9. Serebryakov, O. I., Olyansky Yu. I., Kuznetsova S. V., shchekochikhina E. V. Geocological aspects of changes in the geological environment of territories on structurally unstable rocks // *Geology, geography and global energy*. - Astrakhan: ID "Astrakhan University", 2019. - № 4 (75). - Pp. 246-260.

10. Serebryakov A. O. Industrial resources of underground hydraulic systems // *Geology, geography and global energy*. - Astrakhan: ID "Astrakhan University", 2020. - № 1(76). - Pp. 84-86.

11. Titov, V. K. Express definitions of radon in soils and buildings / V. K. Titov, B. P. Lashkov, D. A. Chernik. Saint Petersburg: VIRG, 1992, 37 p.

12. Tsvetkova, N. V. Analytical review of the state of the subsoil of the territory of the Orenburg region / N. V. Tsvetkova, A. A. Zatsepina-Orenburg: votemiro Company, 2015. - 138 p.

13. Shevtsova, L. F. "Assessment of the provision of the population of the Russian Federation with underground water resources for economic and drinking water supply (Orenburg region) stage II." Report of the Orenburg hydrogeological party / L. F. Shevtsova, G. F. Klenkin, T. A. Lugovaya. - Nezhinka, 1996. - 244 p.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ МНОГОСТАДИЙНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАЗРЫВА ПЛАСТА

Сергеев Андрей Олегович, аспирант, Астраханский государственный университет, Российская Федерация, 414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: sergo777899@mail.ru

Гидравлический разрыв пласта одна из самых эффективных гидрогеологических технологий, применяемых в России. Особенно перспективным считается технология многостадийного ГРП. В данной статье рассмотрены гидрогеологические особенности применения этой технологии. Вначале автор приводит общие сведения об историческом аспекте гидравлического разрыва пласта. Также в работе приводится ряд рекомендаций, необходимых при использовании гидрогеологических технологий. Обоснованы необходимые этапы организации ГРП, которые применимы к большинству геологоразведочных скважин. В статье обосновывается многостадийное использование технологии, прослеживается геологическая связь с горизонтальным бурением. Приведены гидрогеологические особенности перспективных технологий многостадийного гидравлического разрыва пласта, обосновываются возможные преимущества в зависимости от выбранной технологической схемы.

Ключевые слова: гидрогеология, гидравлический разрыв, многостадийный, пласт, нефть, хвостовик, горизонтальные скважины

HYDROGEOLOGICAL FEATURES OF THE APPLICATION OF MULTI-STAGE HYDRAULIC FRACTURING TECHNOLOGY

Sergeev Andrew O., postgraduate student, Astrakhan State University, 1 Shaumyana Sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: sergo777899@mail.ru

Hydraulic fracturing is one of the most effective hydrogeological technologies used in Russia. Multi-stage hydraulic fracturing technology is considered particularly promising. This article discusses the hydrogeological features of the application of this technology. At the beginning, the author provides General information about the historical aspect of hydraulic fracturing. The paper also provides a number of recommendations that are necessary when using hydrogeological technologies. The necessary stages of hydraulic fracturing organization that are applicable to the majority of exploration wells are justified. The article substantiates the multi-stage use of the technology and traces the geological connection with horizontal drilling. Hydrogeological features of promising technologies for multi-stage hydraulic fracturing are presented, and possible advantages are justified depending on the selected technological scheme.

Keywords: hydrogeology, hydraulic fracturing, multistage, reservoir, oil, liner, horizontal wells

В настоящее время нефтегазовая отрасль играет важную роль в экономике многих стран и в финансовой составляющей всего мира. Объем добычи нефти зависит не только от количества запасов углеводородного сырья, но и от методов извлечения.

Один из способов увеличения добычи нефти, как на отдельной скважине, так и в целом по месторождению – это гидравлический разрыв пласта [1].

ГРП (гидравлический разрыв пласта) – один из способов оптимизации работы нефтяных и газовых скважин и увеличения их приёмистости путём создания трещин в водо-, газо-, нефтенасыщенных пластах и других горных породах под действием подаваемой в них под давлением жидкости [4].

ГРП применяется более 100 лет. В 1890-х гг. в Соединенных Штатах Америки, где стремительно развивалась добыча нефти, были проведены первые попытки применения гидравлического разрыва пласта с использованием нитроглицерина. Данный способ успешно применялся в течение нескольких лет, несмотря на высокую опасность и различные риски.

