



DOI 10.5862/JEST.254.5

УДК 622.276.66

А.В. Шипулин, К.С. Кунавых, А.С. Кунавых

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАСОСНОГО АГРЕГАТА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТРЕЩИН ИМПУЛЬСНОГО ГИДРОРАЗРЫВА

A.V. Shipulin, K.S. Kupavich, A.S. Kupavich

INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF A PUMP UNIT UNDER PULSE HYDRAULIC FRACTURING BREAKDOWN

Классический гидроразрыв для создания одной трещины предполагает использование насосного агрегата, способного закачать в пласт сотни тонн жидкости под давлением порядка 100 МПа. Кроме того, для закрепления трещины требуется закачка пропанта и химических реактивов. Импульсный гидроразрыв предназначен для формирования сети трещин вокруг скважины за счет движения жидкости гидроразрыва с переменной скоростью. При этом применяются низкие давления закачки и малое количество закачиваемой жидкости, пропант и химические реактивы не используются. С целью увеличения размеров трещин и экономии энергии целесообразно вместо высокого давления применять «расхаживание» путем периодического роста, то уменьшения скорости движения и давления нагнетания жидкости разрыва. Поскольку при импульсном гидроразрыве применяется минимальное количество техники и сложного оборудования, энергетические затраты при проведении работ незначительны. Режимы закачки жидкости влияют на параметры образующихся трещин и экономичность работы оборудования.

ГИДРОРАЗРЫВ; ИМПУЛЬС; ГИДРОУДАР; ДАВЛЕНИЕ; ЭНЕРГИЯ.

Classical hydraulic fracturing for creating a single crack implies using a pump unit capable of injecting hundreds of tons of liquid into a layer under the pressure of about 100 MPas. Besides, fixing of a crack requires injecting a proppant and chemical reactants. Pulse hydraulic fracturing is intended for forming a network of cracks around a well due to the hydraulic fracturing liquid moving with a variable speed. Low injection pressure and small amount of injected fluid are applied. Proppant roppant and chemical reactants are n'ot used. To increase the sizes of the cracks and to save energy, it is expedient to apply, instead of high pressure, 'reciprocation' by periodically increasing and decreasing the speed of movement and the pressure of fracturing fluid injection. As a minimum amount of complicated equipment is involved in pulse hydraulic fracturing, the energy in operation are insignificant. The liquid-pumping modes influence the parameters of the formed cracks and the operating economy.

HYDRAULIC FRACTURING; IMPULSE; HYDROBLOW; PRESSURE; ENERGY.

Введение

Низкая проницаемость прискважинной зоны нефтяного пласта ограничивает дебит и приемистость большинства скважин. Существующая перфорация не позволяет создавать в пласте каналы достаточных длины и сечения. В процессе эксплуатации требуется регулярное проведение капитального ремонта с применением дорого-

стоящих способов увеличения проницаемости. Необходим экономичный и эффективный способ создания и развития трещин прискважинной зоны пласта.

Самые эффективные технологии, применяемые для создания трещин в призабойной зоне – это торпедирование, гидроразрыв, тепловая обработка, применение химических реактивов.

Но они же — самые длительные и дорогостоящие. Гидроразрыв создает длинную трещину, приводящую к обводнению и требующую закрепления пропантом.

Большинство известных способов обработки скважин имеют ограничения по мощности воздействия, размерам погружного устройства и объему энергии, передаваемой с поверхности, многие требуют установку оборудования на глубине призабойной зоны, что связано с большими материальными и временными затратами.

Применение классического гидроразрыва сопровождается предельно высокими энергозатратами. Во-первых, применяются очень мощные насосные агрегаты (например, АН-700), которые обеспечивают закачку сотен тонн жидкости под давлением порядка 100 МПа; во-вторых, предусматривается закачка пропанта для закрепления полученной трещины; в-третьих, для транспортирования пропанта в трещины пласта необходимо приготовить и закачать гель, что связано с дополнительными затратами энергии.

