

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕШЕНИЯ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ВЕНТИЛЯЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

А.Н. Нагорная, *nagornaya74@mail.ru*

Н.Г. Сорокина, *tashasor@yandex.ru*

А.Д. Кузьменко, *kad081297@mail.ru*

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. Одним из наиболее вредных, с точки зрения производственных выбросов, является процесс нанесения покрытий методом гальванизации. Источником выделения вредных веществ является технологическое оборудование: установки, реакторы, гальванические ванны, погрузочные машины. Задача исследования заключается в разработке оперативных, эффективных и экономически выгодных решений для обеспечения требуемого микроклимата в рабочей зоне на производстве. Для оценки двух альтернативных проектных решений выполнен расчет капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию проекта вентиляции гальванического цеха, первый вариант – с применением двухсторонних бортовых отсосов, второй – с применением бортовых отсосов со сдувом. Выполненная работа показывает, что одним из наиболее эффективных энергосберегающих решений при проектировании вентиляции гальванических производств является использование в конструкции гальванических ванн в качестве местной вытяжной вентиляции бортовых отсосов со сдувом вместо стандартных двухбортовых отсосов. За счет сокращения расходов удаляемого воздуха при реализации проекта вентиляции снижаются капитальные затраты на оборудование и материалы, а также эксплуатационные затраты на тепловую и электрическую энергию.

Ключевые слова: энергосбережение, вентиляция, гальваническое производство, гальванический цех, бортовые отсосы

Для цитирования. Нагорная А.Н., Сорокина Н.Г., Кузьменко А.Д. Энергосберегающие решения при реализации проектных решений по вентиляции гальванического производства // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2023. Т. 23, № 3. С. 57–62. DOI: 10.14529/build230307

Original article
DOI: 10.14529/build230307

ENERGY-EFFICIENT SOLUTIONS IN THE IMPLEMENTATION OF PROJECT DECISIONS ON VENTILATION FOR THE ELECTROPLATING INDUSTRY

A.N. Nagornaya, *nagornaya74@mail.ru*

N.G. Sorokina, *tashasor@yandex.ru*

A.D. Kuzmenko, *kad081297@mail.ru*

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. Some of the most harmful industrial emissions are produced by the installations, reactors, galvanic baths, and loading machines used in electroplating. The objective of this research is to develop operational, efficient and cost-effective solutions to ensure the required microclimate in electroplating shops. Operational costs for two alternative design solutions for electroplating shop ventilation were calculated: two-sided on-board suction, and on-board suction with deflation. We found that local exhaust ventilation of the on-board blow-offs of electroplating baths (instead of standard double-side suction) is one of the most effective energy-saving solutions. By reducing the consumption of removed air, capital costs for equipment and materials and operating costs for thermal and electrical energy are reduced.

Keywords: energy saving, ventilation, electroplating, electroplating shop, on-board suction

For citation. Nagornaya A.N., Sorokina N.G., Kuzmenko A.D. Energy-efficient solutions in the implementation of project decisions on ventilation for the electroplating industry. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2023;23(3):57–62. (in Russ.). DOI: 10.14529/build230307

Одним из наиболее вредных, с точки зрения производственных выбросов, является процесс нанесения покрытий методом гальванизации. Источником выделения вредных веществ является технологическое оборудование: установки, реакторы, гальванические ванны [1–4].

Задача нижеизложенного исследования заключается в разработке оперативных, эффективных и экономически выгодных решений для обеспечения требуемого микроклимата в рабочей зоне на производстве гальваники завода «LD» в г. Челябинске.

Цех гальваники размещен в одноэтажном двухпролетном здании с трёхэтажными торцовыми вспомогательными пристройками. Ранее цех представлял собой производственное помещение, где производилась сборка деталей другого предприятия. В 2020 году принято решение перепроектировать данное помещение под цех гальваники, в котором будет производиться окраска деталей, и, как следствие, возникла необходимость в разработке проекта вентиляции в связи с проблемой вентиляции в гальванических цехах.

