ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 622.06

DOI: 10.34708/GSTOU.2020.24.10.005

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА В ПРОЦЕССАХ ДОБЫЧИ НЕФТИ

© М. А. Куразов, З. Х. Газабиева, Р. Х. Моллаев, А. Ш. Халадов

ГГНТУ им. акад. М. Д. Миллионщикова, Грозный, Россия

Гидравлический разрыв пласта (ГРП) представляет собой комплексную технологию обработок скважин. При этом его следует рассматривать не только как средство воздействия на призабойную зону пласта (ПЗП), но и как один из существенных элементов системы разработки месторождения в целом. Технологические схемы ГРП, в том числе с последующим химическим воздействием, различаются в зависимости от коллекторских свойств обрабатываемых объектов. Их эффективность определяется условиями, связанными с фильтрационными характеристиками пластов, то есть коэффициентами проницаемости близлежащих и удаленных зон объекта. При этом подход к проектированию обработок ГРП будет различным в низко- и высокопроницаемых пластах, и в этой связи грамотный выбор скважин имеет существенное значение.

Для исключения смыкания трещин после ГРП и снятия давления в призабойной зоне пласта (ПЗП) в скважины закачиваются различные расклинивающие агенты. Расклинивающие агенты (проппанты) должны противостоять напряжениям горной породы, удерживая трещину раскрытой после снятия гидравлического давления жидкости разрыва и обеспечивая, таким образом, высокую фильтрационную способность призабойной зоны пласта и дебиты нефти скважин.

Обработки скважин проводятся с использованием стандартного нефтепромыслового оборудования и насосной техники. Промысловый опыт ГРП в условиях Верхне-Салымского месторождения (Западная Сибирь) показал его достаточно высокую эффективность.

Ключевые слова: гидроразрыв пласта, расклинивающие агенты, проппанты, жидкость-носитель, скважина, призабойная зона пласта, трещина, оборудование, насосная техника.

Проведение гидравлического разрыва пласта обеспечивает не только первоначальное увеличение добычи, но и, благодаря наличию трещины, позволяет повысить эффективность дренирования жидкости путем создания линейного течения в трещине, обеспечивающего уменьшение потерь давления [1-4].

Некоторые расчеты показывают нецелесообразность обработки всех добывающих скважин, так как при этом достигается незначительный прирост дебита по сравнению со случаем, когда обработана лишь часть скважин. Так, например, для пяти- и семиточечной

систем расстановки скважин обработка всех добывающих скважин по сравнению со случаем, когда обработана лишь половина скважин (через одну), приводит к увеличению среднего дебита всего на 5-13% [1-3, 5].

На Верхне-Салымском месторождении операции по ГРП выполняются силами нефтесервисной компании Halliburton. [3, 6]. Перед проведением ГРП компанией Halliburton составляется его дизайн при помощи таких приложений, как FracProPT и GONFER. Данный дизайн включает в себя расчеты по прогнозированию направлений развития трещин

в пространстве и их геометрических размеров, что позволяет определить ориентировочные объемы проппанта и рабочих жидкостей. Также с помощью дизайна компания Halliburton прогнозирует распределение проводимости по телу трещины и ожидаемый дебит скважины после ГРП [3, 5].

Эффективность ГРП, проведенных в процессе эксплуатации скважин, оценена по стандартной методике. График добычи нефти до момента наступления события аппроксимировался экспоненциальной, степенной или линейной функцией, аргументом которой служило накопленное время работы скважины. Затем по ней строилась базовая динамика на период после геолого-технического мероприятия (ГТМ), относительно которой и определялся прирост добычи.

Так, например, в скважинах пластов группы АС было выполнено 5 операций по ГРП. Дополнительная добыча нефти за счёт них оценивается в 13,0 тыс. т (2,6 тыс. т/скв. – оп.). В период 2008-2011 гг. был выполнен один гидроразрыв в скважине №110 (апрель 2008 года), который нельзя отнести к категории высокоэффективных, т.к. дополнительная добыча нефти оценивается величиной в 1,0 тыс. т. при росте обводнённости на 9,7% и дебита нефти на 1,9% [1, 2].

Следует отметить, что гидроразрыв пласта на Верхне-Салымском месторождении недостаточно изучен по причине не очень большого количества проведенных операций, в оценке эффективности для пластов группы АС нет однозначности, т.к. из пяти разрывов наличие дополнительной добычи нефти подтверждено только для двух. В дальнейшем следует продолжить исследование данной технологии.