С целью увеличения размеров трещин и экономии энергии целесообразно вместо высокого давления применять «расхаживание» путем периодического то роста, то уменьшения скорости движения и давления нагнетания жидкости разрыва. При неоднократном гидравлическом нагружении образца пород предельные напряжения закономерно снижаются. В случае уже имеющих микротрещин в породах их дальнейшее развитие происходит при значительно меньших давлениях жидкости разрыва [1–3].

Описание технологии импульсного гидроразрыва

Технология импульсного гидроразрыва позволяет создавать несколько трещин, радиально расходящихся от ствола скважины. Основные цели технологии — рост эффективного радиуса скважины, вовлечение в разработку всей толщи пласта, приобщение максимального числа продуктивных прослоев и удаленных участков. Механизм импульсного гидроразрыва заключается в распространении волн по трещинам пласта, дроблении фрагментов пласта на более мелкие части. При импульсном гидроразрыве мал расход жидкости. Изменяющееся давление импульс-

ного гидроразрыва способствует равномерному «рыхлению» призабойной зоны пласта [4].

Движение многотонной массы скважинной жидкости оказывает воздействие как на призабойную зону, так и на массив пласта. Инфранизкие частоты имеют малое затухание, поэтому периодические изменения забойного давления передаются в виде волн низкой частоты по простираанию пластов и способствуют перераспределению напряжений в массиве, что положительно влияет на нефтеотдачу [5].

Периодическое повышение давления в области призабойной зоны приводит к расширению существующих и образованию новых трещин. Перемещение массы жидкости в призабойной зоне способствует ее промывке, отрыву адсорбционных отложений от стенок поровых каналов и трещин, а также расшатыванию и выкрашиванию низкопроницаемых фрагментов скелета пласта.

Возможны три варианта движения скважинной жидкости при обработке скважины:

1. В скважину закачивают жидкость с целью создания высокого давления, например для гидроразрыва пласта. При этом жидкость не совершает колебательных движений.

2. При медленном разгоне и постепенной раскачке столб скважинной жидкости совершает гармонические колебания вокруг положения равновесия [6, 7]. Эффект от воздействия регулярно движущейся жидкости заключается, главным образом, в промывке трещин и каналов.

3. Присутствие ударной волны вносит новые качества: в призабойной зоне скважины создаются перепады давлений, что может способствовать импульсному знакопеременному движению жидкости и даже приводить в движение фрагменты пласта. При резком повышении давления в обрабатываемой зоне пласта рабочая жидкость вдавливается в пласт, выполняя роль клина, раздвигающего горную породу и образующего в ней трещины.

Последний способ имеет преимущества, которые заключаются в следующем [8]:

создается новая сеть трещин, что открывает дополнительный дренаж в призабойной зоне и обеспечивает значительное увеличение притока или приемистости пластов;

гидроудар в призабойной зоне способствует созданию больших кратковременных давлений в зоне перфорации, которые нельзя создать при стационарном течении жидкости в силу ограничений по давлению насосных агрегатов и колонны НКТ;

импульсное давление создает такие трещины, которые в силу необратимости процесса деформации горных пород полностью не смыкаются под действием горного давления без применения проппанта;

гидроударный вариант является наиболее энергетически экономичным.

Перепады давления в призабойной зоне создают как от устья скважины с волновой передачей энергии, так и погружными устройствами. Погружные устройства имеют малую мощность, но способны накапливать передаваемую от устья энергию и, следовательно, усиливать воздействие на призабойную зону [9].

При установке погружного оборудования возникают сложности проведения спускоподъемных работ. При условии передачи от устья скважины количества энергии, достаточного для осуществления деформации фрагментов пласта, капитальный ремонт скважины значительно упрощается, а также сокращаются время простоя и энергетические затраты.

В свою очередь, на устье скважины требуется формирование импульса закачиваемой жидкости с параметрами, необходимыми для создания в зоне перфорации импульса, способного воздействовать на трещины пласта. При этом движение жидкости в призабойной зоне должно быть достаточным по энергетике для деформации трещин с целью их развития, но в то же время безопасным для целостности колонны и цементного камня.

Количество энергии, передаваемой от устья скважины к зоне перфорации, определяется прежде всего давлением закачиваемой жидкости. Обычно жидкость закачивают в скважину с помощью насосных агрегатов, но их конструкция не позволяет быстро изменять расход жидкости. Поэтому при подаче жидкости от насосного агрегата в скважину, как правило, на устье образуется короткий импульс высокого давления, затем давление резко падает и с течением времени,

зависящим от характеристик агрегата, постепенно устанавливается с некоторым средним значением.