Гальваническое производство предполагает нанесение различных защитных покрытий с помощью электролита и с пропусканием через него электрического тока [5]. Обычно используют емкости, называемые гальваническими ваннами, стоящие друг за другом, создающие гальваническую линию. Все изделия проходят поэтапную обработку: механическую очистку, полировку, а также обезжиривание [4, 6, 7], после чего на изделие наносится требуемое покрытие. На заводе «LD» используется обезжириватель ДХТИ-НТ, который предназначен для очистки поверхности черных и цветных металлов от различных видов загрязнений, следов смазки, масел, смазочно-охлаждающих жидкостей. Обезжириватель используется в водных и водно-щелочных растворах перед нанесением гальванических и других защитных покрытий [8]. Далее изделия промывают и в зависимости от нанесения требуемого покрытия выбирают соответствующую ванну [9, 10].

Местная вытяжная вентиляция на производстве представляет собой бортовые отсосы, кото-

рые по конструктивному выполнению бывают обычные, также называемые простыми, и опрокинутые [11]. У простых отсосов щелевые отверстия расположены в вертикальной плоскости, у опрокинутых – в горизонтальной. В случае, когда щель бортового отсоса расположена с одной стороны зеркала ванны, отсос называется односторонним, или однобортовым. При расположении щелей с двух противоположных сторон зеркала бортовой отсос называется двусторонним (рис. 1 а, б) [1, 12].

Если с одной стороны зеркала вредностей располагается бортовой отсос, а с другой – щель для подачи воздуха, то такое устройство называется отсосом со сдувом (поддувом) (рис. 1 в). Отсос со сдувом может быть назван активированным отсосом [1].

Расчет бортового отсоса состоит в определении количества воздуха, отсасываемого от него. При этом имеется в виду, что частицы восходящего от зеркала ванны потока должны замыкаться на щель отсоса, т. е. удаляться системой вентиляции и не попадать в помещение, где расположены ванны.

На основании проведенного выше анализа для расчета воздухообмена гальванического цеха завода «LD» выбран метод И.И. Елинского [13]. Источниками вредностей в цехе являются четыре ванны размером $0,8 \times 1,2$ м и девять ванн размерами $0,4 \times 1,1$ м, оборудованные двухбортовым отсосом.

Объем воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$, удаляемого через бортовые отсосы, определен по формуле для неактивированных отсосов со щелью всасывания в горизонтальной или вертикальной плоскости:

$$V = 1400 (0,53 B' l / (B' + l) + h)^{1/3} \times B' l C_t C_{tox} C_1 C_2 C_3 C_4. \quad (1)$$

Формула учитывает габариты ванны, расстояние от зеркала раствора до оси всасывающего отверстия, разность температур раствора и воздуха, токсичность вредных веществ и интенсивность их выделения:

B' – расчетная ширина ванны;

l – длина ванны;

h – расчетное расстояние от зеркала раствора до борта ванны или до оси всасывающего отверстия;

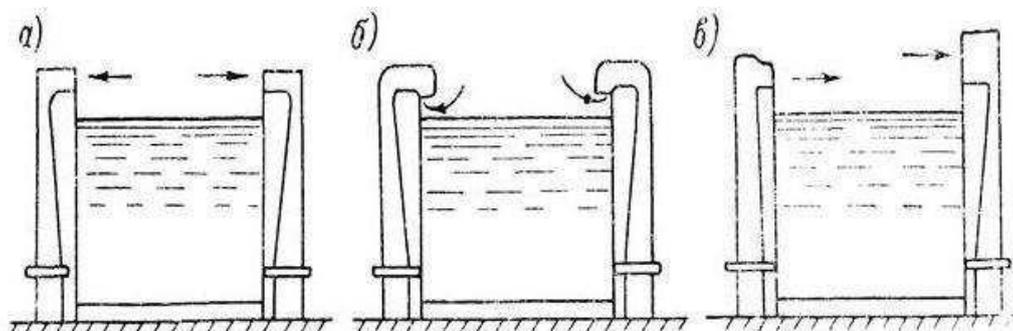


Рис. 1. Разновидности бортовых отсосов: а – обычный (простой) отсос; б – опрокинутый отсос; в – отсос с поддувом

C_t – коэффициент, учитывающий разность температур раствора и воздуха в помещении, для неактивированных отсосов $C_t = 1 + 0,0157\Delta t$, для активированных отсосов $C_t = 1 + 0,003\Delta t$.

