УДК 622.276.031:53 DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-45-51

Обоснование строительства горизонтальной скважины на одном из месторождений Западной Сибири

Орочко А. В.[1]*, Янукян А. П.[1]
[1] Тюменский индустриальный университет (филиал), г. Сургут, Россия
e-mail: orochkoav@tyuiu.ru

Реферат

Актуальность. *В условиях истощения запасов углеводородов довольно остро стоит проблема увеличения добычи нефти. Решить эту проблему можно двумя путями: реализацией геолого-технических мероприятий по повышению нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти и строительством новых скважин.*

Цель исследования. *В статье дано обоснование строительства горизонтальных скважин для добычи нефти из низкопроницаемых отложений ачимовской толщи по одному из месторождений Западной Сибири. Разработка указанных залежей нефти вертикальными скважинами признана нецелесообразной.*

Методология исследования. *На лабораторной установке «Эпрон-2000» в филиале Тюменского индустриального университета в г. Сургуте выполнены исследования по определению проницаемости кернового материала продуктивных пластов ачимовской толщи. Проницаемость определена как по воздуху, так и по азоту. С учетом кривых фазовых проницаемостей по воде, нефти, воздуху и азоту для ачимовских отложений соседнего месторождения и соответствующих эмпирических зависимостей сделаны предположения относительно проницаемости по нефти.*

Результаты. *Рассчитан ожидаемый дебит гипотетической горизонтальной скважины с разной длиной горизонтального интервала продуктивного пласта.*

Выводы. *Сделан вывод о целесообразности строительства горизонтальной скважины в геологических условиях продуктивных отложений ачимовской толщи данного месторождения.*

Ключевые слова: *горизонтальная скважина; фазовая проницаемость; дебит; добыча нефти.*

Введение. В условиях истощения запасов углеводородов довольно остро стоит проблема увеличения добычи нефти. Решение этой проблемы предполагает два пути: реализацию геолого-технических мероприятий по повышению нефтеотдачи пластов и интенсификации добычи нефти и строительство новых скважин.

По одному из месторождений Западной Сибири в 2018 г. уточнены контуры нефтеносности продуктивных пластов, приуроченных к ачимовской толще. По результатам геологических изысканий выявлены две небольшие по размерам залежи нефти, которые предполагалось разрабатывать самостоятельной сеткой скважин, но с учетом низкого коэффициента нефтенасыщенности и небольших геологических запасов нефти в сочетании с низкими фильтрационно-емкостными свойствами разработку этих залежей сочли нерентабельной. В условиях современной рыночной конъюнктуры («сланцевая революция» в США, пандемия коронавируса, сложная геополитическая обстановка и т. д.) разработка указанных залежей становится экономически еще менее целесообразной [1, 2].

Цель работы. В рамках данного исследования выполняется обоснование эксплуатации новых залежей нефти с применением горизонтальных скважин. Предполагается, что целесообразно эксплуатировать новые залежи возвратным фондом скважин с вышележащих пластов сортымской свиты. Имеется несколько скважин на вышележащих продуктивных горизонтах, обводненность которых превышает 98 %. Данные скважины уже выполнили свое проектное назначение [3, 4]. С учетом

разности глубин более чем в 600 м представляется возможным выполнить забуривание бокового ствола с горизонтальным окончанием с вышележащих продуктивных пластов сортымской свиты на новые залежи нефти [5, 6].

Таблица 1. Результаты определения проницаемости кернового материала продуктивных отложений ачимовской толщи $K_п$
Table 1. Results of determining the Achimov strata productive deposits cores permeability $K_п$

Среда, в которой происходил замер	Проницаемость $K_п$, мкм^2	Время эксперимента t, с	Давление, при котором производилось определение проницаемости P, атм
Азот	13,23	0,40	1,150
Воздух	87,35	20,15	1,652
Нефть (предполагаемая)	7,40	–	–

Исследование. Имеется керновый материал по залежам ачимовской толщи. Как полают ведущие геологи Нефтегазодобывающего управления (НГДУ) ООО «Газпром добыча Уренгой», указанный керновый материал может быть принят

