

Научная статья
УДК 619:614.449.57:628.513

ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИКРОБНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ И БАКТЕРИЦИДНОЙ ОБРАБОТКИ ВОЗДУХА

¹Елена Ивановна Гаврикова, ²Владимир Степанович Шкрабак, ²Нина Вячеславовна Румянцева, ³Евгений Николаевич Христофоров

¹АО Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И. Берга, Москва, Россия

²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

³ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В статье указывается на то, что рабочая зона части животноводческих, птицеводческих, растениеводческих и некоторых других производств характеризуется наличием микроорганизмов, жизнедеятельность которых приводит к росту инфекций, а, следовательно, к увеличению сроков временной нетрудоспособности работников данных предприятий. В связи с этим защитные мероприятия, проводимые на объектах АПК с повышенной микробной обсемененностью, должны включать меры санитарно-гигиенического (использование средств индивидуальной защиты), технологического (механизацию дезинфекционных работ) и общеорганизационного характера (соблюдение регламентов обработки помещений). При планировании санитарных мероприятий необходимо учитывать возможность нанесения ущерба здоровью и в случае не применения дезинфекционных средств, и в случае не контролируемого их использования. При разработке новых составов средств дезинфекции необходимо рассчитывать оптимальную концентрацию действующего вещества, требующуюся для обеспечения целевого антимикробного эффекта с одной стороны, и нейтральную по отношению к состоянию здоровья работников с другой стороны. Кардинальным решением этой проблемы является создание дезинфицирующих композиций на основе биологически активных веществ, обладающих высокой индивидуальной избирательностью биоцидного действия и одновременно с этим безопасностью для человека. Таким образом новые дезинфекционные средства должны обладать высокой эффективностью, но прежде всего быть экологически и гигиенически безопасными. Для анализа воздуха на наличие в нем микроорганизмов нами был предложен датчик, на основе показаний которого определялась необходимость в санитарной обработке помещения и дезинфицирующее средство, подходящее для дезинфекции. После этого средства общая микробная обсемененность помещений снижается в среднем в 5,5 раза, содержание плесневых грибов – в 16 раз.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, микробная обсемененность, дезинфекция помещений, экологическая безопасность.

Для цитирования: Гаврикова Е.И., Шкрабак В.С., Румянцева Н.В., Христофоров Е.Н. Технологии и технические средства определения микробного загрязнения и бактерицидной обработки воздуха // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 5 (111). С. 74-79.

Original article

TECHNOLOGIES AND TECHNICAL MEANS FOR THE DETERMINATION OF MICROBIAL CONTAMINATION AND BACTERICIDAL AIR-HANDLING

¹Elena I. Gavrikova, ³Vladimir S. Shkrabak, ⁴Nina V. Rumyantseva, ⁵Yevgeny N. Khristoforov

¹JSC Central Scientific Research Radio Engineering Institute named after Academician A.I. Berg, Moscow, Russia

²St. Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russia

³Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Annotation. The article points out that the working area of some livestock, poultry, crop production and some other industries is characterized by the presence of microorganisms, the vital activity of which leads to an increase in infections, and, consequently, to an increase in the duration of temporary disability of employees of these enterprises. In this regard, protective measures carried out at agricultural facilities with increased microbial contamination should include sanitary and hygienic measures (use of personal protective equipment), technological (mechanization of disinfection operations) and organizational measures (compliance with regulations for the processing of premises). When planning sanitary measures, it is necessary to take into account the possibility of harm to health both in the case of non-use of disinfectants and in the case of uncontrolled use. When developing new compositions of disinfectants, it is necessary to calculate the optimal concentration of the active substance required to ensure a targeted antimicrobial effect, on the one hand,

and neutral in relation to the health status of workers, on the other hand. The fundamental solution to this problem is the creation of disinfectant compositions based on biologically active substances with high individual selectivity of biocidal action and at the same time safety for humans. Thus, new disinfectants must be highly effective, but above all they must be environmentally and hygienically safe. To analyze the air for the presence of microorganisms in it, we proposed a sensor, based on the readings of which the need for sanitary treatment of the room and a disinfectant suitable for disinfection were determined. After using this product, the overall microbial contamination of the premises is reduced by an average of 5.5 times, and the content of mold fungi is reduced by 16 times.