Описание эксперимента

В августе 2015 года проведен эксперимент, целью которого было формирование импульса давления на устье скважины и его регистрация в призабойной зоне. Глубина скважины – 1300 м. Регистрацию импульсов давления проводили с помощью глубинного манометра-термометра САМТ-02-60-СS.

Для выполнения задачи применялось специальное устьевое оборудование, которое позволяет задавать необходимую скорость закачиваемой жидкости, поддерживать устьевое давление в течение заданного времени на необходимом уровне, а также обеспечивать необходимые ускорения движения жидкости. Для формирования импульсов давления на устье скважины была применена быстродействующая задвижка ЗМС-65-210 с пневматическим управлением.

Анализ диаграммы

Анализ диаграммы (см. рис.) показывает, что формирующийся на устье импульс давления с относительно малыми потерями достигает забоя и, следовательно, через перфорацию воздействует на породу и флюид пласта. Большую роль играет длительность приложения давления. Судя по диаграмме максимальная длительность импульса составляет величину порядка 16 мсек. Длительность импульса в области высоких давлений значительно меньше. Известно, что для раскрытия трещины длительность импульса давления должен быть не менее 0,5 сек. [10]. Для развития трещин необходимо периодически приводить в движение породу пласта импульсами давления достаточной энергии, которая определяется их амплитудой и длительностью. Амплитуда импульса ограничивается возможностями насосного агрегата и обеспечением целостности колонны труб и цементного камня. Для регулирования длительности приложения давления целесообразно применять устройства, накапливающие энергию, например гидропнеumoаккумулятор.

