

Industrial Transport of Kazakhstan  
ISSN 1814-5787 (print)  
ISSN 3006-0273 (online)  
Vol. 22. Is. 3. Number 87 (2025). Pp. 19–31  
Journal homepage: <https://prom.mtgu.edu.kz>  
<https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.002>

УДК 622.276.43

## INTERACTION OF RING BATTERY WELLS

*K. Estekova<sup>1\*</sup>, M. Aldanova<sup>1\*</sup>, A. Sladkovski<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>International University of Transport and humanities;

<sup>2</sup>Silesian Technical University, Poland, Katowice.

E-mail: [estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz](mailto:estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz)

**Kanshaiym Estekova** — candidate of historical sciences, International University of Transport and humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz](mailto:estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

**Margarita Aldanova** — senior lecturer, International University of Transport and humanities, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: [ritka111@mail.ru](mailto:ritka111@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

**Aleksandr Sladkovski** — doctor of Technical Sciences, professor, Silesian Technical University, Poland, Katowice.

E-mail: [aleksander.sladkowski@polsl.pl](mailto:aleksander.sladkowski@polsl.pl), <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© K. Estekova, M. Aldanova, A. Sladkovski

**Abstract.** This study examines the development and operation of wells, as well as the phenomenon of well interference in productive reservoirs. The relevance of the topic is determined by the need to optimize the operation of oil and gas fields and minimize losses during drilling and production, taking into account the hydrodynamic connection between wells. The aim of the research is to analyze the inflow of liquids and gases to wells, assess interference effects, and evaluate the impact of various operational modes of well batteries. The objectives include studying well operation modes, determining interference coefficients, analyzing well placement in a ring battery configuration, and assessing the influence of well design and fluid properties on total well production. The study analyzed three well operation modes: constant bottom-hole pressure, constant flow rate, and variable parameters. It was found that the total production of a group of wells depends on their arrangement and number, and interference coefficients allow predicting the reduction in the efficiency of individual wells. Placement of wells in a ring battery configuration contributes to optimizing field performance and minimizing mutual influence between wells. The results confirm the importance of a comprehensive approach to well planning and operation, considering both hydrodynamic connections and physical-chemical properties of the fluid. Practical applications include selection of operational modes, forecasting the efficiency of water or gas injection activities, and optimizing the planned number of wells.

**Keywords:** wells, drilling, interference, flow rate, pressure, ring battery, porous medium.

**For citation:** K. Estekova, M. Aldanova, A. Sladkovski. Interaction of ring battery wells//Industrial Transport of Kazakhstan. 2025. Vol. 22. No. 87. Pp. 19–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.002>

**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest.

САҚИНАЛЫ БАТАРЕЯ ҰҢҒЫМАЛАРЫНЫҢ ӨЗАРА ӘРЕКЕТТЕСУІ



*К. Естекова<sup>1</sup>, М. Алданова<sup>1\*</sup>, А. Сладковский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

<sup>2</sup>Силез техникалық университеті, Катовице, Польша.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz

**Каншайым Естекова** — т.ғ.к., Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz, <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

**Маргарита Алданова** — аға оқытушы, Халықаралық көліктік-гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан.

E-mail: ritka111@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

**Александр Сладковский** — т.ғ.к., Силез техникалық университеті, Катовице, Польша.

E-mail: aleksander.sladkowski@polsl.pl, <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский

**Аннотация.** Бұл зерттеуде ұңғымаларды дамыту және пайдалану мәселелері, сондай-ақ өндіруші қабаттардағы ұңғымалардың өзара әрекеттесуі қарастырылған. Зерттеу тақырыбының өзектілігі мұнай-газ кен орындарының тиімділігін арттыру және ұңғымаларды бұрғылау мен пайдалану кезінде шығындарды азайту қажеттілігімен анықталады, ұңғымалардың гидродинамикалық байланысын ескере отырып. Зерттеудің мақсаты — ұңғымаларға сұйықтық пен газдың келу заңдылықтарын талдау, өзара әсер ету эффектілерін бағалау және ұңғымалар батареясының әртүрлі жұмыс режимдерінің әсерін анықтау. Зерттеу міндеттері: ұңғымалардың жұмыс режимдерін зерттеу, өзара әрекеттесу коэффициенттерін анықтау, ұңғымаларды шеңберлі батарея түрінде орналастыруды талдау, сондай-ақ ұңғыманың конструкциясы мен қабат сұйықтығының физикалық қасиеттерінің жалпы дебитке әсерін бағалау. Зерттеу барысында үш жұмыс режимі қарастырылды: тұрақты шұңқыр қысымы бар режим, тұрақты дебит режимі және параметрлері өзгертін режим. Ұңғымалардың жалпы дебиті олардың орналасуы мен санына байланысты екені анықталды, ал өзара әрекеттесу коэффициенттері жеке ұңғымалардың тиімділігін болжауға мүмкіндік береді. Шеңберлі батарея түрінде ұңғымаларды орналастыру кен орнының жұмысын оңтайландыруға және ұңғымалардың өзара әсерін азайтуға көмектеседі. Зерттеу нәтижелері бұрғылау және пайдалану жоспарын әзірлеуде кешенді тәсілдің маңызды екенін, сондай-ақ сұйықтықтың физикалық-химиялық қасиеттерін және ұңғымалардың гидродинамикалық байланысын ескеру қажеттілігін растайды. Практикалық қолдану: жұмыс режимін таңдау, су және газ қысымын бақылау шараларының тиімділігін болжау және жобалық ұңғымалар санын оңтайландыру.

