



УДК 550.822.7, 622.245

ИСКУССТВЕННОЕ ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ ЗАКРЕПЛЕНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ТРЕЩИН В ЦИКЛЕ ЗАКАНЧИВАНИЯ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СТВОЛОВ БОЛЬШОЙ ПРОТЯЖЕННОСТИ

ARTIFICIAL ADVANCE FIXATION OF NATURAL CRACKS IN THE CYCLE OF COMPLETION OF LARGE HORIZONTAL TRUNKS

Иванишин Владимир Мирославович

аспирант,
Иркутский национальный
исследовательский технический университет;
директор,
ИФ ООО «РН-Бурение»

Вахромеев Андрей Гелиевич

доктор геолого-минералогических наук, доцент,
начальник геологического отдела,
ИФ ООО «РН-Бурение»;
ведущий научный сотрудник,
зав. лабораторией геологии нефти и газа,
Института земной коры
Сибирского отделения РАН;
профессор кафедры НГД,
Иркутский национальный
исследовательский технический университет
andrey_igp@mail.ru

Сверкунов Сергей Александрович

главный технолог,
РИТС ИФ ООО «РН-Бурение»
dobro_75@mail.ru

Мартынов Николай Никитович

аспирант,
Иркутский национальный
исследовательский технический университет;
начальник смены,
ИФ ООО «РН-Бурение»
martynovkoma@gmail.com

Аннотация. В настоящей статье описываются текущие исследования авторов по изучению высоко-проницаемых трещинно-жильных коллекторов с аномально низким пластовым давлением в пределах Сибирской платформы. При разработке пластов, сложенных трещиноватыми и трещинно-поровыми породами сталкиваются с проблемами, которые не свойственны объектам порового типа. В рифейском резервуаре развита система трещин, которые в значительной степени определяют процессы нефтеизвлечения. Базовая проблема – существенная зависимость продуктивности горизонтальных скважин от падения пластового давления, непредсказуемая обводненность и резкое падение продуктивности скважин. Эти особенности связаны с деформированием трещинной системы природного резервуара в процессе падения пластового давления. Процесс деформирования по системам трещин вследствие снижения пластового давления является практически мало обратимым. Соответственно, если допустить на начальном

Ivanishin Vladimir Miroslavovich

Graduate student,
Irkutsk National research technical university;
Director,
IF LLC RN-Burenie

Vakhromeev Andrey Gelievich

Doctor of Geological
and Mineralogical Sciences,
Associate Professor,
Head of the geological department,
IF LLC RN-Burenie;
Leading researcher,
Head of the Oil and Gas Geology Laboratory,
Earth's crust institute of
the Siberian Branch of
the Russian Academy of Sciences;
Professor at the Department of
oil and gas business,
Irkutsk National research technical university
andrey_igp@mail.ru

Sverkunov Sergey Alexandrovich

Chief technologist,
RITS IF LLC RN-Burenie
dobro_75@mail.ru

Martynov Nikolai Nikitovich

Graduate student,
Irkutsk National research technical university;
Shift supervisor,
IF LLC RN-Burenie
martynovkoma@gmail.com

Annotation. This article describes the current research of the authors on the study of high-permeable fractured-vein reservoirs with abnormally low reservoir pressure. When developing layers composed of fractured and fractured porous rocks, they face problems that are not characteristic of pore-type objects. In the Riphean reservoir, a system of cracks is developed, which largely determine the processes of oil recovery. The basic problem is a significant dependence of well productivity on a drop in reservoir pressure, unpredictable well water cut, a sharp drop in well productivity. These features are associated with the deformation of the fracture system in the process of formation pressure drop. The process of deformation of the systems of cracks due to a decrease in reservoir pressure is almost a little reversible. Accordingly, if we assume at the initial stage of development a drop in reservoir pressure, then



этапе разработки падение пластового давления, то в последующем нельзя будет восстановить первоначальную продуктивность скважин. При проектировании технологических показателей добычи нефти обязательно необходимо учитывать деформации трещин в процессе разработки месторождения, нефтяной залежи. При этом снижение добычи нефти за счет снижения трещинной проницаемости будет тем больше, чем большее падение пластового давления в залежи будет допущено.

Ключевые слова: скважины с горизонтальным окончанием, трещинно-жильный коллектор, аномально низкое пластовое давление, закрепление трещин.

it will not be possible to restore the initial productivity of the wells in the future. When designing technological development indicators, it is imperative to take into account the deformations of cracks during the development process. At the same time, a decrease in oil production due to a decrease in fracture permeability will be greater, the greater the drop in reservoir pressure in the reservoir will be allowed.

