

Оценка динамики пластового давления и дренируемых запасов газа по данным исследований скважин эксплуатационного фонда

Е. Е. Левитина*, Е. И. Инякина, Н. М. Паклинов

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

*levitinaee@tyuiu.ru

Аннотация. При разработке газовых месторождений пластовое давление может быть использовано как для оценки запасов газа методом материального баланса, так и для последующего расчета дренируемых запасов, что в совокупности позволяет судить об эффективности системы разработки. Предлагается методика определения дренируемых запасов в скважинах с отсутствием замеров пластового давления. Данная методика может быть применена в случае, если ввод фонда скважин в эксплуатацию производится одновременно или в течение короткого промежутка времени. На основании численного моделирования и анализа данных разработки месторождений были сделаны выводы о том, что величина дренируемых запасов в наибольшей степени контролируется текущим дебитом скважин, гидродинамическими параметрами продуктивного пласта, а также интерференцией близлежащих скважин. Применение данной методики позволит улучшить понимание текущих процессов, происходящих в пласте, уточнить оценку энергетики залежи и величину начальных запасов газа, а также создает дополнительный источник информации для своевременного и более точного принятия решений по разработке месторождений.

Ключевые слова: газ, запасы, зона дренирования, пластовое давление, исследования скважин

Благодарности: Статья подготовлена в рамках реализации государственного задания в сфере науки на выполнение научных проектов, выполняемых коллективами научных лабораторий образовательных организаций высшего образования, подведомственных Минобрнауки России, по проекту: «Технологии добычи низконапорного газа сеноманского продуктивного комплекса» (№ FEWN-2020-0013, 2020–2023 гг.).

Для цитирования: Левитина, Е. Е. Оценка динамики пластового давления и дренируемых запасов газа по данным исследований скважин эксплуатационного фонда / Е. Е. Левитина, Е. И. Инякина, Н. М. Паклинов. – DOI 10.31660/0445-0108-2023-5-67-76 // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2023. – № 5. – С. 67–76.

An estimation of reservoir pressure dynamics and recoverable gas reserves based on the data of production well surveys

Ekaterina E. Levitina*, Ekaterina I. Inyakina, Nikita M. Paklinov

Abstract. In the development of gas fields, reservoir pressure can be used to estimate gas reserves by means of the material balance methodology and to calculate drained reserves. This provides an indication of the effectiveness of the development system. The authors of the article suggest a methodology for determining drained reserves in wells without reservoir pressure measurements. This approach is useful if the well stock is put into operation concurrently or within a brief period of time. Numerical modelling and analysis of field development data have led the authors to conclude that the current flow rate of wells, the hydrodynamic parameters of the productive formation and the interference of nearby wells are the most significant factors controlling the amount of drained reserves. The use of this technique will improve the understanding of the current processes occurring in the reservoir, clarify the assessment of the energy of the deposit and the value of the initial gas reserves, and also create an additional source of information for timely and more accurate decision-making in field development. Adopting this methodology can improve the understanding of ongoing processes in the reservoir, enhance evaluations of reservoir energy and initial gas reserve sizes, and provide additional information resources for making decisions on field development in a more timely and precise manner.

Keywords: gas, reserves, drainage zone, reservoir pressure, well testing

Acknowledgments: The article has been prepared under the state assignment for scientific research carried out by scientific laboratories belonging to higher education organizations, which are subordinated to the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation; the scientific project: "Technologies of Low-Pressure Gas Production of the Cenomanian Productive Complex" (No. FEWN-2020-0013, 2020-2023).

For citation: Levitina, E. E., Inyakina, E. I., & Paklinov, N. M. (2023). An estimation of reservoir pressure dynamics and recoverable gas reserves based on the data of production well surveys. *Oil and Gas Studies*, (5), pp. 67-76. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2023-5-67-76

Введение

В процессе разработки газовых месторождений большую роль играет понимание энергетики и дренируемых запасов, как в локальном масштабе — в районе каждой из скважин, так и в целом по залежи. Пластовое давление может быть использовано для оценки запасов методом материального баланса, а также для последующего расчета дренируемых запасов, что в совокупности позволяет судить об эффективности системы разработки, степени вовлечения запасов, интерференции скважин, а также определять наличие диагенетических преобразований, разломов и их проводимости [1–9].

