Тип статьи: научная
УДК 637.1
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-141-147

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАТЕРИАЛА ПОВЕРХНОСТИ И ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ НА ЕЕ ЗАГРЯЗНЯЕМОСТЬ

Сергей Александрович Анохин [1], Дмитрий Вячеславович Никитин [2], Юрий Викторович Родионов [3], Гуськов Артём Анатольевич [4], Григорий Вячеславович Рыбин [5], Святослав Николаевич Аникин [6]

[1,2,3,4,5,6] *Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов, Россия*
[1] *fwut@mail.ru*
[2] *vacuum2008@yandex.ru*
[3] *rodionow.u.w@rambler.ru*
[4] *tyoma-1@mail.ru*
[5] *enot1237@gmail.com*
[6] *swatoslaw_anikin@mail.ru*

Автор, ответственный за переписку: Григорий Вячеславович Рыбин, enot1237@gmail.com
Corresponding author: Grigory V. Rybin, enot1237@gmail.com.

Реферат. *Основными источниками загрязнения молочного сырья выступают технологическое оборудование сбора, хранения и транспортировки. Рассмотрены процессы снижения степени загрязнения поверхностей, соприкасающихся с молочным сырьем - мойка и дезинфекция. Согласно применяемому способу воздействия на загрязнение: химическое, физическое, физико-химическое происходит выбор материала поверхностей оборудования, соприкасающихся с сырьем. Исследовали некоторые адгезионные свойства материалов по отношению к загрязнителю (молочное сырье) и к моющему и дезинфицирующему средству (вода, водный раствор моющего средства). Для характеристики материала введено понятие загрязняемости – свойство материала, характеризующееся способностью снижать адгезионные свойства загрязнителя в соприкосновении с поверхностью. В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния параметров материала (полимеры и металлы) и температурных режимов на адгезионные свойства загрязнителя – молока с жирностью 3,2 %. Анализ результатов показал определенные зависимости загрязняемости поверхности от краевого угла смачивания и температурных режимов процесса. По результатам исследования сделаны следующие выводы: материал поверхности и температурный режим одинаково действует на свойства адгезии как загрязнителя, так и моющего реагента; полимерный материал подвержен меньшей загрязняемости, что характеризуется меньшими затратами моющего реагента в процессе мойки; температурный режим непосредственно влияет на адгезионные свойства материал, загрязнителя и моющего реагента, при этом повышение температуры уменьшает краевой угол смачивания, а уменьшение температуры – увеличивает; шероховатость материала оказывает влияние на краевой угол смачивания.*

Ключевые слова: *мойка, дезинфекция, молоко, загрязняемость, шероховатость.*

INFLUENCE OF SURFACE MATERIAL PARAMETERS AND TEMPERATURE REGIMES ON ITS CONTAMINATION

Sergei Anokhin [1], Dmitri Nikitin [2], Yuri Rodionov [3], Artem Guskov [4], Grigory Rybin [5], Svyatoslav Anikin [6]

[1,2,3,4,5,6] *Tambov State Technical University, Tambov, Russia*
[1] *fwut@mail.ru*
[2] *vacuum2008@yandex.ru*
[3] *rodionow.u.w@rambler.ru*

[4] *tyoma-1@mail.ru*
[5] *enot1237@gmail.com*
[6] *swatoslaw_anikin@mail.ru*

Abstract. *The main sources of contamination of dairy raw materials are the technological equipment for collection, storage and transportation. The processes of reducing the degree of contamination of surfaces in contact with raw milk - washing and disinfection - are considered. According to the applied method of influencing pollution: chemical, physical, physico-chemical, the material of equipment surfaces in contact with raw materials is selected. Some adhesive properties of materials in relation to a pollutant (raw milk) and to a detergent and disinfectant (water, an aqueous solution of a detergent) were studied. The concept of contamination is a property of a material characterized by the ability to reduce the adhesive properties of a pollutant in contact with the surface, introduced to characterize the material. The results of an experimental study of the influence of material parameters (polymers and metals) and temperature regimes on the adhesion properties of a pollutant - milk with a fat content of 3.2% are presented in the work. An analysis of the results showed certain dependences of the surface contamination on the contact angle of wetting and the temperature regimes of the process. The following conclusions are made based on the results of the study: the surface material and temperature conditions have the same effect on the adhesion properties of both the pollutant and the detergent; the polymeric material is subject to less contamination, which is characterized by lower costs of the detergent during the washing process; the temperature regime directly affects the adhesive properties of the material, pollutant and detergent, while an increase in temperature reduces the wetting angle, and a decrease in temperature increases it; The roughness of the material affects the contact angle.*