Keywords: horizontal well, fracture vein reservoir, abnormally low reservoir pressure, fixation of cracks.

Введение

Сложность разработки нефтяных месторождений в каверно-трещинных карбонатных природных резервуарах заключается в ухудшении фильтрационных свойств трещинного коллектора вследствие изменения трещинной проницаемости (деформации) за счет создания больших депрессий и неизбежного падения пластового давления в процессе эксплуатации залежи [1, 2, 5, 8, 14]. Считается, что поддержание пластового давления в цикле эксплуатации нефтегазового или гидроминерального месторождения на уровне начальных (природных) значений сегодня является практически невыполнимой задачей [1, 2, 6, 9]. Снижение пластового давления в залежи может идти различными темпами, и уже в первые месяцы – годы добычи пластовое давление может снизиться на несколько процентов. Этого снижения достаточно для начала смыкания трещин в продуктивном пласте, что доказано экспериментально [1, 8]. Показано, что значительная величина депрессии, создаваемая в процессе эксплуатации залежи, оказывает отрицательное воздействие на фильтрационные свойства трещинного карбонатного коллектора, тем самым уменьшая продуктивность добывающих скважин по нефти, что в целом для месторождения может достигать 27 %. Также деформация фильтрующих трещин в цикле очистки существенно искажает данные гидродинамических исследований скважины, коэффициента продуктивности и т.д.

Главным выводом, сделанным предыдущими исследователями, который логично вкладывается в рассматриваемые исследования [1, 2, 8], является то, что при испытании (разведочные скважины) и освоении (эксплуатационные скважины и добыча) скважин, допустимая величина депрессии на пласт должна находиться в жестких пределах, с учетом конкретных горно-геологических условий. Но этот вывод прямо противоречит сложившейся практике эксплуатации месторождения УВ.

Другими словами, для трещинной фильтрационной системы, которая является преобладающим типом емкостного и транзитного пространства природного карбонатного пласта-коллектора, необходимо разработать методологию испытания и освоения скважины, которая сохранит проницаемость трещинной системы в области призабойной зоны при воздействии сжимающих напряжений (массива горных пород), возрастающих при формировании воронки депрессии, в первую очередь в призабойной зоне пласта-коллектора [10] при росте депрессии (ΔP) выше критических значений, которое не позволит естественным проницаемым трещинам сомкнуться. Такой областью является призабойная зона в радиусе первых метров вокруг ствола скважины, вскрывшей трещинный пласт-коллектор.

Искусственное закрепление естественных трещин

Искомый ключевым решением может стать гидравлическое раскрытие естественных фильтрующих трещин с последующим их закреплением доступным проппантом (по аналогии с проведением процесса гидроразрыва пласта, только с уже раскрытыми естественными трещинами) [11, 12].

Сам подход гидравлического воздействия на ПЗП в трещинном ПР может реализовываться в области не просто достижимых, а обычных по величине значений репрессии, обычных для бурения скважин нефтяного ряда. При этом последующее снижение величины текущего $R_{заб}$ приводит к закреплению проппантом просвета фильтрующих ПТ. В случае поглощения в ПТ в ПЗП, закрепленные таким образом природные трещины кольматируются на основе известных подходов [13]. Однако в последующем, в циклах очистки трещинного пласта и его исследованиях на режимах (ГДИ, испытания) созданием депрессии смыканию трещин ПЗП препятствует ранее размещенный проппант. В то же время падение давления в призабойной зоне пласта ведет к закреплению проппанта (рис. 1).

Рассматриваемое технологическое решение может быть реализовано как в цикле первичного вскрытия бурением [11] горизонтального ствола в трещинном типе нефтегазонасыщенного карбонатного коллектора в условиях аномально низких пластовых давлений, так и в процессе освоения/испытания скважин [12] в цикле геолого-разведочных работ.