а

б

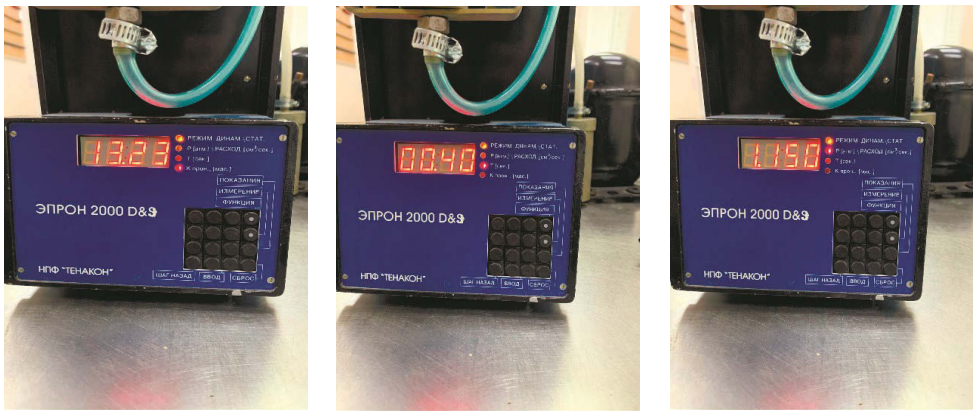

Рис. 1. Фотографии лабораторного измерения проницаемости керна:
а – по воздуху; *б* – по азоту
Fig. 1. Photos of core permeability laboratory measurement:
а – air; *б* – nitrogen

для определения фильтрационно-емкостных свойств новых залежей, поскольку был отобран из сопоставимых по геологическому строению залежей на соседнем

месторождении. Особенности литологического строения, гранулометрического состава, условий осадконакопления, возраста отложений, свойств пластовых флюидов полностью идентичны [7, 8].

На лабораторной установке «Эпрон-2000» в филиале Тюменского индустриального университета в г. Сургуте выполнены исследования по определению проницаемости кернового материала продуктивных пластов ачимовской толщи. Проницаемость определена как по воздуху, так и по азоту. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 2. Результаты расчетов ожидаемого дебита гипотетической горизонтальной скважины с разной длиной горизонтального интервала продуктивного пласта

Table 2. Results of calculating the expected yield of a hypothetical horizontal well with different lengths of the productive formation horizontal interval

L, м	$h_н$, м	k, мкм^2	$\mu_н$, Па · с	ΔP, МПа	$r_с$, м	$R_к$, м	Q, м^3/сут
300	8,4	7,4	1,35	3,8	0,1	1600	28,66
400	8,4	7,4	1,35	3,8	0,1	1600	31,76
500	8,4	7,4	1,35	3,8	0,1	1600	34,63
700	8,4	7,4	1,35	3,8	0,1	1600	40,01
1000	8,4	7,4	1,35	3,8	0,1	1600	47,81

Затем с учетом кривых фазовых проницаемостей по воде, нефти, воздуху и азоту для ачимовских отложений соседнего месторождения и соответствующих эмпирических зависимостей сделаны предположения относительно проницаемости по нефти (указанные зависимости могут содержать коммерческую тайну, поэтому в рамках данной статьи не приводятся) [9, 10].

По результатам исследований выполнены расчеты ожидаемого дебита по горизонтальной скважине. Все остальные параметры, необходимые для расчетов, взяты для других месторождений региона (с сопоставимыми геологическими условиями) [11, 12].

Фотографии лабораторных исследований по определению проницаемости керна приведены на рис. 1.

Дебит горизонтальной скважины рассчитан по формуле Джоши, м^3/сут [13, 14]:

$$Q = \frac{2\pi k h_н}{b_н \mu}\left(P_{пл} - P_{заб}\right)\left[\ln\left(\frac{A + \sqrt{A^2 - (L/2)^2}}{L/2}\right) + \frac{h_н}{L}\ln\left(\frac{h_н}{2\pi r_с}\right)\right]^{-1},$$

где k – проницаемость пласта, мкм^2; $h_н$ – нефтенасыщенная толщина пласта, м; $b_н$ – объемный коэффициент нефти; μ – динамическая вязкость, Па · с; $P_{пл}$, $P_{заб}$ – пластовое и забойное давление соответственно, МПа; L – длина горизонтального участка, м; $r_с$ – радиус скважины, м; A – большая полуось эллипса контура питания горизонтальной скважины:

$$A = \frac{L}{2}\sqrt{\frac{1}{2} + \sqrt{\frac{1}{4} + \left(\frac{2R_к}{L}\right)^4}},$$

где $R_к$ – радиус контура питания, м.

