Все краны арматуры имеют цилиндрические пробки и уплотня­ющие седла и легко управляются под давлением.

Арматура устья 1 АУ-700 и 2 АУ-700 универсальная, ее можно применять не только при гидроразрыве пластов и гидропескоструй­ной перфорации, но и при кислотных обработках, промывках пес­чаной пробки, цементировании и других операциях, проводимых с нагнетанием жидкостей по заливочным трубам и обсадной колонне.

В процессе гидравлического разрыва пласта обычно применяют несколько насосных агрегатов. Для упрощения их обвязки между собой и с арматурой устья при нагнетании жидкости в скважину используют самоходный блок манифольда 1БМ-700, который состоит из напорного и приемно-раздаточного коллектора, комп­лекта труб с шарнирными соединениями и подъемной стрелы. Все это оборудование смонтировано на шасси трехосного автомобиля ЗИЛ-131 повышенной проходимости или на шасси автомобиля ЗИЛ-157К.

Насосные агрегаты с помощью быстросъемных гибких соедине­ний из труб подключаются к блоку манифольда, который, в свою очередь, соединяется с арматурой устья.