**Түйін сөздер:** ұңғымалар, бұрғылау, өзара әрекеттесу, дебит, қысым, шеңберлі батарея, қуысты орта

**Дәйексөздер үшін:** К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский. Сақиналы батарея ұңғымаларының өзара әрекеттесуі//Қазақстан өндіріс көлігі. 2025. Том. 22. № 87. 19–31 бет. (Орыс тіл.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.002>

**Мүдделер қақтығысы:** Авторлар осы мақалада мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СКВАЖИН КОЛЬЦЕВОЙ БАТАРЕИ

*К. Естекова<sup>1</sup>, М. Алданова<sup>1\*</sup>, А. Сладковский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Силезский технический университет, Катовице, Польша.

E-mail: estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz

**Каншайым Естекова** — к.т.н., Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: [estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz](mailto:estekova.kanshaim@mtgu.edu.kz), <https://orcid.org/0009-0002-4965-9941>;

**Маргарита Алданова** — старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан.

E-mail: [ritka111@mail.ru](mailto:ritka111@mail.ru), <https://orcid.org/0009-0001-0608-5813>;

**Александр Сладковский** — к.т.н., Силезский технологический университет, Катовице, Польша.

E-mail: [aleksander.sladkowski@polsl.pl](mailto:aleksander.sladkowski@polsl.pl), <https://orcid.org/0000-0002-1041-4309>.

© К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский

**Аннотация.** В настоящем исследовании рассматриваются вопросы разработки и эксплуатации скважин, а также явление взаимодействия скважин в продуктивных пластах. Актуальность темы определяется необходимостью оптимизации работы нефтегазовых месторождений и минимизации потерь при бурении и эксплуатации, учитывая гидродинамическую связь между скважинами. Цель работы — анализ закономерностей притока жидкости и газа к скважинам, оценка эффектов интерференции и влияние различных режимов работы батарей скважин. Задачи исследования включают изучение режимов работы скважин, определение коэффициентов взаимодействия, анализ размещения скважин в виде кольцевой батареи, а также оценку влияния конструкции скважины и физических свойств пластовой жидкости на суммарный дебит. В ходе исследования были проанализированы три режима работы скважин: с постоянным забойным давлением, с постоянным дебитом и с изменяющимися параметрами. Выявлено, что суммарный дебит группы скважин зависит от их расположения и числа, а коэффициенты взаимодействия позволяют прогнозировать снижение эффективности отдельных скважин. Расположение скважин в форме кольцевой батареи способствует оптимизации работы месторождения и минимизации взаимного влияния скважин. Результаты работы подтверждают важность комплексного подхода к планированию бурения и эксплуатации, учитывающего гидродинамическую связь между скважинами и физико-химические свойства жидкости. Практическое применение результатов включает выбор режима эксплуатации, прогнозирование эффективности водонапорных и газонапорных мероприятий, а также оптимизацию проектного числа скважин.

**Ключевые слова:** скважины, бурение, интерференция, дебит, давление, кольцевая батарея, пористая среда.

**Для цитирования:** К. Естекова, М. Алданова, А. Сладковский. Взаимодействие скважин кольцевой батареи//Промышленный транспорт Казахстана. 2025. Т. 22. No. 87. Стр. 19–31. (На рус.). <https://doi.org/10.58420/ptk/2025.87.03.002>

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Введение

Ввод в эксплуатацию новых скважин создаёт новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине; в новых условиях поток распределяется между всеми действующими скважинами, которые образуют батарею скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 112–115). Взаимодействие скважин кольцевой батареи — совместное действие в пласте большой протяженности эксплуатационных скважин, центры которых помещаются в вершинах правильного многоугольника, формируя кольцевую батарею (Грей, 2001: 45–49). Проблемная ситуация заключается в том, что до настоящего времени отсутствуют комплексные исследования, учитывающие влияние кольцевой батареи скважин на суммарный дебит при различных режимах работы и неоднородных пластах (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 78–82).

Актуальность темы определяется общим интересом к изучению закономерностей работы скважин в батареях и необходимости оптимизации их размещения для повышения экономической эффективности добычи углеводородов (Konyukhov, Krasnov, Chekalin, 2017: 135–140). Несмотря на существующие теоретические и практические исследования, отсутствует исчерпывающий анализ влияния различных режимов работы, неоднородности пласта и анизотропии на суммарный дебит батареи (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 67–72).

Объект исследования — эксплуатационные скважины на нефтяных и газовых месторождениях, объединённые в батареи (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 120–125). Предмет исследования — процессы взаимодействия скважин (интерференция) и их влияние на дебит и забойное давление при различных режимах работы и структурно-неоднородных условиях пласта (Грей, 2001: 50–53).

Цель исследования — изучить закономерности взаимодействия скважин в батарее и определить оптимальные условия их размещения и эксплуатации для максимизации суммарного дебита (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 80).

Задачи исследования:

- Проанализировать влияние количества скважин и их расположения на суммарный дебит батареи.
- Исследовать эффект интерференции при различных режимах работы скважин.
- Оценить влияние неоднородности и анизотропии пласта на взаимодействие скважин.
- Разработать рекомендации по оптимальному размещению скважин в кольцевой батарее.

В работе использованы методы подземной газогидродинамики, математического моделирования фильтрации несжимаемой жидкости, а также анализ существующих экспериментальных и промысловых данных (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 81; Кроршмак, Шамазов, 2016).

Предполагается, что оптимальное размещение скважин в кольцевой батарее с учётом неоднородности и анизотропии пласта позволяет максимизировать суммарный дебит при минимальном числе эксплуатационных скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 125–127).

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанных рекомендаций при проектировании разработки месторождений, что способствует повышению экономической эффективности добычи нефти и газа (Грей, 2001: 53; Муравьев, Андриасивов, 2018). Теоретическая значимость — уточнение закономерностей интерференции скважин и их влияния на дебит и давление в сложных геологических условиях (Мухер, Шакиров, 1981; Итенберг, Дахкильгов, 1982: 72).