Результаты вычислений представлены в табл. 2, где $\Delta P = P_{пл} - P_{заб}$, $\mu_н$ – вязкость нефти.

Как видно по результатам расчетов, даже не прибегая к гидравлическому разрыву пласта, можно получить промышленный приток нефти [15, 16]. С учетом отсутствия контактных с водой запасов нефти и низкой ожидаемой обводненности (так как выявленные залежи нефти гидродинамически изолированы от залежей, введенных в разработку), можно предположить высокую накопленную добычу по нефти предлагаемой горизонтальной скважины [17, 18].

Далее выполнены расчеты ожидаемого дебита горизонтальной скважины с учетом того, что в ней будет произведен гидравлический разрыв пласта (ГРП) [19, 20]. Масса проппанта принята 60 т, расчет выполнен по методике Ю. П. Желтова [21, 22]. Результаты расчетов приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты расчетов ожидаемого дебита гипотетической горизонтальной скважины с разной длиной горизонтального интервала продуктивного пласта при условии выполнения в ней ГРП с массой проппанта 60 т

Table 3. Results of calculating the expected yield of a hypothetical horizontal well with different lengths of the productive formation horizontal interval with fracking involving 60 tons of proppant

L, м	$h_н$, м	k, мкм^2	$\mu_н$, Па · с	ΔP, МПа	$r_с$, м	$R_к$, м	Q, м^3/сут
300	8,4	21	1,35	3,8	0,1	1600	86,00
400	8,4	21	1,35	3,8	0,1	1600	95,29
500	8,4	21	1,35	3,8	0,1	1600	103,89
700	8,4	21	1,35	3,8	0,1	1600	120,05
1000	8,4	21	1,35	3,8	0,1	1600	143,42

Если сопоставить ожидаемый дебит с дебитами аналогичных горизонтальных скважин месторождений региона, то получится результат выше среднего [23, 24]. Конкретные дебиты горизонтальных скважин не могут быть приведены в рамках статьи, так как составляют коммерческую тайну.

Выводы. Подводя итог исследования, можно сделать вывод о целесообразности строительства горизонтальной скважины в геологических условиях продуктивных отложений ачимовской толщи данного месторождения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. М. Движение жидкостей и газов в природных пластах. М.: Недра, 1984. 211 с.

2. Елкин С. В., Алероев А. А., Веремко Н. А., Чертенков М. В., Лялинов М. М. Опыт проведения экспресс-оценок дебита горизонтальных скважин после многозонного гидроразрыва пласта // Инженерная практика. 2016. № 12. С. 70–79.

3. Карнаухов М. Л., Пьянкова Е. М. Исследование скважин при проведении работ по их ремонту и восстановлению продуктивности // Известия вузов. Нефть и газ. 2001. № 6. С. 50–54.

4. Карнаухов М. Л., Пьянкова Е. М. Исследования скважин при контроле за разработкой нефтяных месторождений // Большая нефть: реалии, проблемы, перспективы: тр. Всерос. науч.-техн. конф. Т. 1. Альметьевск, 2001. С. 315–323.

5. Карнаухов М. Л. Гидродинамические исследования скважин испытателями пластов. М.: Недра, 1991. 204 с.

6. Карнаухов М. Л., Саранча А. В. Применение массированных ГРП при разработке Ярайнерского месторождения // Нефть и газ Западной Сибири: тр. Междун. науч.-техн. конф. (25–27 октября 2005 г.). Тюмень, 2005. С. 98–100.

7. Карнаухов М. Л., Юсупов К. С., Пьянкова Е. М. Обоснование гидродинамических параметров пластов методами ГДИ для оптимизации процессов разработки нефтяных месторождений // Повышение уровня добычи нефти на месторождениях ОАО «Ноябрьскнефтегаз» в 1998 – 2005 гг.: матер. конф. г. Ноябрьск (декабрь 1997 г.). М.: ВНИИОЭНГ, 1998. С. 121–137.

