

Информационные технологии, автоматизация и управление в нефтегазовой отрасли

Information technologies, automation and management in the oil and gas industry

25.00.17 Разработка и эксплуатация (технические науки)

DOI: 10.31660/0445-0108-2019-5-145-152

УДК 622.276.4

К вопросу выбора режима работы скважинного насоса при нестационарном отборе жидкости

К. Л. Горшкова*, Н. Н. Алаева, Л. Г. Орехова

Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, Россия
*e-mail: chri_leon@mail.ru

Аннотация. Рассмотрен нестационарный режим отбора жидкости как один из способов увеличения нефтеотдачи пластов. При данном режиме работы скважины определяются оптимальные периоды переключения работы насоса для увеличения дебита нефти и снижения обводненности жидкости. Объект исследования — система «пласт — скважина — насос». Цель исследования — обеспечение эффективного режима эксплуатации скважин. В работе был использован описательный метод, включающий анализ переходных процессов системы «пласт — скважина — насос» на имитационном стенде, интерпретацию графиков переходных процессов, сопоставление и обобщение результатов. Представлены результаты экспериментальных исследований переходных процессов изменения давления на имитационном стенде при разных режимах работы насоса. Результаты исследований показали зависимость изменения давления от режима работы насоса, то есть зависимость параметра пласта от изменения гидравлического сопротивления системы «пласт — скважина — насос». Для каждого переходного процесса определили оптимальный период работы насоса равный $3\tau_{пл}$, который обеспечит эффективный режим эксплуатации скважин.

Ключевые слова: переходный процесс; режим работы; насос; имитационный стенд; нестационарный отбор жидкости

To the issue of choosing the well pump operation mode under unsteady drainage

Kristina L. Gorshkova*, Natalya N. Alaeva, Leysana G. Orekhova

Almetyevsk State Oil Institute, Almetyevsk, Russia
*e-mail: chri_leon@mail.ru

Abstract. The article discusses the unsteady drainage as one of the ways to increase oil recovery. With this well operation process, optimal periods of pump switching are determined to increase the oil flow rate and reduce the watercut. The object of study is the "reservoir — well — pump" system. The purpose of the study is to ensure efficient operation of wells. We use the descriptive method, including the analysis of transient processes of the "reservoir — well — pump" system on a simulation bench, interpretation of transient graphs, and comparison and generalization of the results. The research results showed the dependence of the pressure change on the pump operation mode, i.e. the dependence of the formation parameter on the change in the flow resistance of the "reservoir — well — pump" system. For each transient process, the optimal period of pump operation was determined equal to 3τ , which will ensure efficient well production mode.

Key words: transient process; operation mode; pump; simulation bench; unsteady drainage

Введение

Одним из наиболее важных вопросов нефтяной отрасли является вопрос повышения нефтеизвлечения из разрабатываемых месторождений. Большинство нефтяных месторождений Республики Татарстан находятся на поздней стадии эксплуатации, и их остаточные запасы классифицируются как трудно-извлекаемые, доля которых постоянно растет.

В настоящее время является актуальным вопрос внедрения низкзатратных методов увеличения добычи нефти, например нестационарный отбор жидкости, с целью эффективного извлечения остаточных запасов нефти [1–3]. Анализ влияния циклического воздействия (нестационарный режим) на нефтеотдачу трещиновато-пористого пласта приведен в работах ученых Ю. М. Молоковича, А. И. Маркова, Э. И. Сулейманова, Р. Г. Фархуллина, Н. Н. Непримерова, Р. С. Хисамова [1–10]. В работах [11, 12] показано, что циклическое воздействие на трещиновато-пористый пласт позволяет повысить его нефтеотдачу по сравнению со стационарным режимом отбора жидкости. В работе В. Г. Белова, А. Ю. Горшенина, В. А. Иванова и др. рассмотрен способ нестационарного извлечения нефти [13], при котором периодическую депрессию осуществляют без остановки погружного скважинного насосного оборудования. На основе этого был разработан способ перевода скважин на эффективный режим эксплуатации [14], при котором после нестационарного режима работы скважину переводят на стационарный режим.

При нестационарном режиме создаются и распространяются фильтрационные волны давления в пласте [15, 16], что создает условия вовлечения нефти в фильтрационные потоки призабойной зоны скважины и позволяет повысить коэффициент извлечения нефти. Импульсное воздействие от изменения производительности насоса передается по стволу скважины от насоса на забой и далее в эксплуатируемый пласт.