Для юрских отложений и ачимовской толщи использование ГРП может стать ключевым элементом разработки. Для горизонта АС₉₋₁₁ и пласта БС₈¹ рекомендуется избирательное применение по методике, исключающей возможность проникновения трещин в водонасыщенные части разреза, с тщательным предварительным анализом целесообразности на основе представлений о геологическом строении и эксплуатационного опыта.

Всего по состоянию на 01. 01. 2012 г. за счет всех проведенных геолого-технических мероприятий добыто 142,1 тыс. т нефти, что составляет 7,3% от накопленной добычи нефти по месторождению.

Как показывает анализ, используемые технологии ОПЗ и ГРП обладают различной эффективностью. Наибольший прирост добычи нефти был получен за счёт ГРП и перфорационных (на депрессии) работ. Все добывающие скважины пластов группы АС и БС₈¹ следует вводить в эксплуатацию со вскрытием на депрессии и в дальнейшем периодически в них восстанавливать состояние ПЗП путём проведения ГТМ, а также повторных перфораций.

Технологию ГРП необходимо дополнительно изучить, т.к. однозначности в эффективности для верхних пластов пока не наблюдается, а целесообразность использования на нижних (юрские отложения и ачимовская толща) ещё не исследована.

В результате анализа эффективности геолого-технических мероприятий, фактически проведенных на Верхне-Салымском месторождении по состоянию на 01. 01. 2012 года, определён набор технологий, применение которых позволит интенсифицировать отбор нефти и повысить КИН.

Для пластов группы АС₉₋₁₁ и БС₈ предусмотрены следующие виды геолого-технических мероприятий:

- перед вводом в эксплуатацию во всех добывающих скважинах выполняется вторичное вскрытие на депрессии; данный тип мероприятий позволяет получить максимально чистую призабойную зону, характеризующуюся близким к нулю скин-эффектом;

- в ряде случаев по добывающим скважинам возможно проведение гидравлического разрыва; при условии тщательного планирования проведения и предварительного анализа геологических условий, т.е. при исключении вероятности негативных последствий, ГРП позволяет существенно улучшить технологические параметры работы скважин, находящихся в зонах с низкими фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС);

- начиная со второй стадии разработки, необходимы отдельные мероприятия по вы-

равниванию профилей притока и приемистости в добывающих и нагнетательных скважинах, соответственно;

– для повышения охвата пластов процессом разработки, извлечения остаточных скоплений углеводородов в слабодренлируемых зонах использовать программу бурения боковых или горизонтальных стволов; основной объем данных операций приходится на объекты АС₉ и АС₁₀₋₁₁;

– на поздней стадии разработки планируются работы по изоляции промытых интервалов из разреза для предотвращения преждевременного обводнения скважин.

При проведении ГРП компания Halliburton использует современную технологию DeltaFrac®. Эта технология включает в себя использование оптимизированной боратсодержащей жидкости для гидроразрыва с высокой вязкостью и сниженным на 33 % содержанием геля. Боратный гель характеризуется высокой прочностью на сдвиг, прекрасной способностью к транспорту проппанта и суспензионными свойствами.

Так как необходимая вязкость достигается при меньшем содержании полимера, технология DeltaFrac® вызывает меньшее нарушение свойств пласта и обеспечивает полное расщепление геля. Также технология DeltaFrac® обеспечивает хорошую остаточную проводимость.

Для исключения смыкания трещин после снятия давления в ПЗП закачиваются различные расклинивающие агенты [7, 8, 9]. Расклинивающие агенты (проппанты) должны противостоять напряжениям горной породы, удерживая трещину раскрытой после снятия гидравлического давления жидкости разрыва, поэтому прочность материала имеет большое значение. Расклинивающий материал должен быть достаточно прочным, чтобы выдерживать напряжение смыкания трещины, в противном случае проводимость слоя проппанта будет значительно ниже спроектированного значения (уменьшается как ширина, так и проницаемость слоя проппанта).

