АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИН АВТОГИДРОРАЗРЫВА НА НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

М.Ж.ДОСЖАНОВ,*
доктор технических наук,
профессор кафедры
«Нефтегазовый инжиниринг»
КУ им.Коркыт Ата,
<https://orcid.org/0000-0002-6634-1057>

Б.Н. ҚОЙЛЫБАЕВ,
магистр технических наук,
инженер-разработчик
АО «Каражанбасмунай»,
<https://orcid.org/0000-0002-8471-5104>

М.К. КАРАЖАНОВА,
PhD, доцент кафедры
«Нефтехимический инжини-
ринг» КУТИ им.Ш.Есенова,
<https://orcid.org/0000-0002-3451-9746>

Д.А. АХМЕТОВ,
магистр технических наук,
преподаватель,
Университет «Болашақ»,
<https://orcid.org/0000-0002-3398-4670>

Г.Ж.ТАСБОЛАТ,
магистр технических наук,
преподаватель,
Университет «Болашақ»,
<https://orcid.org/0000-0002-3790-2097>

*Адрес для переписки. E-mail: doszhanov55@mail.ru

КЫЗЫЛОРДИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ КОРКЫТ АТА,
Республика Казахстан, 120016, г. Кызылорда, ул. Айтеке би, 29А

Как показывает опыт разработки месторождений, незапланированный рост трещин нагнетательных скважин не всегда положительно сказывается на выработке запасов нефти, а наоборот, вызывает преждевременное обводнение добывающих скважин. В настоящее время большинство месторождений находится на завершающей стадии разработки, и увеличение охвата пласта заводнением является важной задачей разработки нефтяных месторождений.

В статье рассмотрены и проанализированы влияние приемистости нагнетательных скважин на рост трещин автогидро разрыва пласта и взаимосвязь с добычей нефти на примере месторождения Каражанбас (далее КБМ).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагнетательная скважина, трещина, авто-ГРП, ФЕС, ГДИС, скин-фактор, проницаемость, обводненность, фильтрация, литологическая разница.

АЙДАУ ҰҢҒЫМАЛАРЫНДАҒЫ АВТОГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЖАРЫҚТАРДЫҢ ҰЛҒАЮЫН ТАЛДАУ

ДОСЖАНОВ М.Ж.*, Техника ғылымдарының докторы, профессор, «Мұнай газ инженерингі», Қорқыт Ата атындағы ҚУ, <https://orcid.org/0000-0002-6634-1057>;

ҚОЙЛЫБАЕВ Б.Н., Техника ғылымдарының магистрі, «Қаражанбасмұнай» АҚ инженер-өзірлеушісі, <https://orcid.org/0000-0002-8471-5104>;

КАРАЖАНОВА М.К., PhD, «Мұнай-химия инженерингі» кафедрасының доценті, Ш. Есенов атындағы КТЖИУ, <https://orcid.org/0000-0002-3451-9746>;

АХМЕТОВ Д.А., Техника ғылымдарының магистрі, «Болашақ» университетінің оқытушысы, <https://orcid.org/0000-0002-3398-4670>;

ТАСБОЛАТ Ғ.Ж., Техника ғылымдарының магистрі, «Болашақ» университетінің оқытушысы, <https://orcid.org/0000-0002-3790-2097>

КОРҚЫТ АТА АТЫНДАҒЫ ҚЫЗЫЛОРДА УНИВЕРСИТЕТІ,
Қазақстан Республикасы, 120016, Қызылорда қ., Әйтеке би к-сі, 29А

Кен орындарын игеру тәжірибесі көрсеткендей, айдау ұңғымаларының жарықтарының жоспарланбаған өсуі әрдайым мұнай қорларын өндіруге оң әсер етпейді, керісінше өндіруші ұңғымалардың мерзімінен бұрын сулануына әкеледі. Қазіргі уақытта кен орындарының көпшілігі игерудің соңғы сатысында, ал резервуарды су басумен қамтуды арттыру мұнай кен орындарын игерудің маңызды міндеті болып табылады.

Мақалада айдау ұңғымаларының қабылдағыштығының қаттың авто-гидравликалық сынықтар жарықтарының өсуіне әсері және Қаражанбас кен орны (бұдан әрі-КБМ) мысалында мұнай өндірумен өзара байланысы қарастырылып, талданды.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: айдау ұңғымасы, жарықшақ, АВТО-ГРП, ФЕС, ГДИС, тері факторы, өткізгіштігі, сулану, сүзу, литологиялық айырмашылық.

ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF AUTO-HYDRAULIC FRACTURES ON WATER INJECTION WELLS

M.ZH. DOSZHANOV*, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of "Oil and Gas Engineering", KU Korkyt ATA, <https://orcid.org/0000-0002-6634-1057>;

B.N. ALYBAEV, Master of science, Development engineer, JSC "Karazhanbasmunai", <https://orcid.org/0000-0002-8471-5104>;

M. K. KARAZHANOVA, PhD, associate Professor of "Petrochemical engineering" of KHUTI name Sh. Yesenova, <https://orcid.org/0000-0002-3451-9746>;

D.A. AKHMETOV, Master of Technical Sciences, Lecturer, Bolashak University, <https://orcid.org/0000-0002-3398-4670>;

G.ZH.TASBOLAT, Master of Technical Sciences, Lecturer, Bolashak University, <https://orcid.org/0000-0002-3790-2097>

KYZYLORDA UNIVERSITY NAMED AFTER KORKYT ATA,
Republic of Kazakhstan, 120016, Kyzylorda, 29A, Aiteke bi Str

As the experience of field development shows, the unplanned growth of cracks in injection wells does not always have a positive effect on the development of oil reserves, but on the contrary, causes premature flooding of producing wells. At present, most of the fields are in the final stage of development, and increasing the coverage of the reservoir by flooding is an important task for the development of oil fields.

The article considers and analyzes the influence of injection wells on the growth of hydraulic fracturing cracks and the relationship with oil production on the example of the Karazhanbas field (hereinafter referred to as the KBM).

KEY WORDS: injection well, crack, auto-fracturing, FES, GDIS, skin factor, permeability, water cut, filtration and lithological difference.

АНАЛИЗ И КРАТКИЙ ОБЗОР НАУЧНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Процесс образования трещин авто-ГРП в нагнетательных скважинах при неблагоприятных условиях может существенно снижать эффективность разработки. В первую очередь, это связано с подключением к закачке дополнительных, не вскрытых перфорацией толщин.

Данный факт не может не сказаться на результатах гидродинамических исследований, поскольку подключаемые к закачке неперфорированные толщины могут существенно отличаться по своим энергетическим и фильтрационно-емкостным свойствам.

Классический подход к интерпретации в таких условиях способен дать лишь интегральные характеристики работающих пластов [1, 2, 3], хотя зачастую информация об макронеоднородности разреза является весьма актуальной задачей для правильной стратегии разработки нефтяных месторождений.

Анализ многих литературных источников по данной тематике свидетельствуют в пользу того, что основной тип наблюдаемых каналов фильтрации – это либо узкий слой на границе литологической разницы, либо техногенные трещины авто-ГРП, возникающие под воздействием интенсивной закачки [8].

Развитие трещин авто-ГРП на нагнетательных скважинах имеет важные отличия от процесса образования трещин при ГРП. Во-первых, при операции ГРП одна из основных задач – это минимизация утечек жидкости в пласт, в то время как для нагнетательных скважин такая цель не преследуется. Во-вторых, операция ГРП в настоящее время занимает от нескольких часов до суток, а техногенные трещины как авто-ГРП могут развиваться и распространяться месяцы и годы. И, наконец, техногенно-образованная трещина не является закрепленной, в отличие от трещины, закрепленной проппантом при ГРП [2, 4].

Контроль нестабильных трещин авто-ГРП является отдельной задачей при рассмотрении информативных возможностей методов ГДИС, поскольку в процессе закачки трещина способна подключать дополнительно работающие пласты. Этот факт может быть диагностирован по отличию гидропроводности пластовой системы, оцениваемой в цикле закачки (при открытой трещине) и остановки скважины (когда трещина закрывается) [2, 3].

На основе данного эффекта появляется возможность количественно оценить непроизводительную закачку. Но обоснование технологии проведения исследований и информативности получаемого результата – непростая задача. Дело в том, что для достоверной интерпретации ГДИС необходимо изучить влияние на результат исследований размеров трещины по высоте и простиранию, параметров неперфорированных пластов, соотношения пластовых давлений перфорированных и неперфорированных толщ и других факторов [6, 7]. Нужно также понять, какие данные могут быть получены по результатам интерпретации дополнительных циклов ГДИС и какую пользу несет дополнительная априорная информация [5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Проблемы по развитию техногенно-образованных трещин рассматривалось на примере скважины X Каражанбасского месторождения Мангистауской области, нефтеносность которого приурочена к отложениям нижнего мела и верхний юры. Основные промышленные запасы залежи связаны в целом по месторождению с пластом Г, который формировался в прибрежно-морской обстановке.

