

УДК 622.248.75; <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2022-3.03>

<https://orcid.org/0000-0001-7331-1633>

<https://orcid.org/0000-0003-3584-0547>

<https://orcid.org/0000-0002-5999-4092>

<https://orcid.org/0000-0002-5005-3819>

<https://orcid.org/0000-0002-1749-6511>

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО СТВОЛА СКВАЖИН



Г.Ж. МОЛДАБАЕВА¹,
доктор технических наук,
профессор,
g.moldabayeva
@satbayev.university



Г.И. ДЖАЛАЛОВ²,
член-корр. НАНА, доктор
технических наук, профессор,
dzhalalovgarib@rambler.ru



Е.В. ГОРШКОВА²,
PhD, ведущий научный
сотрудник,
jenyaGarshkova@rambler.ru



Г.Х. КУНАЕВА³,
магистр технических наук,
g_a_e_jack@mail.ru



Ш.Р. ТУЗЕЛБАЕВА¹,
магистр технических наук,
докторант PhD,
s.tuzelbayeva@satbayev.
university

¹SATBAYEV UNIVERSITY,
Республика Казахстан, 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22

²ИНСТИТУТ НЕФТИ И ГАЗА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА,
Азербайджан, AZ1000, г. Баку, ул. Ф. Амирова, 9

³YESSENOV UNIVERSITY
Республика Казахстан, 130000, г. Актау, 32 мкр.

Представлена разработка приближенных и точных методов обоснования оптимальной конструкции горизонтальных скважин на их производительность. Разработаны универсальные рекомендации, пригодные для использования при освоении горизонтальными скважинами месторождений любой сложности.

Основные эксплуатационные объекты нефтяных месторождений Казахстанской республики, находятся на поздней стадии разработки. Запасы этих объектов относятся к трудноизвлекаемым, что обусловлено такими факторами, как высокая вязкость нефти, низкая проницаемость коллекторов, а также высокая послойная и зональная неоднородность, малая эффективная толщина пластов коллекторов, наличие подгазовых зон и маломощных нефтяных оторочек. Остаточные трудноизвлекаемые запасы требуют внедрения новых технологий.

Технология бурения горизонтальных скважин имеет огромные перспективы, связанные с возможностью повышения эффективности добычи нефти, продления периода безводной эксплуатации скважины и увеличения коэффициента извлечения нефти, вовлечения в разработку пластов с низкими коллекторскими свойствами и высоковязкой нефтью, снижением депрессии на пласт и эффекта конусообразования.

Возрастающий интерес, во всем мире, к применению горизонтальных скважин возникает необходимость в разработке теории и исследовании процессов фильтрации флюидов к забою этих скважин с учетом вышеуказанных факторов, и это становится актуальной научно-практической задачей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: скважина, месторождения, снижение проницаемости, фильтрация, нефть, анизотропия, давление.

КӨЛДЕНЕҢ ҰҢҒЫМАНЫҢ ОҢТАЙЛЫ ҚҰРЫЛЫМЫН АНЫҚТАУ

Г.Ж. МОЛДАБАЕВА¹, техника ғылымдарының докторы, SU профессор,
g.moldabayeva@satbayev.university

Г.И. ДЖАЛАЛОВ², ӘҒҒА корп. мүшесі, техника ғылымдарының докторы, профессор,
dzhalalovgarib@rambler.ru

Е.В. ГОРШКОВА², PhD, jenyaGarshkova@rambler.ru

Г.Х. КУНАЕВА³, техника ғылымдарының магистрі, g_a_e_jack@mail.ru

Ш.Р. ТУЗЕЛБАЕВА¹, техника ғылымдарының магистрі докторант PhD,
s.tuzelbayeva@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY
Қазақстан Республикасы, 050013, Алматы қ., Сәтбаев к., 22

²МҰНАЙ ЖӘНЕ ГАЗ ИНСТИТУТЫ ӘҒҒА,
Азербайджан, AZ1000, Баку қ., Ф. Амирова к., 9

³YESSENOV UNIVERSITY
Қазақстан Республикасы, 130000, Актау қ., 32-ші шағынауданы

Мақалада көлденең ұңғымалардың оңтайлы дизайныларының жұмысына негіздеудің шамамен және нақты әдістерін әзірлеу ұсынылған. Кез-келген күрделіліктегі кен орындарын көлденең ұңғымалар мен игеру кезінде қолдануға жарамды өмбебап ұсыныстар жасалды.