#### **Материалы и методы.**

Ввод в эксплуатацию новых скважин создаёт новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине; в новых условиях поток направляется не к одной скважине, а распределяется между всеми действующими скважинами, которые образуют батарею скважин (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 112–115).

Взаимодействие скважин кольцевой батареи — это совместное действие в пласте большой протяженности эксплуатационных скважин, центры которых помещаются в вершинах правильного треугольника, так что скважины образуют кольцевую батарею. На окружности контур питания пласта удален от скважин на расстояние, значительно превышающее радиус кольцевой батареи, при этом приближенно можно считать, что все скважины находятся на одинаковом расстоянии (Грей, 2001: 45–49).

Когда действуют батареи скважин в пласте большой протяженности, например, при водонапорном режиме, тогда жидкость можно рассматривать как несжимаемую (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 78–82).

Если же в пласте растворенного газа площадь, занятая газированной жидкостью, простирается до границ пласта, которые больше площади внутри окружности батареи, тогда

фильтрационное поле всякой кольцевой батареи с равнедебитными скважинами, размещенными в вершинах правильного многоугольника, делится на столько одинаковых частей (секторов), сколько скважин в батарее (Konyukhov, Krasnov, Chekalin, 2017: 135–140).

Скважины, используемые для водозабора, представляют собой подземное заборное сооружение и состоят из обсаженной горной выработки и оборудования для забора подземной воды (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 67–72).

Взаимодействие скважин, влияние откачки воды из одной скважины (или колодца) на другие, выражающееся в том, что воронки депрессий, создаваемые откачкой, частично перекрывают друг друга, вследствие чего производительность каждой скважины снижается (Мухер, Шакиров, 1981: 90–95).

Интерференция скважин — это взаимодействие работающих нефтяных, газовых или водяных скважин, пробуренных с поверхности на один продуктивный пласт или на разные, но гидродинамически связанные пласты (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 118–120). Она обусловлена тем, что нефть, газ и вода подвижны, а поры продуктивных пластов связаны в единую систему поровых каналов и трещин. При этом скважины одинакового назначения «мешают» друг другу, перехватывая притекающую к ним жидкость (или газ). В результате дебит каждой из нескольких работающих скважин всегда меньше дебита единичной скважины при прочих равных условиях (Грей, 2001: 50–53).

Этот факт обуславливает принципиальную особенность разработки месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых: все эксплуатационные скважины рассматриваются только в совокупности, в их взаимодействии в общем технологическом процессе разработки. Законы интерференции изучаются специальной наукой о фильтрации — подземной газогидродинамикой (Чарный, 2006: 45–48).

Бурение — это процесс сооружения скважины путем разрушения горных пород (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 101–105). Скважиной называют горную выработку круглого сечения, сооружаемую без доступа в нее людей, у которой длина во много раз больше диаметра (Грей, 2001: 30–35).

Верхняя часть скважины называется устьем, дно — забоем, боковая поверхность — стенкой, а пространство, ограниченное стенкой, — стволом скважины. Длина скважины — это расстояние от устья до забоя по оси ствола, а глубина — проекция длины на вертикальную ось. Длина и глубина численно равны только для вертикальных скважин, однако они не совпадают у наклонных и искривленных скважин (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 70–71).

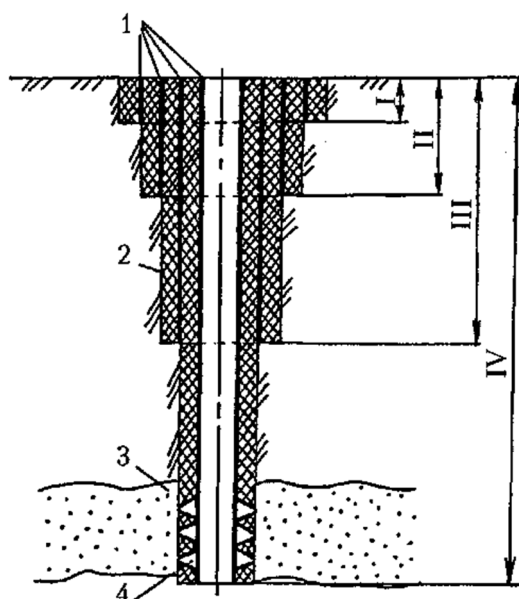


Рис. 1. Конструкция скважины: 1-обсадные трубы; 2-цементный камень; 3-пласт; 4-перфорация в обсадной трубе и цементном камне; I-направление; II-кондуктор; III-промежуточная колонна; IV - эксплуатационная колонна.

Элементы конструкции скважин приведены на рис. 1. Начальный участок I скважины называют направлением. Поскольку устье скважины лежит в зоне легкоразмываемых пород, его необходимо укреплять. В связи с этим направление выполняют следующим образом: сначала бурят шурф — колодец до глубины залегания устойчивых горных пород (4–8 м), затем в него устанавливают трубу необходимой длины и диаметра, а пространство между стенками шурфа и трубой заполняют бутовым камнем и заливают цементным раствором (Телков, Грачёв, Краснов, Сохошко, 2000: 35–38).

Нижерасположенные участки скважины — цилиндрические. Сразу за направлением бурится участок на глубину от 50 до 400 м диаметром до 900 мм. Этот участок скважины закрепляют обсадной трубой — кондуктором II (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 110–112).

Затрубное пространство кондуктора цементируют. С помощью кондуктора изолируют неустойчивые, мягкие и трещиноватые породы, осложняющие процесс бурения.