Keywords: agro-industrial complex, bacteria number, disinfection of premises, environmental safety.

For citation: Gavrikova E.I., Shkrabak V.S., Rumyantseva N.V., Khristoforov Ye.N. Technologies and Technical means for the determination of microbial contamination and bactericidal air-handling // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. No. 5 (111). Pp. 74-79.

Введение. Сельское хозяйство является отраслью экономической деятельности, связанной с высоким уровнем заболеваемости работников, одной из причин которого является повышенная микробная обсемененность воздуха производственных помещений. Даже микроорганизмы непатогенных и условно патогенных форм способны ослабить иммунную реактивность организма, что приводит к подверженности заболеваниям с временной утратой трудоспособности [1]. Однако одной из причин возникновения болезней и возможного смертельного исхода животных и человека на протяжении всей их жизни являются инфекции, вызванные деятельностью патогенных микроорганизмов [2]. Ситуация изменилась в пользу выживаемости высших организмов в связи с появлением антибиотиков, но приспособляемость микроорганизмов к агрессивной среде существования привела к появлению полирезистентных штаммов [3-12]. Согласно исследованиям ученых Стамбульского технического университета антибиотика, применяемые специфично для уничтожения определенных возбудителей инфекций, не могут разрушить защитные механизмы порядка 70% видов болезнетворных бактерий, и, кроме того, способны оказывать побочные эффекты. В соответствии с кризисным прогнозом уже к середине этого столетия смертность от бактериальных инфекций может достигнуть порядка десятка миллионов человек. Активно разрабатываются направления, касающиеся антибактериальных свойств веществ различной природы [9,10,11,12], а также фотосенсибилизаторов. В 2015 г Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) утвердила общий план действий по повышению уровня информированности о беспрецедентном росте случаев инфицирования патогенными бактериями, обладающими устойчивостью к противомикробным препаратам.

При проведении санитарных мероприятий также необходимо учитывать, что короткая временная экспозиция контакта бактериостатических доз дезинфицирующего средства с обрабатываемой поверхностью формирует устойчивость к антибиотикам и дезинфектантам в сообществе бактерий. Ежегодно фиксирующиеся вспышки заболеваний, связанные с деятельностью патогенных микроорганизмов, подтверждают данные о форсировании процессов приспособления популяции бактерий к условиям существования [13-18]. Согласно концепции стресс-реакции микроорганизмов на факторы химической, биологической или физической природы попытка ослабить защитные механизмы бактерий вызывает торможение метаболической активности и, как следствие, вызывает переход клеток в некультивируемое состояние. Патогенный потенциал микроорганизмов вновь восстанавливается при переходе на подходящие для развития среды и условия обитания [19]. Кроме того, отмечается селекционный отбор культур микроорганизмов, проявляющих устойчивость к действию биоцида с недостаточной концентрацией. Современные отечественные и зарубежные исследования в области микробиологии и дезинфектологии позволяют объединить информацию о процессах жизнедеятельности микроорганизмов, связанных с повышением резистентности, таких как плазмидно-опосредованная устойчивость, биотрансформация антибактериальных веществ, изменение проницаемости клеточной стенки [20].

Наблюдаемая во всем мире новая волна роста количества и масштабов осложнений, связанных с деятельностью микроорганизмов, свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга биологических примесей воздушной среды. В настоящее время достаточно широко распространены способы обнаружения и скрининга микроорганизмов, в число слабых сторон которых входит продолжительный (порядка нескольких суток) период инкубации проб и неудобные манипуляции, связанные с использованием довольно большого числа селективных сред, без которых невозможно провести выделение, обогащение и первичную идентификацию штаммов бактерий и грибов.

Результаты и обсуждение. На электромагнитном излучении оптического диапазона основаны инструментальные физические методы, измеряющие параметры электромагнитного излучения (поглощение и рассеяние оптического излучения) после его взаимодействия с образцом, содержащим биоматериал. В наших исследованиях процесс анализа зараженного воздуха базировался на эффекте

хемилюминесценции, возникающим при реакции микропримесей биологической природы, имеющих в своем составе наследственный аппарат в виде ДНК (бактерии, грибы, вирусы), и раствора индикатора. Фотоэлектронная система используемого прибора срабатывает после появления электрического сигнала, в который преобразуется световой поток, возникающий при реакции биоматериала и индикатора. На рисунке 1 представлена схема разработанного нами датчика [21].