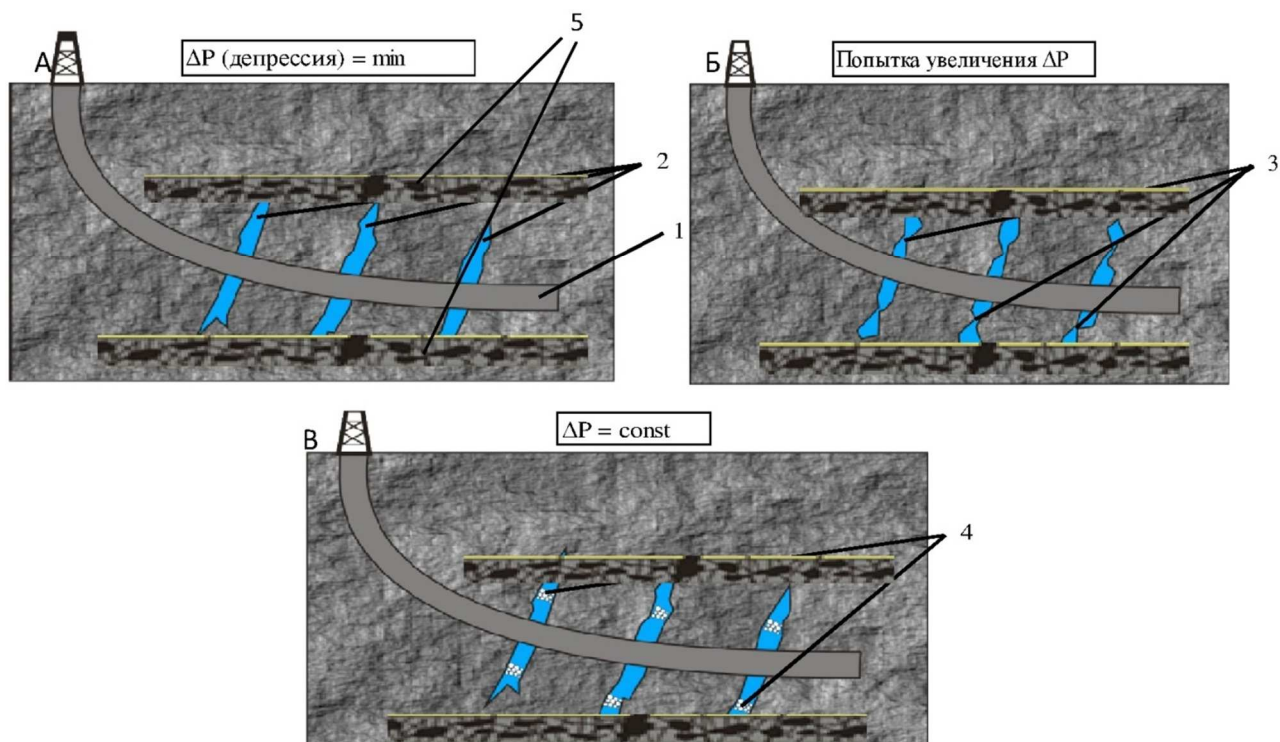


Рисунок 1 – Схематическое изображение изменения депрессии (ΔP) в скважине,

вскрывшей деформируемый трещинный коллектор горизонтальным стволом большой протяженности:

А – ΔP (депрессия при освоении = min); **Б** – Попытка увеличения ΔP ; **В** – $\Delta P = \text{const}$;

- 1 – ствол скважины; 2 – субвертикальные трещины в карбонатном коллекторе; 3 – сужение вертикальных трещин под действием увеличивающейся депрессии на пласт; 4 – вертикальные трещины, заполненные проппантом; 5 – субгоризонтальные системы кавернозности, гидравлическая связь с которыми – базовая технологическая задача процесса поэтапного закрепления субвертикальных естественных трещин

Процесс «закрепления» природных трещин становится возможным без проведения гидроразрыва в связи со специфическими особенностями фильтрационной системы трещинного карбонатного коллектора. Раскрытость естественных трещин может достигать от мДарси до единиц и нередко десятков Дарси. Основную роль в будущей продуктивности скважины играет именно вскрытие таких естественных высокопроницаемых трещиноватых зон транзитной фильтрации «дренажно-канального» типа [3, 7, 14]. Первичное вскрытие бурением трещиноватых зон всегда характеризуется поглощением бурового раствора и увеличением интенсивности поглощения, что является индикатором для начала проведения работ по закреплению естественных трещин [3, 4, 5].