Зависимость забойного давления от импульсного воздействия при изменении производительности насоса [17]:

$$P_{заб} = P_{нач} + P(1 - e^{-\frac{t}{\tau_{пл}}}), \quad (1)$$

где $P_{заб}$ — забойное давление, атм; $P_{нач}$ — начальное значение давления, атм; P — импульсное изменение давления, атм; t — время переходного процесса, с; $\tau_{пл}$ — время реакции пласта на изменение производительности насоса, рассчитанное по переходному процессу для каждой скважины.

Для эффективного управления процессом добычи нефти при нестационарном отборе жидкости необходимо рассматривать единую взаимосвязанную систему «пласт — скважина — насос». В лаборатории кафедры автоматизации и информационных технологий Альметьевского государственного нефтяного института был спроектирован и реализован имитационный стенд [18, 19] для исследования переходных процессов системы «пласт — скважина — насос» (рис. 1).

Основной целью выполнения экспериментальных исследований является выявление условий для обеспечения эффективного режима эксплуатации скважин при нестационарном режиме отбора жидкости.

На данном имитационном стенде были проведены экспериментальные исследования переходных процессов системы «пласт — скважина — насос», по результатам которых осуществлены анализ переходных процессов изменения давления, сопоставление и обобщение результатов экспериментов. Имитация изменения режимов работы скважинного насоса проводилась путем изменения положения шаровых клапанов (*КШ*) на имитационном стенде, структурная схема которого представлена на рисунке 2.



Рис. 1. Имитационный стенд для исследования переходных процессов системы «пласт — скважина — насос»

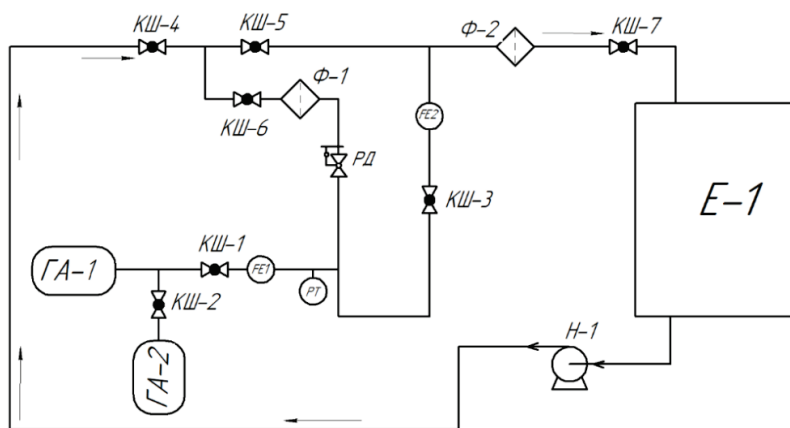


Рис. 2. Структурная схема имитационного стенда системы «пласт — скважина — насос»: ГА-1 — гидроаккумулятор, имитирующий емкость пласта; ГА-2 — гидроаккумулятор, имитирующий наполнение скважины; емкость Е-1 — для сбора жидкости; КШ-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 — шаровые клапаны, Ф-1, 2 — фильтры; РД — редуктор давления; FE1, FE2 — счетчики жидкости; PT — манометр; Н-1 — центробежный насос

На рисунке 3 представлена разработанная структурная схема сбора и передачи данных с имитационного стенда на автоматизированное рабочее место (АРМ) специалиста.

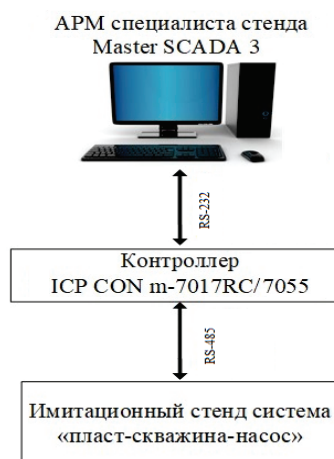


Рис. 3. Структурная схема сбора и передачи данных

- по условиям проведения эксперимента изменяем степень открытия шаровых клапанов $KШ-1, 2$ (таблица), имитируя изменение режима работы скважинного насоса.

Этап 3. Анализ результатов исследований.

Исследования были проведены в три этапа:

Этап 1. Определение условий проведения экспериментов, составление матрицы экспериментов: изменение степени открытия шаровых клапанов $KШ-1, 2$ (в %).