Қазақстан Республикасының мұнай кен орындарының негізгі пайдалану объектілерін игерудің кеш сатысында тұр. Бұл объектілердің қорлары мұнайдың жоғары тұтқырлығы, коллекторлардың төмен өткізгіштігі, сондай-ақ жоғары қабатты және аймақтық гетерогенділік, коллектор қабаттарының төмен тиімді қалыңдығы, газ асты аймақтары мен төмен қуатты мұнай шекараларының болуы сияқты факторларға байланысы қиын болып табылады. Өндірілуі қиын қалдық қорлар жаңа технологияларды енгізуді талап етеді.

Көлденең ұңғымаларды бұрғылау технологиясының мұнай өндіру тиімділігін арттыру, ұңғыманы сусыз пайдалану мерзімін ұзарту және мұнай алу коэффициентін арттыру, коллекторлық қасиеттері төмен және тұтқырлығы жоғары мұнай қабаттарын игеруге тарту, резервуардағы депрессияның төмендеуі және конустың пайда болу әсері мен байланысты үлкен перспективалары бар.

Бүкіл әлемде көлденең ұңғымаларды қолдануға деген қызығушылықтың артуы жоғарыда аталған факторларды ескере отырып, осы ұңғымалардың түбіне сұйықтық тыс үзу процестерін зерттеу және зерттеу қажеттілігін тудырады және бұл өзекті ғылыми-практикалық міндетке айналады.

ТҮЙІН СӨЗДЕР: ұңғымалар, кен орындары, өткізгіштігінің төмендеуі, сүзу, мұнай, анизотропия, қысым.

DETERMINATION OF THE OPTIMAL DESIGN OF THE HORIZONTAL BOREHOLE

G.ZH. MOLDABAYEVA¹, Doctor of Technical Sciences, Professor,
g.moldabayeva@satbayev.university

G.I. JALALOV², Corresponding Member of ANAS, Doctor of Technical Sciences, Professor,
dzhahalovgarib@rambler.ru

E.V. GORSHKOVA², PhD, leading researcher, jenvaGarshkova@rambler.ru

G.KH. KUNAYEVA³, Master of Technical Sciences, g_a_e_jack@mail.ru

SH.R. TUZELBAYEVA¹, Master of technical sciences PhD student,
s.tuzelbayeva@satbayev.university

¹SATBAYEV UNIVERSITY

22 Satbayeva Street, Almaty, 050013, Republic of Kazakhstan

²ANAS INSTITUTE OF OIL AND GAS,

9 F. Amirova Street, Baku, AZ1000, Azerbaijan

³YESSENOV UNIVERSITY

32 microdistrict, Aktau, 130000, Republic of Kazakhstan

The article presents the development of approximate and accurate methods for substantiating the optimal design of horizontal wells for their productivity. Universal recommendations have been developed that are suitable for use in the development of horizontal wells of deposits of any complexity.

The main operational facilities of the oil fields of the Republic of Kazakhstan are at a late stage of development. The reserves of these objects are difficult to recover, which is due to factors such as high oil viscosity, low permeability of reservoirs, as well as high layer-by-layer and zonal heterogeneity, low effective thickness of reservoir layers, the presence of sub-gas zones and low-porosity oil fringes. Residual hard-to-recover reserves require the introduction of new technologies.

The technology of drilling horizontal wells has huge prospects associated with the possibility of increasing the efficiency of oil production, extending the period of waterless operation of the

well and increasing the oil recovery coefficient, involving in the development of reservoirs with low reservoir properties and high-viscosity oil, reducing depression on the formation and the effect of cone formation.

The growing interest, worldwide, in the use of horizontal wells, there is a need to develop a theory and study the processes of fluid filtration to the bottom of these wells, taking into account the above factors, and this becomes an urgent scientific and practical task.

KEY WORDS: well, deposits, reduced permeability, filtration, oil, anisotropy, pressure.

Введение. Создание новых технологий и техники бурения горизонтальных скважин (далее ГС) привело к широкому использованию при освоении низкопродуктивных, маломощных и шельфовых нефтяных и газовых месторождений.

Следует отметить, что на приемистость скважин влияют значительное количество факторов. К ним относятся: неоднородность и многослойность залежи, параметры вскрытия пропластков, расположение горизонтального ствола, проницаемость вскрываемых пропластков, параметры их анизотропии, потеря давления по длине горизонтального ствола, состав добываемой продукции, структура и режим течения смеси по стволу и величиной устьевого давления.

В работе [1,2,3 и др.] представлена разработка приближенных и точных методов обоснования оптимальной конструкции горизонтальных скважин с учетом влияния вышеуказанных факторов на их производительность. Разработаны универсальные рекомендации, пригодные для использования при освоении горизонтальными скважинами месторождений любой сложности.

