

Научная статья
УДК 331.45; 628.513
doi: 10.28983/asj.y2023i5pp166-171

Оценка и прогнозирование эффективности защитных свойств тканых материалов спецодежды при контакте с микроорганизмами

Владимир Степанович Шкрабак¹, Виталий Юрьевич Морозов¹, Роман Владимирович Шкрабак¹, Елена Иванова Гаврикова², Даниил Андреевич Суховский¹, Арина Васильевна Шкрабак¹

¹ ФГБОУ ВО “Санкт-Петербургский государственный аграрный университет”, г. Санкт-Петербург – Пушкин, Россия

² ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, г. Орел, Россия

e-mail: shkrabakrv@mail.ru

Аннотация. В статье рассматриваются основные проблемы выбора ткани при разработке специальной одежды для работников, занятых в сельском хозяйстве на производствах, связанных с повышенной микробной обсемененностью и влажностью воздуха в помещениях. Для определения численности микроорганизмов в материале специальной одежды нами был предложен способ, который позволяет существенно снизить трудоемкость отбора проб за счет использования метода неразрушающего контроля, применением малогабаритного оборудования и многократного использования элемента Пельтье для получения конденсата.

Ключевые слова: специальная одежда; хлопчатобумажные ткани; защитные свойства; микробная обсемененность.

Для цитирования: Шкрабак В. С., Морозов В. Ю., Шкрабак Р. В., Гаврикова Е. И., Суховский Д. А., Шкрабак А. В. Оценка и прогнозирование эффективности защитных свойств тканых материалов спецодежды при контакте с микроорганизмами // Аграрный научный журнал. 2023. № 5. С. 166–171. [http: 10.28983/asj.y2023i5pp166-171](http://10.28983/asj.y2023i5pp166-171).

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Evaluation and prediction of the effectiveness of the protective properties of woven materials of workwear in contact with microorganisms

Vladimir S. Shkrabak¹, Vitaly Yu. Morozov¹, Roman V. Shkrabak¹, Elena I. Gavrikova², Daniil A. Sukhovskiy¹, Arina V. Shkrabak¹

¹ Saint Petersburg State Agrarian University, Pushkin, Saint Petersburg, Russia

² Orel State Agrarian University, Orel, Russia

e-mail: shkrabakrv@mail.ru

Annotation. The article deals with the main problems of choosing fabrics in the development of special clothing for workers employed in agriculture in industries associated with increased microbial contamination and indoor air humidity. To determine the number of microorganisms in the material of special clothing, we proposed a method that can significantly reduce the complexity of sampling through the use of non-destructive testing, the use of small-sized equipment and the repeated use of the Peltier element to obtain condensate.

Keywords: special clothes; cotton fabrics; protective properties; microbial contamination.

For citation: Shkrabak V.S., Morozov V.Yu., Shkrabak R.V., Gavrikova E.I., Sukhovskiy D.A., Shkrabak A.V. Evaluation and prediction of the effectiveness of the protective properties of woven materials of workwear in contact with microorganisms // Agrarnyy nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal. 2023;(5):166–171. (In Russ.). [http: 10.28983/asj.y2023i5pp166-171](http://10.28983/asj.y2023i5pp166-171).

Введение. Работники сферы интенсивного животноводства в большей степени, чем занятые в других отраслях сельского хозяйства, находятся под воздействием биоаэрозоля, оказывающего негативное влияние на здоровье не только вследствие инфекционности входящих в его состав биологических агентов, но также аллергенности и токсичности бактерий и их метаболитов [1].





Воздействие биологических факторов может быть связано не только с неблагоприятными последствиями для здоровья, но и вызывать профессиональные заболевания. В исследованиях [2–5] оценивалось влияние вдыхаемой пыли, эндотоксинов, способности биоаэрозоля образовывать биопленки с точки зрения воспалительного потенциала и резистентности к противогрибковым препаратам.