Давление, кгс/м²

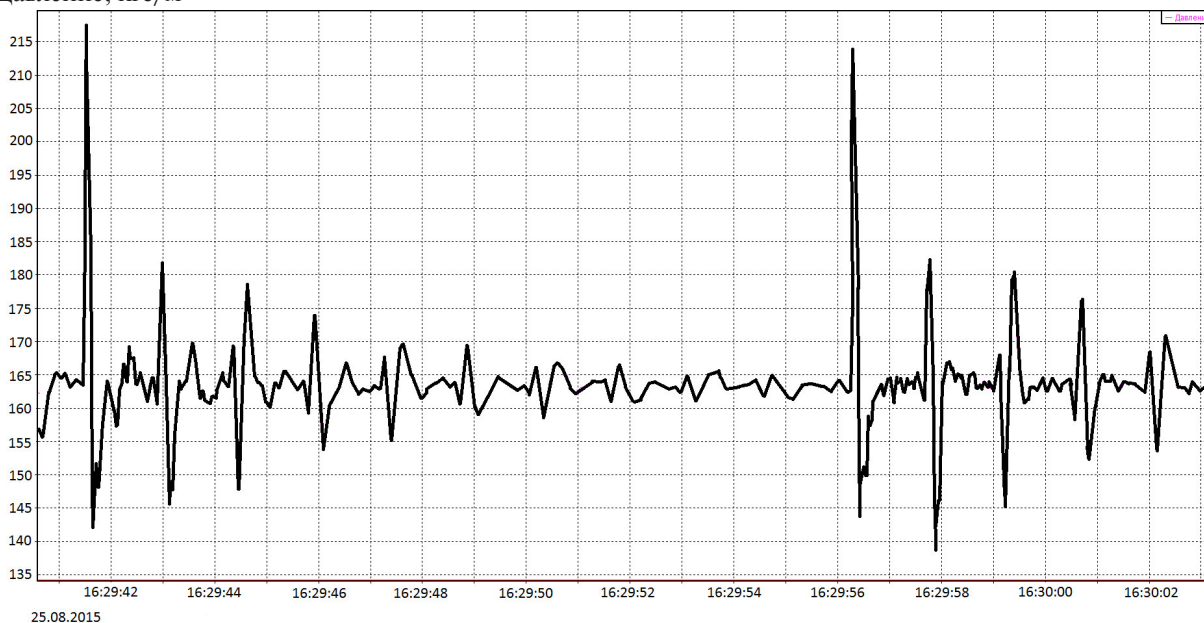


Диаграмма импульсов давления в призабойной зоне скважины

В полость скважины через быстродействующую задвижку поступает жидкость не только из насосного агрегата, но и из гидропневмоаккумулятора. Предположим, что скважинная жидкость под давлением источника жидкости и гидропневмоаккумулятора закачивается в пласт с расходом $q = 10$ л/сек. Значит, для поддержания высокого давления в течение 3 сек. гидропневмоаккумулятор должен иметь объем не менее $3q$, т.е. 30 литров. Объем гидропневмоаккумулятора должен иметь запас, поскольку по мере истечения жидкости давление в гидропневмоаккумуляторе снижается, что приводит к снижению давления гидроудара на забое скважины.

При условии применения накопителя энергии для деформации и развития трещин пласта поочередно используются мощности насосного агрегата и гидропневмоаккумулятора, что предполагает рациональный расход энергии.

За время проведения гидроударов при записи перепадов давления в призабойной зоне приемистость скважины увеличилась в 4 раза, а эффект улучшения проницаемости прискважинной зоны практически не снижается уже более 7 месяцев.

Выводы

Классический гидроразрыв в большинстве случаев создает одну трещину большой длины,

которая плохо управляется. Возникает опасность роста ее в высоту; зоны пласта, находящиеся в стороне от трещины, слабо дренируются.

При традиционных методах применения взрывчатых веществ размеры области разрушения пород относительно невелики. Даже на глубине до 50–100 м, когда влиянием горного давления можно пренебречь, радиус области разрушений не превышает 15–20 радиусов заряда.

Импульсный гидроразрыв инициирует мощные кратковременные перепады давления, способствует созданию новой сети трещин, что предоставляет возможность дополнительного дренажа в пласте.

Целесообразно разрушать ПЗП периодическим приложением давления длительностью порядка от десятых долей до нескольких секунд, при которых происходит максимальная деформация трещин; максимальное воздействие оказывает первый, наиболее мощный гидроударный импульс.

При необходимости проведения комплексной обработки скважин эффективно применение технологии ударной обработки прискважинной зоны пласта при одновременном химическом воздействии.

Импульсный гидроразрыв многократно превосходит классический гидроразрыв по экономии энергозатрат.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сучков Б.М., Шмелев В.А. Применение гидравлического удара для повышения проницаемости призабойной зоны пласта // Нефтяное хозяйство. 1989. № 4. С. 69–72.
2. Максutow Р.А., Валиуллин А.В., Глумов Н.Ф. [и др]. Промысловые и лабораторные эксперименты по закачке воды при переменном давлении нагнетания на устье // РНТС. Сер.: Нефтепромысловое дело. 1973. № 11. С. 20–21.
3. Кучернюк А.В. Комплексні технології ударно-хвильового впливу на продуктивні горизонти як інструмент підвищення ефективності експлуатації нафтових родовищ // Нафтова і газова промисловість. 2003. № 5. С. 23–27.
4. Шипулин А.В., Мингулов Ш.Г., Горбатов В.Н. Создание трещин и каверн при обработке призабойной зоны нефтяной скважины // Актуальные проблемы нефтегазового дела: сб. науч. тр. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2006. Т. 2. 185 с.
5. Шипулин А.В. Использование инерции массы скважинной жидкости при воздействии на пласт // Нефть. Газ. Новации. 2009. № 2. С. 34–35.
6. Балашканд М.И. Импульсная знакопеременная обработка призабойной зоны скважины с целью интенсификации притоков // НТВ «Каротажник». Тверь: ГЕРС, 2001. Вып. 79. С. 77–85.
7. Патент РФ № 2344281. Способ обработки призабойной зоны скважины / А. В. Шипулин. 2009.
8. Al-Hashim H., Kissami V., Al-Yousef H.Y. Effect of multiple hydraulic on gas-well performans // J.Petrol. Technol. 1993. Vol. 45. Iss. 6. P. 558–563.
9. Патент РФ № 2373387. Способ воздействия на призабойную зону скважины на стадии освоения и устройство для его осуществления / А. А. Молчанов, П. Г. Агеев, Е. П. Большаков, Б. П. Яценко. 2009.
10. Михалюк А.В., Войтенко Ю.И. Импульсный разрыв пород / АН Украины. Ин-т геофизики им. С.И.Субботина. Киев: Наукова думка, 1991. 204 с.