Объект и методы исследования

Надежным источником данных могут выступать газоконденсатные и гидродинамические исследования, а также прямые и глубинные замеры, которые должны проводиться с частотой раз в период от полугода до года. Однако, как показывает практика, имеющиеся на сегодняшний день методы измерения пластового давления в совокупности с технико-экономическими возможностями позволяют получить информацию о текущем пластовом давлении не более чем по 30 % скважин эксплуатационного фонда в течение одного года, а в случае значительного невыполнения

плана по добыче количество исследований может охватывать даже меньший процент эксплуатационного фонда [7].

В связи с установившейся практикой замеров пластового давления и низкой обоснованностью более частого проведения исследований на всем эксплуатационном фонде скважин возникает неопределенность в корректном определении энергетики и дренируемых запасов, что является неотъемлемой частью программы по контролю за разработкой. Таким образом, повышая частоту и качество определения приведенных выше параметров, мы повышаем качество рекомендаций и контроля за разработкой и, следовательно, рациональность выработки запасов, а также технико-экономический эффект. Таким образом, можно сделать вывод об актуальности проработки методологии косвенного определения пластового давления и дренируемых объемов углеводородов в районах скважин и в целом по залежи [10].

Как было отмечено ранее, на практике работа большинства скважин не охарактеризована достаточным количеством замеров пластового давления. В связи с этим была проработана и впоследствии апробирована на примере месторождения X методика определения дренируемых запасов на скважинах с отсутствием замеров пластового давления. В дальнейшем данные дренируемых запасов могут быть использованы для расчета пластового давления в районе всех скважин в любой момент времени при наличии данных о накопленных отборах по скважине.

Результаты

Данная методика может быть применена в случае, если ввод фонда скважин в эксплуатацию производится одновременно или в течение короткого промежутка времени. Исходя из этого условия, можно предположить, что стабилизация воронок депрессии и, следовательно, дренируемых запасов должна быть достигнута приблизительно одновременно.

Под дренируемыми запасами в данной работе подразумевается объем газа в стандартных условиях, который занимал бы дренируемый объем при начальных пластовых условиях. Для расчета дренируемых запасов следует использовать метод, предложенный ранее в работах С. В. Колбикова [11] с поправкой на объемное расширение газа при переводе в стандартные условия. Для расчета дренируемых запасов как по скважинам с наличием замеров пластового давления, так и по скважинам без замеров следует использовать следующую очередность.

1. Прежде всего следует проанализировать работу скважин эксплуатационного фонда на наличие замеров пластового давления и рассчитать дренируемые запасы по каждой из скважин, охарактеризованной замерами, используя формулу 1, приведенную ниже:

$$V_{\text{др.з.}} = P_{\text{пл.нач}} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta P} . \quad (1)$$

2. Построить графики дренируемых запасов от времени для каждой из скважин с наличием замеров.

3. На основании построенных графиков следует определить приблизительную дату стабилизации распределения дренируемых запасов для скважин.

На рисунке 1 приведены графики дренируемых запасов с визуальным определением периода стабилизации для одной из скважин.

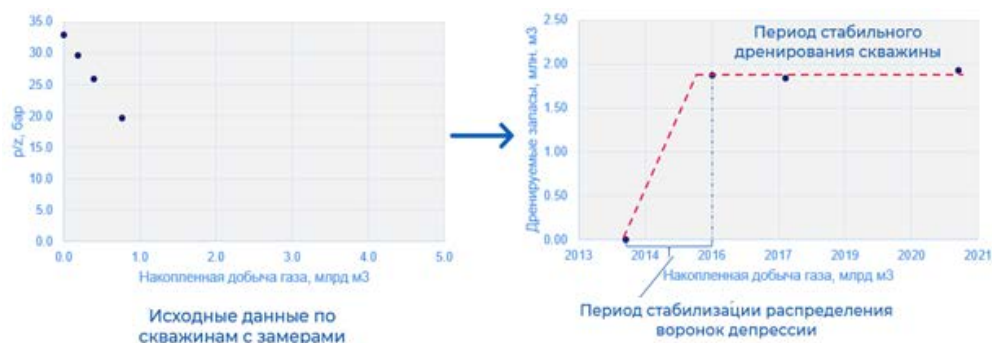


Рис. 1. Графики дренируемых запасов скважины № 3

4. Далее следует составить сводную таблицу (табл. 1), в которую необходимо внести значения дренируемых запасов, определенных после предполагаемой даты стабилизации воронок депрессии, а также показатели дебита и забойного давления перед остановкой для каждой из скважин.