Методы и материалы исследований. При определении размещения и конструкции ГС в процессе проектирования разработки требуется хотя бы экспертная оценка производительности этих скважин. В настоящей статье проведена попытка определения статистической связи дебитов ГС и геологических характеристик объектов, вычисленных по формуле, предложенной Joshi S.D., имеющей вид:

$$Q = \frac{2\pi k_{\Gamma} h}{\mu} \cdot \frac{P_k - P_c}{\ln \frac{\beta + \sqrt{\beta^2 - (L/2)^2}}{L/2} + \frac{v^2 h}{L} \ln \frac{h}{2R_c \pi}}, \quad (1)$$

где $v = \sqrt{\frac{k_b}{k_{\Gamma}}}$ – коэффициент анизотропии; k_{Γ} – проницаемость пласта в горизонтальном направлении; k_b – проницаемость по вертикали.

$$\beta = \frac{L}{2} \sqrt{0.5 + \sqrt{0.25 + \left(\frac{2R_k}{L}\right)^4}}$$

Выявлено наличие связи между начальным дебитом ГС и такими параметрами, как длина горизонтального ствола в пласте, толщина вскрытого интервала, анизотропия и т.д.

Влияние длины горизонтального ствола и толщина пласта на продуктивность скважины

Влияние толщины пласта на продуктивность горизонтальной скважины достаточно значительно. Для данной длины горизонтальной скважины отношение L/h , представляющее собой элементарное приращение площади контакта скважины, для пласта меньшей толщины намного больше, чем для пласта большей толщины. Например, предположим, что скважины длиной $L = 300$ м пробурены на два пласта: толщиной $h_1 = 10$ м, и $h_2 = 50$ м. Для скважины, пробуренной на пласт толщиной 10 м, приращение L/h в 30 раз выше, чем для вертикальной скважины, в то время как для пласта толщиной 50 м это приращение выше всего в 6 раз.

На рисунке 1 показано изменение отношения коэффициентов продуктивности скважин, пробуренных на пласты разной толщины, в предположении, что пласты однородны. Видно, что отношение $J_{гор} / J_{верт}$ для горизонтальных скважин различных длин при толщине пласта 10 м намного выше, чем для пласта толщиной 50 м. Кроме того, при увеличении толщины пласта, данное отношение уменьшается. Объясняется это более интенсивным повышением коэффициента продуктивности вертикальной скважины по сравнению с горизонтальной.

Влияние анизотропии по проницаемости пласта на продуктивность скважины

Как отмечалось выше, если горизонтальная скважина с длиной ствола 300 м пробурена на однородный ($k_{гор} = k_{вер}$) пласт толщиной 10 м, то элементарное приращение площади контакта в 30 раз больше, чем для вертикальной скважины. Однако, если проницаемость пласта в вертикальном направлении составляет 1/10 часть проницаемости в горизонтальном направлении, то при этом пласт толщиной 10 м ведет себя

так же, как пласт толщиной 32 м ($h' = h \times \sqrt{\frac{k_{гор}}{k_{вер}}} = 10 \times \sqrt{1/0,1} \approx 32$ м). При этом эле-