Keywords: *washing, disinfection, milk, contamination, roughness.*

Для цитирования: Анохин С.А., Никитин Д.В., Родионов Ю.В., Рыбин Г.В., Аникин С.Н. Влияние параметров материала поверхности и температурных режимов на её загрязняемость // Наука в центральной России. 2022. № 6 (60), С. 140-146. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-140-146.

For citation: Anokhin S., Nikitin D., Rodionov Y., Rybin G., Anikin S. Influence of surface material parameters and temperature conditions on its contamination. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 140-146. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-140-146.

Введение. Выбор материала для конструкций, на зависимо от их назначения, связан не только с технологическими возможностями его обработки, но и с дальнейшими особенностями эксплуатации заданной конструкции. Необходимо учитывать эксплуатационные свойства материала в различных условиях [1 – 3]. Для емкостей хранения и транспортирования молочного сырья, а также для молокопроводов таких агрегатов как доильные аппараты, важно уделять внимание такому свойству материалов как загрязняемость – свойствоматериала, характеризующееся способностью снижать адгезионные свойства загрязнителя в соприкосновении с поверхностью. Низкая загрязняемость материала способствует более эффективным процессам мойки и дезинфекции, что позволяет использовать экономичные режимы данных процессов и снизить их стоимость.

Процесс мойки связан с очисткой поверхности путем воздействия моющего реагента с загрязнением и отмываемой поверхностью [4, 5]. Воздействия могут быть классифицированы на следующие основные группы:

- химическое – как правило, процесс связан с растворением загрязнителя в моющем реагенте на молекулярном уровне. Такой процесс применяется для сложных загрязнений с высокой адгезией (пример загрязнения – молочный камень);
- физическое – такой процесс основывается на явлении трения, может применяться без моющего реагента (механическое) и с ним (гидромеханическое);
- физико-химическое – процесс, основанный на адгезионных свойствах моющего реагента, загрязнения и поверхности. Сам процесс представляет собой сложный комплекс поверхностных явлений, которые образуют моющее действие.

Наибольший интерес в современной науке и технике получило физико-химическое воздействие в процессах мойки. Это связано с повышенной эффективность самого процесса мойки и его экономичности. Однако к недостаткам можно отнести сложность данного процесса.

К основным поверхностным явлениям в процессе мойки относят поверхностную активность и поверхностную прочность. На данных явлениях была сформулирована П.А. Ребиндером теория моющего действия [6]. По состоянию на сегодняшний день, на основе данной теории продолжают развитие технологии мойки на основе поверхностно-активных веществ (ПАВ) [7]. Задачи ПАВ заключаются в снижении поверхностного натяжения моющего реагента, произвести обволакивание загрязнения без расщепления его на молекулы с последующим отделением от поверхности и воспрепятствовать его оседанию обратно на поверхность, рисунок 1. Технологии ПАВ в мойке могут осуществляться с пенообразованием и без таковой [8]. Пенообразующие технологии трудно применимы (или не применимы вовсе) в циркуляционных мойках (связано это с затруднением удаления пены из закрытых пространств), в связи с чем они не подходят для емкостей хранения и транспортирования молочного сырья и молокопроводов доильных аппаратов.