Этап 2. Проведение экспериментов на имитационном стенде. Визуализация графиков переходных процессов изменения давления в режиме реального времени в программе Master SCADA 3 с выгрузкой массивов данных в программу Microsoft Excel.

Последовательность проведения экспериментов следующая:

- исходное состояние соответствует максимальному отбору жидкости, при этом все шаровые клапаны полностью открыты (см. рис. 2), и из емкости $E-1$ с помощью насоса $H-1$ жидкость поступает в гидроаккумуляторы $ГА-1$ и $ГА-2$;

Условия проведения экспериментов

Номер эксперимента	Степень открытия клапанов, %	
	$KШ-1$	$KШ-2$
1	100	100
2	100	30
3	0	100
4	30	100
5	30	30
n	...	...

В каждом эксперименте получены графики изменения значений давления в режиме реального времени с визуализацией в программе Master SCADA 3 (рис. 4) и с выгрузкой массивов данных в Microsoft Excel (рис. 5).

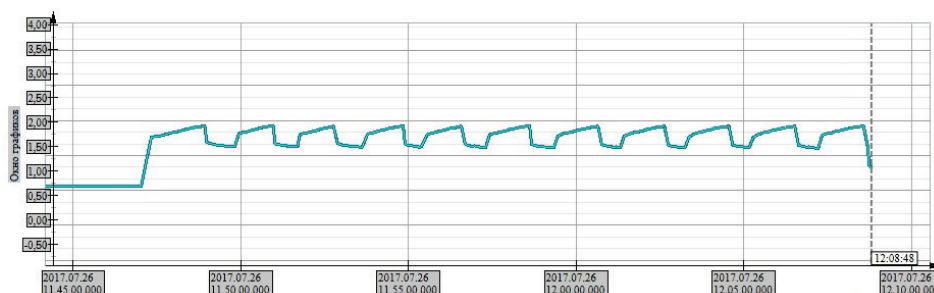


Рис. 4. График переходного процесса изменения давления для одного эксперимента в программе Master SCADA 3

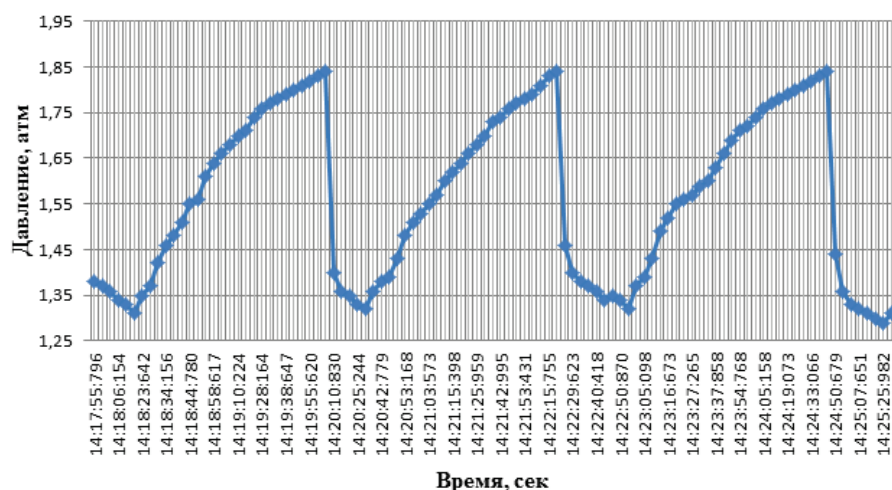


Рис. 5. Фрагмент графика переходного процесса изменения давления для одного эксперимента, экспортированный в Microsoft Excel

По полученным графикам переходных процессов изменения давления были определены следующие качественные показатели: время реакции пласта, время переходного процесса, максимальное отклонение давления в переходный период. Для одного из экспериментов определены значения времени реакции пласта $\tau_{nl1} = 50$, $\tau_{nl2} = 25$, $\tau_{nl3} = 19$, $\tau_{nl4} = 4$, $\tau_{nl5} = 3$; время переходного процесса за один импульсный скачок изменения давления $t = 136$ с; максимальное отклонение давления в переходный период 0,52 атм.