Таблица 1

Сводная таблица параметров эксплуатации

Номер скв.	Дренируемые запасы, млн м ³	Дебит газа (q _г), тыс. м ³ /сут	Забойное давление (Р _{зб}), бар	q _г /Р _{зб} , тыс. м ³ /(сут · бар)
1	1 591	279	137	2,03
2	1 315	261	145	1,80
3	1 837	265	163	1,62
4	909	91	148	0,61
5	1 912	399	163	2,45
6	1 576	264	156	1,69
7	234	35	138	0,25
8	1 485	181	152	1,19
9	1 566	303	160	1,89
10	1 634	234	148	1,59
11	2 575	449	148	3,04

5. На основании численного моделирования и анализа данных разработки месторождений были сделаны выводы о том, что величина дренируемых запасов в наибольшей степени контролируется текущим дебитом скважин, гидродинамическими параметрами продуктивного пласта, а также интерференцией близлежащих скважин. В то время как гидродинамическая характеристика зоны дренирования является в большей степени интерпретируемым параметром и требует наличия исследований, текущие дебиты скважин в большинстве случаев могут быть определены с помощью расходомеров в совокупности с газоконденсатными исследованиями. Таким образом, допуская стабилизацию перераспределения дренируемых запасов между скважинами и стабильную работу скважин без длительных периодов простоя нескольких скважин, может быть рассчитана корреляция дренируемых объемов от отношения дебита скважины и ее забойного давления (рис. 2), которое будет условно характеризовать темп отборов и гидродинамические свойства пласта.

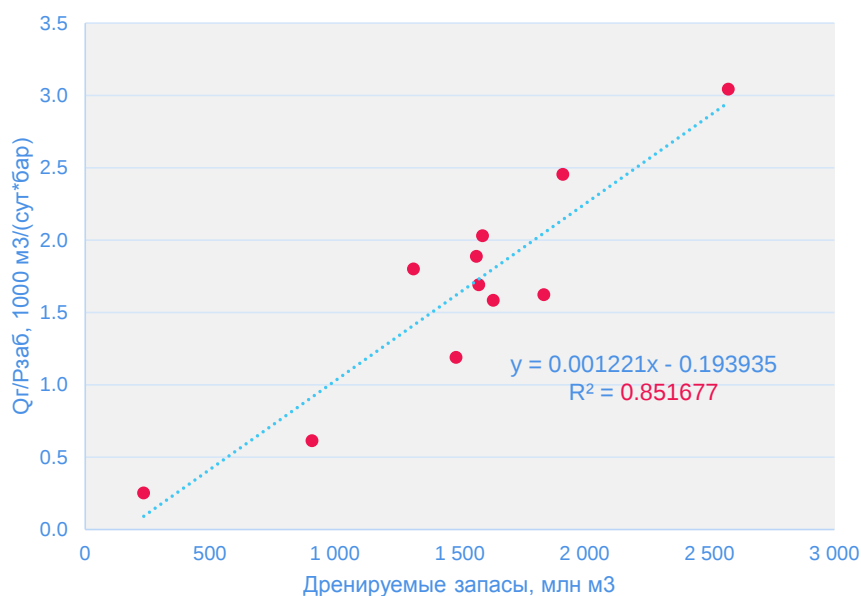


Рис. 2. Зависимость для расчета дренируемых запасов

Как результат, с помощью использования полученной ранее корреляции, показатель дренируемых запасов может быть рассчитан для каждой из скважин, на которых ранее не проводились гидродинамические исследования (табл. 2).

Для рассмотренного пласта рассчитанные по методике запасы отличаются от запасов, определенных по классической методике p/z , что может быть обусловлено учетом предполагаемых пластовых давлений в районах скважин, не охваченных ранее замерами пластового давления (рис. 3).

Таблица 2

Рассчитанные показатели дренируемых запасов

Номер скв.	Дренируемые запасы, млн м ³	Дебит газа (q _г), тыс. м ³ /сут	Забойное давление (P _{заб}), бар	q _г /P _{заб} , тыс. м ³ /(сут·бар)
1	1 591	279	137	2,03
2	1 315	261	145	1,80
3	1 837	265	163	1,62
4	909	91	148	0,61
5	1 912	399	163	2,45
6	1 576	264	156	1,69
7	234	35	138	0,25
8	1 485	181	152	1,19
9	1 566	303	160	1,89
10	1 634	234	148	1,59
11	2 575	449	148	3,04
12	1 148	183	151	1,21
13	1 640	278	154	1,81
14	1 671	294	159	1,85
15	2 611	437	146	2,99
16	1 235	190	145	1,32
17	400	39	133	0,29
18	1 443	244	155	1,57
19	2 235	376	148	2,54
20	2 289	373	144	2,60
Сумма	31 308			