В первой половине XX в. широко использовался метод кислотных обработок продуктивных пластов. В процессе применения данного метода выяснилось, что под действием давления происходит разрыв пласта [2].

После проведения первого успешного коммерческого гидроразрыва пласта в 1949 г. в США, метод стал широко использоваться для интенсификации процесса добычи нефти (к концу XX в. общее число операций достигло более 1 млн). В нашей стране использование ГРП началось с 1952 г. В настоящее время ведущими странами по числу проведенных ГРП являются США Канада и Россия [3].

Доля нефти, добытой в России при использовании технологии ГРП в обозримом будущем, будет составлять более 30 % от общей добычи. Следовательно, применение метода интенсификации скважин и увеличение их приёмистости, имеет огромное значение для дальнейшего развития нефтегазовой отрасли. Гидроразрыв пласта считается наиболее эффективным для коллекторов с низкой проницаемостью, насыщенных высоковязкой нефтью. Существует 2 основных вида гидравлического разрыва пласта, а именно пропантный и кислотный. Первый применяется с использованием пропанта – специального расклинивающего материала, который закачивается в скважину в процессе ГРП для закрепления трещин. Как правило, данный метод применяется в терригенных пластах. Кислотный вид включает в себя применение в качестве жидкости разрыва – кислоты. Применяется при разработке карбонатных пластов. Сеть трещин, созданная при помощи давления и кислоты, не требует закрепления пропантом [7].

Несмотря на огромный опыт в проведении гидравлического разрыва пласта возрастающее внимание уделяется подготовке каждой операции. Один из самых важных элементов такой подготовки считается сбор и анализ первичной информации, такой как геолого-физические свойства пласта (проницаемость, пористость, пластовое давление, петрография пород и др.), различные характеристики трещины и свойства жидкости разрыва и пропанта (модуль Юнга, вязкость и плотность жидкости разрыва, сжимаемость породы, коэффициент Пуассона). Лабораторный анализ керн, геологические и геофизические исследования, а также проведение микро- и мини-гидроразрывов являются основными источниками информации [5].

При использовании технологии ГРП необходимо соблюдение ряда условий:

- оптимизация выработки запасов месторождения;
- проникновение пропанта в трещину на максимальную глубину;
- минимальная стоимость обработки;
- увеличение прибыли за счет получения дополнительной нефти и газа.

Выделяют следующие этапы организации и проведения ГРП на скважине:

- выбор подходящей скважины для проведения гидроразрыва с учётом максимальной добычи нефти и газа и минимальных затрат;
- определение параметров трещин (длины и ширины) с учётом свойств пласта, схемы расположения скважин и положение пласта относительно газо- или водонефтяного контакта, а также определение структуры распространения трещин с учётом механических свойств пласта;

- выбор проппанта с необходимыми прочностными свойствами, расчет его объема, необходимого для реализации трещины;
- подбор жидкости разрыва с необходимыми реологическими свойствами;
- расчёт экономической рентабельности проведения ГРП [6].

Гидравлический разрыв пласта применяют не только при разработке вертикальных скважин, но и в наклонных горных выработках. При использовании метода интенсификации в наклонных скважинах существует ряд трудностей, связанных с образованием трещин в зависимости от разных интервалов перфорации и с изменением пространственного расположения трещин вблизи скважины. Для интенсификации притока нефти в таких скважинах применяется особая технология, которая заключается в изменении числа перфорационных отверстий. Определение их размеров и ориентации зависит от направления напряжений в пласте.

ГРП обычно проводят на вертикальных скважинах, однако в последнее время для увеличения нефтеотдачи горизонтальных скважин применяют новый вид гидравлического разрыва пласта – многостадийный ГРП (МГРП). МГРП – одна из наиболее экономически эффективных технологий освоения трудно извлекаемых запасов нефти и газа.

В современном мире эффективная разработка нефтяных запасов требует применения передовых технологий, их внедрение позволяет вести деятельность на новых территориях, а также осваивать месторождения, которые когда-то казались нерентабельными. В эпоху трудноизвлекаемых запасов важность технологического развития – залог успешной разработки месторождений. Если раньше толщина нефтяных пластов составляла 20–30 м, то в настоящее время 3–5 м, при этом их проницаемость снизилась в десятки раз, что значительно сокращает скорость притока нефти к скважинам [8].