По результатам анализа переходных процессов получено, что изменение давления происходит по экспоненциальному закону на протяжении времени $5\tau_{nl}$, за которое давление меняется на 99,3 % от созданного импульсного давления, при этом реакция пласта продолжается. Для эффективного управления фильтрационной волной давления целесообразно использовать период изменения режима работы насоса равный времени реакции пласта $3\tau_{nl}$, поскольку за это время давление изменяется на величину 95 % от созданного импульсного давления. Выявлено, что после периода более $3\tau_{nl}$ изменение давления происходит медленно, при этом $3\tau_{nl}$ для каждого эксперимента отличается, так как на имитационную систему «пласт — скважина — насос» оказывает влияние изменение гидравлического сопротивления системы.

Выводы

- Подтверждено, что изменение давления происходит по экспоненциальному закону на протяжении времени $5\tau_{nl}$, за которое давление меняется на 99,3 % от созданного импульсного давления.
- Выявлено, что для эффективного управления фильтрационной волной давления целесообразно использовать период изменения режима работы насо-

са равный $3\tau_{пл}$, так как за это время давление изменяется на величину 95 % от созданного импульсного давления.

- Установлено, что время реакции пласта $3\tau_{пл}$ для каждого переходного процесса отличается, так как на имитационную систему «пласт — скважина — насос» оказывает влияние изменение гидравлического сопротивления системы.

- Рекомендуются для определения оптимального периода нестационарного воздействия на пласт со стороны добывающей скважины определять время реакции пласта $\tau_{пл}$ при максимальном и минимальном отборе жидкости.

Работа была выполнена по договору на оказание услуг №290/0002/2115/48 от 01.05.2017 г. с ПАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина по теме: «Разработка алгоритмов автоматического управления режимами работы добывающих скважин и подбор средств автоматизации для обеспечения способа нестационарного отбора жидкости».

Библиографический список

1. Пьезометрия окрестности скважин. Теоретические основы / Ю. М. Молокович. — Казань: ДАС, 2000. — 202 с.
2. Выработка трещиновато-пористого коллектора нестационарным дренированием / Ю. М. Молокович [и др.]. — Казань: Регентъ, 2000. — 156 с.
3. Фархуллин Р. Г. Комплекс промысловых исследований по контролю за выработкой запасов нефти. — Казань: ТАТПОЛИГРАФЪ, 2002. — 304 с.
4. Молокович Ю. М. Неравновесная фильтрация и ее применение в нефтепромысловой практике. — М.—Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика»; Институт компьютерных исследований, 2006. — 214 с.
5. Непримеров Н. Н. Влияние промыслового эксперимента на развитие теории фильтрации // Проблемы теории фильтрации и механика процессов повышения нефтеотдачи: сб. — М.: Наука, 1987. — С. 153–162.
6. Непримеров Н. Н. Технология оптимальной выработки пласта. — Казань, 1986. — 223 с.
7. Пат. 2 453 689. РФ, МПК E21B 43/20 (2006.01). № 2011136778/03. Способ разработки нефтяной залежи / Хисамов Р. С., Хамидуллин М. М., Шайдуллин Р. Г., Галимов И. Ф., Ванюрихин И. С., Галиев Ф. А.; заявл. 06.09.11; опубл. 20.06.12, Бюл. № 27.
8. Gavrilo A. G., Ovchinnikov M. N., Shtanin A. V. Geological structures recognition and evaluation of water saturation in oil fields by the hydrodynamical methods // Proc.Int.Conf. Geometrization of Physics IV (October 4–8). — Kazan, 1999. — P. 208–210.
9. Brill J. P., Mukherjee H. K. Multiphase flow in wells // First Printing Henry I., Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. — Richardson, Texas, 1999. — 384 p.
10. Kitsios V. Recovery of fluid mechanical modes in unsteady separated flows / PhD thesis, Department of Mechanical Engineering, The University of Melbourne and Institute PPRIME, Université de Poitiers — 2010. — P.119–123. Available at: <http://hdl.handle.net/11343/35705>.
11. Чекалин А. Н., Конюхов В. М., Волков Ю. А. Анализ влияния циклического воздействия на нефтеотдачу трещиновато-пористого пласта // Концепция развития методов увеличения нефтеизвлечения: материалы семинара-дискуссии (Бугульма, 27–28 мая 1996 г.). — С. 79–83.
12. Результаты исследований методов управления скважиной с СШН, основанных на способе нестационарного отбора скважинной продукции / В. В. Самойлов [и др.] // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. — 2014. — № 8. — С. 26–30.
13. Пат. 2228352. РФ, МПК E21 B 43/12 (2006.1). № 2004129979. Способ нестационарного извлечения нефти из пласта / Белов В. Г., Горшенин А. Ю., Иванов В. А., Козловский В. С., Мусаев Х. Ц., Федосеев А. И., Шелехов А. Л.; заявл. 18.10.04; опубл. 27.11.2006.
14. Пат. 2 289 019. РФ, МПК E21 B 43/16 (2006.1) № 2005108894. Способ перевода скважин на оптимально эффективный режим эксплуатации / Белов В. Г., Горшенин А. Ю., Иванов В. А., Козловский В. С., Мусаев Х. Ц., Федосеев А. И.; заявл. 18.03.05; опубл. 10.12.06.