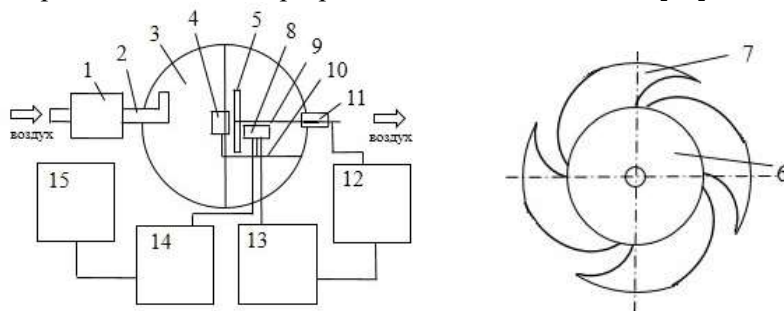


Рисунок 1 – Схема разработанного датчика: 1 - насос, 2 - магистраль, 3 – корпус-сфера, 4 - УФ фотодиод, дающий излучение с длиной волны 260 нм, 5- осевая крыльчатка, 6 – диск, 7 – лопасти, 8 – фотоэлектронный умножитель, 9 – вал, 10 – фиксатор, 11 - отверстие в корпусе-сфере, 12 – электродвигатель, 13 - блок питания, 14 - блок цифровой обработки сигнала, 15 - блок сигнализации

Исследуемый воздух благодаря использованию насоса 1 поступает через магистраль 2, выполненную с изогнутым патрубком на конце для создания турбулентности воздушного потока в полости корпуса-сферы 3. Уровень поглощения ультрафиолетового излучения от фотодиода 4 определяется фотоэлектронным умножителем 8 благодаря поглощению излучения волн длиной 260 нм макромолекулами ДНК микроорганизмов. При выявлении повышенной концентрации микроорганизмов срабатывает блок сигнализации 15.

Для дезинфицирующей обработки воздуха рабочей зоны закрытых помещений нами предложен аэрозольный аппарат для дезинфекции, предусматривающий получение дезинфицирующего раствора непосредственно в распылительной камере устройства и включение ультразвукового распылителя после насыщения воды ионами серебра. Стабилизированные препараты на основе серебра способны образовывать на обрабатываемой поверхности защитную, нетоксичную пленку, обладающую биоцидным эффектом. На рисунке 2 представлена схема усовершенствованного нами аппарата.

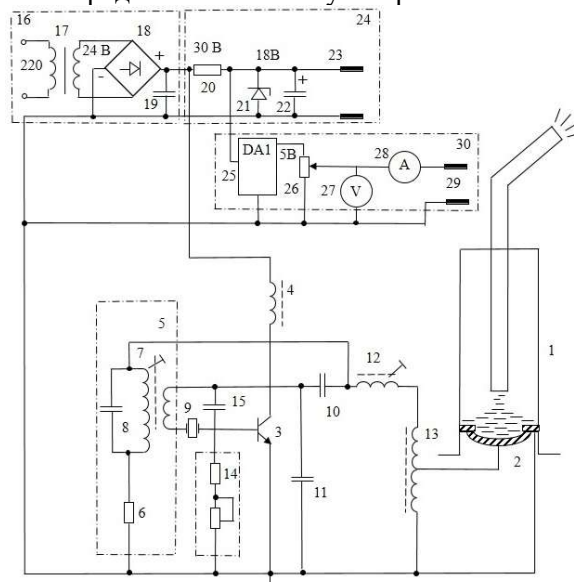


Рисунок 2 – Усовершенствованная схема аэрозольного аппарата: 1 - распылительная камера, 2 - пьезоэлектрический преобразователь, 3, 14 – транзисторы, 4, 12 - дроссели, 5 - фазосдвигающая цепь, 6, 20, 26 – резисторы, 7, 17 – трансформатор, 8, 10, 11, 15, 19, 22 – конденсатор, 9 – пьезоэлемент, 13 - автотрансформатор, 16 – блок питания, 18 – диодный мост, 21 – стабилитрон, 23 - серебряные электроды, 24 – блок ионизации, 25 - стабилизатор напряжения, 27 - вольтметр, 28 – амперметр, 29 - электроды, 30 - блок анализа.

