

УДК 681.883:622.35:550.34:550.83 © О.В. Тайлаков✉, Е.А. Уткаев,
С.В. Соколов, Е.А. Салтымаков, М.П. Макеев, 2024

ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр угля и углехимии
Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ УУХ СО РАН),
650065, г. Кемерово, Россия
✉ e-mail: oleg2579@gmail.com

UDC 681.883:622.35:550.34:550.83 © O.V. Tailakov✉, E.A. Utkaev,
S.V. Sokolov, E.A. Saltyrmakov, M.P. Makeev, 2024

Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry,
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Kemerovo, 650065, Russian Federation
✉ e-mail: oleg2579@gmail.com

Контроль устойчивости дегазационных скважин и процесса гидроразрыва угольного пласта в геофизических наблюдениях*

Monitoring the stability of degassing wells and the process of hydraulic fracturing of coal seam in geophysical observations

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2024-11S-152-156>

ТАЙЛАКОВ О.В.

Доктор техн. наук, профессор,
главный научный сотрудник
Института угля

ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии
Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: oleg2579@gmail.com

УТКАЕВ Е.А.

Канд. техн. наук, заведующий лабораторией
ресурсов и технологий извлечения
угольного метана Института угля

ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии
Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: utkaev@mail.ru

В статье предложен и опробован оригинальный подход к контролю поинтервального гидроразрыва угольного пласта. Для оценки состояния скважины использован метод эхолокации с последующей разработкой рекомендаций по размещению в ней оборудования для гидровоздействия. Модифицирована схема подключения автономного манометра к гидросистеме и проведен анализ геофизических данных, зарегистрированных с его помощью, для оценки образования техногенных трещин. Используются современные подходы к фильтрации данных натурных наблюдений в шахтных условиях. Показана сходимость результатов, полученных при исследовании устойчивости скважин эхолокационным и геофизическим методом.

Ключевые слова: поинтервальный гидроразрыв, остаточная газоносность, сейсмическое просвечивание, мониторинг гидродинамического воздействия, естественные электромагнитные импульсы, эхолокация, метанообильность, угольный пласт, геофизические исследования.

Для цитирования: Контроль устойчивости дегазационных скважин и процесса гидроразрыва угольного пласта в геофизических наблюдениях / О.В. Тайлаков, Е.А. Уткаев, С.В. Соколов и др. // Уголь. 2024;(11S): 152-156. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-152-156.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки из угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.05.2022 № 1144-р (Соглашение № 075-15-2022-1191).



Abstract

An original approach to monitoring interval hydraulic fracturing of a coal seam is proposed and tested. The echolocation method is used to assess the well condition, followed by the development of recommendations for the placement of hydraulic impact equipment in it. The scheme for connecting an autonomous pressure gauge to the hydraulic system is modified, and the geophysical data recorded with its help are analyzed to assess the formation of technogenic cracks. Modern approaches to filtering and chamber processing of in-situ observation data in mine conditions are used. The convergence of the results obtained in studying the stability of wells using the echolocation and geophysical methods is shown.

Keywords

Interval hydraulic fracturing, residual foulness, seismic scanning, hydrodynamic impact monitoring, natural electromagnetic impulses, echolocation, methane yield, coalbed, geophysical research.

Acknowledgements

The research was carried with financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation out as part of the 'Development and implementation of complex technologies in the areas of exploration and extraction of minerals, industrial safety, bioremediation, creation of new deep conversion products from coal raw materials while consistently reducing the environmental impact and risks to human life' Integrated Scientific and Technical Programme of the Full Innovation Cycle, approved by Order No. 1144-p of the Government of the Russian Federation dated May 11, 2022 (Agreement No. 075-15-2022-1191).

For citation

Tailakov O.V., Utkaev E.A., Sokolov S.V., Saltymakov E.A., Makeev M.P. Monitoring the stability of degassing wells and the process of hydraulic fracturing of coal seam in geophysical observations. *Ugol'*. 2024;(11S): 152-156. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2024-11S-152-156.

СОКОЛОВ С.В.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Института угля
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии
Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: sokolovsviuu@bk.ru

САЛТЫМАКОВ Е.А.

Ведущий инженер Института угля
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии Сибирского
отделения Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: easaltymakov@yandex.ru

МАКЕЕВ М.П.

Канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Института угля
ФГБНУ «Федеральный исследовательский
центр угля и углехимии
Сибирского отделения
Российской академии наук»,
650065, г. Кемерово, Россия,
e-mail: makeev75@ya.ru

ВВЕДЕНИЕ

Продуктивным способом интенсификации газоотдачи угольных пластов является применение поинтервального гидроразрыва для увеличения трещинно-порового пространства и проницаемости углепородного массива [1, 2, 3]. Поинтервальный гидроразрыв способствует образованию дренажных каналов с высокой проводимостью и протяженностью, однако общая протяженность разрывов и расчленений, область распространения трещин и каналов неизвестны, а эффективность гидроразрыва оценивается исключительно на основе измерения содержания метана на устье скважины [4, 5, 6]. В связи с вышеизложенным предложен оригинальный подход, позволяющий контролировать процесс гидроразрыва геофизическими методами и оценивать пространственное распространение вновь образованных каналов выхода метана из угольного пласта. Разработанный подход характеризуется относительно простой технической реализацией и отсутствием воздействия на процесс гидроразрыва.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

При проведении поинтервального гидроразрыва угольного пласта применяются пакеры для герметизации интервалов скважины, на которых проводятся стимуляции его газоотдачи. Нарушение устойчивости стенок скважины под влиянием горного давления приводит к сокращению ее протяженности и ограничивает возможность применения гидровоздействия на угольный пласт. Для оценки эффективной длины скважины применен метод эхолокации [7, 8, 9, 10, 11, 12, 13], который заключался в инициации акустического сигнала специальным приспособлением и регистрации отраженного сигнала от забоя сква-

Протяженность бурового става и фактическая длина дегазационных скважин

The length of the drilling rig and the actual length of the degassing wells

№ скважины	Протяженность бурового става, м	Длина скважины по данным эхолокации, м		
		Измерение 1	Измерение 2	Измерение 3
1	120	92	93	92
2	122	95	90	92

жины на ее устье с помощью микрофона для последующего анализа. При этом учитывалось содержание метана в скважине, оказывающее влияние на скорость распространения акустических волн в метановоздушной среде, которое определялось с помощью метанометра. Сигнал генерировался при различных коэффициентах усиления микрофона на пяти интервалах в трех измерениях для каждой из двух скважин.

Путем суммирования исходных эхограмм при изменении коэффициентов усиления построен результирующий график отраженного сигнала (рис. 1), на основе которо-

го определена фактическая усредненная протяженность каждой из двух дегазационных скважин, которая составила 92,3 м (см. таблицу).

Процесс гидровоздействия на угольный пласт [14] контролировался с применением глубинного автономного электронного манометра, который предварительно программировался и помещался в капсулу высокого давления, с ее последующим размещением в дегазационной скважине и подключением к гидросистеме шахты через специальный тройник [15, 16]. В процессе поинтервального гидроразрыва на семи интервалах скважины реги-