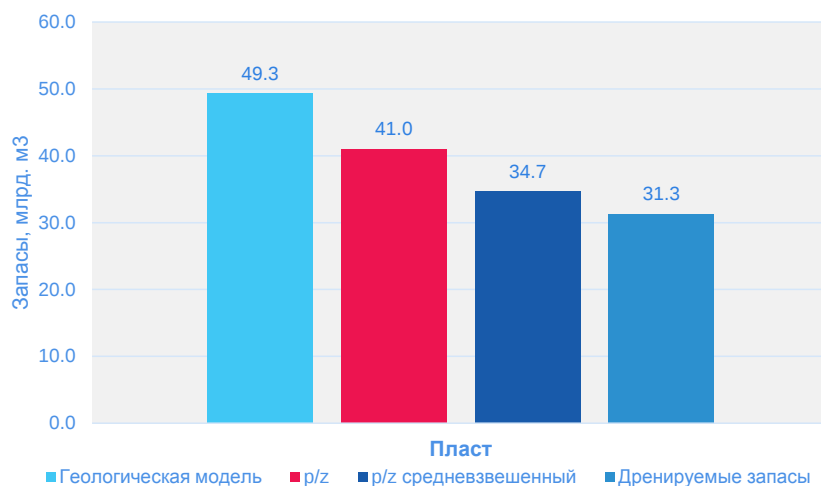


Рис. 3. Оценка запасов разными методами

Обсуждение

С помощью последовательности, описанной ранее, возможно определение дренируемых запасов по всем скважинам в пределах объекта разработки.

Кроме того, применяя методику на объектах с одновременным запуском скважин, можно предположить, что после определенного промежутка времени после запуска без резких изменений режимов работы скважин, длительных остановок или закрытия нескольких скважин или уплотняющего бурения не будет происходить распределение дренируемых запасов между скважинами и изменение суммарных дренируемых запасов объекта разработки.

Исходя из этого предположения, возможно представить зону дренирования каждой из скважин как отдельный изолированный резервуар с псевдо-установившейся воронкой депрессии. Вследствие этого к каждой из скважин может быть применен классический анализ p/z для определения текущего пластового давления, где начальные запасы пластового газа будут определяться как дренируемые запасы в зоне скважины, а текущие запасы как разница дренируемых запасов и накопленных отборов по скважине в зоне дренирования [12, 13].

Эта теория также подтверждается корреляцией с квадратичным отклонением близким к единице, представленной на рисунке 4, где отображена зависимость пластового давления от истощения удельных дренируемых запасов (отношение разницы дренируемых запасов и накопленной добычи к дренируемым запасам по скважине). Для простоты вычислений эта зависимость может быть далее использована для расчета давлений.

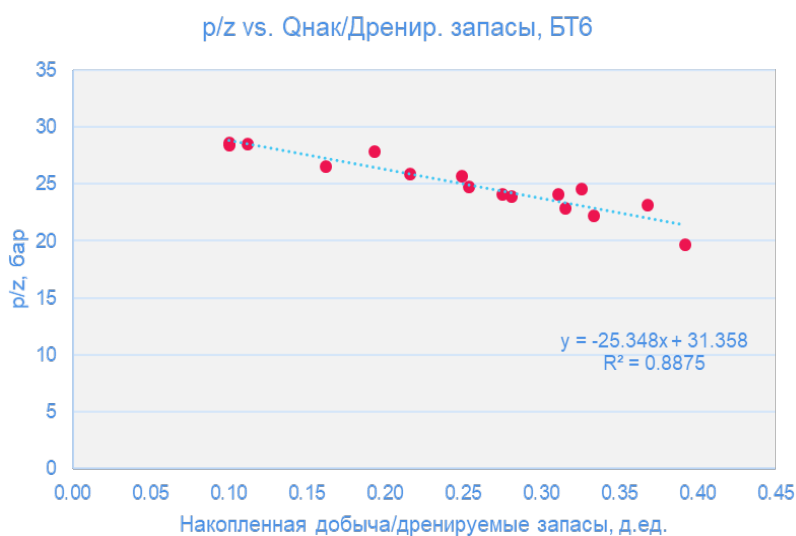


Рис. 4. Корреляция приведенного давления от степени выработки дренируемых запасов

Таким образом, можно сделать вывод о том, что данная методика действительно может быть применена для определения пластового давления в любой момент времени даже на скважинах с отсутствием замеров пластового давления в период стабильной добычи по фонду скважин и отсутствия резких изменений в работе скважин.