Питание ультразвукового распылителя и блока ионизации осуществляется от нестабилизированного источника 16, состоящего из понижающего трансформатора 17, диодного моста 18 и фильтру-

ющего конденсатора 19. Трансформатор 17 понижает входное напряжение 220 В до 24 В на выходе. После диодного моста 18 выпрямленное напряжение сглаживается фильтрующим конденсатором 19, повышаясь примерно до 30 В.

Резистор 20, стабилитрон 21 и конденсатор 22 образуют простейший параметрический стабилизатор напряжения, значение которого равно напряжению стабилизации стабилитрона 21 и составляет 18 В.

Выпрямленное напряжение используется для насыщения ионами серебра воды в распылительной камере. Под действием тока в воду поступают ионы серебра из серебряных электродов 23, которые постепенно растворяются.

Стабилизатор напряжения на микросхеме DA1 25 подключается к выходу параметрического стабилизатора и служит для получения стабильного напряжения 5 вольт, применяемого для питания блока анализа. Для измерения тока и потенциала служат вольтметр 27 и амперметр 28. Относительно потенциала электрода сравнения задается потенциал рабочего электрода, на котором происходит концентрирование серебра. Как только концентрация серебра в воде достигает необходимой насыщенности, срабатывает ультразвуковой распылитель.

Растворы наночастиц серебра в воде обладают известным антимикробным эффектом. Ввиду этого разработка новых композиций с использованием бактерицидных возможностей серебра представляется актуальной задачей. Для санитарной обработки помещений нами был предложен для распыления дезинфицирующий раствор при следующем соотношении компонентов, мас. %: перекись водорода – 5; соль серебра – 1; 5% раствор фурукумарина в этиловом спирте – 10; цитраль – 0,1; вода – остальное.

Введение в композицию монотерпенового ациклического альдегида – цитраля позволило повысить эффективность композиции благодаря тому, что кроме бактерицидных свойств он обладает также фунгицидной активностью [22].

При экспериментальных исследованиях в закрытом помещении распыляли в воздухе средство для дезинфекции. Общую микробную обсемененность определяли аспирационным методом с помощью аппарата Кротова. Отбор проб воздуха для определения его бактериального загрязнения производили до и после его обеззараживания. Для определения содержания дрожжеподобных и плесневых грибов производили посев на среду Сабуро, а общей микробной обсемененности – на простой агар. Скорость протягивания воздуха составила 25 л/мин в течение 40 мин. Засеянные среды выдерживали в термостате при $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ в течение 24 ч, затем при комнатной температуре в течение 24 ч, а затем производили подсчет выросших колоний бактерий и расчет колониеобразующих единиц (далее – КОЕ), содержащихся в 1 м^3 воздуха.

В процессе обработки воздуха предложенным средством отмечалось снижение общей микробной обсемененности и плесневых грибов (табл. 1, 2).

Таблица 1 – Бактериальная обсемененность воздуха при использовании предложенного дезинфицирующего средства (КОЕ/м³).

Период отбора при испытаниях	Период отбора проб			
	до обработки	через 1 сут	на 8-е сут	на 15-е сут
Контроль	430	430	438	450
Предлагаемый способ	430	303	160	80

Таблица 2 – Обсемененность грибами воздуха при обработке с использованием предложенного дезинфицирующего средства (КОЕ/м³).

Период отбора при испытаниях	Период отбора проб			
	до обработки	через 1 сут	на 8-е сут	на 15-е сут
Контроль	75	75	80	84
Предлагаемый способ	75	49	24	5

Как видно из таблиц, после применения предложенного дезинфицирующего средства общая микробная обсемененность помещений снижается в среднем в 5,63 раза, содержание плесневых грибов – в 16,8 раза.