После установки кондуктора не всегда удается пробурить скважину до проектной глубины из-за прохождения новых осложняющих горизонтов или необходимости перекрытия продуктивных пластов, которые не планируется эксплуатировать данной скважиной. В таких случаях устанавливают и цементируют еще одну колонну — промежуточную III (Муравьев, Андриасивов, 2018: 120–125). Если продуктивный пласт, для разработки которого предназначена скважина, залегает очень глубоко, количество промежуточных колонн может быть больше одной.

Последний участок IV скважины закрепляют эксплуатационной колонной. Она предназначена для подъема нефти и газа от забоя к устью скважины или для нагнетания воды (газа) в продуктивный пласт с целью поддержания давления в нем. Во избежание перетоков нефти и газа в вышележащие горизонты, а воды — в продуктивные пласты, пространство между стенкой эксплуатационной колонны и стенкой скважины заполняют цементным раствором (Кроршмак, Шамазов, 2016: 95–100).

Для извлечения из пластов нефти и газа применяют различные методы вскрытия и оборудование забоя скважины. В большинстве случаев в нижней части эксплуатационной колонны, находящейся в продуктивном пласте, простреливают (перфорируют) ряд отверстий в стенке обсадных труб и цементной оболочке (Дияшев, Хисамов, Конюхов, Чекалин, 2012: 110–115).

В устойчивых породах призабойную зону скважины оборудуют различными фильтрами и не цементируют или обсадную колонну опускают только до кровли продуктивного пласта, а его разбуривание и эксплуатацию производят без крепления ствола скважины (Мухер, Шакиров, 1981: 120–123).

Устье скважины в зависимости от её назначения оборудуют арматурой: колонная головка, задвижки, крестовина и др. (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 130–133).

При поисках, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений бурят опорные, параметрические, структурные, поисковые разведочные, эксплуатационные, нагнетательные, наблюдательные и другие скважины (Норман, 2008: 200–205).

Важнейшей характеристикой пористой среды, определяющей её вместимость, является пористость — доля объема пористой среды, приходящаяся на пустоты. При этом учитываются лишь те пустоты, по которым может двигаться жидкость (Чарный, 2006: 50–55).

Движение жидкости в пористой среде называется фильтрацией. Другой важнейшей характеристикой пористой среды, определяющей её способность пропускать через себя жидкость, является проницаемость. Чем выше проницаемость среды, тем быстрее будет движение жидкости, т.е. тем больше будет её скорость фильтрации (Итенберг, Дахкильгов, 1982: 95–100).

Под скоростью фильтрации понимают количество жидкости, которое протекает через единичное сечение пористой среды в единицу времени. Скорость фильтрации зависит не только от строения пористой среды, но и от свойств жидкости, прежде всего её вязкости. Чем больше вязкость жидкости, тем меньше скорость её фильтрации (Грей, 2001: 75–80).

Нефтяные пласты залегают на большой глубине. В стране основные залежи нефти находятся на глубине 1–3 км. Поэтому пласт испытывает колоссальное давление массива вышележащих горных пород. Горное давление воспринимает на себя как скелет пласта, так и находящаяся в его порах жидкость. Давление в жидкости называют пластовым давлением (Булатов, Проселков, Шаманов, 2003: 140–145).

Нефтяной пласт — это твердое тело, содержащее связанные между собой пустоты, называемые порами, и находящиеся в них нефть с пластовой водой. Твердая часть пласта называется его скелетом. Строение порового пространства естественных пород носит сложный, неупорядоченный характер, а размеры пор весьма малы, что хорошо видно на фотографиях различных образцов пород, сделанных с помощью электронного микроскопа при увеличении в 500 раз (Телков, Грачёв, Краснов, Сохошко, 2000: 55–60).

### **Результаты**

Опорные скважины закладываются в районах, не исследованных бурением, и служат для изучения состава и возраста слагающих их пород.

Параметрические скважины закладываются в относительно изученных районах с целью уточнения их геологического строения и перспектив нефтегазоносности.

Структурные скважины бурятся для выявления перспективных площадей и их подготовки к поисково-разведочному бурению.

Поисковые скважины бурят с целью открытия новых промышленных залежей нефти и газа.

Разведочные скважины бурятся на площадях с установленной промышленной нефтегазоносностью для изучения размеров и строения залежи, получения необходимых исходных данных для подсчета запасов нефти и газа, а также проектирования ее разработки.

Эксплуатационные скважины закладываются в соответствии со схемой разработки залежи и служат для получения нефти и газа из земных недр.

Нагнетательные скважины используют при воздействии на эксплуатируемый пласт различных агентов (закачки воды, газа и т.д.).

Наблюдательные скважины бурят для контроля за разработкой залежей (изменением давления, положения водонефтяного и газонефтяного контактов и т.д.).

Кроме того при поиске, разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений бурят картировочные, сейсморазведочные, специальные и другие скважины.

Суммарный дебит батарей не пропорционален числу скважин и расстоянию между ними. С увеличением числа скважин дебит каждой скважины будет уменьшаться, если давление в скважинах принимается неизменным. Это объясняется влиянием скважин друг на друга - «интерференцией» скважин. Если единственная скважина, то в этой эксплуатационной скважине в пласте поток жидкости или газа направляется только к ней. Ввод в эксплуатацию новых скважин создает новые условия для притока жидкости или газа к этой скважине и тогда поток направляется не к одной скважине, а распределяется между всеми действующими скважинами.

Эффект взаимодействия (интерференции) скважин может просматриваться при различных режимах работы.

В зависимости от режима, который устанавливается в той или иной скважине будут наблюдаться различные эффекты взаимодействия.

Предположим, что первоначально в пласте действовала только одна эксплуатационная скважина, в которой поддерживалось постоянное давление на забой при неизменном давлении на контуре питания пласта.

В процессе последующей разработки пласта были пущены в эксплуатацию новые скважины так, что все действующие скважины вместе с той, что была единственной и образуют батарею скважин.