8. Карнаухов М. Л., Пьянкова Е. М., Тулубаев А. Б. Гидропрослушивание скважин // Проблемы развития топливно-энергетического комплекса Западной Сибири на современном этапе: матер. Всерос. науч.-техн. конф. Тюмень: Вектор Бук, 2001. С. 16–17.

9. Карнаухов М. Л., Рязанцев Н. Ф. Влияние скин-эффекта и притока после закрытия скважины на кривые восстановления давления, получаемые при испытании скважин в процессе бурения // Нефтяное хозяйство. 1976. № 1. С. 25–37.

10. Карнаухов М. Л., Сидоров А. Г., Пьянкова Е. М., Посохов Д. Н. Совершенствование методов интерпретации результатов ГДИ скважин // Проблемы развития топливно-энергетического комплекса Западной Сибири на современном этапе: матер. Всерос. науч.-техн. конф. Тюмень: Вектор Бук, 2001. С. 14–15.

11. Каневская Р. Д., Кац Р. М. Оценка эффективности гидроразрыва пласта при различных системах заводнения // Нефтяное хозяйство. 1998. № 6. С. 34–37.

12. Карнаухов М. Л., Сидоров А. Г., Пьянкова Е. М. Совершенствование методов проведения и интерпретации ГДИ в горизонтальных скважинах // Пути реализации нефтегазового потенциала ХМАО: тез. докл. V науч.-прак. конф. Ханты-Мансийск, 2001. С. 70–104.

13. Joshi S. D. Horizontal well technology. Tulsa, Oklahoma, USA: Penn well Publishing Company, 1991. 535 p.

14. Adalberto J. Rosa, Renato de Souza Carvalho. A mathematical model for pressure evaluation in an infinite-conductivity horizontal Well // SPE Formation Evaluation. 1989. December. P. 559–566.

15. Валеев А. С., Дулкарнаев М. Р., Салимов Ф. С., Бухаров А. В., Котенев А. В. Повышение эффективности гидроразрыва в условиях высокой обводненности пласта БВ-8 Повховского месторождения // Нефтегазовое дело. 2014. № 6. С.154–174.

16. Дияшев И. Р., Небесный А. И., Гиллард М. Р. Супер-ГРП повышает рентабельность разработки Ачимовской свиты Ярайнерского месторождения (Западная Сибирь) // Нефтегазовое обозрение. 2002. Весна. С. 80–93.

17. Гнездов А. В. О точности расчетов параметров трещин при гидроразрыве пласта // ГИАБ. 2015. № 3. С. 95–97.

18. Евстрахина Е. Е., Саранча А. В., Карнаухова М. Л. Исследование пластов при пуске скважин в работу // Современные технологии для ТЭК Западной Сибири: сб. науч. тр. Тюмень: 2007. Т. 2. С. 187–191.

19. Александров С. И., Мишин В. А., Буров Д. И. Микросейсмический мониторинг гидроразрыва пласта: успехи и проблемы // Технологии добычи и использования углеводородов. 2014. № 2. С. 39–43.

20. Баренблатт Г. И., Ентов В. М., Рыжик В. М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М.: Недра, 1972. 288 с.

21. Байкин А. Н. Динамика трещины гидроразрыва пласта в неоднородной пороупругой среде: дис. … канд. физ.-мат. наук. Новосибирск, 2016. 94 с.

22. Зольников Д., Шнитко А., Ельцов И., Завьялов Н., Перфильев Д., Штурн Д., Каменский Л. Ачимовские пласты Уренгойского месторождения. Массивные ГРП с применением линейных подушек // Oil & Gas Journal Russia. 2017. Ноябрь. С. 56–62.

23. Желтов Ю. П. Разработка нефтяных месторождений. М.: Недра, 1998. 365 с.

24. Карнаухов М. Л., Рязанцев Н. Ф. К вопросу о применимости методик определения параметров пласта по данным испытания скважин // Нефтяное хозяйство. 1976. № 1. С. 18–20.