C_{tox} – коэффициент, учитывающий токсичность вредных веществ и интенсивность их выделения, для активированных отсосов $C_{tox} = 1$;

C_1 – коэффициент, учитывающий конструкцию отсоса;

C_2 – коэффициент, учитывающий наличие воздушного перемешивания;

C_3 – укрытие поплавками;

C_4 – укрытие пеной.

Суммарный расход вытяжного воздуха по цеху гальваники составил 27 200 м³/ч, для обеспечения воздушного баланса объем приточного воздуха также равен 27 200 м³/ч.

Основной задачей при выполнении проекта вентиляции цеха является разработка энергоэффективных решений, позволяющих снизить расход потребляемых ресурсов при вентиляции.

Поскольку гальваническое производство не позволяет использовать такие широко распространенные методы снижения затрат, как рециркуляция и рекуперация воздуха [14–17], был рассмотрен вариант сокращения расходов воздуха за счет использования конструкции бортового отсоса со сдувом (рис. 1 в). При этом для увеличения эффективности улавливания вредных веществ создаются поддувочные струи, образующие воздушно-струйное укрытие ванны. Это приводит к сокращению расхода отсасываемого воздуха по сравнению с бортовыми отсосами обычного типа [13].

Для сравнения выполним расчет отсасываемого воздуха бортовым отсосом со сдувом по методике расчета М.М. Баранова [12].

Расход воздуха в данном случае определится зависимостью

$$L = 1800 \cdot K \cdot l \cdot b_2, \quad (2)$$

где K – коэффициент, зависящий от температуры жидкости, при температуре жидкости 40 °С $K = 0,5$.

Таким образом, для ванны 0,8 × 1,2 м при температуре раствора ванны 40 °С, объем воздуха, отсасываемого от ванны, равен 690 м³/ч.

Расход воздуха для сдува: $L_{сд} = 115$ м³/ч.

Результаты сравнения представлены в табл. 1.

Из расчета видно, что использование бортовых отсосов со сдувом в цехе гальваники более эффективно, чем применение двусторонних бортовых отсосов за счет сокращения требуемых объемов удаляемого воздуха.

Для рассматриваемого цеха расчетный расход воздуха сократился примерно на 40 % и составил 14 630 м³/ч, суммарный расход воздуха для сдува равен 2380 м³/ч, соответственно, расход подаваемого приточного воздуха также был снижен. Согласно проектному решению, подача приточного воздуха и его нагрев осуществляется воздушно-отопительным агрегатом с газовым нагревом «Тепловой». Таким образом, сокращение расхода приточного воздуха позволило уменьшить типоразмер воздушно-отопительного агрегата, расход газа на нагрев воздуха и, как следствие, электрическую мощность вентилятора и газовой горелки (табл. 2).

Результаты расчета бортовых отсосов

Таблица 1

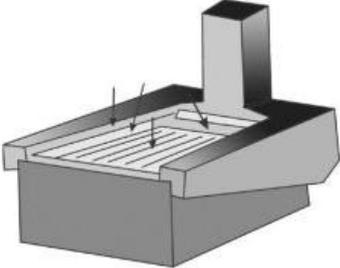
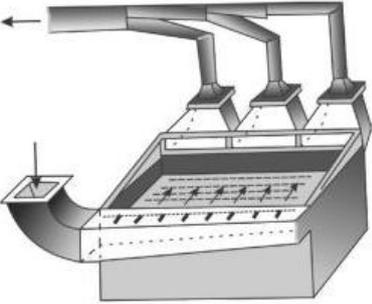
Наименование	Требуемый объем удаляемого воздуха, м ³ /ч	Вид
Ванна 0,8 × 1,2 м; $t_{ж} = 40$ °С / Ванна 0,4 × 1,1 м; $t_{ж} = 40$ °С		
Двусторонний бортовой отсос	910 / 380	
Бортовой отсос со сдувом	690 / 160	