Вопреки распространенному мнению, нефть и газ не залегают в виде больших рек и озер под земной поверхностью (хотя мы и говорим о нефтяных пластах). На самом деле углеводороды - сырая нефть и природный газ, образованные из углерода и водорода, входящих в состав остатков древних растительных и животных форм, находятся в виде флюидов в пространстве пор осадочных пород.

Накопление и залегание нефти и других углеводородов тесно связано с донными отложениями. Слои ила и других морских и пресноводных осадков, содержащие изначально разлагающиеся и гниющие остатки растений и животных, называются материнскими пластами. Материнский пласт как правило включает два вида пород - темный морской сланец и морской известняк. Как результат постоянного сжатия материнского пласта, который содержит трансформируемые отложения, давление и температура повышались, достигая значений достаточно высоких для того, чтобы образовавшиеся нефть и газ выходили из материнской породы наружу и скапливались в прилегающих пористых и достаточно проницаемых для этого породах, например таких как песчаники, различные породы карбонатного состава (известняки) и доломиты. Такие породы называются породами-коллекторами и служат хранилищами мигрирующих углеводородов.

На рисунке 2 проиллюстрировано, как масса вышележащих слоев горной породы сдавливает подстилающий слой на дне моря, выталкивая углеводороды из материнского пласта вверх, в породу-коллектор)

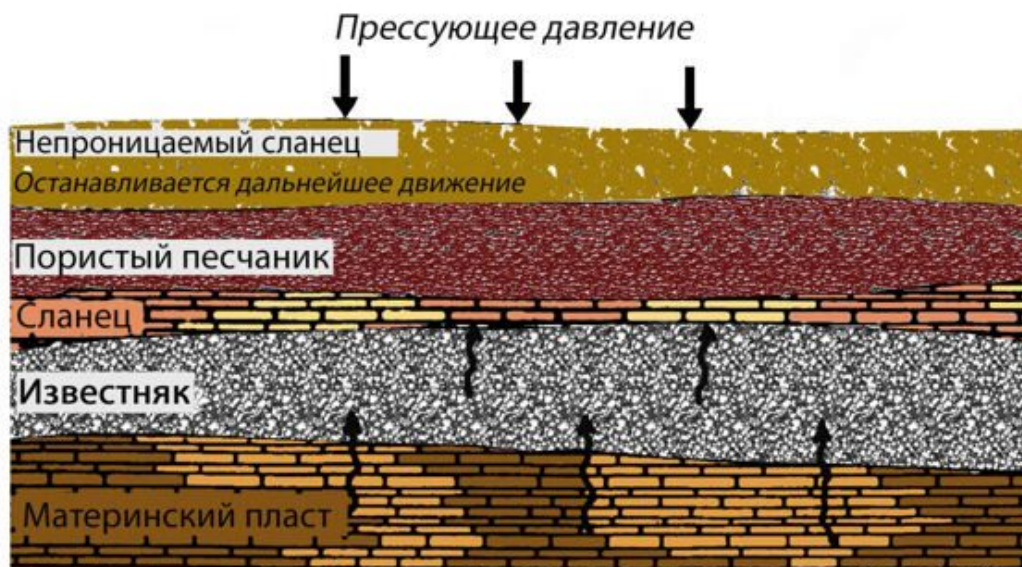


Рис. 2. Прессующее давление

Но как же может нефть или газ проходить через скальную породу? Разве порода не твердая? В действительности нет.

В горной породе находится множество крошечных пустот, которые называются порами.

На рисунке 3 показано, как газ, нефть и вода в коллекторе стремятся разделить в соответствии с величиной их плотности.

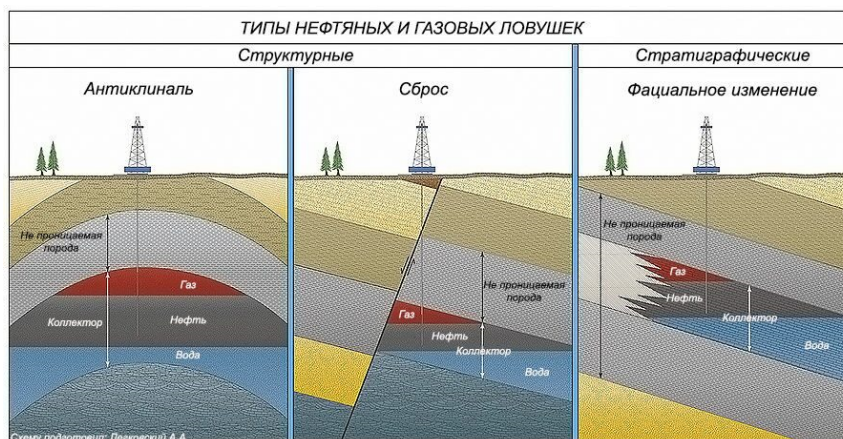


Рис. 3. Типы нефтяных и газовых ловушек

Приток жидкости или газа к скважинам установившийся тогда возможны три режима работы батареи скважин после того как будет достигнуто установившееся равновесие, например:

1. Все скважины работают при постоянном забойном давлении, наблюдавшемся в начальной стадии разработки пласта.

2. Все скважины работают в условиях постоянного дебита, который был у скважины, пущенной в эксплуатацию первой.

3. Скважины эксплуатируются в таких условиях, в которых не сохраняются первоначальные давление и дебит, как у первой скважины.

Первые два режима следует рассматривать как крайне возможные режимы эксплуатации групп скважин и здесь наиболее четко проявляет себя эффект взаимодействия скважин, а третий - один из наиболее распространенных в промышленной деятельности.