15. Hollaender F., Hammond P. S., Gringarten A. C. Harmonic testing for continuous well and reservoir monitoring // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio (29 September – 2 October). – 2002. – P. 1–12. DOI: 10.2118/77692-MS
16. Kuo C. H. Determination of reservoir properties from sinusoidal and multirate flow test in one or more wells // Society of Petroleum Engineers Journal. – 1972. – Vol. 12, Issue 6 – P. 499–507. DOI: 10.2118/3632-PA
17. Самойлов В. В., Фролов С. А. Нетрадиционный подход к реализации способа повышения нефтеотдачи пластов. – Альметьевск, 2014. – 48 с.
18. Исследование переходных процессов при нестационарных режимах отбора жидкости на имитационном стенде / Ю. Б. Томус [и др.] // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Альметьевск, 25–28 октября 2017 г.). Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2018. – С. 199–203.
19. Горшкова К. Л., Орехова Л. Г., Алаева Н. Н. К вопросу управления режимами работы добывающих скважин для нестационарного способа отбора жидкости // Достижения, проблемы и перспективы развития нефтегазовой отрасли: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2018. – С. 203–205.

References

1. Molokovich, Yu. M., Markov, A. I., Davletshin, A. A., & Kushtanova, G. G. (2000). P'ezometriya okrestnosti skvazhin. Teoreticheskiye osnovy. Kazan, DAS Publ., 202 p. (In Russian).
2. Molokovich, Yu. M., Markov, A. I., Suleymanov, E. I., Farhullin, R. G., Kushtanova, G. G., Davletshin, A. A.,... Nikashev, O. A. (2000). Vyrabotka treshchinovato-poristogo kollektora nestatsionarnym drenirovaniem. Kazan, Regent Publ., 156 p. (In Russian).
3. Farhullin, R. G. (2002). Kompleks promyslovykh issledovaniy po kontrolyu za vyrabotkoy zapasov nefii. Kazan, TATPOLIGRAF Publ., 304 p. (In Russian).
4. Molokovich, Yu. M. (2006). Neravnovesnaya fil'tratsiya i ee primeneniye v neftepromyslovoy praktike. Moscow-Izhevsk, Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika (Research Center); Regul'yarnaya i khaoticheskaya dinamika; Institut komp'yuternykh issledovaniy, 214 p. (In Russian).
5. Neprimerov, N. N. (1987). Vliyanie promyslovogo eksperimenta na razvitiye teorii fil'tratsii. Problemy teorii fil'tratsii i mekhanika protsessov povysheniya nefteotdachi. Moscow, Nauka Publ., pp. 153-162. (In Russian).
6. Neprimerov, N. N. (1986). Tekhnologiya optimal'noy vyrabotki plasta. Kazan, 223 p. (In Russian).
7. Hisamov, R. S., Hamidullin, M. M., Shajdullin, R. G., Galimov, I. F., Vanyurihin, I. S., & Galiev, F. A. Sposob razrabotki neftyanoy zalezhi. Pat. RF 2 453 689, MPK E21B 43/20 (2006.01). No 2011136778/03. Applied: 06.09.11. Published: 20.06.12. Bulletin No 27. (In Russian).
8. Gavrillov, A. G., Ovchinnikov, M. N., Shtanin, A. V. (1999). Geological structures recognition and evaluation of water saturation in oil fields by the hydrodynamical methods. Proc.Int.Conf. Geometrization of Physics IV (October 4–8). Kazan, pp. 208-210. (In English).
9. Brill, J. P., Mukherjee, H. K. (1999). Multiphase flow in wells. First Printing Henry I., Doherty Memorial Fund of AIME Society of Petroleum Engineers Inc. Richardson, Texas, 384 p. (In English).
10. Kitsios, V. (2010). Recovery of fluid mechanical modes in unsteady separated flows. PhD thesis, Department of Mechanical Engineering, The University of Melbourne and Institute PPRIME, Universite de Poitiers. pp. 119-123. (In English). Available at: <http://hdl.handle.net/11343/35705>.
11. Chekalin, A. N., Konyuhov, V. M., & Volkov, Yu. A. (1996). Analiz vliyaniya tsiklicheskogo vozdeystviya na nefteotdachu treshchinovato-poristogo plasta. Kontseptsiya razvitiya metodov uvelicheniya nefteizvlecheniya: materialy seminar-diskussii (Bugulma, May 27-28, 1996). Bugulma, pp.79-83. (In Russian).
12. Samoilov, V. V., Frolov, S. A., Samoilov, D. Yu., & Usov, V. V. (2014). Results of researches of the methods applied for control of a well with a sucker-rod pump, based on the technique of non-stationary removal of a well product. Automation, telemechanization and communication in the oil industry, (8). pp. 26-30. (In Russian).