Заключение

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о целесообразности внедрения в дезинфекционные мероприятия разработанного состава, обладающего бактерицидными свойствами и фунгицидной активностью, совместно с использованием усовершенствованного аэрозольного аппарата. Предложенная модель датчика для определения микроорганизмов в воздухе дает возможность анализа воздуха на присутствие в нем биологических примесей. Предлагаемая композиция для дез-

инфекции кроме ярко выраженного бактерицидного эффекта может быть охарактеризована как экологически чистая, т.к. большая часть смеси представлена соединениями растительного происхождения (фурокумарин и цитраль), а перекись водорода безопасна в гигиеническом отношении, так как, в конечном счете, распадается на кислород и воду. Таким образом, разработанные устройства и средства позволяют контролировать концентрации микропримесей биологической природы в воздухе помещений и эффективно провести дезинфекционные мероприятия.

Список источников

1. Indoor air decontamination system and reduction of microorganism emissions into the atmosphere / V.S. Shkrabak, A.A. Popov, V.G. Enikeev et al. // BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019). 2020. С. 00153.
2. Глазова, А.О., Фейзуллаев Ф.Р., Тимошенко Ю.И. Влияние антибиотиков на санитарно-гигиенические условия козоводческих ферм // Зоотехния. 2023. № 6. С. 33-34.
3. Райкова С.В., Гусев Ю.С. К проблеме распространённости антибиотикорезистентности в сельском хозяйстве // Гигиена, экология и риски здоровью в современных условиях: материалы XIV Всерос. науч.-практ. online конф. молодых ученых и специалистов с междунар. участием, Саратов, 26 апреля 2024 года. Саратов: Изд-во "Саратовский источник", 2024. С. 176-177.
4. Antibiotic-Resistant Staphylococcus aureus Dispersion from Hog Farms: a critical review / A.N. George et al. // Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis. 2020. Vol. 40, № 8. P. 1645-1665.
5. Фомина Е.С. Распространение антибиотикорезистентных микроорганизмов в окружающей среде // Вестник науки. 2025. Т. 2, № 2 (83). С. 914-919.
6. Сырчина Н.В., Пилип Л.В., Ашихмина Т.Я. Основные подходы к снижению запахового загрязнения окружающей среды предприятиями животноводства (обзор) // Теоретическая и прикладная экология. 2024. № 3. С. 6-19.
7. Emissions, measurement, and control of odor in livestock farms: a review / Y.C. Wang, M.F. Han, T.P. Jia et al. // Sci. Total Environ. 2021. V. 776. Article No. 145735.
8. Стрелкова Д.А., Селезнева Ю.М. Исследование антибиотикорезистентности микробиома навоза сельскохозяйственных животных // Фундаментальные, прикладные вопросы биологии и естественно-научного образования: материалы I науч.-практ. конф. с междунар. участием, Рязань, 24–25 апреля 2024 года. Рязань: Рязанский государственный ун-т им. С.А. Есенина, 2024. С. 127-133.
9. Kuzmina T.N., Svinarev I.Yu., Tretyakova O.L. ITS 41-2017 "Intensive pig breeding": updating's directions // Machinery and technologies in livestock. 2023. № 1 (49). P. 47-53.
10. Pilip L.V., Syrchina N.V., Kolevatykh E.P. Safety assessment of regenerated litter obtained at the filtration and drying plant // Russian Journal of Applied Ecology. 2023. № 33. P. 45-51.
11. Aizawa A., Miyazaki A., Tanaka N. Emissions of volatile organic compounds from dairy cattle manure in a cattle shed in Japan // Asian J. Atmospheric Environ. 2022. V. 16, № 3. P. 122-134.
12. Emission of volatile organic compounds from land-applied beef cattle manure as affected by application method, diet, and soil water condition / B.L. Woodbury, J.E. Gilley, D.B. Parker, D.B. Marx // J. ASABE. 2022. V. 65, № 1. P. 123-133.
13. Photocatalytic method of disinfection of indoor areas with increased microbial content / V.S. Shkrabak, E.I. Gavrikova, R.V. Shkrabak et al. // International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. 2020. T. 11, № 10. P. 11A10J.
14. Haga K. Sustainable recycling of livestock wastes by composting and environmentally friendly control of wastewater and odors // J. Environ. Sci. Eng. B. 2021. V. 10, № 5. P. 163-178.
15. Cao T., Zheng Y., Dong H. Control of odor emissions from livestock farms: a review // Environ. Res. 2023. V. 225. Article No. 115545. 10.1016/j.envres.2023.115545.
16. Improved effect of manure acidification technology for gas emission mitigation by substituting sulfuric acid with acetic acid / A. Fuchs, F.R. Dalby, D. Liu et al. // Cleaner Eng. Technol. 2021. V. 4. Article No. 100263.
17. Environmental implications of stored cattle slurry treatment with sulphuric acid and biochar: A life cycle assessment approach / C. Miranda, A.S. Soares, A.C. Coelho et al. // Environ. Res. 2021. V. 194. Article No. 110640.
18. Więkol-Ryk A., Thomas M., Białecka B. Improving the properties of degraded soils from industrial areas by using livestock waste with calcium peroxide as a green oxidizer // Materials. 2021. V. 14, № 11. Article No. 3132.