Если скважины работают в условиях первого режима, когда давление в них поддерживается постоянным, то влияние вновь пущенных в эксплуатацию скважин на работу первой должно проявиться в том, что за счет скважин снизится дебит в первой.

Таким образом, взаимодействие скважин при этом их режиме характеризуется изменением только дебита. Очевидно, взаимодействие скважин при режиме постоянного дебита будет характеризоваться изменением только забойных давлений.

Взаимодействие скважин в условиях третьего режима выражается в одновременном изменении давлений и дебитов. В условиях третьего режима, следовательно, количественная оценка эффекта взаимодействия усложняется, и во всех скважинах поддерживается то давление, которое было на забое первой скважины в период ее одиночной работы, при введении новых скважин изменяется только дебит этой скважины.

Пусть в пласте с круговым контуром питания действует эксплуатационная скважина, заложенная эксцентрично относительно контура питания. Далее были пущены в эксплуатацию еще две скважины так, что все три скважины в вершинах правильного треугольника с центром, совпадающим с центром пласта (вторая стадия разработки).

Пуском трех новых скважин положили начало третьей стадии разработки. И здесь уже действуют шесть эксплуатационных скважин, расположенных в вершинах правильного шестиугольника: три новые скважины пробуривались в середине интервала между двумя соседними скважинами из трех работающих на второй стадии разработки; середины интервалов брались на окружности с определенным радиусом.

С увеличением расстояния между скважинами коэффициент суммарного взаимодействия увеличивается, стремясь, стать равным числу скважин группы, а коэффициент взаимодействия (интерференции) уменьшается, стремясь к единице. Предельные значения коэффициента суммарного взаимодействия и коэффициента взаимодействия, равного единице показывают отсутствие взаимодействия скважин.

С увеличением числа скважин оба коэффициента увеличиваются и характеризуются усилением взаимного влияния скважин, что указывает на непропорциональность суммарного дебита числу скважин.

Взаимодействие скважин может практически не проявляться только при очень больших расстояниях между скважинами, таким образом, влияние каждой скважины на другие распространяются на весь пласт, когда жидкость несжимаема. И эти положения справедливы лишь для идеальных условий, характеризующих явление взаимодействия скважин.

Размещение скважин в виде кольцевой батареи имеет существенное значение при установлении оптимального числа скважин и это связано с экономической оценкой проектируемого числа скважин.

### **Обсуждение**

Выясним, на какое приращение суммарного дебита кольцевой батареи скважин можно рассчитывать при увеличении их числа. Допустим, что первоначально в составе батареи были только четыре эксплуатационные скважины, находящиеся в вершинах квадрата: затем число скважин удвоили, введя между двумя соседними еще по одной. Было определено, что с увеличением числа скважин темп роста суммарного дебита батареи замедляется, и увеличение числа скважин оказывается неэффективным.

Если по условиям разработки, эксплуатационные скважины расставлены по прямой и число скважин в батарее конечно, и давление во всех скважинах одно и то же, а именно такое, каким оно должно быть в одиночной скважине в начальной стадии разработки, и батареи скважин далеки от контура питания пласта, тогда давление, приведенное к безразмерному виду зависит от двух безразмерных параметров.

В процессах разработки нефтяной залежи часто возникают такие условия, при которых проницаемость пласта в законтурной области оказывается худшей, чем внутри контура нефтеносности.

Интересно рассмотреть взаимодействие скважин кольцевой батареи в неоднородно проницаемом пласте во всем пласте сохраняется закон фильтрации Дарси.

Было определено, что если проницаемость той части пласта, в которой расположены скважины ниже проницаемости остальной части, то величина коэффициента суммарного взаимодействия всегда выше, чем батареи, действующей при тех же условиях в однородном пласте.

Если проницаемость части пласта со скважинами выше проницаемости остальной части пласта, то коэффициент суммарного взаимодействия будет ниже его значения в однородном пласте, при одних и тех же значениях, характеризующих неоднородность проницаемости пласта и радиуса границы раздела частей, взаимодействие скважин будет тем больше, чем большую площадь при данных условиях занимает менее проницаемая часть пласта.

Особое проявление неоднородности структурных пород, у которых проницаемость приобретает некоторую векториальность, позволяет рассматривать пласт, сложенный такими породами, как анизотропную среду.

Исследуя, взаимодействие двух скважин в однородном анизотропном пласте оказалось, что во многих случаях скважины взаимодействуют как в однородном изотропном пласте.

Эффект взаимодействия будет заметно усиленным или ослабленным лишь при резком различии проницаемостей в двух определенных направлениях: в направлении линии расстановки скважин и в направлении, перпендикулярном к этой линии.

Ослабление эффекта взаимодействия наблюдается тогда, когда в направлении линии расстановки скважин проницаемость низка по сравнению с проницаемостью в перпендикулярном направлении. Наоборот, усиление эффекта взаимодействия означает,

что в направлении вдоль линии скважин пласт более проницаем для жидкости, чем в направлении, перпендикулярном к нему.

Во избежание усиленного эффекта взаимного влияния скважин при возможности выбора направления, в котором следует закладывать новые скважины и здесь следует предпочесть направления, в котором пласт наименее проницаем (если изучение коллекторских свойств пласта позволяет установить это направление).

Если имеется кольцевая батарея, состоящая из двух и более эксплуатационных скважин, размещенных равномерно по окружности и контур питания удален от всех скважин, то чем больше величина радиуса первоначального контура нефтеносности, тем больше отставание точек контура нефтеносности, движущихся по нейтральной линии тока, от точек контура, движущихся по главной линии тока. Чем больше скважин в батарее, тем меньше отставания частиц контура нефтеносности от тех, которые движутся по главной линии тока, т.е. тем равномернее стягивание контура.