В исследованиях [6] представлена оценка возможной связи между подвешенными в воздухе твердыми частицами и биоаэрозолями с показателями здоровья у работников перерабатывающих предприятий. Показано, что действие бактерий и грибов способно привести к появлению определенных аллергических, сердечно-сосудистых и респираторных заболеваний. Результаты исследований [7] показали, что в условиях повышенного микробного обсеменения на одежде рабочих бактерии и грибы накапливались в значительных количествах (соответственно $3,69 \times 10^5$ КОЕ/м²/ч и $8,29 \times 10^4$ КОЕ/м²/ч), а также то, что грибы в большей степени способны были использовать ткань для поддержания своей жизнедеятельности. Наличие среди видового состава микроорганизмов патогенных или аллергенных групп и их потенциальное воздействие на организм человека особенно опасно для работников с ослабленной иммунной системой или с поврежденными кожными покровами.

Источником вторичного биологического загрязнения может являться сама защитная одежда, которая в данном случае будет выступать в качестве среды для накопления, переноса, а впоследствии повторного выброса микроорганизмов в воздух. Необходимо учитывать также то, что в зависимости от морфологических признаков, микроорганизмы, относящиеся к разным таксономическим категориям, отличаются степенью реагирования на действие биоцидных препаратов [8–11].

Методика исследований. В качестве объекта исследования были рассмотрены средства индивидуальной защиты, применяемые в животноводстве, птицеводстве, при переработке мяса и утилизации ветеринарно-санитарного брака. В процессе научного исследования применяли аналитический, расчетно-конструктивный и другие методы. Для определения содержания дрожжеподобных и плесневых грибов производили посев на среду Сабуро, общей микробной обсемененности на простой агар. 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 м³ воздуха.

Результаты исследований. Спецодежда, имеющая в своем составе натуральные волокна, должна проявлять устойчивость к возможным повреждениям биологического характера, в связи с тем, что кроме обеспечения высоких потребительских характеристик, связанных с повышенной способностью к сорбции и капиллярности, данного вида текстиля, необходимо также учитывать экономическую составляющую защитных комплектов [12].

В наших исследованиях хлопчатобумажных тканей учитывались данные, полученные в работе [13], о положительной корреляции между концентрацией биоаэрозолей грибов и относительной влажностью воздуха ($p < 0,05$; $r = 0,622$), а также отрицательной корреляции между концентрацией биоаэрозолей грибов и температурой ($p < 0,05$; $r = 0,369$). Спецодежда из хлопка отличается легкостью, отличными дышащими и впитывающими характеристиками, однако связанная с этими качествами высокая гигроскопичность снижает защитные свойства ткани из-за создания комфортной среды для микроорганизмов.

Разработанное нами устройство [14] позволяет, не разрушая тканевый слой, извлекать микроорганизмы из областей специальной одежды, особенно подвергающимся загрязнению в носке, таким как рукава и полочки (рис. 1, 2). Для получения пробы необходимо прижать исследуемый отрезок материала спецодежды к стерильной полоске фильтровальной бумаги 2, размещенной на охлаждаемой поверхности модуля Пельтье 1.

При включении устройства на одной из сторон элемента Пельтье генерируется низкая температура, которая приводит к появлению конденсата из воздуха. Объем и вид конденса-

