



ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОМОНИТОРНЫХ ШАРОШЕЧНЫХ ДОЛОТ ПРИ БУРЕНИИ ВЗРЫВНЫХ СКВАЖИН

Р.С. ИБРАГИМОВ^{1,*}, Ш.О. БАХШАЛИЕВА¹, П.В. СУЛЕЙМАНОВА²

¹ *Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности
34, проспект Азадлыг, г. Баку AZ1010, Азербайджан*

² *Сумгаитский государственный университет
1, ул. Баку, г. Сумгаит AZ5008, Азербайджан*

АННОТАЦИЯ

Введение. При бурении взрывных скважин используют различные буровые инструменты. Производительность бурения шарошечными долотами (до 30 м в Азербайджане в смену) по сравнению с другими бурильными инструментами (10—15 м в смену) значительно выше, поэтому данный вид бурения взрывных скважин применяют на геологических взрывных скважинах чаще других.

Цель. Рассмотреть возможность совершенствования технологии бурения взрывных скважин на основе внедрения новой методики бурения с использованием гидромониторных долот для повышения эффективности бурения скважин.

Материалы и методы. В статье рассмотрены результаты бурения взрывных скважины с позиции изменения давления в скважине под воздействием высокого напора струи, вытекающей из насадок гидромониторного шарошечного долота. При решении проблемы повышения эффективности и строительстве взрывных скважин внимание уделяется использованию гидромеханического разрушения забоя скважины.

Результат. Показано, что из-за резкого изменения давления в порах пород заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, разрушаются. Внедрение высоконапорной струи промывочной жидкости в забое скважины способствует улучшению управления процессом бурения.

Ключевые слова: проходка, скважина, гидромониторные долота, горное давление, плотность жидкости, промывочная жидкость

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирования: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Ибрагимов Р.С., Бахшалиева Ш.О., Сулейманова П.В. Исследование гидромониторных шарошечных долот при бурении взрывных скважин. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(2):134—140. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-134-140> EDN: [XSTCQL](#)

Статья поступила в редакцию 10.11.2023

Принята к публикации 25.02.2025

Опубликована 30.06.2025

* Автор, ответственный за переписку

USE OF HYDROMONITOR ROLLER BITS FOR DRILLING BLAST BOREHOLES

RAFIQ S. IBRAHIMOV^{1,*}, SHİRİN O. BAHSHALIEVA¹, PARVANA V. SULEYMANOVA²

¹ Azerbaijan State University of Oil and Industry
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan

² Sumgait State University
1, Baku str., Sumgait AZ5008, Azerbaijan

ABSTRACT

Background. Blast boreholes can be drilled using various drilling tools. The drilling efficiency of roller bits (up to 30 m per shift in Azerbaijan) is significantly higher than that of other drilling tools (10—15 m per shift), which explains their wider application.

Aim. To improve the technology of blast borehole drilling by applying hydromonitor bits with the purpose of increasing the drilling efficiency.

Material and methods. The process of blast borehole drilling was analyzed, with a focus on changes in the pressure in the borehole under the influence of a high-pressure jet flowing out of the nozzles of a hydromonitor roller bit. When solving the problem of increasing the drilling efficiency of such boreholes, attention is paid to the use of hydromechanical destruction of the borehole bottom.

Results. The conducted analysis showed that sharp changes in the pressure in rock pores lead to compression of the liquid contained therein. This creates a hydraulic shock, which expands the pore walls and destroys them. The introduction of a high-pressure jet of washing fluid in the borehole bottom contributes to improving the control of the drilling process.

Keywords: penetration, borehole, hydromonitor roller bits, rock pressure, liquid density, washing fluid

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Ibrahimov R.S., Bahshalieva S.O., Suleymanova P.V. Use of hydromonitor roller bits for drilling blast boreholes. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(2):134—140. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-2-134-140> EDN: [XSTCQL](https://www.edn.ru/XSTCQL)

Manuscript received 10 November 2023

Accepted 25 February 2025

Published 30 June 2025

* Corresponding author

Введение

Геолого-разведочные организации стран СНГ ежегодно проходили около 300 км подземных и более 100 млн м³ открытых горных выработок. Более 90% подземных и 35% открытых выработок проходится с использованием взрывчатых веществ (ВВ).