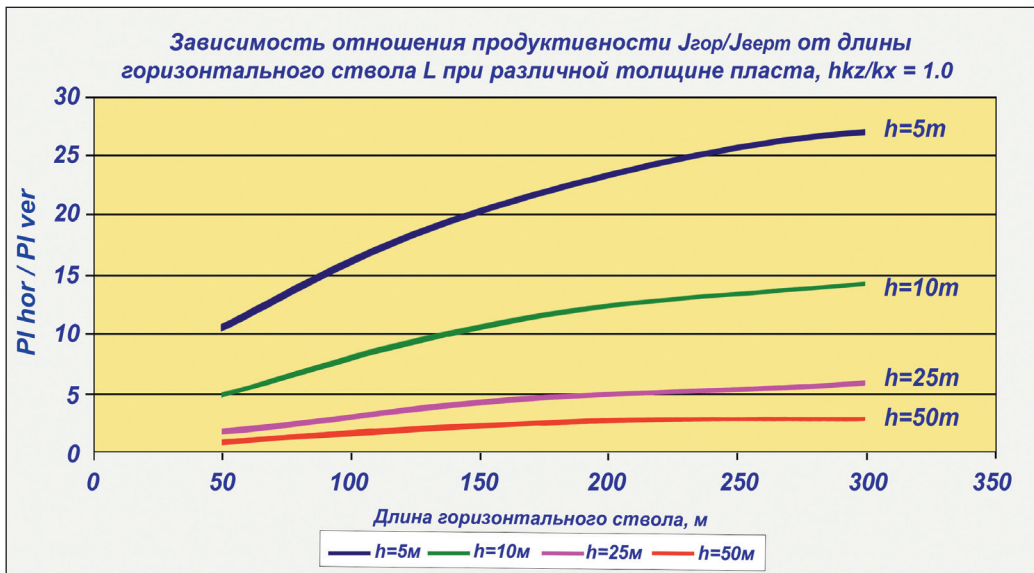


Рисунок 1 – Сопоставление продуктивности горизонтальной и вертикальной скважин при различной толщине пласта

ментарное приращение площади контакта будет выше по сравнению с вертикальной скважиной всего лишь в $300/32 = 9,4$ раза.

Указанное свидетельствует о том, что снижение проницаемости пласта в вертикальном направлении имеет тот же эффект, что и бурение горизонтальной скважины на пласт большей толщины. При этом уменьшается элементарное приращение площади контакта горизонтальной скважины с пластом.

На *рисунках 2, 3 и 4* показано влияние проницаемости в вертикальном направлении на продуктивность горизонтальной скважины, пробуренной в пластах 10, 25 и 50 м. Первая кривая ($k_z/k_x = 1,0$) во всех трех графиках описывает зависимость для однородного пласта, в котором проницаемости в обоих направлениях равны. Из *рисунков 2, 3, 4* видно, независимо от толщины, снижение отношения $k_{вер}/k_{гор}$ значительно уменьшает продуктивность горизонтальной скважины, что связано со снижением проницаемости в вертикальном направлении ($k_z/k_x = 1,0$)

Результаты и обсуждение. Сравнение продуктивностей скважин, пробуренных на различные толщины при предполагаемой на месторождении анизотропии 0,1 показывает:

- продуктивность горизонтальной скважины в пласте толщиной 10 м (*рисунок 2*) больше, чем продуктивность ГС в пластах толщиной 25 и 50 м (*рисунок 3, 4*);
- длина горизонтального ствола в скважине, пробуренной на пласт толщиной 10 м для двукратного увеличения отношения $J_{гор}/J_{верт}$ должна составлять не менее 50 м, в пластах с толщинами 25 и 50 м – более 200 и 300 м соответственно;
- в пластах большей толщины, использование горизонтальных скважин может быть эффективным если вскрыты пласты высокой проницаемости в вертикальном направлении. С другой стороны, это указывает на то, что в пластах большой толщины и низкой вертикальной проницаемости может быть необходимо применение

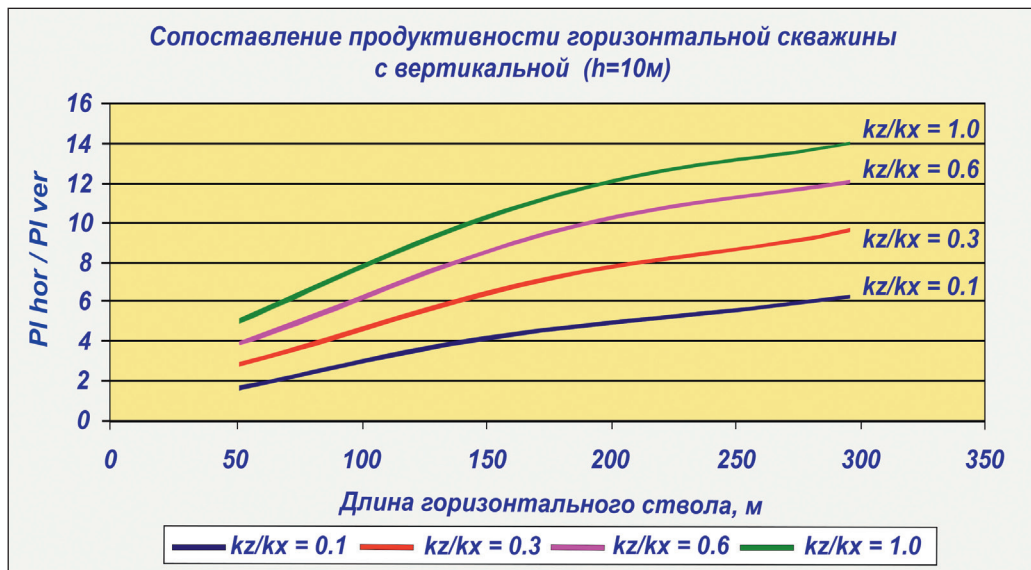


Рисунок 2 – Влияние проницаемости в вертикальном направлении на продуктивность горизонтальной скважины (h=10м)