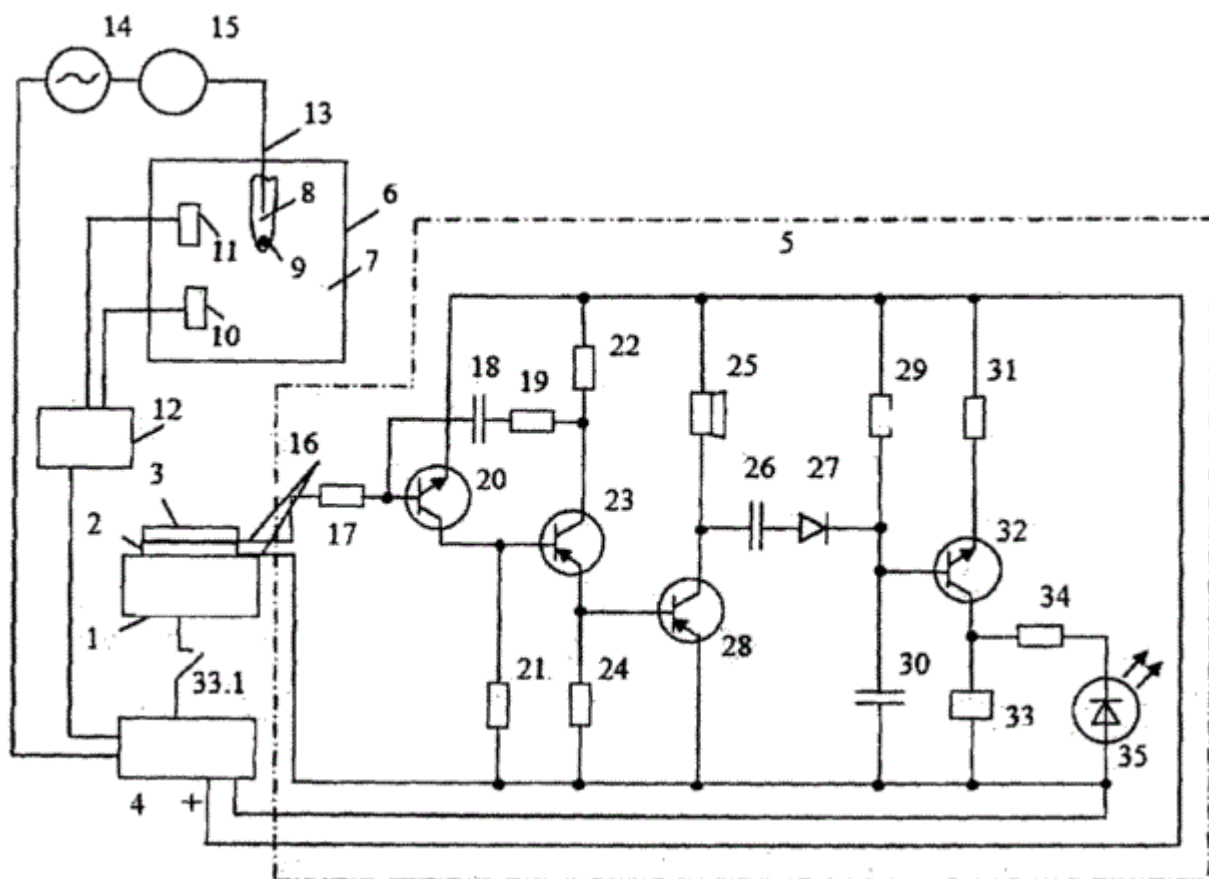


Рис. 1. Схема устройства с прерыванием для определения микробной обсемененности спецодежды:

- 1 – термоэлектрический преобразователь модуль Пельтье; 2 – полоска фильтровальной бумаги; 3 – материал спецодежды; 4 – блок питания; 5 – блок сигнализации; 6 – термостат; 7 – камера термостата; 8 – пробирка с культуральной жидкостью; 9 – единичная проба; 10 – нагревательный элемент; 11 – термодатчик; 12 – устройство регулировки температуры; 13 – электроды; 14 – генератор; 15 – регистрирующий прибор; 16 – контакты; 17, 19, 21, 22, 24, 29, 31, 34 – резисторы; 18, 26, 30 – конденсаторы; 20, 23, 28, 32 – транзисторы; 25 – динамическая головка; 27 – диод; 33 – реле; 33.1 – контакты реле; 35 – светодиод

та будет зависеть от температуры самого охлаждаемого объекта, окружающей среды, влажности воздуха.

Единичной пробой 9 в данном случае будет являться полоска фильтровальной бумаги 2, впитавшая конденсат с микроорганизмами, извлеченными из материала спецодежды 3 при охлаждении модуля Пельтье 1.