Здесь необходимо учитывать тот факт, что смыкание трещины в естественных условиях будет происходить только при снижении пластового давления ($P_{\text{пл конечное}} < P_{\text{пл начальное}}$; $P_{\text{пл конечное}} < P_{\text{горн. на верт. трещину}}$). Опираясь на исследования [10], достичь эффекта закрепления проппанта в трещине можно только при условии, если во время закачки жидкости с закрепляющим агентом естественная трещина будет дополнительно раскрыта за счет увеличенного расхода закачки, и соответственно большего давления на устье скважины. Разница давлений на устье скважины при низкой и высокой скорости закачки жидкости в скважину и будет индикатором того, что просвет трещины расширился относительно своего первоначального состояния.

Заметим, что при реализации процесса искусственного закрепления естественных трещин существует ряд ограничений и рисков. Базовое ограничение: радиус закрепления трещины не должен превышать 1–3 метров от оси горизонтальной скважины [10]. Этим минимизируется риск создания дополнительных каналов фильтрации с зон ВНК и ГНК. Другим ограничением является реализация процесса приоткрытия только одной естественной трещины или зоны трещиноватости за один цикл гидравлического воздействия, что требует поэтапного воздействия (аналогия Мини-ГРП) и дизайна минимально-возможного интервала пакеровки в г.с. К существенным рискам отнесем:

- преждевременное получение давления «СТОП» при закачке проппанта;
- отсутствие реакции открытой трещины (во время тестирования при повышении расхода закачки давление на устье не увеличивается).

Минимизация возможных рисков требует детального моделирования процесса закрепления естественных трещин с учетом реальных горно-геологических условий массивного карбонатного трещинного резервуара, и углеводородной залежи.



Литература:

1. Белонин М.Д., Славин В.И., Чилингар Д.В. Аномально высокие пластовые давления : Происхождение, прогноз, проблемы освоения залежей углеводородов / под ред. доктора геол.-минерал. наук Н.С. Окновой. – СПб. : Недра, 2005. – 324 с.
2. Боровский Л.В. Анализ влияния физических деформаций коллекторов на оценку экспл. запасов подземных вод в глубоких водоносных горизонтах : Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод / под ред. Бондаренко С.С., Вартаняна Г.С. – М. : Недра, 1986. – 479 с.
3. Бурение скважин с горизонтальным окончанием в сложных горно-геологических условиях на примере природных карбонатных резервуаров рифея Байкитской нефтегазоносной области / С.А. Сверкунов [и др.]. – Иркутск : Изд-во ИРНТУ, 206. – 204 с.
4. Геодинамические аспекты исследования сложных горно-геологических условий бурения древнейших карбонатных резервуаров нефти и газа рифея: обзор проблемы на примере месторождений Байкитской нефтегазоносной области / А.Г. Вахромеев [и др.] // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – № 8 (4). – С. 903–921.
5. Литологические и гидродинамические факторы, определяющие условия первичного вскрытия и освоения продуктивных интервалов рифейского природного резервуара Юрубчено-Тохомского НГКМ по геологическим данным горизонтального бурения и отбора керна в наклонных стволах / А.Г. Вахромеев [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 3 (23). – С. 68–82.
6. Голф-Рахт Т.Д. Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиноватых коллекторов / пер. с англ. Н.А. Бардиной, П.К. Голованова, В.В. Власенко, В.В. Покровского; под ред. А.Г. Ковалова. – М. : Недра, 1986. – 608 с.
7. Денк С.О. Проблемы трещиноватых продуктивных объектов. – Пермь : Электронные издательские системы, 2004. – 334 с.
8. Гидродинамическое моделирование первоочередного участка разработки Юрубчено-Тохомского месторождения с учетом геомеханического эффекта смыкания трещин / Ю.А. Кашников [и др.] // Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. – 2011. – № 4. – С. 104–107.
9. Лусиа Ф.Дж. Построение геолого-гидродинамической модели карбонатного коллектора: интегрированный подход. – М. – Ижевск : НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Ижевский ин-т комп. Иссл., 2010. – 384 с.
10. Малышев С.В. Разработка технологии гидроразрыва пласта в газовых скважинах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.17. – М., 2009. – 19 с.
11. Патент № 2602437. Способ первичного вскрытия бурением горизонтального ствола в трещинном типе нефтегазонасыщенного карбонатного коллектора в условиях аномально-низких пластовых давлений / А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, В.М. Иванишин, Р.У. Сираев, Р.К. Разяпов, А.К. Сотников, К.А. Чернокалов. – Оpubл. 20.11.16. – Бюлл. № 32.
12. Патент № 2657052 Способ испытания и освоения флюидонасыщенного пласта-коллектора трещинного типа (варианты) / В.М. Иванишин, А.Г. Вахромеев, С.А. Сверкунов, Р.У. Сираев, И.В. Горлов, Ю.К. Ланкин. – Оpubл. 08.06.2018. – Бюлл. № 16.
13. Поляков В.Н., Ишкаев Р.К., Лукманов Р.Р. Технология заканчивания нефтяных и газовых скважин. – Уфа : Тау, 1999. – 408 с.
14. Харахинов В.В., Шленкин С.И. Трещинные резервуары нефти и газа. – Научный мир, 2015. – 284 с.