Выводы

Представлены методика определения дренируемых запасов по эксплуатационному фонду скважин газовых месторождений и использование этих данных в последующем для расчета пластового давления в районе каждой из скважин и эксплуатационном объекте в целом в любой момент времени.

Несмотря на ряд ограничений, таких как введение скважин в эксплуатацию в один временной промежуток, стабильная работа фонда скважин без выбытия значительного количества скважин и длительных простоев скважин в течение истории эксплуатации, среди активов газодобывающих организаций есть достаточное количество эксплуатационных объектов, где может быть применена данная методика. Экономический эффект от ее применения может быть сложно оценить, однако на практике это может являться дополнительным инструментом в руках инженера, который позволит улучшить понимание текущих процессов, происходящих в пласте, уточнит оценку энергетики залежи и величину начальных запасов газа и газоконденсата, а также создаст дополнительный источник информации для своевременного и более точного принятия решений и, более качественную разработку залежей углеводородов.

Список источников

1. Ефремов, А. А. Оценка эффективности применения методов подсчета запасов для газовых залежей / А. А. Ефремов. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2013. – № 5 (101). – С. 11–17.
2. Ефремов, А. А. Определение средневзвешенного пластового давления при подсчете запасов методом материального баланса / А. А. Ефремов, А. Н. Лапердин, В. Н. Маслов. – Текст : непосредственный // Наука и ТЭК. – 2011. – № 5. – С. 56–58.
3. Кислицын, А. А. Оценка дренируемых запасов газа методом материального баланса / А. А. Кислицын, С. В. Кузнецов. – DOI 10.31660/0445-0108-2022-6-56-72. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2022. – № 6 (156). – С. 56–72.
4. Орешкин, И. В. Подсчет запасов и оценка ресурсов нефти и газа : учебное пособие / И. В. Орешкин, М. П. Логинова, А. Т. Колотухин. – Саратов : Нижне-Волжский научно-исследовательский институт геологии и геофизики, 2015. – 96 с. – Текст : непосредственный.
5. Федорцов, В. К. Подсчет запасов газа методом материального баланса по материалам разработки залежи в режиме естественного истощения / В. К. Федорцов, Е. В. Бажанова. – Текст : непосредственный // Горные ведомости. – 2012. – № 6 (97). – С. 66–73.
6. Han, G. Flowing material balance method with adsorbed phase volumes for unconventional gas reservoirs / G. Han, M. Liu, Q. Li. – DOI 10.1177/0144598719880293. – Direct text // Energy Exploration & Exploitation. – 2020. – Vol. 38, Issue 2. – P. 519–532.
7. Levitina, E. E. Diagnostic of results of hydro-dynamical studies of reservoirs / E. E. Levitina. – Text : electronic // IOP Conference Series : Earth and Environmental Science. – 2018. – Vol. 194. – URL: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/8/082023>.