Предложенная зона эксплуатируется семиточечной системой разработки, где синим и зеленым цветом выделены нагнетательные и добывающие скважины. Для данного месторождения полярный угол направления регионального стресса равен 140° , это значит, что раскрытие трещин будет происходить именно в этом направлении и в противоположном 62° . Таким образом, влияющей нагнетательной скважиной для добывающих скважины А, В, С, D, Е, F будет являться скважина X. Как видно на *рисунке 1*, при переводе в ППД скважина X в середине 2017 года начала эксплуатацию с высокой приемистостью для месторождения КБМ, равной $65 \text{ м}^3/\text{сут}$, результаты перевода сразу отобразились на добывающей скважине А находящейся на 183 м на северо-западе, а именно произошел скачок обводненности с 84% до 96%, что послужило первым доказательством увеличения длины трещины ГРП. Спустя 3 мес. произошло снижение приемистости до $45 \text{ м}^3/\text{сут}$. В октябре 2018 года для увеличения эффективности ППД было решено увеличить уровень закачки до $75 \text{ м}^3/\text{сут}$, что сказалось на добывающих скважинах А, В, D, Е, скачком в среднем с 89% до 96%. После проведения мероприятий на скважине и увеличения приёмистости в марте 2019 года до $85 \text{ м}^3/\text{сут}$ произошло полное раскрытие трещины авто-ГРП до скважины А. Уровень обводненности скважинной продукции при этом достиг 99%. Для снижения обводненности были приняты меры по ограничению закачки на нагнетательной скважине до $50 \text{ м}^3/\text{сут}$, которые уменьшили дебит жидкости, но слабо отразились на графике обводненности.

Анализ кривой падения давления (КПД) – один из самых низкозатратных и простых методов получения характеристик трещины, образованной при закачке воды. Данный вид исследования проводилось методом нестационарной фильтрации с целью определения фильтрационных характеристик пласта и оценки состояния призабойной зоны скважины.

Обработка данных как кривой падения давления проводилась при помощи специализированного программного продукта Saphire Ecrin Karra (Франция). Расчет параметров производился на глубине 440.65 м – средние отверстия перфорации.

Рисунок 1 – Карта расположения по текущему отбору

Рисунок 2 – График обводненности и приёмистости на сетке X

Таблица 1 – Вводные данные по скважинам

Номер скважины	Х
Месторождение	Каражанбасмунай
Цех	ЦППД
Горизонт эксплуатации	Г
Тип скважины	Нагнетательная
Вид ГДИ	КПД
Даты проведения	26-29 октября 2019г.
Эффективная толщина целевого пласта, м	7
Глубина спуска прибора, м	440.65
Продолжительность ГДИ, ч	71.10
Радиус скважины, м	0.08415
Пористость, д.ед.	0.34
Объёмный коэффициент жидкости	1.003
Вязкость жидкости, сПз (мПа*с)	1.01550
Общая сжимаемость системы, МПа ⁻¹	0.0109

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В октябре 2019 г. на скважине Х было проведено исследование кривой падения давления глубинным манометром. Выход на радиальный режим четко не прослеживается (сказывается интерференция соседних скважин), поэтому значение величины kh фиксировалось на уровне 325.22 мД*м. Таким образом, скин-фактор равен -4.62 полудлина трещины – 17.43 м, что еще раз доказывает присутствие линейного режима, так как в идеале наличие трещины диагностируется по параллельным линиям с уклоном 1/2 на начальном и среднем участке, что характеризует линейное течение к трещине на данной нагнетательной скважине.

Данный график (рисунок 3) служит для проверки фактических и смоделированных параметров: зеленые точки – фактическое изменение давления, красная линия – смоделированные изменение давления. Появление трещины авто-ГРП не всегда является критической ситуацией для нагнетательных скважин, поскольку одно из их основных предназначений – поддержание пластового давления. Однако наличие трещины может приводить к негативным последствиям, поскольку изменение ее геометрии носит неконтролируемый характер. Так, с увеличением репрессии происходит рост геометрических размеров трещины как по простиранию, так и по высоте [6].

Как уже наблюдалось на сетке Х, с появлением техногенных трещин с огромными (сравнимыми с расстоянием между скважинами) длинами связаны риски внештатного взаимовлияния скважин и потерь добычи вследствие прорывов нагнетаемой воды.