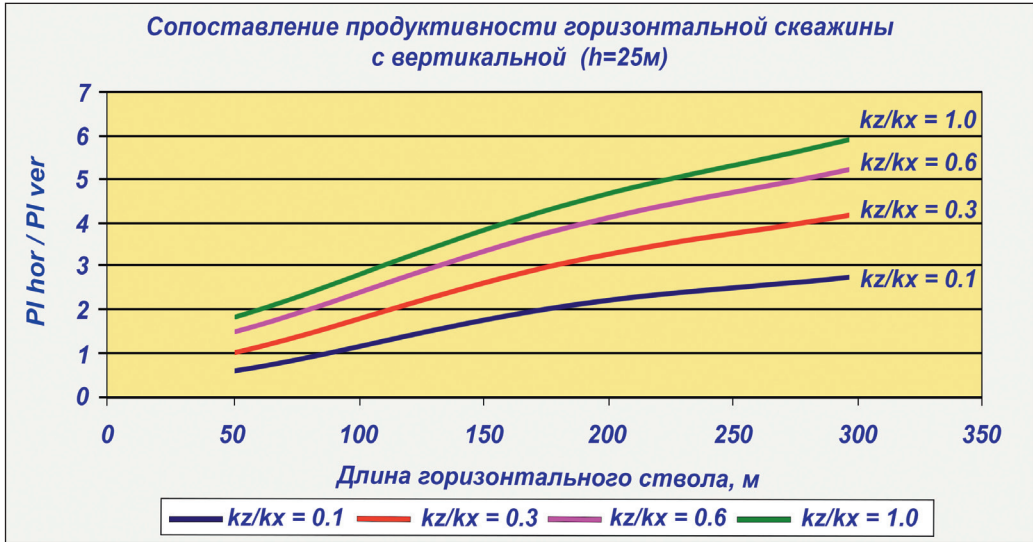


Рисунок 3 – Влияние проницаемости в вертикальном направлении на продуктивность горизонтальной скважины (h=25м)

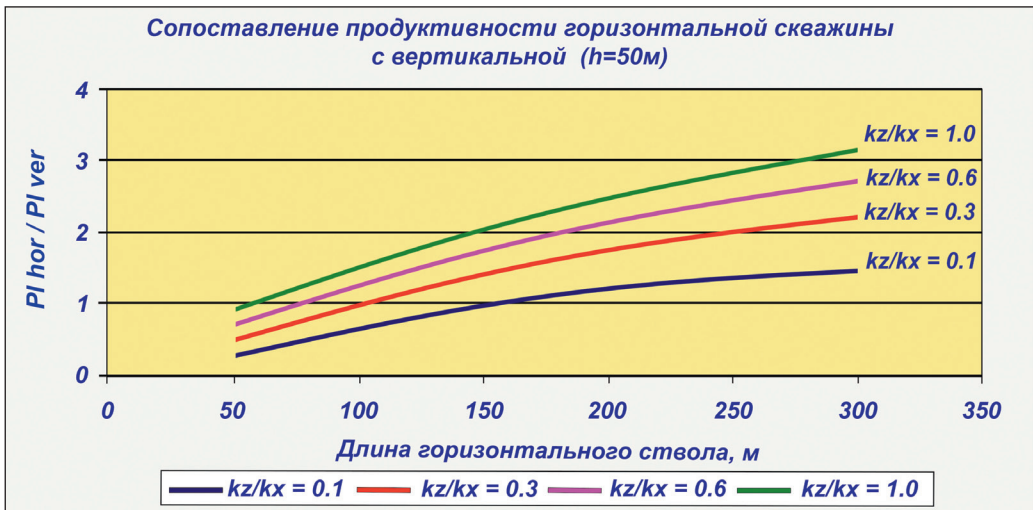


Рисунок 4 – Влияние проницаемости в вертикальном направлении на продуктивность горизонтальной скважины (h=50м)

методов воздействия на призабойную зону для повышения экономичности разработки месторождения горизонтальными скважинами.

На рисунках 5 и 6 приведена зависимость дебита горизонтальной скважины от вертикальной проницаемости при различных длинах горизонтального ствола L при толщинах пласта $h_1 = 10$ м, $h_2 = 25$ м. Результаты расчетов еще раз подтверждают неэффективность бурения горизонтальных скважин в пластах большой толщины (предполагаемая толщина слитых пластов в пробуренных скважинах №8302 и №8456 составляет свыше 25 м).