Поступила в редакцию 22 июня 2021 года

Сведения об авторах:

Орочко Андрей Валерьевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией кафедры нефтегазового дела Тюменского индустриального университета, филиал в г. Сургуте. E-mail: orochkoav@tyuiu.ru; https://orcid.org/0000-0002-7363-3621

Янукян Арам Погосович – кандидат экономических наук, доцент кафедры нефтегазового дела Тюменского индустриального университета, филиал в г. Сургуте. E-mail: janukjanap@tyuiu.ru; https://orcid.org/0000-0002-7394-5801

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-45-51

Rationale for horizontal well construction in a West Siberian oilfield

Andrei V. Orochko[1], Aram P. Ianukian[1]
[1] Industrial University of Tyumen, Surgut, Russia

Abstract

Relevance. *The problem of oil production increase is urgent today due to hydrocarbon reserves depletion. There are two possible solutions: either implement geological and technical measures for enhancing oil recovery and intensifying oil production or construct new wells.*

Research objective. *The paper provides a rationale for horizontal wells construction to produce oil from low-permeability deposits of the Achimov strata in one of the oilfields in West Siberia. The development of these oilfields by vertical wells was considered futile.*

Methods of research. *In the Surgut branch of the Tyumen Industrial University, the permeability of the Achimov strata productive layer cores was determined on the Epron-2000 laboratory bench for both air*

and nitrogen. The assumptions regarding oil permeability were made considering phase permeability curves for water, oil, air, and nitrogen for the Achimov deposits of the neighboring field and the corresponding empirical dependencies.
Results. *The expected yield of a hypothetical horizontal well with different lengths of the productive formation horizontal interval was calculated.*
Conclusions. *A conclusion is made about the feasibility of building a horizontal well in the geological conditions of the Achimov strata productive deposits in this field.*

Keywords: *horizontal well; phase permeability; yield of well; oil production.*

REFERENCES

1. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. *Fluid and gas motion in natural rocks*. Moscow: Nedra Publishing; 1984. (In Russ.)

2. Elkin S. V., Aleroev A. A., Veremko N. A., Chertenkov M. V., Lialinov M. M. The experience of carrying out the express evaluation of yield of horizontal wells after multi-stage fracking. *Inzhenernaya praktika = Engineering Practice*. 2016; 12: 70–79. (In Russ.)

3. Karnaukhov M. L., Piankova E. M. Well survey in the course of repair and delivery rehabilitation. *Izvestiia vuzov. Neft i gaz = Oil and Gas Studies*. 2001; 6: 50–54. (In Russ.)

4. Karnaukhov M. L., Piankova E. M. *Well survey in the course of oilfield development management: Prolific oil: realia, problems, prospects: Proceeding of the All-Russian sci. and tech. conf.* Vol. 1. Almetyevsk; 2001. p. 315–323. (In Russ.)

5. Karnaukhov M. L. *Production tests with formation testers*. Moscow: Nedra Publishing; 1991. (In Russ.)

6. Karnaukhov M. L., Sarancha A. V. Massive fracking at Yarainersky field development. In: *Oil and Gas of West Siberia: Proceedings of the research-to-pract. conf. (25–27 October 2005)*. Tyumen; 2005. p. 98–100. (In Russ.)

7. Karnaukhov M. L., Iusupov K. S., Piankova E. M. Rationale for hydrodynamic reservoir characteristics by the flow testing methods to optimize the processes of oil field development. In: *Raising oil production levels in the fields of JSC Noyabrskneftegas in 1998–2005: proceedings. Noyabrsk (December 1997)*. Moscow: VNIIOENG Publishing; 1998. p. 121–137. (In Russ.)

8. Karnaukhov M. L., Piankova E. M., Tulubaev A. B. *Well interference testing. In: The problems of West Siberian fuel and energy complex development in modern times: Proc. of the All-Russian research-to-pract. conf.* Tyumen: Vektor buk Publishing; 2001. p. 16–17. (In Russ.)

9. Karnaukhov M. L., Riazantsev N. F. The influence of the skin effect and inflow after well shut-in on the pressure recovery curves obtained at well testing while drilling. *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 1976; 1: 25–37. (In Russ.)

10. Karnaukhov M. L., Sidorov A. G., Piankova E. M., Posokhov D. N. Improving the methods of production test interpretation. In: *The problems of West Siberian fuel and energy complex development in modern times: Proc. of the All-Russian research-to-pract. conf.* Tyumen: Vektor buk Publishing; 2001. p. 14–15. (In Russ.)