Таблица 2

Сравнительные характеристики альтернативных решений по вентиляции гальванического цеха

Наименование	При установке двусторонних бортовых отсосов	При установке бортовых отсосов со сдувом
Требуемый расход вытяжной вентиляции, $V_{В1}$, м ³ /ч	7280	4360
Требуемый расход вытяжной вентиляции, $V_{В2}$, м ³ /ч	7280	4360
Требуемый расход вытяжной вентиляции, $V_{В3}$, м ³ /ч	5760	5760
Требуемый расход вытяжной вентиляции, $V_{В4}$, м ³ /ч	6840	2880
Максимальный диаметр воздуховода вытяжной системы при бортовых отсосах, d, мм	630	455
Потребляемая мощность вытяжного вентилятора В1, кВт	5,5	2,7
Потребляемая мощность вытяжного вентилятора В2, кВт	3,0	3,0
Потребляемая мощность вытяжного вентилятора В3, кВт	5,5	2,7
Потребляемая мощность вытяжного вентилятора В4, кВт	5,5	2,7
Требуемый расход приточной вентиляции, $V_{П1}$, м ³ /ч	27630	14980
Потребляемая мощность приточной установки П1, кВт	39,2	21,6
Наличие приточной вентиляции для сдува	–	Да
Расход воздуха приточной вентиляции для сдува, $V_{П2}$, м ³ /ч	–	2380
Потребляемая мощность приточной установки П2, кВт	–	2,2 · 2

Сокращение расхода удаляемого воздуха позволяет изменить типоразмер вытяжных вентиляторов, приточной установки, уменьшить сечения вытяжных и приточных воздуховодов, типоразмер воздухораспределителей, что в конечном итоге приведет к снижению не только капитальных затрат, но и затрат на эксплуатацию систем [18, 19, 20]. При установке бортовых отсосов со сдувом необходимо учесть проектирование дополнитель-

ной системы вентиляции для сдува с двумя вентиляторами (один – резервный).

Для оценки двух альтернативных проектных решений выполнен расчет капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию проекта гальванического цеха (табл. 3):

- с применением двусторонних бортовых отсосов;
- с применением бортовых отсосов со сдувом.

Таблица 3

Сравнительные величины капитальных и эксплуатационных затрат на реализацию проекта вентиляции

Наименование	При установке двусторонних бортовых отсосов	При установке бортовых отсосов со сдувом
Капитальные затраты на монтаж оборудования и материалов, руб.	763 900	667 090
Стоимость оборудования и материалов, руб.	2 669 196	1 752 362
Суммарные капитальные затраты, руб.	3 814 601	2 694 752
Нуст, суммарная мощность вентиляторов и газовой горелки, кВт	58,7	37,1
Затраты на потребление электричества, руб./год	2 839 452	1 794 611
Затраты на потребление тепловой энергии (газа), руб./год	1 493 133	2 485 600

Выполненная работа показывает, что одним из эффективных энергосберегающих решений при проектировании вентиляции гальванических производств является использование в конструкции гальванических ванн в качестве местной вытяжной вентиляции бортовых отсосов со сдувом вместо

стандартных двухбортовых отсосов. За счет сокращения расходов удаляемого воздуха при реализации проекта вентиляции снижаются капитальные затраты на оборудование и материалы, а также эксплуатационные затраты на тепловую и электрическую энергию.