Не менее серьезны риски неуправляемого увеличения высоты трещины. В этих условиях трещина может стать своеобразным каналом перетока, подключая к закачке не вскрытые перфорацией толщины. В случае разработки

Рисунок 3 – График изменения давления во времени в логарифмических координатах ($\log dP - \log dt$) и производная давления

многопластовых систем дополнительно подключенные пласты трещиной авто-ГРП могут существенно менять режим закачки в целевые пласты, тем самым уменьшая компенсацию [3, 7, 9].

ВЫВОДЫ

На сегодняшний день одна из самых существенных проблем, возникающих вследствие образования трещин авто-ГРП – это уход воды в нецелевые интервалы. Именно этот фактор способствует невыполнению промышленных планов по поддержанию пластового давления и вызывает снижение добычи. Имеющиеся на сегодняшний день методы оценки компенсации пластового давления основываются на расчетах материального баланса. Однако данные расчеты имеют ряд предположений, таких как знание объема резервуара, наличие информации о силе аквифера, текущем давлении резервуара и особенно – о поступающем в пласт объеме закачки. Приблизительная оценка данных параметров приводит к существенной ошибке оценки текущего состояния разработки.

Результаты многочисленных проведенных промысловых исследований показывают, что на месторождениях КБМ присутствуют трещины авто-ГРП в нагнетательных скважинах, что требует систематического изучения явления авто-ГРП.

Применение совокупности методов диагностики дает возможность адаптировать в расчетных моделях неизвестные параметры образования трещин авто-ГРП и существенно повысить достоверность расчетов 🧑🔬.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Бузинов С.Н., Умрихин И.Д. Гидродинамические методы исследования скважин и пластов. – М.: Недра, 1973. – 246 с. [Buzinov S.N., Umrihin I.D. Gidrodinamicheskie metody issledovaniya skvazhin i plastov. – М.: Nedra, 1973. – 246 s.]
- 2 Araya A., Ozkan, E. An Account of Decline-Type Curve Analysis of Vertical, Fractured, and Horizontal Well Production Data, SPE 77690// SPE Annual Technical Conference and Exhibition. – San Antonio, Texas, 2002.
- 3 Hagoort J. Waterflooded induced hydraulic fracturing: Dphil – Delft, 1981. – 230 p.
- 4 Главнов Н.Г., Лихтарев А.В., Анурьев Д.А., Молодых П.В., Чикишев А.Ю. Влияние приемистости нагнетательных скважин на положение зарезки бокового ствола // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 11. – С. 42–44. [Glavnov N.G., Lihtarev A.V., Anur'ev D.A., Molodyh P.V., Chikishev A.YU. Vliyanie priemistosti nagnetatel'nyh skvazhin na polozhenie zarezki bokovogo stvola // Neftyanoe hozyajstvo. – 2008. – № 11. – S. 42–44.]
- 5 Agnew B.G. Evaluation of Fracture Treatments With Temperature Surveys, SPE-1287 // Journal of Petroleum Technology. – 1966. - №17. – pp. 892-898.
- 6 Dozier G.C. "Don't Let the Temperature Log Fool You" – False Indications of Height Containment From Case Studies in a Tectonically Stressed Environment, SPE-25869 // Society of Petroleum Engineers, 2009. – p. 346-356 151. Earlouger R.C. Advances in Well Test Analysis, Monograph Series, SPE, Dallas, 1977
- 7 Economides M.J., Observations and Recommendations in the Evaluation of Tests of Hydraulically Fractured Wells // SPE. – 1987
- 8 Надиров Н.К. Нефть: вчера, сегодня, завтра. – Алма-Ата : Казахстан, 1983. – 213 с. [Nadirov N.K. Neft': vchera, segodnya, zavtra. – Alma-Ata : Kazahstan, 1983. – 213 s.]
- 9 Досжанов М.Ж., Муликова М., Дабысов А., Юсупова Л.Е. Сравнение некоторых видов действия электрического тока на повышение нефтеотдачи пласта. XII Международная научно-практическая конференция. Praha Publishing House «Education and Science» s.r.o. г. Прага, 2016. [Doszhanov M.ZH., Mulikova M., Dabysov A., YUsupova L.E. Sravnenie nekotoryh vidov dejstviya elektricheskogo toka na povyshenie nefteotdachi plasta. XII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Praha Publishing House «Education and Science» s.r.o. g. Praga, 2016.]