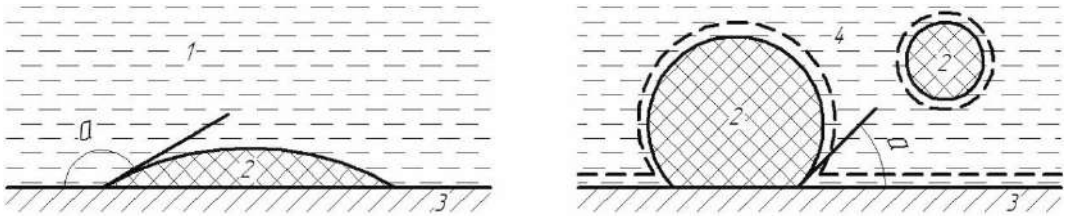

Рисунок 1 – Принцип работы ПАВ: 1 – моющий раствор, 2 – загрязнение, 3 – поверхность

Вода и ПАВ – это дорогостоящие элементы, и снижение их расхода – одна из задач повышения экономичности процессов мойки и дезинфекции. В связи с чем в данной работе была выдвинута гипотеза – материал конструкции, адгезионные свойства загрязнителя и моющего реагента влияют на качество и экономичность процессов мойки и дезинфекции.

Материалы и методы

Для подтверждения данной гипотезы было проведено исследование, целью которого является определение зависимости коэффициента смачиваемости на границе раздела фаз жидкость – поверхность – воздух от температурных режимов жидкости и поверхности и материала поверхности. В качестве жидкости рассматривались загрязнитель (молоко с процентным содержанием жира 3,2 ± 0,2 %) и моющий реагент (питьевая вода, соответствующая [9, 10], и раствор моющего средства марки Fairy [состав: 5-15% анионные ПАВ, <5% неионогенные ПАВ, консерванты, ароматизирующие добавки, гераниол, лимонен] в соотношении 1/10). Основной задачей исследования зависимости было измерение угла смачиваемости на указанной границе раздела.

Общий ход работы представлял собой следующее: образцы материалов поверхностей (пластины) подвергались температурному воздействию до достижения заданной температуры поверхности. Загрязнитель и моющий реагент также подвергались температурному воздействию. Заданное количество загрязнителя и моющего реагента (по 2 мл) помещались на поверхности пластин в различных температурных сочетаниях. Затем производилась фотосъемка в плоскости, ортогональной к пластине таким образом, чтобы была достаточно четко видна исследуемая граница раздела фаз. Далее с помощью компьютерной обработки снимка определялся угол смачивания.

Установление пониженной температуры добивались путем помещения образцов в холодильную камеру, а повышенной температуры – путем равномерного нагрева (для пластин в водной среде, для загрязнителя и моющего реагента – непосредственный подогрев). В данном контексте под пониженной и повышенной температурой следует понимать температуру соответственно ниже и выше температуры окружающей среды.

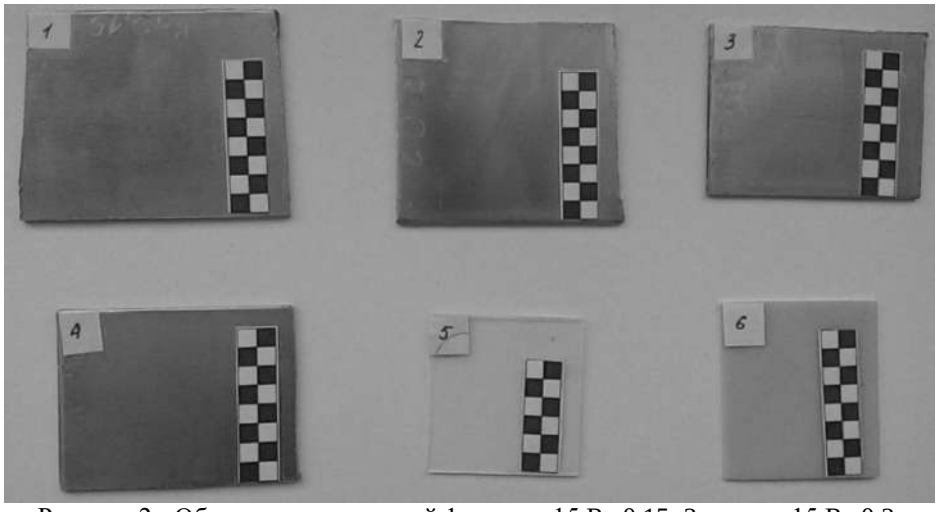

Рисунок 2 - Образцы поверхностей:1 – сталь 15 Ra 0,15; 2 – сталь 15 Ra 0,2; 3 – сталь 15 Ra 0,4;4 – сталь 15 Ra 0,8; 5 – ПВХ; 6 – ПЭВП

Материалами пластин были следующие (также см. рисунок 2):
- сталь 15 с шероховатостями образцов R_a = 0,15; 0,2; 0,4; 0,8 мкм;
- полимер ПВХ;
- полимер ПЭВП.