Две основные категории проппантов – это естественные пески и искусственные керамические или бокситовые проппанты. Пески

используются для гидроразрыва пластов в условиях низких напряжений, для глубин примерно до 2400 м и меньше [8, 9]. Искусственные проппанты используются для ситуаций высоких напряжений, как правило, в пластах на глубинах свыше 2400 м. Для гидроразрыва высокопроницаемых пластов, где чрезвычайно важна высокая проводимость, использование высокопрочных проппантов может быть оправданным на практически любых глубинах.

Имеются три основных способа увеличения проводимости трещины:

1) увеличить концентрацию проппанта, то есть создать трещину большей ширины;

2) использовать более крупный и, следовательно, обладающий большей проницаемостью проппант;

3) применить высокопрочный проппант, уменьшить его дробление и повысить проводимость.

В зависимости от ожидаемого напряжения смыкания трещин в качестве расклинивающих агентов (проппанты) могут использоваться песок со смоляным покрытием, частицы керамики, среднепрочные и высокопрочные бокситы.

Обработки скважин проводятся с использованием стандартного нефтепромыслового оборудования и насосной техники.

Типовая схема размещения оборудования при проведении ГРП изображена на рис. 1. Необходимое оборудование и полное его обслуживание обеспечивает сервисная компания.

Оборудование, используемое при ГРП, может включать в себя: емкости для рабочей жидкости объемом 40, 50 и 80 м³; емкости для проппанта; блендер; насосные установки; насосные установки для закачки азота и углекислого газа; расходомеры; радиоактивный плотномер; датчики давления; станция управления; установка гибких насосно-компрессорных труб.

Емкости для рабочей жидкости используются для хранения жидкостей ГРП и доставляются на место проведения работ с помощью автомобильных тягачей.

Обычно емкости заполняются непосредственно в промысловых условиях, а смешивание жидкостей происходит во время проведения ГРП. Это устраняет необходимость под-

Рис. 1. Схема расстановки оборудования при проведении ГРП

готовки жидкости до проведения операции. С концентратами в жидкость добавляются необходимые реагенты, которые обеспечивают эффективное приготовление рабочей жидкости и ее однородность.

Тип используемого оборудования зависит от масштаба обработки и количества пропантанта (45-90 т). Для приготовления рабочей смеси используются специальные смешивающие исходные компоненты установки, выполняющие функции: подготовка рабочей жидкости, выкачивание жидкости из емкостей во время операции и транспортировка к насосным агрегатам, точное дозирование пропантанта (гр./литр), точное дозирование «сшивателей», ПАВ и разрушителей вязкости, транспортировка продажной жидкости к насосным агрегатам на заключительной стадии проведения операции.

Смесительные блендеры были разработаны для осуществления различных типов ГРП и используются для проведения ГРП при скоростях закачки от 1,3 до 12 м³/мин. Концентрации пропантанта, необходимые для ГРП, также изменяются в различных пределах, и ее максимальная концентрация может достигать 1000-2000 кг/м³.

Использование данной технологии на месторождениях компании «Салым Петролеум Девелопмент» продемонстрировало хорошие результаты и значительный прирост добычи

нефти [1, 2, 6]. В результате проведения ГРП увеличивается дебит скважины и экономический эффект обеспечивается за счет добычи дополнительного объема нефти [10]. Методика расчета экономического эффекта включает в себя следующие позиции:

Объем дополнительной нефти рассчитывается по формуле:

$$\Delta Q_{\text{н, доп.}} = Q_{\text{н2}} - Q_{\text{н1}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{н1}}$ и $Q_{\text{н2}}$ – добыча нефти за период технологического эффекта до проведения и после проведения ГРП:

$$Q_{\text{н1}} = q_1 N T_2 K_3, \quad (2)$$

$$Q_{\text{н2}} = q_2 N T_2 K_3, \quad (3)$$

где N – количество скважин;

K_3 – коэффициент эксплуатации;

T_2 – период технологического эффекта, сут.;

q_1 и q_2 – среднесуточный дебит до и после проведения ГРП.

Затраты на проведение мероприятия вычисляются по формуле:

$$З_{\text{мер}} = З_{\text{мат}} + З_{\text{з/п}} + З_{\text{страх}} + З_{\text{техн (прок)}} + З_{\text{техн (проб)}}, \quad (4)$$

где $З_{\text{мат}}$ – затраты на приобретение химических реагентов, руб.;

$Z_{з/п}$ – затраты на зарплату производственных рабочих, руб.;

$Z_{страх}$ – страховые взносы, руб.;

$Z_{техн (прок)}$ – затраты на прокат спецтехники по норме, руб.;

$Z_{техн (проб)}$ – затраты на пробег спецтехники до места работы и обратно, руб.