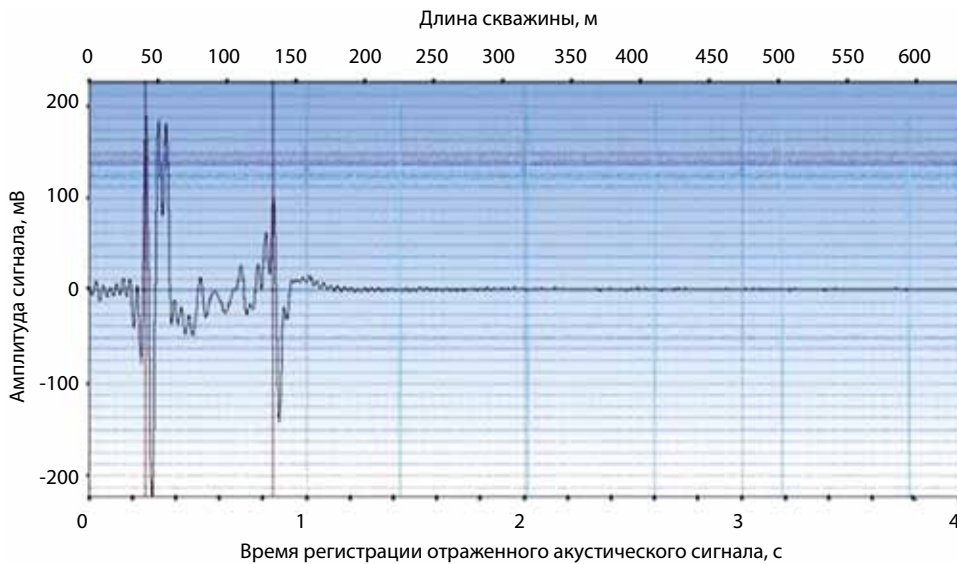


Рис.1. Обобщенная эхограмма дегазационной скважины

Fig.1. Generalized echogram of a degassing borehole

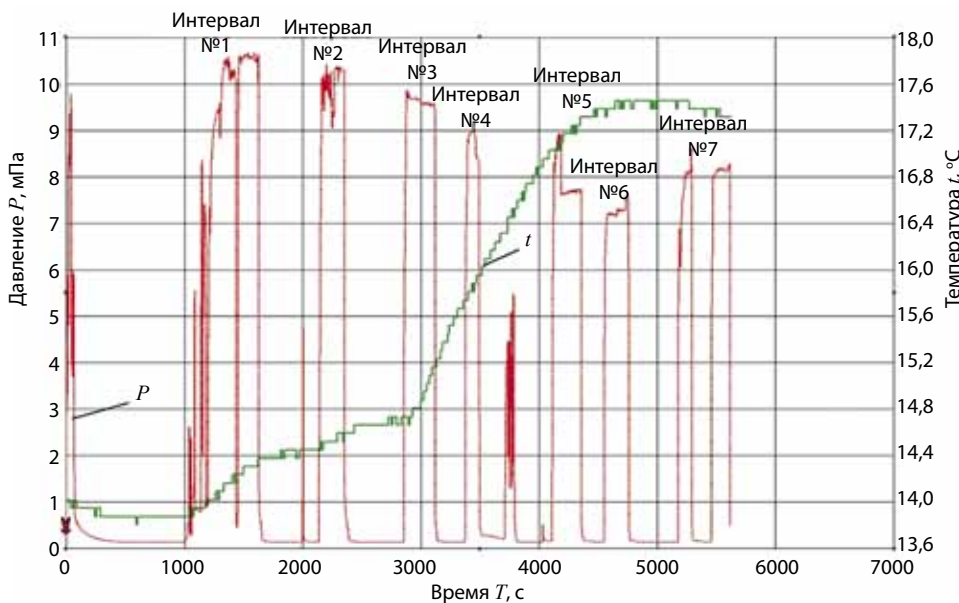


Рис. 2. Изменение давления P и температуры t в дегазационной скважине во времени T при проведении поинтервального гидроразрыва

Fig. 2. Change in pressure P and temperature t in a degassing borehole over time T during interval hydraulic fracturing

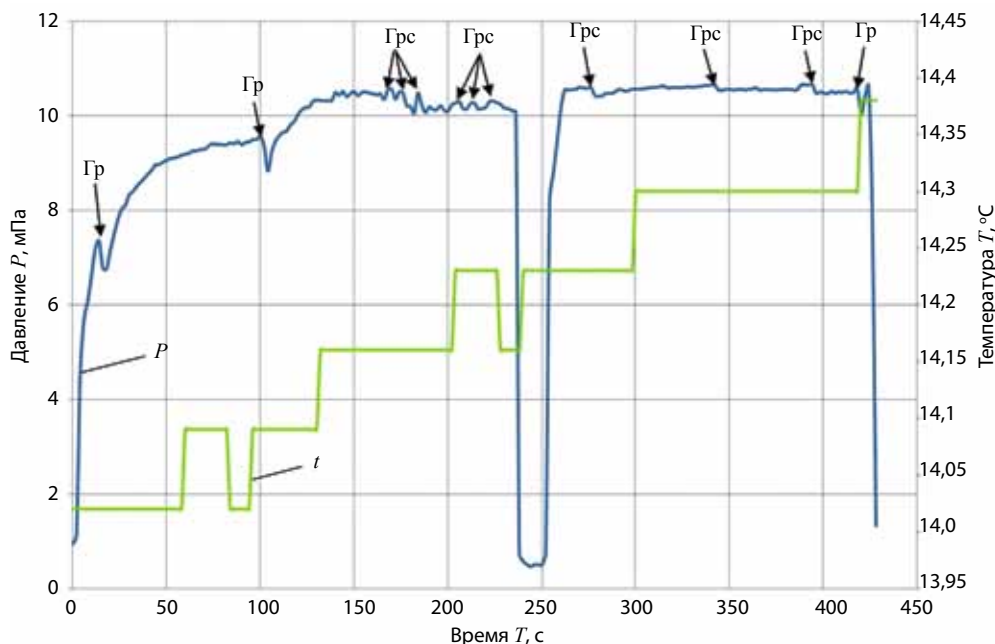


Рис. 3. Увеличенный масштаб графика изменения давления P и температуры t во времени T при проведении поинтервального гидроразрыва на первом интервале дегазационной скважины