При бурении взрывных скважин используют различные буровые инструменты. Производительность бурения шарошечными долотами (до 30 м в Азербайджане в смену) по сравнению с другими бурильными инструментами (10—15 м в смену) значительно выше, поэтому дан-

ный вид бурения взрывных скважин применяют на геологических взрывных скважинах чаще других. Несмотря на это, улучшение и повышение качественных и количественных показателей буровых станков шарошечного бурения представляет собой актуальную задачу.

Известно, что на работу шарошечного долота влияют удельная осевая нагрузка, прочность и абразивность буримых пород, конструктивные особенности долота (форма, типоразмер, диаметр), износ долота в процессе бурения, степень очистки забоя скважины от шлама, скорость вращения долота и конструктивные особенности станка.

Совместному влиянию вышеуказанных факторов на механическую скорость и производительность станков вращательного бурения посвящены различные теоретические и практические исследования [4, 7, 11]. Однако фундаментального решения данного вопроса до сих пор не найдено.

При бурении скважин гидромониторными шарошечными долотами на взрывных скважинах в результате гидромеханического взаимодействия струи жидкости с горной породой в условиях забоя скважины из-за удара струи происходит дополнительное гидромеханическое разрушение породы. Физик Д. Максвелл указывал, что при определенных условиях жидкость обладает вязкоупругим характером [5]. В момент удара жидкость в струе вначале сжимается и только затем начинает растекаться. Опыты показали, что релаксационный период, когда жидкость сохраняет свойства твердого тела, измеряется миллионными долями секунды, а период растекания длится в сотни раз дольше. Причем период релаксации весьма трудно обнаружить в опытах [8]. При неизменных осевой нагрузке и скорости вращения механическая скорость проходки в взрывных скважинах с увеличением расхода жидкости возрастает. Существенно улучшить очистку забоя от выбуренных частиц и повысить механическую скорость проходки можно,

если гидравлическую мощность потока промывочной жидкости реализовать в насадках гидромониторного шарошечного долота [1, 2].

Материалы и методы

Анализ отечественной литературы показал, что скорость шарошечного бурения зависит от многочисленных факторов, которые можно объединить в четыре группы: физико-технические свойства разрушаемой породы, геометрические параметры шарошечного долота, условия взаимодействия долота с породой и режимы бурения [4, 5, 7, 11].

Многочисленные теоретические исследования, проводимые для определения скорости бурения, привели к получению сложных формул с многочисленными коэффициентами, многие из которых необходимо определять опытным путем, например [5].

Для проходки скважин большого диаметра в горных породах и грунтах IV—VII групп применяют машины шарошечного бурения с долотами соответствующих размеров, в том числе и с турбобурами, рабочий орган которых имеет турбинный привод. Анализ данных по бурению взрывных скважин Азербайджана (Гедабек) и сведений о составе горных пород (длинные промежутки очень мягких плохо уплотненных сланцев, доломитов, песчаников, глин) показывает, что в основном породы и руды имеют коэффициент крепости $f = 8—14$ по шкале Протодяконова. Типовая конструкция взрывных скважин, пробуренных в Азербайджане показана на рисунке 1.

Известно, что в горном деле происходит возникновение гидромеханического давления под воздействием высокого напора струи. Промывочный раствор, вытекающий из насадок гидромониторного шарошечного долота, по своей природе является пульсирующим во время бурения взрывных скважин. Следовательно, в породе, где действует горное давление, возникает знакопеременное напряжение, в результате чего происходит усталость породы [3]. Величина небольшого увеличения давления в поровом пространстве за счет распространения упругих продольных волн может быть определена по формуле Н.Е. Жуковского

$$P = \rho_{ж} v c, \quad (1)$$

где $\rho_{ж}$ — плотность жидкости;
 v — скорость струи, потерянная при встрече с поверхностью забоя скважины;
 c — скорость распространения упругих волн расширения, определяемая по формуле [10, 13]:

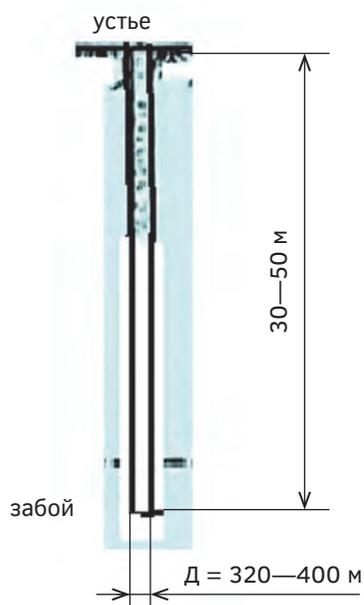


Рис. 1. Типовая конструкция взрывных скважин, пробуренных в Азербайджане

Fig. 1. Design of the blasthole boreholes drilled in Azerbaijan

$$c = \sqrt{\frac{1}{\rho_n} \left[\frac{\bar{E}(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} + (am+b)(1-\mu) \right]}, \quad (2)$$

где ρ_n — плотность породы;
 \bar{E} — модуль объемной упругости пористой среды;
 μ — коэффициент Пуассона породы;
 m — коэффициент объемной пористости среды;
 a и b — экспериментальные коэффициенты.

Экспериментально [10] было установлено, что модуль упругости для хрупких тел при динамической нагрузке больше, чем при статической.

Так как коэффициент Пуассона при сжатии больше, чем при расширении, следовательно, с ростом глубины скважины его значение должно возрастать. По данным американских исследователей [14, 6], для песчаника с коэффициентом пористости $m = 0,30$ коэффициент Пуассона равен $\mu = 0,25$, а модуль упругости колеблется в пределах $E = 2,87 \times 10^8 \div 1,05 \times 10^9$ Н/м².

Экспериментальные коэффициенты, входящие в формулу (2), вычислены для пористого песчаника с коэффициентом пористости $m = 0,25$ — $0,30$, плотностью $\rho_n = 2,598 \times 10^3$ Н/м³ и модулем упругости $E_n = 4,79 \times 10^{10}$ Н/м² и составляют: $a = 2,87 \times 10^9$ — $1,92 \times 10^{10}$ Н/м²; $b = 2,39 \times 10^8$ — $9,58 \times 10^8$ Н/м². Величина коэффициента деформации скелета порового пространства определяется по формуле:

$$\varepsilon = \frac{P \cdot d_n}{4\delta_0 E_n} (2 - \mu), \quad (3)$$

где d_n — диаметр пор;
 δ_0 — толщина перегородок порового пространства.

Эффективный напор для разрушения угла составляет: $h_{эфф} = (30 \div 50)f$, где f — коэффициент крепости по М.М. Протодьяконову.

При напоре струи 3—5 МПа разрушаются породы крепостью $f \leq 1$.

Плотность однородного изотропного пористого песчаника определяется по формуле:

$$\rho = (1 - m) \rho_n + m \rho_{ж}. \quad (4)$$

С ростом глубины скважины плотность пористой породы изменяется под влиянием давления и температуры.

Было установлено, что при условиях $t > 130$ °С плотность промывочной жидкости с ростом давления возрастает по линейному закону:

$$\Delta \rho_p = 4 \cdot 10^{-10} P(I), \quad (5)$$

а с ростом температуры — по квадратичному закону

$$\Delta \rho_t = 4 \cdot 10^{-5} \rho_0 t + 3 \cdot 10^{-6} t^2 - 0,4 \rho_0 \left(\frac{t - 130}{t} \right)^2. \quad (6)$$

Таким образом, плотность песчаника, насыщенного жидкостью, возрастает с ростом давления и уменьшается с ростом температуры, т.е.

$$\rho_{б.р.} = \rho_0 + \Delta \rho_p - \Delta \rho_t. \quad (7)$$

Принимая эффективную пористость породы за абсолютную, для среднего значения объемной упругости можно написать:

$$\bar{E} = \frac{E_{ж} \cdot E_n}{E_{ж} (1 - m) + m E_n}. \quad (8)$$

Фактически модуль упругости породы также является функцией давления и температуры.