11. Kanevskaia R. D., Kats R. M. Evaluation of formation hydraulic fracturing efficiency for different water flooding technologies. *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 1998; 6: 34–37. (In Russ.)

12. Karnaukhov M. L., Sidorov A. G., Piankova E. M. Improving the methods of production test interpretation in horizontal wells. In: *Ways of implementing the hydrocarbon bearing prospects of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug–Yugra: Proc. of the 5th research-to-pract. conf.* Khanty-Mansyisk; 2001. p. 70–104. (In Russ.)

13. Joshi S. D. *Horizontal well technology*. Tulsa, Oklahoma, USA: Penn well Publishing Company, 1991. 535 p.

14. Adalberto J. Rosa, Renato de Souza Carvalho. A mathematical model for pressure evaluation in an infinite-conductivity horizontal Well. *SPE Formation Evaluation*. 1989; December: 559–566.

15. Valeev A. S., Dulkarnaev M. R., Salimov F. S., Bukharov A. V., Kotenev A. V. Improving efficiency of hydraulic fracturing under high watercut reservoir conditions of BV-8 formation, Povkhovskoe field. *Neftegazovoe delo = Petroleum Engineering*. 2014; 6: 154–174. (In Russ.)

16. Diiashev I. R., Nebesnyi A. I., Gillard M. R. Super fracking increases the profitability of the Achimov formation in the Yarainersky field (West Siberia). *Neftegazovoe obozrenie = Schlumberger Oilfield Review*. 2002; Spring: 80–93. (In Russ.)

17. Gnezdov A. B. On the accuracy of calculating the parameters of fractures under hydraulic fracturing. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 3: 95–97. (In Russ.)

18. Evstrakhina E. E. Pre-production formation testing. In: *High technology for West Siberian fuel and energy complex: proceedings*. Tyumen; 2007. Vol. 2. p. 187–191. (In Russ.)

19. Aleksandrov S. I., Mishin V. A., Burov D. I. Microseismic monitoring of hydraulic fracture: advance and problems. *Tekhnologii dobychi i ispolzovaniia uglevodorodov = Hydrocarbon Production and Use Technology*. 2014; 2: 39–43. (In Russ.)

20. Barenblatt G. I., Entov V. M., Ryzhik V. M. *The theory of nonstationary fluid and gas dynamics*. Moscow: Nedra Publishing; 1972. (In Russ.)

21. Baikin A. N. *The dynamics of the hydraulic fracture in the inhomogeneous poroelastic medium: PhD in Physico-Math. Sci. Thesis*. Novosibirsk; 2016. (In Russ.)

22. Zolnikov D., Shnitko A., Eltsov I., Zavialov N., Perfiliev D., Shturn D., Kamenskii L. Massive hydraulic fracking using linear pads in the Achimov reservoirs of the Urengoy field. *Oil and Gas Journal Russia*. 2017; November: 56–62. (In Russ.)

23. Zheltov Iu. P. *Oil field development*. Moscow: Nedra Publishing; 1998. (In Russ.)

24. Karnaukhov M. L. Riazantsev N. F. Regarding the applicability of the procedures of bed parametrization according to well testing data. *Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry*. 1976; 1: 18–20. (In Russ.)

Received 22 June 2021

Information about authors:

Andrei V. Orochko – PhD (Engineering), Head of the Laboratory, Department of Oil and Gas Engineering, Industrial University of Tyumen (Surgut branch). E-mail: orochkoav@tyuiu.ru; https://orcid.org/000-0002-7363-3621

Aram P. Ianukian – PhD (Economic sciences), associate professor of the Department of Oil and Gas Engineering, Industrial University of Tyumen (Surgut branch). E-mail: janukjanap@tyuiu.ru; https://orcid.org/0000-0002-7394-5801

Для цитирования: Орочко А. В., Янукян А. П. Обоснование строительства горизонтальной скважины на одном из месторождений Западной Сибири // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 5. С. 45–51. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-45-51

For citation: Orochko A. V., Ianukian A. P. Rationale for horizontal well construction in a West Siberian oilfield. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021; 5: 45–51 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-5-45-51