Результаты и их обсуждение

В таблице 1 приведены результаты угла смачиваемости на границе раздела фаз при температуре материала равной температуре окружающей среды. В таблице 2 результаты при различных температурах материала, на рисунке 3 приведены фотоснимки капель.

В столбце «Обработка» таблицы 2 отмечалось, что пластина после охлаждения подвергалась обработке сухой салфеткой. Такая обработка оказалась необходимой после того, как было замечено на поверхности пластины тонкий слой жидкости (предположительно конденсата, причем образованного в холодильной камере), который резко уменьшал краевой угол смачивания вплоть до 0 (для сравнения в таблице также показаны данные результаты).

Следует отметить, что шероховатость влияет на угол смачивания по-разному для разных жидкостей. Так для относительно однородных жидкостей (вода и, в некоторой степени, молоко) показывали уменьшение угла, а раствор – увеличение. Однако молоко также является раствором и имеет меньший угол смачивания, чем у воды.

Кроме того, образующаяся тонкая пленка на поверхности пластины (причем не важно из какого она материала) способствует резкому уменьшению краевого угла, что, вероятно, связано с переходом из системы твердое тело – газ – жидкости в систему газ – жидкость – жидкость. Однако, образование тонкого жидкостного слоя способствует общей смачиваемости и соответственно может повысить качество процессов мойки и дезинфекции. В связи с чем, перспективным направлением в повышении качества и экономичности данных процессов является применение технологий опрыскивания ультрамалым объемом жидкости (аэрозолями, туман).

На рисунке 3 приведены фотографии эксперимента.

Заключение

По имеющимся результатам эксперимента можно сделать следующие выводы:

- материал поверхности и температурный режим одинаково действует на свойства адгезии как загрязнителя, так и моющего реагента;
- полимерный материал подвержен меньшей загрязняемости, что характеризуется меньшими затратами моющего реагента в процессе мойки;

- температурный режим непосредственно влияет на адгезионные свойства материал, загрязнителя и моющего реагента, при этом повышение температуры уменьшает краевой угол смачивания, а уменьшение температуры – увеличивает;
- шероховатость материала оказывает влияние на краевой угол смачивания.

Таблица 1 - Угол смачиваемости (в град.) при фиксированной температуре материала и окружающей среды, $t_м = t_{окр}$ = 30-31 °С

№ п/п	Материал	Вода $t_{хв}$ = 15 °С	Вода, $t_{гв}$ = 51-59 °С	Молоко, $t_м$ = 30-31 °С	Раствор моющего средства, $t_{мс}$ = 15 °С
1	ПВХ	96,13	67,42	75,32	14,43
2	ПЭВП	82,4	80,2	79,85	7,08
3	Ст. 15 R_a = 0,15	106,13	73,05	68,85	14,03
4	Ст. 15 R_a = 0,2	93,2	70,07	76,32	19
5	Ст. 15 R_a = 0,4	88,8	76,52	50,9	20,88
6	Ст. 15 R_a = 0,8	111,37	69,78	79,83	25,58

Обозначения:
$t_{хв}$ – пониженная температура воды;
$t_{гв}$ – повышенная температура воды;
$t_м$ – температура молока;
$t_{мс}$ – температура моющего средства.