REFERENCES

1. Suchkov B.M., Shmelev V.A. Primeneniye gidravlicheskogo udara dlya povysheniya pronitsayemosti prizaboynoy zony plasta. *Neftyanoye khozyaystvo*. 1989. № 4. S. 69–72. (rus.)
2. Maksutov R.A., Valiullin A.V., Glumov N.F. [i dr]. Promyslovyye i laboratornyye eksperimenty po zakachke vody pri peremennom davlenii nagnetaniya na uстье. *RNTS. Ser. «Neftpromyslovoye delo»*. 1973. № 11. S. 20–21. (rus.)
3. Kuchernyuk A.V. Kompleksni tekhnologii udarno-khvilovogo vplivu na produktivni gorizonti yak instrument pidvishchennya yefektivnosti yeksplua-tatsii naftovikh rodovishch. *Naftova i gazova promislovist*. 2003. № 5. S. 23–27.
4. Shipulin A.V., Mingulov Sh.G., Gorbatov V.N. Sozdaniye treshchin i kavern pri obrabotke prizaboynoy zony neftyanoy skvazhiny. *Aktualnyye problemy neftegazovogo dela: sb. nauch. tr.* Ufa: Izd-vo UGNTU, 2006. T. 2. 185 s. (rus.)
5. Shipulin A.V. Ispolzovaniye inertsiy massy skvazhinnoy zhidkosti pri vozdeystvii na plast. *Neft. Gaz. Novatsii*. 2009. № 2. S. 34–35. (rus.)
6. Balashkand M.I. Impulsnaya znakoperemennaya obrabotka prizaboynoy zony skvazhiny s tselyu intensifikatsii pritokov. *NTV «Karotazhnik»*. Tver: GERS, 2001. Vyp. 79. S. 77–85. (rus.)
7. Patent RF № 2344281. Sposob obrabotki prizaboynoy zony skvazhiny / A.V. Shipulin. 2009. (rus.)
8. Al-Hashim H., Kissami V., Al-Yousef H.Y. Effect of multiple hydraulic on gas-well performans. *J.Petrol. Technol.* 1993. Vol. 45. Iss. 6. P. 558–563.
9. Patent RF № 2373387. Sposob vozdeystviya na prizaboynuyu zonu skvazhiny na stadii osvoyeniya i ustroystvo dlya yego osu-shchestvleniya / A.A. Molchanov, P.G. Ageyev, Ye.P. Bolshakov, B.P. Yatsenko. 2009. (rus.)
10. Mikhaluyk A.V., Voytenko Yu.I. Impulsnyy razryv porod / AN Ukrainy. In-t geofiziki im. S.I.Subbotina. Kiyev: Nauk. dumka, 1991. 204 s. (rus.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ/AUTHORS

ШИПУЛИН Александр Владимирович – кандидат технических наук ведущий научный сотрудник Санкт-Петербургского горного университета.

199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2.

E-mail: avshipulin@mail.ru

SHIPULIN Aleksandr V. – Saint-Petersburg Mining University.

2, line 21 V.O., St. Petersburg, Russia, 199106.

E-mail: avshipulin@mail.ru

КУПАВЫХ Кирилл Сергеевич – кандидат технических наук ассистент Санкт-Петербургского горного университета.

199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2.

E-mail: kupavih@yandex.ru

КУПАВИН Kirill S. – Saint-Petersburg Mining University.
2, line 21 V.O., St. Petersburg, Russia, 199106.
E-mail: kupavih@yandex.ru

КУПАВЫХ Артем Сергеевич – аспирант Санкт-Петербургского горного университета.
199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия д. 2.
E-mail: kutim83@mail.ru

КУПАВИН Artiom S. – Saint-Petersburg Mining University.
2, line 21 V.O., St. Petersburg, Russia, 199106.
E-mail: kutim83@mail.ru