Скорость распространения звука в жидкости является линейной функцией температуры. Для воды эта зависимость описывается формулой:

$$c_t = 1390 + 3,3t.$$

Скорость распространения звука в промывочном растворе в зависимости от давления аппроксимируется согласно линейному закону:

$$c_p = 1512 + 0,275P. \quad (9)$$

При возникновении гидромеханического давления в поровом пространстве в результате взаимодействия высоконапорной струи промывочной жидкости с поверхностью забоя скважины относительное изменение объема промывочной жидкости в порах породы равно:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{3(1 - 2\mu)}{\bar{E}} P, \quad (10)$$

где P — давление жидкости, действующее в поровом пространстве породы.

Так как плотность промывочной жидкости является функцией давления и температуры, то относительное изменение объема промывочного раствора в поровом пространстве может быть записано в виде:

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_{б.р.} - \rho_0}{\rho_{б.р.}}. \quad (11)$$

Приравнявая (10) и (11), получим:

$$P = \frac{(\rho_{б.р.} - \rho_0) \bar{E}}{3\rho_{б.р.} (1 - 2\mu)}, \quad (12)$$

где ρ_0 — плотность промывочной жидкости на устье скважины;

$\rho_{б.р.}$ — плотность промывочного раствора в условиях забоя скважины.

Таким образом, при заданных значениях физических параметров промывочной жидкости и пористой породы скорость струи, необходимая для гидромеханического разрушения забоя скважины, может быть определена на основании совместного решения вышеуказанных формул:

$$v = \frac{\rho_{б.р.} - \rho_0}{3\rho_{р.г}^2(1-2\mu)} \cdot \frac{E_{ж} \cdot E_{п}}{E_{ж}(1-m) + mE_{п}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{п}(1+\mu)(1-2\mu)}{\bar{E}(1-\mu) + (1-\mu^2)(1-2\mu)(am+b)}} \quad (13)$$

Для качественной оценки различных факторов на механическую скорость бурения при условиях обеспечения гидромониторного эффекта по формуле (13) выполнены расчеты и проиллюстрированы на рисунке 2.

Кривые на рисунке 2 построены с использованием следующих исходных данных:

$P_{ос} = 5, 10, 15$ и 20 т;
 $\rho_{б.р.} = 1890; 1850; 1820; 1800$ кг/м³;
 $\rho_0 = 1860; 1820; 1790; 1770$ кг/м³;
 $a = 2,87 \times 10^9$ Н/м²;
 $b = 2,39 \times 10^{10}$ Н/м²;
 $m = 0,30$.

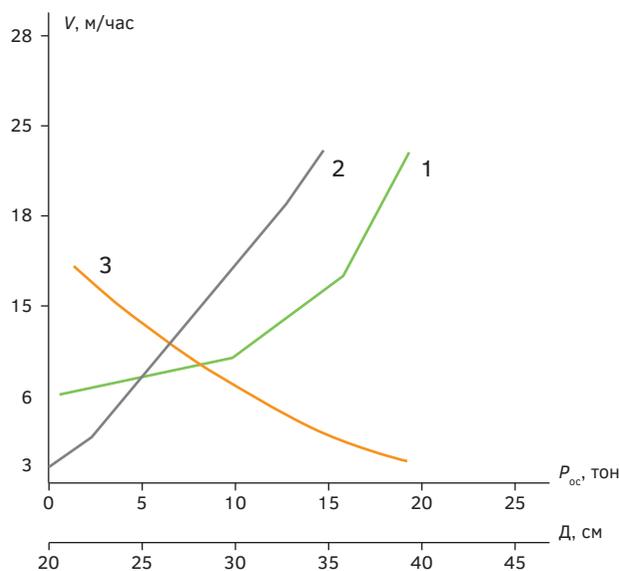


Рис. 2. Зависимость механической скорости бурения от скорости выхода струи из насадок долота (1), осевой нагрузки (2) и диаметра долота (3)

Fig. 2. Dependence of the mechanical drilling speed on the speed of the jet exiting the bit nozzles (1) and the bit diameter (3)