Fig. 3. Enlarged scale of the graph of pressure P and temperature t changes over time T during interval hydraulic fracturing at the first interval of a degassing borehole

стрировалось изменение давления жидкости во времени (рис. 2). Установлено, что гидроразрыв угольного пласта происходил при давлениях от 5,3 до 10,6 МПа. При этом на каждом интервале гидроразрыв представлял собой неравномерный процесс образования дополнительных техногенных (Гр) и раскрытия естественных (Грс) трещин в прискважинной области, которым соответствовали резкие падения давления при нагнетании флюида в изолированную область дегазационной скважины (рис. 3). В ходе анализа полученных зависимостей выделены участки графика, описывающие образование новых трещин (Гр) и раскрытие существующих (Грс). В общей сложности по двум скважинам зарегистрированы падения давления, соответствующие 13 разрывам пласта с образованием новых трещин и 57 раскрытиям естественных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках предложенного подхода к контролю процесса поинтервального гидроразрыва угольного пласта применен эолокационный метод изучения целостности ствола дегазационных скважин. Показана потеря устойчивости двух скважин на удалении 92,3 м от устья при их исходной протяженности более 120 м. С использованием автономного высокоточного электронного манометра для мониторинга процесса гидровоздействия на угольный пласт установлено 69 событий, соответствующих трещинообразованию в прискважинной области. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейшем для построения план-графиков и схем размещения оборудования при проведении поинтервального гидроразрыва в условиях угольных шахт.

Список литературы • References

1. Оценка газоносности угольного пласта в границах выемочного участка шахты / Д.М. Борзых, А.М. Никитина, С.В. Риб и др. // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2021. № 3(37). С. 37-44.

2. Borzykh D.M., Nikitina A.M., Rib S.V., Kuziv E.M. Assessment of the gas content of the coal seam within the boundaries of the excavation site of the mine. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo Industrial'nogo universiteta*. 2021;3(37):37-44. (In Russ.).
3. Баловцев С.В. Сравнительная оценка аэрологических рисков на действующих угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 2-1. С. 5-17. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-5-17.
4. Balovtsev S.V. Comparative assessment of aerological risks at operating coal mines. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(2-1):5-17. (In Russ). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21-0-5-17.
5. Fischer A.L., Schultz N. Organic Carbon Correlations in Mineral Deposits: Global Perspectives. London, UK: Earth Science Publications, 2021, pp. 67-83.
6. Проблемы отработки газоносных и опасных по внезапным выбросам угольных пластов с низкой проницаемостью в карагандинском угольном бассейне / С.К. Баймухаметов, А.Ж. Имашев, Ф.А. Муллагалиев и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 10-1. С. 124-136. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-101-0-124.
7. Baymukhametov S.K., Imashev A.Zh., Mullagaliev F.A., Mullagalieva L.F., Kolikov K.S. Low-permeable gas-bearing and outburst-hazardous coal seam mining in the Karaganda Coal Basin. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*. 2021;(10-1):124-136. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2021-101-0-124.
8. Thompson J.W., Gray M.K. Hydrogen Sulfide in Potash Mining: A Comprehensive Analysis. New York, NY: Academic Press, 2019, pp. 142-158.
9. Тайлаков О.В., Кормин А.Н. Особенности методов определения газоносности угольных пластов // Научный журнал Российского газового общества. 2019. № 1(20). С. 35-38.
10. Tajlakov O.V., Kormin A.N. Features of methods for determining the gas content of coal seams. *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo gazovogo obshchestva*. 2019;1(20):35-38. (In Russ.).
11. Ситдикова Л.Ф. О наклонном падении волнового импульса на границу раздела «вода – пористая среда, насыщенная пузырьковой жидкостью» // Проблемы сбора, подготовки и транспорта