Форма контура нефтеносности, которая первоначально была в виде окружности, искажается лишь в ближайшей окрестности скважин. При анализе явления стягивания контура к скважинам кольцевой батареи допустимо применить «галерезацию» т.е. кольцевую батарею заменить равнодебитной кольцевой галереей.

Если контур питания пласта имеет форму эллипса, иногда допустимо систему скважин моделировать софокусным эллипсом-стоком. Такие случаи встречаются при разработке продуктивной, например, к брахиантиклинальной складке.

Было рассмотрено движение несжимаемой жидкости к несовершенным скважинам кольцевой батареи в пласте, в котором нефть подстилается активной подошвенной водой и определено время безводной эксплуатации скважин. Добыча безводной нефти затрудняется из-за малых дебитов скважин. При измеренных дебитах скважины быстро обводняются. Образуется совместный поток нефти и воды, и при их перемешивании в скважине добывается эмульсия, осложняющая процессы технологии добычи и переработки нефти.

Для получения безводной нефти на обводняющихся скважинах рекомендуется извлекать отдельно нефть и воду. Для этого необходимо путем регулирования совмещать уровень раздела воды и нефти в скважине с тем же уровнем в пласте и располагать фильтры по разные стороны раздела.

Значительный интерес мы видим в задаче увлечения притока жидкости к скважине при наличии вокруг забоя скважины кольцевой состоит из двух зон различной проницаемости.

Это возникает при форлидировании или кислотной обработки призабойной зоны, установке гравийного фильтра глинизации или парафинизации призабойной зоны, выносе мелких фракций породы из зоны и так далее.

Очень важной при этом является необходимость установления влияния различия проницаемостей кольцевой призабойной зоны и остальной части пласта на продуктивность скважины.

Определены, что повышение пластового давления эффективные снижения давления на забой скважины. Это говорит о том, что при одинаковых экономических показателях затрат на применение того или иного метода интенсификация добычи нефти более предпочтителен метод с связанный с повышением забойного давления. Поэтому своевременно принятые меры по поддержанию неистового давления в первых же стадиях разработки месторождения исключительно важны.

### **Заключение**

В ходе проведенного исследования были последовательно рассмотрены ключевые аспекты разработки и эксплуатации скважин, а также явление взаимодействия скважин в пределах одного продуктивного пласта. Цель работы — анализ закономерностей притока жидкости и газа к скважинам, оценка эффектов интерференции и влияние различных

режимов работы батарей скважин — была достигнута через комплекс методов анализа литературы, сравнительных расчетов и моделирования гидродинамических процессов в пористой среде.

Реализация поставленных задач позволила уточнить основные закономерности работы скважин при различных условиях эксплуатации. Были изучены три режима работы батарей скважин: с постоянным забойным давлением, с постоянным дебитом и с изменяющимся давлением и дебитом. Анализ показал, что при первых двух режимах проявление эффекта взаимодействия скважин наиболее очевидно: в первом случае изменяется дебит, а во втором — забойное давление. Третий режим, наиболее типичный для практики разработки месторождений, характеризуется одновременным изменением давления и дебита, что усложняет количественную оценку эффектов интерференции.

Особое внимание уделено размещению скважин в виде кольцевой батареи, которое позволяет оптимизировать суммарный дебит и минимизировать взаимное влияние скважин, а также обосновать экономически целесообразное число скважин на месторождении. Установлено, что коэффициент суммарного взаимодействия и коэффициент интерференции скважин зависят от их взаимного расположения и числа скважин в группе: с увеличением расстояния влияние уменьшается, а при росте числа скважин — усиливается, что отражает непропорциональность суммарного дебита числу скважин.

Результаты исследования подтверждают важность комплексного подхода к планированию бурения и эксплуатации скважин, учитывающего гидродинамическую связь между скважинами и физико-химические свойства пластовой жидкости. Полученные данные могут быть использованы для оптимизации проектирования скважин, повышения эффективности разработки нефтегазовых месторождений, а также для прогнозирования изменения дебитов и давления при введении новых скважин.

Перспективы дальнейшей работы заключаются в развитии математических моделей фильтрации и интерференции скважин с учетом несжимаемости жидкости и газосодержащих пластов, а также в применении компьютерного моделирования для оценки влияния различных схем расположения скважин на эффективность разработки. Практическое применение результатов исследования включает планирование оптимального числа скважин, выбор режима эксплуатации, прогнозирование эффективности водонапорных или газонапорных мероприятий и минимизацию технологических потерь при разработке месторождений.

Таким образом, проведённая работа позволяет сделать вывод о необходимости системного учета взаимодействия скважин при проектировании и эксплуатации нефтегазовых объектов, а также о возможности использования полученных результатов для повышения научного понимания фильтрационных процессов в пористых средах и разработки рекомендаций по оптимизации технологических процессов в нефтегазовой отрасли.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Булатов, 2003 – Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебник для вузов. — Москва: Недра-Бизнесцентр. — 2003. — 1007 с. [Russ.]
- Грей, 2001 – Грей Ф. Добыча нефти / Translated from English. — Москва: Олимп-Бизнес. — 2001. — 416 с. [Russ.]
- Дияшев, 2012 – Дияшев Р.Н., Хисамов Р.С., Конохов В.М., Чекалин А.Н. Форсированный отбор жидкости из коллекторов с двойной пористостью, насыщенных неньютоновскими нефтями. — Казань: ФЭН. — 2012. — 247 с. [Russ.]
- Итенберг, 1982 – Итенберг С.С., Дахкилгов Т.Д. Геофизические исследования в скважинах: учебник для вузов. — Москва: Недра. — 1982. — 351 с. [Russ.]
- Крошмак, 2016 – Крошмак А.А., Шамазов А.М. Основы нефтегазового дела: учебник для вузов. — Уфа: Design Polygraph Service. — 2016. — 500 с. [Russ.]
- Муравьёв, 2018 – Муравьёв И.М., Андриясиков Р.С. Разработка и эксплуатация нефтяных месторождений. — Москва: Недра. — 2018. — 445 с. [Russ.]