По формуле (13) определяем гидромониторную скорость струи, необходимой для гидромеханического разрушения забоя скважины

$$v = \frac{\rho_{р.г} - \rho_0}{3\rho_{р.г}^2(1-2\mu)} \cdot \frac{E_{ж} \cdot E_{п}}{E_{ж}(1-m) + mE_{п}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_{п}(1+\mu)(1-2\mu)}{\bar{E}(1-\mu) + (1-\mu^2)(1-2\mu)(am+b)}}$$

$$v = \frac{18900 - 18870}{3 \cdot 18900^2 (1 - 2 \cdot 0,25)} \cdot \frac{2,03 \cdot 10^9 \cdot 4,7910^{10}}{2,03 \cdot 10^9 (1 - 0,30) + 0,30 \cdot 4,7910^{10}} \cdot \sqrt{\frac{2,598 \cdot 10^3 (1 + 0,25)(1 - 2 \cdot 0,25)}{6,18 \cdot 10^9 (1 - 0,25) + (1 - 0,25^2)(1 - 2 \cdot 0,25)(2,87 \cdot 10^9 \cdot 0,30 + 2,38 \cdot 10^8)}} = 129,08.$$

Аналогично: $v = 132,07$; $v = 136,05$; $v = 138,07$.

Заключение

1. В результате мгновенного торможения жидкости в открытых или сообщающихся трещинах или порах породы кинетическая энергия струи превращается в потенциальную, и за этот период жидкость приобретает упругий характер. Благодаря высокой плотности жидкости и скорости распространения звука в ней при внезапном изменении давления в жидкости образуются упругие продольные волны большой интенсивности.

2. Из-за резкого изменения давления в порах породы, заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, хрупко разрушаются. Происходит это явление при достижении критического значения растягивающего напряжения; при расчетах процесса гидромеханического разрушения забоя скважины, и взаимодействия высоконапорной струи бурового раствора с поверхностью забоя скважины пористых пород в условиях забоя скважины следует учесть объемную упругость пористой среды, заполненной жидкостью.

3. При увеличении давления в порах пород заключенная в них жидкость сжимается, происходит гидравлический удар, в результате чего стенки пор, расширяясь, хрупко разрушаются. Этот процесс происходит при достижении критического значения растягивающего напряжения. При расчетах в результате взаимодействия высоконапорной струи промывочной жидкости в забое скважины с пористыми породами происходит гидромеханическое разрушение забоя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бэтчелор Дж. Введение в динамику жидкости. Пер. с англ. под ред. Г.Ю. Степанова. М.: Мир, 1973. 760 с.
2. Козырев С.П., Шальнев К.К. Релаксационная гипотеза механизма соударения жидкости и твердого тела. ДАН СССР. Т. 192. № 3. С. 552—554.
3. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 842 с. ISBN 5-7107-6327-6.
4. Медведев И.Ф. Режимы бурения и выбор буровых машин. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1986. 223 с.
5. Максвелл Д.К. Труды по кинетической теории: сборник научных трудов. 3-е изд. М., 2020. 409 с.
6. Милн-Томсон Л.М. Теоретическая гидродинамика. М.: Мир, 1964. 656 с.
7. Ржевский В.В. Открытые горные работы. М.: URSS, 2019. Кн. 1. Производственные процессы. 512 с.
8. Сафаров Я.И. Повышение эффективности бурения нефтяных и газовых скважин в осложненных условиях. Баку: «САДА», 2000. 280 с.
9. Седов Л.И. Механика сплошной среды. М.: Наука, 1970. Т. 2. 568 с.
10. Се Л.Ю. Распространение волн в пористой среде, насыщенной жидкостью. Тр. АОИМ, сер. Е. 1973. № 4. С. 36—40.
11. Федоров В.С., Беликов В.Г., Зенков Ф.Д. и др. Практические расчеты в бурении. М.: Недра, 1966. 600 с.
12. Хуршудов В.А., Балабешко В.В., Семяников В.С. Влияние температуры и давления на плотность бурового раствора. 1983, № 7. С. 9—11.
13. Darrigol O. Worlds of flow. A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl. Oxford: Oxford University Press, 2005. 356 с. ISBN 978-0-19-856843-8.