Список литературы

1. Батурин В.В. Основы промышленной вентиляции. М.: Профиздат, 1976. 250 с.
2. Лейте В. Определение загрязнений воздуха в атмосфере и на рабочем месте: пер. с нем. / под ред. А.П. Коузова. Л.: Химия, 1980. 84 с.
3. Батурин В.В., Кучерук В.В. Вентиляция машиностроительных заводов. М.: Машгиз, 1984. 384 с.
4. Лайнер В.И. Гальванические покрытия лёгких сплавов. М.: Metallurgizdat, 1959. 138 с.
5. Рысин С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов. М.: Машгиз, 1960. 612 с.
6. Кудрявцев Н.Т. Гальванотехника: учебник. М.; Л.: Гизлегпром, 1940. 284 с.
7. Якоби Б.С. Работы по электрохимии: сборник статей и материалов под ред. акад. А.Н. Фрумкина. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1957. 304 с.
8. Робинсон Р., Стокс Р. Растворы электролитов: пер. с английского. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. 647 с.
9. Методы оценки производственной среды промышленных предприятий: сборник / под ред. Н.Ф. Измерова, Ю.Г. Широкова. М.: Медицина, 1980. 366 с.
10. Молчанов Б.С. Проектирование промышленной вентиляции. Л.: Стройиздат, 1970. 240 с.
11. Агафонов Е.П. Наладка систем промышленной вентиляции. М., 1978. 156 с.
12. Баранов М.М. Бортовые отсосы от промышленных ванн. М.: МИСП им. Куйбышева, 1978. 122 с.
13. Елинский И.И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1989. 152 с.
14. Уорк К., Уорнер С.М. Загрязнение воздуха. Источники и контроль. пер. с англ. / под ред. Е.Н. Тверовского. М.: Мир, 1980. 466 с.
15. ГОСТ 12.1.005–76. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования. М.: Стандарты, 1976. 31 с.
16. ГОСТ 12.1.016–79. Система стандартов безопасности труда. Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ. М.: Стандарты, 1979. 10 с.
17. Перечень категорий производств по взрывной, взрывопожарной и пожарной опасности и классов взрывоопасных и пожароопасных зон предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности. Утвержден Минлесбумпромом СССР от 18 апреля 1984 г.
18. Краснов Ю.С., Овчинников П.А. Справочник молодого слесаря по изготовлению и монтажу вентиляционных систем. М., 1983. 322 с.
19. Башмаков И.А. Повышение энергоэффективности в российской промышленности. М.: Центр по эффективному использованию энергии (ЦЭНЭФ), 2013 [Электронный ресурс]. URL: http://www.cenef.ru/file/UK_1_01.pdf (дата обращения: 29.05.2023).
20. Тишин О.А., Харитонов В.Н., Гагапова Н.Ц. Теоретические основы энерго- и ресурсосбережения в химической технологии. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2012. 33 с.

References

1. Baturin V.V. *Osnovy promyshlennoy ventilyatsii* [Fundamentals of industrial ventilation]. Moscow: Profizdat Publ., 1976. 250 p. (in Russ.)
2. Leite V. *Determination of air pollution in the atmosphere and in the workplace*. Translated from German/ edited by A.P. Kouzova. Leningrad: Chemistry, 1980. 84 p.
3. Baturin V.V., Kucheruk V.V. *Ventilyatsiya mashinostroitel'nykh zavodov* [Ventilation of machine-building plants]. Moscow: Mashgiz, 1984. 384 p. (in Russ.)
4. Liner V.I. *Gal'vanicheskie pokrytiya legkikh splavov* [Electroplating of light alloys]. Moscow: Metallurgizdat Publ., 1959. 138 p. (in Russ.)
5. Rysin S.A. *Ventilyatsionnye ustanovki mashinostroitel'nykh zavodov* [Ventilation installations of machine-building plants]. Moscow: Mashgiz, 1960. 612 p. (in Russ.)
6. Kudryavtsev N.T. *Gal'vanotekhnika: uchebnik* [Electroplating: textbook]. Moscow-Leningrad: Gizlegprom, 1940. 284 p. (in Russ.)
7. Jacobi B.S. *Raboty po elektrokhemii: Sbornik statey i materialov* [Works on electrochemistry: Collection of articles and materials] ed. by Frumkin A.N. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences; 1957. 304 p. (in Russ.)