Таблица 2 – Угол смачиваемости (в град.) при различных температурах материала

№ стр.	Материал	$t_в$, °С	$t_{обр}$, °С	$t_{окр}$, °С	θ, °	Обработка да/нет
1	ПВХ	24-25	12-13	30-31	0	нет
2	ПВХ	27-28	15-17		87,05	да
3	ПЭВП	27-28	16-17		106,22	да
4	ПЭВП	24-25	14-15		94,72	да
5	Ст. 15 R_a = 0,15	29-30	8		0	нет
6	Ст. 15 R_a = 0,15	24-25	9-10		0	нет
7	Ст. 15 R_a = 0,15	27-28	7-9		60,18	да
8	Ст. 15 R_a = 0,15	29-30	8-10		57,68	да
9	Ст. 15 R_a = 0,15	17-19	17-18		67,15	да

Обозначения:
$t_в$ – температура воды;
$t_{обр}$ – температура материала (пластины);
$t_{окр}$ – температура окружающей среды;
θ – краевой угол смачивания.

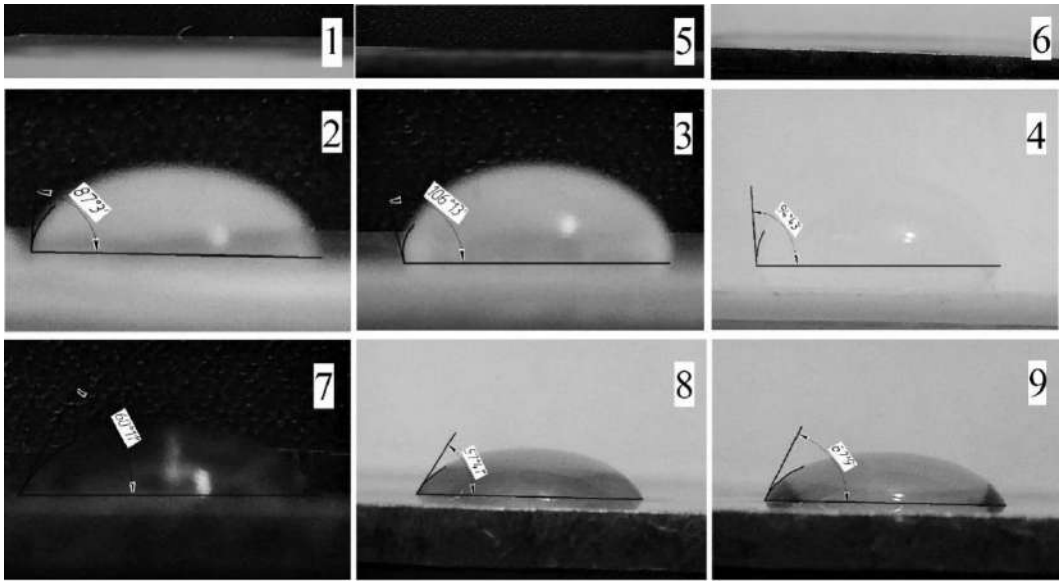

Рисунок 3 – Фотоснимки эксперимента
(номера соответствуют номеру строки в таблице 2).

Список источников

1. Исследования процесса промывки системы смазки отработанным моторным маслом без его слива из Картера двигателя / В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. С. Вязинкин [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4(63). С. 79-85. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.79. EDN OEFAQA.

2. Ковалева, О.В. Биотехнологические продукты: возможности и перспективы применения / Журнал АгроЭкоИнфор. – Немчиновка-1: Изд-во Всероссийский научно-исследовательский институт информатизации агрономии и экологии, 2018. № 4 (34). С. 51.

3. Тешев, А. Ш. Результаты экспериментального исследования кинематики потоков жидкости в межпластинных каналах пластинчатых аппаратов / А. Ш. Тешев, Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев // АгроЭкоИнфо. 2018. № 2(32). С. 58. EDN XTAMZN.

4. Матушкин, П. А. Обработка молочного оборудования с помощью пены / П. А. Матушкин, А. И. Завражнов // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. С. 222-226. EDN FMJYOC.

5. Краснов, И. Н. Организация молокоприемных пунктов при молочно-товарной ферме / И. Н. Краснов, А. Ю. Краснова, В. В. Мирошникова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 90-99. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.90. EDN RRWSCO.