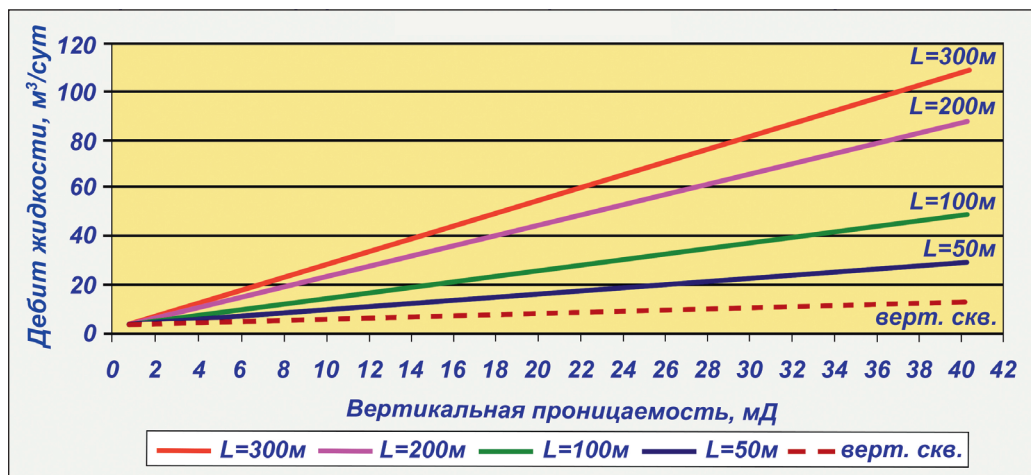


Рисунок 5 – Зависимость дебита горизонтальной скважины от вертикальной проницаемости при различных длинах горизонтального ствола L при толщине пласта $h = 10$ м, $k_{в}/k_{г} = 0,1$

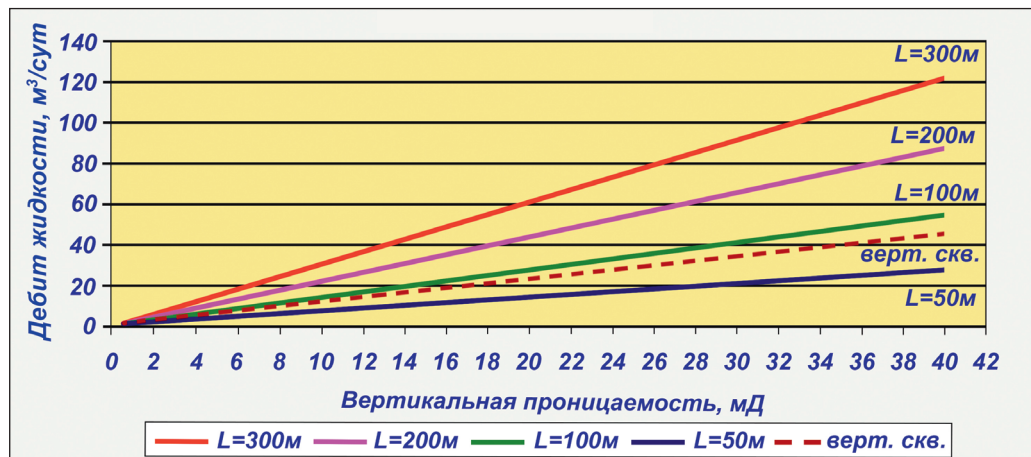



Рисунок 6 – Зависимость дебита горизонтальной скважины от вертикальной проницаемости при различных длинах горизонтального ствола L при толщине пласта $h = 20$ м, $k_{в}/k_{г} = 0,1$

Одной из важных задач повышения эффективности ГС является многократное увеличение начальных и накопленных отборов нефти из горизонтальных скважин (ГС) по сравнению с окружающими вертикальными (далее ВС) [5–17]. Необходимость достижения значительного увеличения накопленных отборов нефти по ГС диктует наличие почти такого же различия в удельных запасах на одну скважину. Однако при применении ГС среди вертикальных скважин запасы нефти, приходящиеся на одну скважину (как ГС, так и ВС), по чисто геометрическим причинам близки между собой. Это исключает возможность выполнения условия многократного увеличения накопленных отборов на ГС, поскольку ожидать многократного увеличения коэффициента нефтеизвлечения нет оснований. В смешанных системах (ГС среди ВС) нельзя реализовать в полном объеме преимущества ГС, поскольку ранее пробуренные

вертикальные скважины существенно ограничивают возможности горизонтальных скважин. Поэтому для получения потенциального эффекта от применения ГС необходимо создавать отдельные технологические ячейки при многократном увеличении удельных запасов, т.е. при относительно редких сетках скважин.