Пока контакты 16 блока сигнализации сухие, все транзисторы закрыты, мультивибратор не работает. При замыкании контактов 16 блока сигнализации 5 база транзистора 20 через сопротивление резистора 17 и сопротивление воды оказывается подключенной к плюсу блока питания 4. Несимметричный мультивибратор, собранный на транзисторах 20 и 23 начинает действовать. Транзистор 28 является усилителем мощности и нагружен на динамическую головку 25. Одновременно с работой мультивибратора, через цепочку конденсатор 26 - диод 27 начинает заряжаться конденсатор 30, подключенный к базе транзистора 32. При достижении определенного потенциала на конденсаторе 30, транзистор 32 открывается и включает реле 33. При этом включается световая индикация, собранная на резисторе 34 и светодиоде 35.

Модуль Пельтье 1 отключается при появлении влаги и до образования инея на его охлаждаемой поверхности. После срабатывания сигнализации единичная проба 9 помещается в пробирку 8 с культуральной жидкостью. Пробирку 8 размещают в камеру 7 термостата 6. С помощью устройства регулировки температуры 12 устанавливают необходимый температурный режим в термостате 6. Единичную пробу 9 инкубируют в течение 2 ч. при температуре 35°. Микроорганизмы, растущие в культуральной жидкости, изменяют ее удельную электропроводность, за счет накопления продуктов обмена веществ с повышенной электропроводностью.



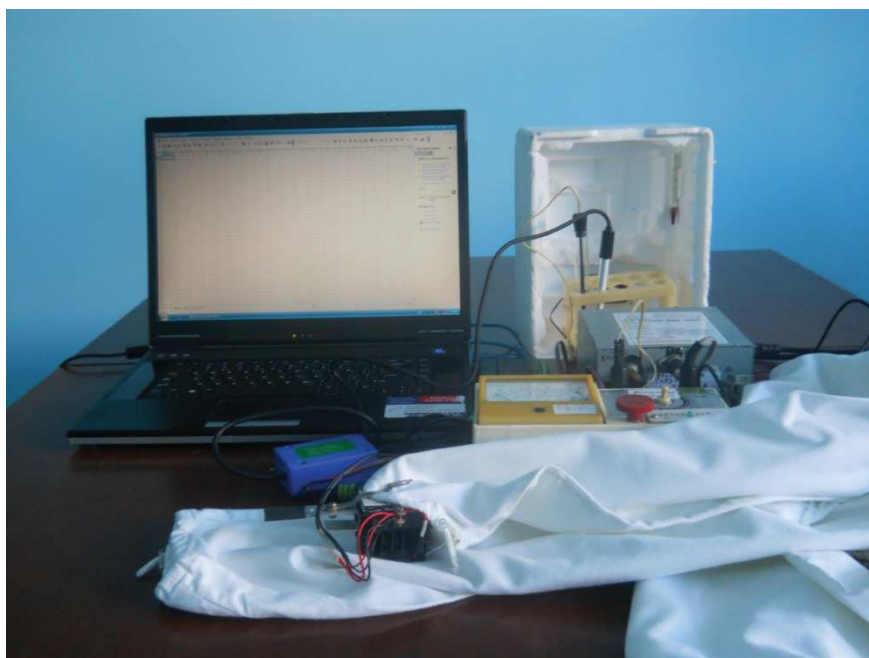


Рис. 2. Устройство с прерыванием для определения микробной обсемененности спецодежды