13. Belov, V. G., Gorshenin, A. Yu., Ivanov, V. A., Kozlovskiy, V. S., Musaev, H. C., Fedoseev, A. I. & Shelekhov, A. L. Sposob nestatsionarnogo izvlecheniya nefi iz plasta. Pat. 2228352. RF, MPK E21 B 43/12 (2006.1). No 2004129979. Applied: 18.10.04. Published: 27.11.06. (In Russian).
14. Belov, V. G., Gorshenin, A. Yu., Ivanov, V. A., Kozlovskiy, V. S., Musaev, H. C., & Fedoseev A. I. Sposob perevoda skvazhin na optimal'no effektivnyy rezhim ekspluatatsii. Pat. 2 289 019. RF, MPK E21 B 43/16 (2006.1). No 2005108894. Applied: 18.03.05; Published: 10.12.06. (In Russian).
15. Hollaender, F., Hammond, P. S., & Gringarten, A. C. (2002). Harmonic testing for continuous well and reservoir monitoring. SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio (29 September–2 October). San Antonio, Texas, pp. 1-12. (In English). DOI: 10.2118/77692-MS
16. Kuo, C. H. (1972). Determination of reservoir properties from sinusoidal and multirate flow test in one or more wells. Society of Petroleum Engineers Journal, 12(6), pp. 499-507. (In English). DOI: 10.2118/3632-PA
17. Samoylov, V. V., & Frolov, S. A. (2014). Netraditsionnyy podkhod k realizatsii sposoba povysheniya nefteotdachi plastov. Almeteyvsk, 48 p. (In Russian).
18. Tomus, Yu. B., Gorshkova, K. L., Alaeva, N. N., Orekhova, L. G. (2018). Issledovanie perekhodnykh protsessov pri nestatsionarnykh rezhimakh otbora zhidkosti na imitatsionnom stende. Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoy otrasli: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Almeteyvsk, October 25-28, 2017). Almeteyvsk, Almeteyvsk State Oil Institute Publ., pp. 199-203. (In Russian).
19. Gorshkova, K. L., Orekhova, L. G., Alaeva, N. N. (2018). K voprosu upravleniya rezhimami raboty dobyvayushchikh skvazhin dlya nestatsionarnogo sposoba otbora zhidkosti. Dostizheniya, problemy i perspektivy razvitiya neftegazovoy otrasli: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Almeteyvsk, Almeteyvsk State Oil Institute Publ., pp. 203-205. (In Russian).

Сведения об авторах

Горшкова Кристина Леонидовна, к. т. н., доцент кафедры автоматизации и информационных технологий, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, e-mail: chri_leon@mail.ru

Алаева Наталья Николаевна, старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных технологий, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

Орехова Лейсана Гамировна, старший преподаватель кафедры автоматизации и информационных технологий, Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск

Information about the authors

Kristina L. Gorshkova, Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Automation and Information Technologies, Almeteyvsk State Oil Institute, e-mail: chri_leon@mail.ru

Natalya N. Alaeva, Senior Lecturer at the Department of Automation and Information Technologies, Almeteyvsk State Oil Institute

Leysana G. Orekhova, Senior Lecturer at the Department of Automation and Information Technologies, Almeteyvsk State Oil Institute