Выводы. Таким образом, при определении оптимальной конструкции горизонтального ствола следует учесть следующие положения:

- оптимальный вариант закачивания скважин может быть определен на основе анализа анизотропности и толщины пласта;
- установление степени анизотропности проницаемости продуктивного пласта позволит повысить надежность выбора проводки стволов горизонтальных скважин;
- приращение площади контакта скважины L/h для пласта меньшей толщины намного больше, чем для пласта большей толщины;
- снижение проницаемости в вертикальном направлении значительно уменьшает продуктивность горизонтальной скважины;
- для достижения потенциального эффекта от применения ГС необходимо создавать отдельные технологические ячейки;
- для достижения наибольшего охвата извлекаемых запасов сетка горизонтальных скважин должна быть разреженной по сравнению с сеткой вертикальных скважин. 

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Танжарыков П.А., Амангельдиева Г.Б., Тлеуберген А.Ж. Ұңғымалық ортаның коррозиялық белсенділігін бағалау // Нефть и газ. – 2021. № – 6 (126). – С.79- 90. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-6.04> [Tanzharykov P.A., Amangel'dieva G.B., Tleubergen A.ZH. Ұңғымалық ортаның korroziyalуқ belsendiliginin bafalau // Neft' i gaz. – 2021. № – 6 (126). – С.79- 90.]
- 2 Сулейменов Н.С. Факторы влияющие на снижение гидропроводности призабойной зоны скважины // Нефть и газ. – 2021. – № 6 (126). – С. 100 –109. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-6.06> [Sulejmenov N.S. Faktory vliyayushchie na snizhenie gidroprovodnosti prizabojnoj zony skvazhiny // Neft' i gaz. – 2021. – № 6 (126). – С. 100 –109.]
- 3 Адильбеков К.А., Ермаков М.М., Муқанов Е.М. Опыт бурения первой горизонтальной скважины на месторождении С. Нуржанов АО «Эмбаунайгаз» // Нефть и газ. – 2021. – № 2 (116). – С. 77– 88. DOI. 10.37878.2708–0080/2020.005 [Adil'bekov K.A., Ermekov M.M., Mukanov E.M. Opyt bureniya pervoj gorizontal'noj skvazhiny na mestorozhdenii S. Nurzhanov AO «Embamunajgaz» // Neft' i gaz. – 2021. – № 2 (116). – С. 77– 88.]
- 4 Исказиев К.О., Хафизов С.Ф., Вербицкий В.С., Игревский Л.В. Перспективы одновременно-раздельной эксплуатации скважин на месторождении Каражанбас // Нефть и газ. – 2021. – № 4 (124). – С. 53- 65. <https://doi.org/10.37878/2708-0080/2021-4.04> [Iskaziev K.O., Hafizov S.F., Verbickij V.S., Igrevskij L.V. Perspektivy odnovremennorazdel'noj ekspluatatsii skvazhin na mestorozhdenii Karazhanbas // Neft' i gaz. – 2021. – № 4 (124). – С. 53- 65.]
- 5 Алиев З.С., Сомов Б.Е., Рогачев С.А. Обоснование и выбор оптимальной конструкции горизонтальных газовых скважин. – Киев: Техника, 2001 – 95 с. [Aliev Z.S., Somov B.E., Rogachev S.A. Obosnovanie i vybor optimal'noj konstrukcii gorizontal'nyh gazovyh skvazhin. – Kiev: Tekhnika, 2001 – 95 s.]
- 6 Ахмедов М.М. Влияние различных факторов на производительность горизонтальных газовых скважин // Universum: Технические науки. – 2019. – №10(67). – С. 84-89