References:

1. Belonin M.D., Slavin V.I., Chilingar D.V. Abnormally high reservoir pressure : The origin, forecast, problems of development of hydrocarbon deposits / Ed. Doctors geol.- mineral. Sciences N.S. Oknovoy. – SPb. : Nedra, 2005. – 324 p.
2. Borevsky L.V. Analysis of the effect of physical deformations of reservoirs on the evaluation of explo. ground-water reserves in deep aquifers : Methods for the study and assessment of deep groundwater resources // Ed. Bondarenko S.S., Vartanyan G.S. – M. : Nedra, 1986. – 479 p.
3. Drilling of wells with horizontal termination in complex mining and geological conditions on the example of the natural carbonate reservoirs of the Riphean of the Baikitsky oil and gas-bearing region / S.A. Sverkunov [et al.]. – Irkutsk : Publishing house of INRTU, 206. – 204 p.
4. Geodynamic aspects of the study of complex mining and geological conditions of drilling the oldest carbonate reservoirs of Riphean oil and gas: an overview of the problem on the example of the fields of the Baikitsky oil and gas region / A.G. Vakhromeev [et al.] // Geodynamics and tectonophysics. – 2017. – № 8 (4). – P. 903–921.
5. Lithological and hydrodynamic factors determining the conditions of the initial opening and development of productive intervals of the Riphean natural reservoir of the Yurubcheno-Tokhomskiy OGKM according to geological field data of horizontal drilling and coring in inclined trunks / A.G. Vakhromeev [et al.] // Geology and Mineral Resources of Siberia. – 2015. – № 3 (23). – P. 68–82.
6. Golf-Rakht T.D. Basics of oilfield geology and the development of fractured reservoirs / Trans. from ang. N.A. Bardinoy, P.K. Golovanova, V.V. Vlasenko, V.V. Pokrovsky; Ed. A.G. Kovalova. – M. : Nedra, 1986. – 608 p.
7. Denk S.O. Problems of fractured productive objects. – Perm : Electronic Publishing Systems, 2004. – 334 p.
8. Hydrodynamic modeling of the first-priority development site of the Yurubcheno-Tokhomskoye field, taking into account the geomechanical effect of crack closing / Yu.A. Kashnikov [et al.] // Development and operation of oil fields. – 2011. – № 4. – P. 104–107.
9. Lucia F.J. Building a geological and hydrodynamic model of a carbonate reservoir: an integrated approach. – M. – Izhevsk : SIC «Regular and chaotic dynamics», Izhevsk Institute of comp. Ex., 2010, – 384 p.



10. Malyshev S.V. Development of hydraulic fracturing technology in gas wells: abstract of thesis Candidate of Technical Sciences: 25.00.17. – М., 2009. – 19 p.
11. Patent № 2602437. The method of primary drilling opening of a horizontal wellbore in a fractured type of oil and gas saturated carbonate reservoir under anomalously low reservoir pressure / A.G. Vakhromeev, S.A. Sverkunov, V.M. Ivanishin, R.U. Siraev, R.K. Razyapov, A.K. Sotnikov, K.A. Chernokalov. – Publ. 11/20/16. – Bull. № 32.
12. Patent № 2657052 A method for testing and mastering a fluid-saturated fractured-type reservoir (options) / V.M. Ivanishin, A.G. Vakhromeev, S.A. Sverkunov, R.U. Siraev, I.V. Gorlov, Yu.K. Lankin. – Publ. 08.06.2018. – Bulletin № 16
13. Polyakov V.N., Ishkaev R.K., Lukmanov R.R. Technology completion of oil and gas wells. – Ufa : Tau, 1999. – 408 p.
14. Kharakhinov V.V., Shlenkin S.I. Fractured reservoirs of oil and gas. – Scientific world, 2015. – 284 p.