Для эффективной разработки таких залежей, необходимо бурить высокотехнологичные скважины с проведением многостадийного гидравлического разрыва пласта, а также сложные горизонтальные и многоствольные скважины. МГРП является одной из самых современных технологий в нефтяной области, которая наиболее эффективна для горизонтальных скважин. Многостадийный ГРП применяется на месторождениях, имеющих сложное геологическое строение, а также характеризующихся ухудшенными фильтрационно-емкостными свойствами и наличием подошвенной воды. Отличие технологии МГРП от простого ГРП заключается в поочередном проведении гидравлических разрывов.

МГРП – технологически сложная, но при этом самая популярная технология увеличения притока нефти. Много трудностей вызывают переход ствола скважины из вертикальной плоскости в горизонтальную, так как добавляется множество технологических параметров, которые необходимо постоянно контролировать [9].

Технология МГРП заключается в правильном выборе последовательности технологических решений, которые позволяют проводить тот или иной вид ГРП в выбранных интервалах горизонтального ствола скважины. Существует несколько технологий проведения МГРП. Например, метод использования нецементируемого хвостовика с системой заколонных пакеров и муфт. Данный технологический метод является наиболее простым и эффективным, активно применяется не только на Российских месторождениях, но и зарубежных. Главным преимуществом метода является необязательное цементирование хвостовика и отсутствие всех связанных с цементированием рисков и возможных последствий. Для защиты внутренней обсадной колонны скважины (эксплуатационной колонны) применяют уплотнительный элемент – стингер. При применении циркуляционных муфт одноразового действия элементы внутренней оснастки компоновки шары, скользящие втулки-седла фрезеруются с использованием гибкой НКТ перед вводом скважины в эксплуатацию для исключения штуцирования и обеспечения притока флюида из всех интервалов. Следующая технология – нецементируемый хвостовик с муфтами ГРП. Это техническое решение менее распространено, чем применение нецементируемых компоновок МГРП вслед-

стве большей стоимости и технологической сложности использования, как при бурении скважины, так и при проведении МГРП [10]. Основная особенность рассматриваемой технологии – применение муфт ГРП одноразового либо многократного действия, конструкция которых позволяет проводить закачку в зацементированном хвостовике. Также существует технология цементирования хвостовика с выполнением перфорации и использованием систем изоляции интервалов. Данная технология может быть реализована с использованием комплекса гибких НКТ и выполняться бригадами капитального ремонта скважин. При использовании гибких НКТ, как правило, проводится гидropескоструйная перфорация. Для разобщения интервалов закачки в стволе скважины применяются либо пакер-пробки, либо пакеры. ГРП также может проводиться закачкой жидкости по малому затрубному пространству гибкой НКТ.

Огромный опыт, накопленный в результате использования МГРП в России и за рубежом, способствовал развитию этого метода и, как следствие, неоднократному увеличению числа проведенных операций по интенсификации скважин. Технология МГРП продемонстрировала высокую экономическую рентабельность. Ведущие нефтедобывающие страны продолжают расширять области применения, применять МГРП в сверхнизкопроницаемых пластах, экспериментировать с технологиями нетрадиционной закачки (кластерная технология), а также исследовать актуальные проблемы, связанные с использованием многостадийного гидроразрыва пласта.

Список литературы

1. Shipilov, N. V. Babkina, I. A. Menshikov «Research of technological composition for hydrofracturing based on viscoelastic surfactants» *Oil Industry Journal* Volume, 2018, Issue 03, March 2018.
2. Gian F. Callarotti, Steven F. Millican. "Openhole Multistage Hydraulic Fracturing Systems Expand the Potential of the Giddings Austin Chalk Field", paper SPE 152402, presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference held in the Woodlands, Texas, USA, 6-8 February 2012.
3. Yongping Li, Yonghui Wang, Xingsheng Cheng, Mingguang Che, et al. "Propped Fracturing in High Temperature Deep Carbonate Formation", paper SPE 118858, presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference held in the Woodlands, Texas, USA, 19-21 January 2009.
4. Aguilar-Razo, R. "Propped Fracturing in Gas Formation in Mexico". Paper SPE 58987 presented at 2000 International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico, Villahermosa, Mexico, 1-3 February 2000.
5. Che Mingguang, Zhang Fuxiang, Wang Yonghui, Yang Xiangtong, et al. "Openhole Multistage Acid-Fracturing Increases Hydrocarbon Production in Deep Naturally Fractured Carbonate Horizontal Wells in Ta-zhong Gasfield of Tarim Basin, West China", paper SPE 176334, presented at the SPE conference SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Nusa Dua, Bali, Indonesia, 20–22 October 2015
6. Yunhong Ding, Yongping Li, Yun Xu. "Propped Fracturing with a Novel Surface Cross-linked Acid in High Temperature Deep Carbonate Formation", paper SPE 127312, presented at the SPE conference North Africa Technical Conference and Exhibition held in Cairo, Egypt, 14-17 February 2010.
7. Rafael Rozo, et al. "Combining Acid- and Hydraulic Fracturing Technologies Is the Key to Successfully Stimulating the Orito Formation", paper SPE 104610, presented at the SPE conference Hydraulic Fracturing Technology conference held in College Station, Texas, USA, 29-31 January 2007.
8. Wang Yonghui, Fuxiang Zhang, Mingguang Che, et al. "Proppant Fracturing for Ultra-High-Pressure Deep Gas Reservoir", paper SPE 130905, presented at the conference Deep Gas Conference and Exhibition held in Manama, Bahrain, 24-26 January 2010.
9. Che Mingguang, Wang Yonghui, Yuan Xuefang, et al. "Research and Application of Cross-linked Acid-adding Proppant Fracturing Technology[J]", *Chemical Engineering of Oil & Gas*, 2014, 43(4):413-415,435.