8. New material balance analysis method for abnormally high-pressured gas-hydrocarbon reservoir with water influx / Y. Jiao, J. Xia, P. Liu [et al.]. – DOI 10.1016/j.ijhydene.2017.04.190. – Direct text // International Journal of Hydrogen Energy. – 2017. – Vol. 42, Issue 29. – P. 18718–18727.
9. Kabir, C. S. Material-balance analysis of gas and gas-condensate reservoirs with diverse drive mechanisms / C. S. Kabir, B. Parekh, M. A. Mustafa. – DOI 10.1016/j.jngse.2016.04.004. – Direct text // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2016. – Vol. 32. – P. 158–173.
10. Ваганов, Е. В. Обоснование размещения и плотности сеток газовых и нефтяных скважин / Е. В. Ваганов, С. К. Сохошко, Е. И. Инякина. – Текст : непосредственный // Научный форум. Сибирь. – 2023. – Т. 9, № 1. – С. 55–58.
11. Колбиков, С. В. Методы подсчета запасов по падению пластового давления / С. В. Колбиков. – Текст : непосредственный // Газовая промышленность. – 1999. – № 1. – С. 18–22.
12. Разработка автоматизированной системы для адаптации гидродинамической модели газового месторождения / Н. М. Паклинов, Н. В. Назарова, М. И. Забоева, С. Н. Есиков. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2021. – № 6 (157). – С. 135–137.
13. Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений : учебное пособие / А. Ф. Безносиков, М. И. Забоева, И. А. Синцов, Д. А. Остапчук. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2016. – 80 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Efremov, A. A. (2013). Evaluation of the reserves estimation methods effectiveness for gas deposits. Higher Educational Institutions News. Neft' i Gaz, (5(101)), pp. 11-17. (In Russian).
2. Efremov, A. A., Laperdin, A. N., & Maslov, V. N. (2011). Opreделение srednevzveshennogo plastovogo davleniya pri podschete zapasov metodom material'nogo balansa. Nauka i TEK, (5), pp. 56-58. (In Russian).
3. Kislitsyn, A. A., & Kuznetsov, S. V. (2022). Estimating drainable gas reserves by the method of material balance. Oil and Gas Studies, 6(156), pp. 56-72. (In Russian). DOI: 10.31660/0445-0108-2022-6-56-72
4. Oreshkin, I. V., Loginova, M. P., & Kolotukhin, A. T. (2015). Podschet zapasov i otsenka resursov nefti i gaza. Saratov, Lower Volga Research Institute of Geology and Geophysics Publ., 96 p. (In Russian).
5. Fedortsov, V. K., & Bazhanova, E. V. (2012). Podschet zapasov gaza metodom material'nogo balansa po materialam razrabotki zalezhi v rezhime estestvennogo istoshcheniya. Gornye vedomosti, (6(97)), pp. 66-73. (In Russian).
6. Han, G., Liu, M., & Li, Q. (2020). Flowing material balance method with adsorbed phase volumes for unconventional gas reservoirs. Energy Exploration & Exploitation, 38(2), pp. 519-532. (In English). DOI: 10.1177/0144598719880293
7. Levitina, E. E. (2018). Diagnostic of results of hydro-dynamical studies of reservoirs. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 194. (In English). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/8/082023>
8. Jiao, Y., Xia, J., Liu, P., Zhang, J., Li, B., Tian, Q., & Wu, Y. (2017). New material balance analysis method for abnormally high-pressured gas-hydrocarbon reservoir with water influx. International Journal of Hydrogen Energy, 42(29), pp. 18718-18727. (In English). DOI: 10.1016/j.ijhydene.2017.04.190

9. Kabir, C. S., Parekh, B., & Mustafa, M. A. (2016). Material-balance analysis of gas and gas-condensate reservoirs with diverse drive mechanisms. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, (32), pp. 158-173. (In English). DOI: 10.1016/j.jngse.2016.04.004
10. Vaganov, E. V., Sokhoshko, S. K., & Inyakina, E. I. (2023). Justification for the placement and density of grids of gas and oil wells. *Scientific forum. Siberia*, 9(1), pp. 55-58. (In Russian).
11. Kolbikov, S. V. (1999). Metody podscheta zapasov po padeniyu plastovogo davleniya. *Gas Industry*, (1), pp. 18-22. (In Russian).
12. Paklinov, N. M., Nazarova, N. V., Zaboieva, M. I., & Esikov, S. N. (2021). Development of automated system for adapting of hydrodynamic model gas field. *Natural and technical sciences*, (6(157)), pp. 135-137. (In Russian).
13. Beznosikov, A. F., Zaboieva, M. I., Sintsov, I. A., & Ostapchuk, D. A. (2016). *Razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy*. Tyumen, Industrial University of Tyumen Publ., 80 p. (In Russian).

Информация об авторах / Information about the authors

Левитина Екатерина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, levitinaee@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-8868>

Инякина Екатерина Ивановна, кандидат технических наук, доцент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Паклинов Никита Михайлович, кандидат технических наук, ассистент кафедры разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень

Ekaterina E. Levitina, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen, levitinaee@tyuiu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4509-8868>

Ekaterina I. Inyakina, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Nikita M. Paklinov, Candidate of Engineering, Assistant at the Department of Development and Exploitation of Oil and Gas Fields, Industrial University of Tyumen

Статья поступила в редакцию 12.10.2023; одобрена после рецензирования 17.10.2023; принята к публикации 19.10.2023.

The article was submitted 12.10.2023; approved after reviewing 17.10.2023; accepted for publication 19.10.2023.