Затраты, связанные с добычей дополнительной нефти.

Затраты, связанные с добычей дополнительной нефти, определяются по формуле:

$$Z_{доп} = Q_{н,доп} Z_{пер}, \quad (5)$$

где $Z_{пер}$ – условно-переменные затраты себестоимости добычи 1 тонны нефти.

Прибыль чистая рассчитывается по формуле:

$$\Pi_ч = \Pi_б - Н_{пр} \quad (6)$$

Срок окупаемости затрат на проведение ГРП.

Срок окупаемости рассчитывается по формуле:

$$T_{ок} = \frac{Z_{общ}}{\Pi_ч} \quad (7)$$

Как показывает анализ результатов геолого-технических мероприятий, проведенных на скважинах Верхне-Салымского месторождения, наиболее эффективным методом интенсификации притоков нефти является гидравлический разрыв пласта, а срок его окупаемости составляет в среднем всего 0,3-0,5 года.

Заключение

Технологические схемы ГРП различаются в зависимости от коллекторских свойств обрабатываемых объектов. Их эффективность определяется условиями, связанными с фильтрационными характеристиками пластов, то есть коэффициентами проницаемости близ-

лежащих и удаленных зон объекта. При этом подход к проектированию обработок ГРП будет различным в низко- и высокопроницаемых пластах, и в этой связи грамотный выбор скважин имеет существенное значение.

Расчеты по прогнозированию результатов ГРП и направлений развития трещин в пространстве, а также их геометрических размеров позволяют определить ориентировочные объемы расклинивающих агентов (проппанта) и рабочих жидкостей. Наряду с этим оценивается распределение проводимости по телу трещины и ожидаемый дебит скважины после ГРП.

В результате анализа эффективности геолого-технических мероприятий, фактически проведенных на Верхне-Салымском месторождении по состоянию на 01.01.2012 года, определен набор технологий, применение которых позволит интенсифицировать отбор нефти и повысить КИН.

Для месторождения, наряду с гидравлическим разрывом пласта, предусмотрены следующие виды геолого-технических мероприятий: вторичное вскрытие на депрессии; изучение пластов с низкими фильтрационно-емкостными свойствами; выравнивание профилей притока и приемистости в добывающих и нагнетательных скважинах; бурение боковых или горизонтальных стволов; изоляция промытых интервалов из разреза и предотвращение преждевременного обводнения скважин.

Использование технологии ГРП на месторождении позволило повысить эффективность геолого-технических мероприятий и обеспечить значительный прирост добычи нефти. В результате проведения ГРП увеличивается дебит скважины, а экономический эффект обеспечивается за счет добычи дополнительного объема нефти. Срок окупаемости ГРП составляет в среднем всего 0,3-0,5 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технологическая схема разработки Верхне-Салымского месторождения // Официальный сайт компании «Салым Петролеум Девелопмент» (<http://www.salypetroleum.ru/>).
2. *Alfred R. Jennings, Jr. P. E.* «Enhanced Well Stimulation, Inc.», перевод: Денис Малахов, Центр переподготовки специалистов нефтегазового дела.

3. Мищенко И. Т. «Скважинная добыча нефти»: Учебное пособие для вузов. М: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. 816 с.
4. Булатов А. И., Качмар Ю. Д., Макаренко П. П., Яремийчук Р. С. «Освоение скважин»: Справочное пособие / Под ред. Р. С. Яремийчука. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. 473 с.: ил.
5. Ибрагимов Л. Х., Мищенко И. Т., Челоянц Д. К. Интенсификация добычи нефти. М.: Наука, 2000. 415 с.
6. Муравьев В. М. Эксплуатация нефтяных и газовых месторождений. Москва: Недра, 1973.
7. Изюмова А. М. Гидравлический разрыв пласта на промыслах Грозного [Текст]. Грозный: Чеч.-Инг. кн. изд-во, 1959. 70 с.
8. Расчеты в технологии и технике добычи нефти [Текст]: [Учеб. пособие для нефт. вузов и фак.] / К. Г. Оркин, А. М. Юрчук. Москва: Недра, 1967. 380 с.
9. Экономика, организация и планирование производства на предприятиях в нефтяной и газовой промышленности / Под ред. Шматова В. Ф. М.: Недра, 1999.