- нефти и нефтепродуктов. 2022. № 3(137). С. 9-20. DOI: 10.17122/ntj-oil-2022-3-9-20.
- Sitdikova L.F. On Oblique Incidence of a Wave Impulse on the Interface «Water – Porous Medium Saturated with Bubbly Liquid». *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*. 2022;3(137): 9-20. (In Russ.). DOI: 10.17122/ntj-oil-2022-3-9-20.
8. Геолого-геофизические исследования на шельфе полуострова Крым в 115-м рейсе НИС «Профессор Водяницкий» / Н.А. Римский-Корсаков, Н.В. Бурдиян, А.В. Лесин и др. // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2021. № 8. С. 38-43. DOI: 10.17513/mjpf.13260.
Rimsky-Korsakov N.A., Burdiyana N.V., Lesin A.V., Pronin A.A., Anisimov I.M. The 115th cruise of the R/V «Professor Vodyanitsky» geological and geophysical research at the Crimean peninsula shelf. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2021;(8):38-43. (In Russ.). DOI: 10.17513/mjpf.13260.
 9. Grall P., Kochanska I., Marszal J. Direction-of-Arrival Estimation Methods in Interferometric Echo Sounding. *Sensors*. 2020;20(12):3556.
 10. Meyer C.G., Simmonds J.J. Broadband echosounders: technologies, applications, and challenges. *Journal of Marine Science and Engineering*. 2021;9(3):287.
 11. Шишляев В.В., Пименов В.П. Оценка фильтрационных свойств угольного пласта и длины трещины гидроразрыва по результатам количественной интерпретации инъекционных тестов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2024. № 2(162). С. 35-44. DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-35-44.
Shishlyayev V.V., Pimenov V.P. Assessment of filtration properties of a coal seam and the length of a hydraulic fracturing crack based on the results of quantitative interpretation of injection falloff tests. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2024;2(162):35-44. (In Russ.). DOI: 10.26730/1999-4125-2024-2-35-44.
 12. Мясникова Н.В., Боряк С.В., Мясникова М.Г. Обработка сигналов в системах ультразвуковой локации объектов для закрытых помещений // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2019. № 4(52). С. 87-97. DOI: 10.21685/2072-3059-2019-4-7.
Myasnikova N.V., Boryak S.V., Myasnikova M.G. Signal processing in ultrasonic object's coordinate tracking systems for enclosed spaces. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Povolzhskij region. Tekhnicheskie nauki*. 2019;4(52):87-97. (In Russ.). DOI: 10.21685/2072-3059-2019-4-7.
 13. Fatkhi M.O., Tersky P.N., Kopeikin I.A. Modern methods of hydrometric research: bathymetric works using echo sounder. *Geography and Water Resources*. 2022;(4):11-19. DOI: 10.55764/2957-9856/2022-4-11-19.
 14. Разупрочнение труднообрушаемой кровли методом направленного гидроразрыва (НГР) на этапе выхода механизированного комплекса из монтажной камеры / В.И. Клишин, Г.Ю. Опрук, А.Ф. Салихов и др. // Уголь. 2020. № 11. С. 4-8. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-11-4-8.
 15. Уткаев Е.А., Соколов С.В., Таюрский М.А. Мониторинг направленного гидровоздействия на углеродный массив в условиях действующих шахт // Вестник научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 3. С. 23-30. Utkaev E.A., Sokolov S.V., Tayursky M.A. Monitoring of directional hydroelectric action on a carboniferous massif in operating mines. *Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*. 2023;(3):23-30. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOSTNII.2023.35.57.005.
 16. Li L., Wu W. Directional hydraulic fracturing technology for prefabricated longitudinal guide seams in a coal mine tight sandstone roof. *Energy Exploration and Exploitation*. 2022;40(1):400-420.

Authors Information

Tailakov O.V. – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: oleg2579@gmail.com

Utkaev E.A. – PhD (Engineering), Head of the Laboratory of Coalbed Methane Resources and Recovery Technologies, Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: utkaev@mail.ru

Sokolov S.V. – PhD (Engineering), Senior Researcher, Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: sokolovsviuu@bk.ru

Saltymakov E.A. – Lead Engineer, Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: easaltymakov@yandex.ru

Makeev M.P. – PhD (Engineering), Senior Researcher, Institute of Coal, Federal Research Center for Coal and Coal Chemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Kemerovo, 650065, Russian Federation, e-mail: makeev75@ya.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию: 15.09.2024

Поступила после рецензирования: 21.10.2024

Принята к публикации: 31.10.2024

Paper info

Received September 15, 2024

Reviewed October 21, 2024

Accepted October 31, 2024