- Мукер, 1981 – Мукер А.А., Шакиров А.Ф. Геофизические и прямые методы исследования скважин. — Москва: Недра. — 1981. — 295 с. [Russ.]
- Норман, 2008 – Норман J.H. Геология, разведка, бурение и добыча нефти. — Москва: Олимп-Бизнес. — 2008. — 752 с. [Russ.]
- Тельков, 2000 – Тельков А.П., Грачев С.И., Краснов Т.Л., Сохошко С.К. Особенности разработки нефтегазовых месторождений: обоснование физико-математических моделей и методов решения основных задач проектирования и разработки газовых и нефтегазоконденсатных залежей. — Тюмень: НИПИКБС-Т. — 2000. — 128 с. [Russ.]
- Шурубор, 1998 – Шурубор Ю.В. Новый взгляд на проблемы выделения многопластовых эксплуатационных объектов и управление их разработкой. — NTIS. Ser. «Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений». — 1998. — Issue 12. — Pp.25–28. [Russ.]
- Чарный, 2006 – Чарный И.А. Подземная гидромеханика: безнапорное движение жидкости в пористой среде. — Москва: АНО «Institute of Computer Research». — 2006. — 157 с. [Russ.]
- Konyukhov, 2017 – Konyukhov I.V., Krasnov S.V., Chekalin A.N. Computer Simulation and Comparison of the Efficiency of Conventional, Polymer and Hydrogel Waterflooding of Inhomogeneous Oil Reservoirs. — Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2017. — 19(4). — Pp.323–334. [Eng.]
- Munn, 1909 – Munn M.J. The Anticlinal and Hydraulic theories of the oil and gas accumulation. — Economic Geology. — 1909. — №6. — Pp.543–570. [Eng.]

#### REFERENCES

- Bulatov, 2003 – Bulatov, A.I., Proselkov, Yu.M., Shamanov, S.A. Tekhnika i tekhnologiya bureniya neftyanikh i gazovikh skvazhin: uchebnyk dlya vuzov. — Moskva: Nedra-Biznescentr. — 2003. — 1007 p. [in Russ.]
- Grey, 2001 – Grey, F. Dobycha nefiti / Translated from English. — Moskva: Olimp-Biznes. — 2001. — 416 p. [in Russ.]
- Diyashev, 2012 – Diyashev, R.N., Khisamov, R.S., Konyukhov, V.M., Chekalin, A.N. Forsirovannyi otbor zhidkosti iz kollektorov s dvoynoi poristost'yu, nasyshchennykh nen'utonovskimi neftyami. — Kazan': FEN. — 2012. — 247 p. [in Russ.]
- Itenberg, 1982 – Itenberg, S.S., Dakhkilgov, T.D. Geofizicheskie issledovaniya v skvazhinakh: uchebnyk dlya vuzov. — Moskva: Nedra. — 1982. — 351 p. [in Russ.]
- Kroshmak, 2016 – Kroshmak, A.A., Shamazov, A.M. Osnovy neftegazovogo dela: uchebnyk dlya vuzov. — Ufa: Design Polygraph Service. — 2016. — 500 p. [in Russ.]
- Muravyov, 2018 – Muravyov, I.M., Andriyasyov, R.S. Razrabotka i ekspluatatsiya neftyanikh mestorozhdenii. — Moskva: Nedra. — 2018. — 445 p. [in Russ.]
- Muker, 1981 – Muker, A.A., Shakirov, A.F. Geofizicheskie i pryamyte metody issledovaniya skvazhin. — Moskva: Nedra. — 1981. — 295 p. [in Russ.]
- Norman, 2008 – Norman, J.H. Geologiya, razvedka, burenie i dobycha nefiti. — Moskva: Olimp-Biznes. — 2008. — 752 p. [in Russ.]
- Telkov, 2000 – Telkov, A.P., Grachev, S.I., Krasnov, T.L., Sokhoshko, S.K. Osobennosti razrabotki neftegazovykh mestorozhdenii: obosnovanie fiziko-matematicheskikh modelei i metodov resheniya osnovnykh zadach proektirovaniya i razrabotki gazovykh i neftegazokondensatnykh zalezh. — Tyumen': NIPIKBS-T. — 2000. — 128 p. [in Russ.]
- Shurubor, 1998 – Shurubor, Yu.V. Novyi vzglyad na problemy vydeleniya mnogoplastovykh ekspluatatsionnykh ob'ektov i upravlenie ikh razrabotkoi. — NTIS. Ser. «Geologiya, geofizika i razrabotka neftyanikh mestorozhdenii». — 1998. — Issue 12. — Pp.25–28. [in Russ.]
- Charnyi, 2006 – Charnyi, I.A. Podzemnaya gidromekhanika: beznapornoe dvizhenie zhidkosti v poristoi srede. — Moskva: АНО «Institute of Computer Research». — 2006. — 157 p. [in Russ.]
- Konyukhov, 2017 – Konyukhov, I.V., Krasnov, S.V., Chekalin, A.N. Computer Simulation and Comparison of the Efficiency of Conventional, Polymer and Hydrogel Waterflooding of Inhomogeneous Oil Reservoirs. — Eurasian Chemico-Technological Journal. — 2017. — 19(4). — Pp.323–334. [in Eng.]
- Munn, 1909 – Munn, M.J. The Anticlinal and Hydraulic Theories of the Oil and Gas Accumulation. — Economic Geology. — 1909. — №6. — Pp.543–570. [in Eng.]