REFERENCES

1. Batchelor J. Introduction to fluid dynamics. Moscow: Mir, 1973. 760 p. (In Russ.).
2. Kozyrev S.P., Shalnev K.K. Relaxation hypothesis of the mechanism of collision of a liquid and a solid body. DAN SSR, Vol. 192, 1970, no. 3. P. 552—554 (In Russ.).
3. Loitsyansky L. G. Mechanics of liquid and gas. Moscow: Drofa, 2003. 842 p. ISBN 5-7107-6327-6 (In Russ.).
4. Medvedev I.F. Drilling modes and selection of drilling machines. 2nd ed., revised. and additional. Moscow: Nedra, 1986. 223 p. (In Russ.).
5. Maxwell D.K. Works on kinetic theory: collection of scientific papers. 3rd ed. Moscow, 2020. 409 p. (In Russ.).
6. Milne-Thomson L.M. Theoretical hydrodynamics. Moscow: Mir, 1964. 656 p. (In Russ.).
7. Rzhovsky V.V. Open pit mining. Moscow: URSS, 2019. Book. 1. Production processes. 512 p. (In Russ.).
8. Safarov Ya.I. Increasing the efficiency of drilling oil and gas wells in difficult conditions. Baku: "SADA", 2000. 280 p. (In Russ.).
9. Sedov L.I. Continuum mechanics. Moscow: Nauka, 1970. T. 2. 568 p. (In Russ.).
10. Xie L.Yu. Wave propagation in a porous medium saturated with liquid. Tr. AOIM, ser. E. 1973. No. 4. P. 36—40 (In Russ.).
11. Fedorov V.S., Belikov V.G., Zenkov F.D., et al. Practical calculations in drilling. Moscow: Nedra, 1966. 600 p. (In Russ.).
12. Khurshudov V.A., Balabeshko V.V., Semyanikov V.S. The influence of temperature and pressure on the density of drilling fluid. 1983. No. 7. P. 9—11 (In Russ.).
13. Darrigol O. Worlds of flow. A history of hydrodynamics from the Bernoullis to Prandtl. Oxford: Oxford University Press, 2005. 356 p. ISBN 978-0-19-856843-8.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Ибрагимов Р.С. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Бахшалиева Ш.О. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Сулейманова П.В. — разработала концепцию и подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Rafiq S. Ibrahimov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Shirin O. Bahshaliyeva — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

Parvana V. Suleymanova — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ибрагимов Рафик Салман оглы — кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности.
34, пр. Азадлыг, г. Баку. AZ1010, Азербайджан
e-mail: rafiq.ibrahimov@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>

Rafiq S. Ibrahimov — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of Oil and Gas engineering department, Azerbaijan State Oil and Industrial University.
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan
e-mail: rafiq.ibrahimov@yahoo.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1093-6369>

Бахшалиева Ширин Октай кызы — кандидат технических наук, доцент кафедры «Нефтегазовая инженерия» Азербайджанского государственного университета нефти и промышленности.
34, пр. Азадлыг, г. Баку. AZ1010, Азербайджан
e-mail: bahshaliyeva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3802-0747>

Shirin O. Bahshaliyeva — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. of Oil and Gas engineering department, Azerbaijan State Oil and Industrial University.
34, Azadlig Ave., Baku AZ1010, Azerbaijan
e-mail: bahshaliyeva@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3802-0747>

Сулейманова Парвана Вагиф кызы — докторская степень в области химии (PhD in Chemistry), старший преподаватель кафедры инженерной химии и экологии Сумгаитского государственного университета.
1, ул. Баку, г. Сумгаит AZ5008, Азербайджан
e-mail: parvana.suleymanova@sdu.edu.az
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-065X>

Parvana V. Suleymanova — PhD in Chemistry, Senior Lecturer of Department of Engineering Chemistry and Ecology, Sumgait State University of Azerbaijan.
1, Baku str., Sumgait AZ5008, Azerbaijan
e-mail: parvana.suleymanova@sdu.edu.az
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4807-065X>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author