- [Ahmedov M.M. Vliyanie razlichnyh faktorov na proizvoditel'nost' gorizonta'nyh gazovyh skvazhin // Universum: Tekhnicheskie nauki. – 2019. – №10(67). – S. 84-89]
- 7 Кашапов Л.З., Тараканов А.К. Подбор оптимальной длины горизонтальной скважины с помощью статистического моделирования на основе показателей разработки / Булатовские чтения. Сборник статей. – 2018. – С. 186-193. [Kashapov L.Z., Tarakanov A.K. Podbor optimal'noj dliny gorizonta'noj skvazhiny s pomoshch'yu statisticheskogo modelirovaniya na osnove pokazatelej razrabotki / Bulatovskie chteniya. Sbornik statej. – 2018. – S. 186-193.]
 - 8 Плотникова И.Н., Салахидинова Г.Т. Геохимические критерии идентификации невыработанных участков нефтяных залежей на поздней стадии их разработки // Нефть и газ. – 2018. – № 5 (101). – С.76–77. [Plotnikova I.N., Salahidinova G.T. Geohimicheskie kriterii identifikacii nevyrabotannyh uchastkov neftyanyh zalezhej na pozdnej stadii ih razrabotki // Neft' i gaz. – 2018. – № 5 (101). – S. 76–77.]
 - 9 Гурбанов В.Ш., Микаилова Н.Э. Снижение проводимости нефтяных пластов при вскрытии бурением // Нефть и газ. – 2018. – № 2(104). – С. 76. [Gurbanov V. Sh., Mikailova N.E. Snizhenie provodimosti neftyanyh plastov pri vskrytii bureniem // Neft' i gaz. – 2018. – №2 (104). – S. 76.]
 - 10 Подгорнов В.М. Заканчивание скважин. – М.: РГУ нефти и газа им. Губкина, 2017. – С. 14-47. [Podgornov V.M. Zakanchivanie skvazhin. – M.: RGU nefti i gaza im. Gubkina, 2017. – S. 14-47.]
 - 11 Следков В.В., Леонов Е.Г. и др. Накопленная добыча нефти при средневзвешенной депрессии – основной показатель эффективного применения бурового раствора при вскрытии продуктивного пласта // Бурение и нефть. – 2015. – №10. – С. 26-32. [Sledkov V.V., Leonov E.G. i dr. Nakoplennaya dobycha nefti pri srednevzveshennoj depressii – osnovnoj pokazatel' effektivnogo primeneniya burovogo rastvora pri vskrytii produktivnogo plasta // Burenie i neft'. – 2015. – №10. – S. 26-32.]
 - 12 Петухов А.В. Геологические предпосылки эффективного использования ГС для добычи тяжелых высоковязких нефтей / Сборник научных трудов. – 2003. – №2. – С. 115-119. [Petuhov A.V. Geologicheskie predposylki effektivnogo ispol'zovaniya GS dlya dobychi tyazhelyh vysokovyazkih neftej / Sbornik nauchnyh trudov. – 2003. – №2. – S. 115-119.]
 - 13 Joshi S.D.–A Review of Horizontal Well and Drainhole Technology. SPE 116868 presented at the 62nd Annual Technical Conference, 2004, Dallas TX. 27-30.
 - 14 Пилатовский В.П. Исследование некоторых задач фильтрации жидкости к ГС, пластовым трещинам, дренирующим горизонтальные пласты // Труды ВНИИ. – 2010. – № 32. – С. 237-242. [Pilatovskij V.P. Issledovanie nekotoryh zadach fil'tracii zhidkosti k GS, plastovym treshchinam, dreniruyushchim gorizonta'nye plasty // Trudy VNIИ. – 2010. – № 32. – S. 237-242.]
 - 15 Крылов В.И., Крекул В.В. Куксов В.А. Сверхтексотропные промывочные жидкости нового поколения // Нефтяное хозяйство. – 2004. – №11. – С. 56-58. [Krylov V.I., Krecul V.V. Kuksov V.A. Sverhtiksotropnye promyvochnye zhidkosti novogo pokoleniya // Neftyanoje hozyajstvo. – 2004. – №11. – S. 56-58.]
 - 16 Акимов Н.И., Стрижнев К.В., Чернов А.В., Павлов И.В. Влияние параметров пласта на продуктивность горизонтальных скважин // Интервал. – 2006. – №4. – С. 38-43. [Akimov N.I., Strizhnev K.V., Chernov A.V., Pavlov I.V. Vliyaniye parametrov plasta na produktivnost' gorizonta'nykh skvazhin // Interval. – 2006. – №4. – S. 38-43.]
 - 17 Макарова А.А. и др. Анализ чувствительности динамики очистки скважины и околоскважинной зоны к параметрам пласта, перфорации и свойствам бурового раствора // Нефтяное хозяйство. – 2015. – № 3. – С. 79-83. [Makarova A.A. i dr. Analiz chuvstvitel'nosti dinamiki oчитki skvazhiny i okoloskvazhinnoj zony k parametram plasta, perforacii i svojstvam burovogo rastvora // Neftyanoje hozyajstvo. – 2015. – № 3. – S. 79-83.]