10. Jose G. Flores, Yuri de Antunano Munoz. "Stimulation Solutions for the High-Pressure High- Temperature Naturally Fractured Carbonate Reservoirs in Mexico", paper SPE 144183, presented at the SPE European Formation Damage Conference held in Noordwijk, The Netherlands, 7-10 June 2011.

References

1. Shipilov A. I., Babkina N. V., Menshikov I. A. Research of technological composition for hydrofracturing based on viscoelastic surfactants, *Oil Industry Journal* Volume, 2018, Issue 03, March 2018.
2. Gian F. Callarotti, Steven F. Millican. Openhole Multistage Hydraulic Fracturing Systems Expand the Potential of the Giddings Austin Chalk Field, paper SPE 152402, presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference held in the Woodlands, Texas, USA, 6-8 February 2012.
3. Yongping Li, Yonghui Wang, Xingsheng Cheng, Mingguang Che, et al. Propped Fracturing in High Temperature Deep Carbonate Formation, paper SPE 118858, presented at the SPE Hydraulic Fracturing Technology Conference held in the Woodlands, Texas, USA, 19-21 January 2009.
4. Aguilar-Razo, R. Propped Fracturing in Gas Formation in Mexico. Paper SPE 58987 presented at 2000 International Petroleum Conference and Exhibition in Mexico, Villahermosa, Mexico, 1-3 February 2000.
5. Che Mingguang, Zhang Fuxiang, Wang Yonghui, Yang Xiangtong, et al. Openhole Multi-stage Acid-Fracturing Increases Hydrocarbon Production in Deep Naturally Fractured Carbonate Horizontal Wells in Ta-zhong Gasfield of Tarim Basin, West China, paper SPE 176334, presented at the SPE conference SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition held in Nusa Dua, Bali, Indonesia, 20-22 October 2015
6. Yunhong Ding, Yongping Li, Yun Xu. Propped Fracturing with a Novel Surface Cross-linked Acid in High Temperature Deep Carbonate Formation, paper SPE 127312, presented at the SPE conference North Africa Technical Conference and Exhibition held in Cairo, Egypt, 14-17 February 2010.
7. Rafael Rozo, et al. Combining Acid- and Hydraulic Fracturing Technologies Is the Key to Successfully Stimulating the Orito Formation, paper SPE 104610, presented at the SPE conference Hydraulic Fracturing Technology conference held in College Station, Texas, USA, 29-31 January 2007.
8. Wang Yonghui, Fuxiang Zhang, Mingguang Che, et al. Proppant Fracturing for Ultra-High-Pressure Deep Gas Reservoir, paper SPE 130905, presented at the conference Deep Gas Conference and Exhibition held in Manama, Bahrain, 24-26 January 2010.
9. Che Mingguang, Wang Yonghui, Yuan Xuefang, et al. "Research and Application of Cross-linked Acid-adding Proppant Fracturing Technology[J]", *Chemical Engineering of Oil & Gas*, 2014, 43(4):413-415,435.
10. Jose G. Flores, Yuri de Antunano Munoz. Stimulation Solutions for the High-Pressure High- Temperature Naturally Fractured Carbonate Reservoirs in Mexico, paper SPE 144183, presented at the SPE European Formation Damage Conference held in Noordwijk, The Netherlands, 7-10 June 2011.