19. Halder J.N., Lee M.G. A review on techniques to control and mitigate odors in swine facilities // Journal of Agricultural, Life and Environmental Sciences. 2020. V. 32, № 3. P. 297-310.

20. Improvement of human health and environmental costs in the European Union by air scrubbers in intensive pig farming / M. Costantini, J. Bacenetti, G. Coppola et al. // J. Cleaner Prod. 2020. V. 275. Article No. 124007.

21. Датчик для определения микроорганизмов в воздухе: пат. № 192340 Рос. Федерация / Гаврикова Е.И.; заявл. 13.05.2019; опубл. 13.09.2019, Бюл. № 26.

22. Боржицкая Е.О., Золотарева М.С. Разработка лекарственных пленок с лимоненом и цитралем для профилактики заболеваний полости рта // Сб. избр. тез. докл. лауреатов III Зимней научной сессии СНО НИЯУ МИФИ, Москва, 13–28 декабря 2023 года. М.: Национальный исследовательский ядерный университет "МИФИ", 2023. С. 39-40.

Сведения об авторах:

Гаврикова Елена Ивановна, канд. биол. наук, АО Центральный научно-исследовательский радиотехнический институт имени академика А.И Берга, Москва, Россия. E-mail: GavrE08@yandex.ru

Шкрабак Владимир Степанович, д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность технологических процессов и производств», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. Россия. E-mail: v.shkrabak@mail.ru

Румянцева Нина Вячеславовна канд. техн. наук, доцент высшей школы техносферной безопасности Санкт-Петербургского государственного политехнического университета Петра Великого. Россия rumyantseva_nv@spbstu.ru

Христофоров Евгений Николаевич д-р техн. наук, проф. кафедры «Безопасность жизнедеятельности и инженерной экологии» Брянского государственного аграрного университета. Россия.

Information about the authors:

E.I. Gavrikova, Candidate of Biological Sciences, JSC Central Scientific Research Radio Engineering Institute named after Academician A.I. Berg, Moscow, Russia.

Phone: 8-920-816-34-18. E-mail: GavrE08@yandex.ru

V.S. Shkrabak, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department "Safety of Technological Processes and Productions", St. Petersburg State Agrarian University. Russia.

Tel: (812) 451-76-18. Mobile: 8-921-345-21-09. E-mail: v.shkrabak@mail.ru

N.V. Rumyantseva, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Higher School of Technosphere Safety at Peter the Great St. Petersburg State Polytechnic University. Russia

Phone: 8-911-184-32-02 E-mail: rumyantseva_nv@spbstu.ru

Ye.N. Khristoforov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Life Safety and Environmental Engineering, Bryansk State Agrarian University. Russia. Phone: 8-915-536-12-75 E-mail: en-x@bk.ru

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data presented. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors have equally participated in the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.09.2025, одобрена после рецензирования 08.09.2025, принята к публикации 25.09.2025

The article was submitted to the editorial office in 01.09.2025, approved after review in 08.09.2025, and accepted for publication in 25.09.2025

© Гаврикова Е.И., Шкрабак В.С., Румянцева Н.В., Христофоров Е.Н.