METHODS FOR INCREASING EFFICIENCY OF HYDRAULIC RIGGING IN THE OIL PRODUCTION PROCESSES

© N. A. Kurazov, Z. H. Gazabiyeva, R. H. Mollayev, A. Sh. Khaladov
GSTOU named after acad. M. D. Millionshchikov, Grozny, Russia

Hydraulic fracturing is a complex technology of well treatment. At the same time it should be considered not only as a means of impact on the bottom-hole zone of the formation, but also as one of the essential elements of the field development system as a whole. Technological schemes of MPG, including with subsequent chemical impact, differ depending on collector properties of processed objects. Their effectiveness is determined by conditions related to filtration characteristics of formations, i. e. permeability coefficients of nearby and remote zones of the object. At the same time, the approach to the design of GRP treatments will be different in low and highly permeable formations and in this regard, competent selection of wells is essential.

Various proppants are pumped into wells to prevent closing of cracks after MPG and to relieve pressure in bottom-hole zone of formation. Proppants (proppants) must withstand rock stresses by holding the fracture open after the hydraulic pressure of the fracturing fluid has been removed, and thus ensuring high filtration capacity of the bottom-hole formation zone and well oil flow rate.

Well treatments are carried out using standard oil field equipment and pumping equipment. The field experience of GRP in the conditions of Verkhne-Salymsky field (Western Siberia) showed its rather high efficiency.

Keywords: layer hydraulic fracturing, the wedging agents, proppant, liquid carrier, the well, a bottomhole zone of layer, a crack, the equipment, the pump equipment

REFERENCES

1. Tekhnologicheskaya schema razrabotki Verkhne – Salymского mestorozhdeniya [Technological scheme of development of Verkhne – Salymsky deposit] // Official website of Salyom Petroleum Development, available at: <http://www.salypetroleum.ru>
2. *Alfred R. Jennings, Jr. P. E.* «Enhanced Well Stimulation, Inc». Translated by Denis Malakhov, Center for Retraining of Oil and Gas Specialists.
3. *Mischenko, I. T.* (2003) «Skvazhinnaya dobycha nefi»: Uchebnoe posobie dlya vuzov. M: Izd-vo «Neft' igaz» RGU nefi i gaza im. I. M. Gubkina [“Well Oil Production”: Training Manual for Universities. Publishing House “Oil and Gas” of the Russian State University of Oil and Gas named after I. M. Gubkin]. 816 p.
4. *Bulatov, A. I., Kachmar, Yu. D., Makarenko, P. P. and Yaremiychuk, R. S.* (1999) «Osvoenie skvazhin»: Spravochnoe posobie. Pod red. R. S. Yaremiichuka. M.: ООО «Nedra-Biznestsentr [“Well Development”: Reference Manual in Yaremiychuk, R. S. (Ed.). M.: LLC “Nedra-Businesscentre”]. 473 p.: il.
5. *Ibragimov, L. H., Mischenko, I. T. and Cheloyants, D. K.* (2000) «Intensifikatsiya dobychi nefi» [«Intensification of oil production»]. «Science», Moscow, 415p.
6. *Muravyov, V. M.* (1973). Ekspluatatsiya neftyanykh i gazovykh mestorozhdenii ‘Exploitation of oil and gas fields’. “Nedra”, Moscow.
7. *Izyumova, A. M.* (1959) Gidravlicheskiy razryv plasta na promyslakh Groznogo [Hydraulic fracturing in the fields of Grozny]. Chechen – Ingush publishing house, Grozny, 70 p.
8. *Orkin, K. G. and Yurchuk, A. M.* (1967) Raschety v tekhnologii i tekhnike dobychi nefi. Ucheb. Posobie dlya nefi. Vuzov i fak. [Calculations in oil production technology and technology. Study guide for oil universities and facets]. Nedra, Moscow, 380 p.
9. (1999) Ekonomika, organizatsiya i planirovanie proizvodstva na predpriyatiyakh v neftyanoi i gazovoi promyshlennosti. Pod redaktsiei *Shmatova V. F.* [Economics, organization and planning of production in enterprises in the oil and gas industry in Shmatova, V. F. (Ed.)]. Nedra, Moscow.