8. Robinson R.A., Stokes R.H. *Electrolyte Solutions: The Measurement and Interpretation of Conductance, Chemical Potential, and Diffusion in Solutions of Simple Electrolytes*. Academic Press, 1959. 559 p.
9. *Metody otsenki proizvodstvennoy sredy promyshlennykh predpriyatiy. Sbornik* [Methods of assessing the production environment of industrial enterprises. Collection]. Ed. by N.F. Izmerov, Yu.G. Shirokov. Moscow: Medicine, 1980. 366 p. (in Russ.)
10. Molchanov B.S. *Proektirovanie promyshlennoy ventilyatsii* [Design of industrial ventilation]. Leningrad: Stroyizdat Publ., 1970. 240 p. (in Russ.)
11. Agafonov E.P. *Naladka sistem promyshlennoy ventilyatsii* [Adjustment of industrial ventilation systems]. Moscow; 1978. 156 p. (in Russ.)
12. Baranov M.M. *Bortovye otsosy ot promyshlennykh vann* [On-board suction from industrial baths]. Moscow: MISP im. Kuibyshev, 1978. 122 p. (in Russ.)
13. Elinsky I.I. *Ventilyatsiya i otoplenie gal'vanicheskikh tsekhov mashinostroitel'nykh predpriyatiy* [Ventilation and heating of galvanic workshops of machine-building enterprises]. 2nd ed. Moscow: Mechanical Engineering; 1989. 152 p. (in Russ.)
14. Wark K., Warner C.F. *Air Pollution: Its Origin and Control*. New York: IEP, 1976.
15. *GOST 12.1.005–76. Occupational safety standards system. Working zone air. General sanitary requirements*. Moscow: Standards Publ., 1976. 31 p. (in Russ.)
16. *GOST 12.1.016–79. Occupational safety standards system. Working zone air. Requirements for measurement techniques of unhealthy matters concentrations*. Moscow: Standards Publ., 1979. 10 p. (in Russ.)
17. The list of categories of productions on explosive, explosion and fire hazard and classes of explosive and fire-hazardous zones of enterprises of the forest and woodworking industry. Approved by the Ministry of Forestry of the USSR on April 18, 1984. (in Russ.)
18. Krasnov Yu.S., Ovchinnikov P.A. *Spravochnik molodogo slesarya po izgotovleniyu i montazhu ventilyatsionnykh sistem* [Handbook of a young locksmith for the manufacture and installation of ventilation systems]. Moscow, 1983. 322 p. (in Russ.)
19. Bashmakov I.A. *Povyshenie energoeffektivnosti v rossiyskoy promyshlennosti* [Improving energy efficiency in Russian industry]. Moscow: Center for Efficient Use of Energy (CENEF); 2013 [Electronic resource] Available at: http://www.cenef.ru/file/UK_I_01.pdf (accessed 29.05.2022). (in Russ.)
20. Tishin O.A., Kharitonov V.N., Gatapova N.C. *Teoreticheskie osnovy energo- i resursosberezheniya v khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical foundations of energy and resource conservation in chemical technology]. Tambov: Publishing House of TSTU, 2012. 33 p. (in Russ.)

Сведения об авторах:

Нагорная Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; nagornaya74@mail.ru

Сорокина Наталия Георгиевна, старший преподаватель кафедры «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; tashasor@yandex.ru

Кузьменко Анастасия Дмитриевна, магистр, кафедра «Градостроительство, инженерные сети и системы», Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kad081297@mail.ru

Information about the authors:

Anastasia N. Nagornaya, Cand. Sci. in Engineering, associate professor, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; nagornaya74@mail.ru

Natalia G. Sorokina, Senior Lecturer, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; tashasor@yandex.ru.

Anastasia D. Kuzmenko, Master's student, Department of Town Planning, Engineering Networks and Systems, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kad081297@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 30.05.2023; принята к публикации 14.06.2023.

The article was submitted 30.05.2023; approved after reviewing 14.06.2023.