6. Ребиндер, П.А. Физико -химия моющего действия. Сборник научно-исследовательских работ сектора моющих средств ВНИИЖ / П.А. Ребиндер, Е.К. Венстрем, М.П. Воларович, А.М. Вязникова, Н.Н. Петрова, Н.Н. Серб-Сербина, Н.М. Смирнов, А.Б. Таубман и др. – Л.-М.: Пищепромиздат, 1935

7. Завражнов, А. И. Обоснование технологических параметров процесса мойки молочного оборудования, применяемого в сельскохозяйственном производстве / А. И. Завражнов, П. А. Матушкин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1(60). С. 100-107. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.100. EDN PHXWJE.

8. Завражнов, А. И. Действие поверхностно-активных веществ на поверхностное натяжение жидкости при пенной мойке оборудования молокоперерабатывающих производств / А. И.

Завражнов, П. А. Матушкин // Наука в центральной России. 2019. № 6(42). С. 23-29. DOI 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29. EDN PSHBMZ.

9. СанПиН 2.1.4.559-96 Питьевая вода.

10. ГОСТ 2874-82 Питьевая вода. Гигиенические требования и контроль качества.

References

1. Ostrikov V.V., Sazonov S.N., Vyazinkin V.S. [et al.] Research of the process of flushing the lubrication system with used engine oil without draining it from the engine crankcase // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 4(63). pp. 79-85. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.4.79. EDN OEFAQA.

2. Kovaleva, O.V. Biotechnological products: possibilities and prospects of application / Journal AgroEcoInfor. - Nemchinovka-1: Publishing House of the All-Russian Research Institute of Informatization of Agronomy and Ecology, 2018. No. 4 (34). S. 51.

3. Teshev, A. Sh., Shekikhachev, Yu. A., and Mishkhozhev, V. Kh., Results of an experimental study of the kinematics of fluid flows in the interplate channels of lamellar apparatuses, AgroEcoInfo. 2018. No. 2(32). P. 58. EDN XTAMZN.

4. Matushkin, P. A. Processing of dairy equipment using foam / P. A. Matushkin, A. I. Zavrazhnov // Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: materials of the I All-Russian Conference with international participation, Tambov, 24 – May 25, 2019. Tambov: Tambov State Technical University, 2019. P. 222-226. EDN FMJYOC.

5. Krasnov, I. N. Organization of milk collection points at a dairy farm / I. N. Krasnov, A. Yu. Krasnova, V. V. Miroshnikova // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 1(60). pp. 90-99. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.90. EDN RRWSCO.

6. Rebinder, P.A. Physico-chemistry of washing action. Collection of research papers of the sector of detergents VNIIZh / P.A. Rebinder, E.K. Wenstrem, M.P.Volarovich, A.M. Vyaznikova, N.N. Petrova, N.N. Serb-Serbina, N.M. Smirnov, A.B. Taubman and others - L.-M .: Pishchepromizdat, 1935

7. Zavrazhnov, A. I. Substantiation of the technological parameters of the washing process of dairy equipment used in agricultural production / A. I. Zavrazhnov, P. A. Matushkin // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. No. 1(60). pp. 100-107. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.100. EDN PHXWJE.

8. Zavrazhnov, A. I., Matushkin, P. A. Effect of surface-active substances on the surface tension of a liquid during foam washing of milk processing equipment. Science in Central Russia. 2019. No. 6(42). pp. 23-29. DOI 10.35887/2305-2538-2019-6-23-29. EDN PSHBMZ.

9. SanPiN 2.1.4.559-96 Drinking water

10. GOST 2874-82 Drinking water. Hygiene requirements and quality control.

Информация об авторах

С.А. Анохин – кандидат технических наук; Д.В. Никитин – кандидат технических наук, доцент; Ю.В. Родионов – доктор технических наук, профессор, А.А. Гуськов – кандидат технических наук, доцент; Г.В. Рыбин – магистрант, С.Н. Аникин – магистрант.

Information about the authors

S.A. Anokhin - Candidate of Sciences (Technical); D.V. Nikitin - Candidate of Sciences (Technical), associate professor; Y. V. Rodionov - Doctor of Sciences (Technical), Professor;

A.A. Guskov - Candidate of Sciences (Technical); G.V. Rybin - master's student; S.N. Anikin - master's student.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 30.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022