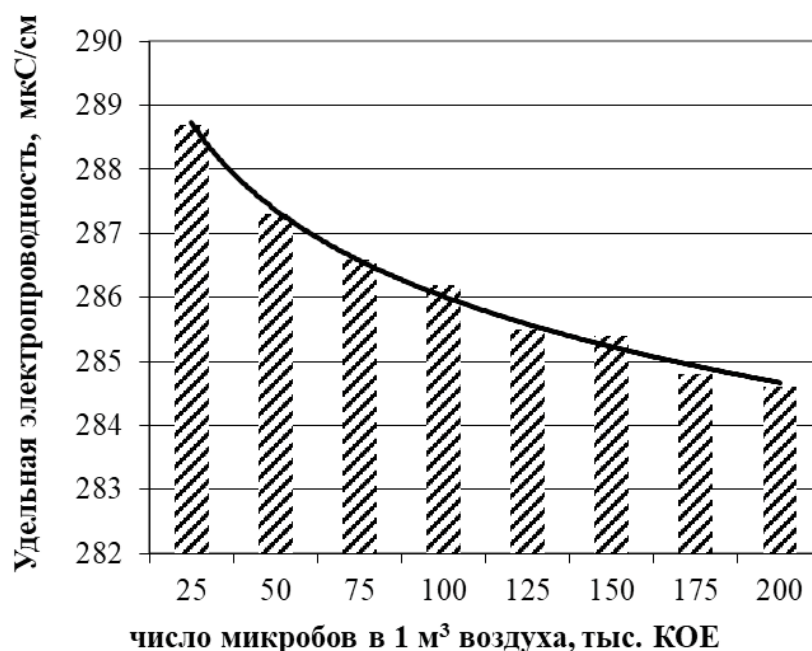


Рис. 3. График для определения численности микробов в воздухе

Для определения удельной электропроводности культуральной жидкости через электроды 13, помещенные в пробирку 8, от генератора 14 пропускают ток. Изменение удельной электропроводности фиксируют регистрирующим прибором 15.

Для определения численности микробов (рис. 3) на оси ординат откладывают величину удельной электропроводности культуральной жидкости, из данной точки проводят прямую линию до пересечения с графиком, полученным эмпирическим путём, а затем опускают вертикаль на ось абсцисс. Точка пересечения вертикали с осью абсцисс будет соответствовать искомой величине численности микробов.

Для сравнения способов извлечения микробов из материала была получена чистая культура *E. coli*, которая методом последовательных разведений в стерильном физиологическом растворе с контролем по стандарту мутности микробных взвесей и контрольных высевов была разведена до следующих величин содержания микробов в 1 мл раствора (тыс. КОЕ): 10; 50; 250; 500 и 1000. Раствор распыляли с помощью дозатора аэрозолей на поверхность материала спецоде-



Способы извлечения микробов	Численность микробов, тыс. КОЕ				
	В аэрозоле				
	10	50	250	500	1000
	В материале				
известный	6.4±1.25	32.7±3.48	156.4±15.97	320.2±52.61	620.5±73.94
предлагаемый	8.5±0.96	43.5±2.54	218.8±10.18	473.5±24.35	910.0±50.23

жды на площади 600 мм² (площадь, соответствующая рабочей поверхности элемента Пельтье). Затем проводили извлечение микробов известным способом смывов с соответствующей площади и предлагаемым способом. Результаты представлены в таблице.

Результаты свидетельствуют о том, что количество микробов, выделенных из материала известным способом, составляет в среднем 63,6 % от количества эксплицированных микробов. Величина данного показателя, полученная предлагаемым способом, составляет 89,0 %.

Использование заявляемого устройства с прерыванием для определения микробной обсемененности спецодежды позволит сохранить жизнеспособность микроорганизмов и улучшить условия эксплуатации оборудования, позволяющего прогнозировать прочностные характеристики тканых материалов, подвергающихся воздействию микробиальных ферментов.

Заключение. Исходя из полученных результатов можно сделать вывод о том, что наличие рабочих зон с повышенной микробной обсемененностью и влажностью требует продуманной разработки качественной специальной одеждой, учитывающей барьерные способности тканей в зависимости от их состава и от условий использования. Многозадачная совокупность требований к материалам и конструкции кроя делают защитные комплекты достаточной степени трудоемким объектом для разработки. Специфические условия эксплуатации диктуют соблюдение научно-обоснованных подходов к прогнозированию эффективности защитных свойств спецодежды, что доказывает необходимость использования для оценки микробного обсеменения тканых материалов специального оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Klar S., Poether D.-C., et al. Application of impedance measurement to investigate in vitro inhalation toxicity of bacteria // Journal of Occupational Medicine and Toxicology, 16(2021), 32.
2. Rasmussen P.U., Phan H.U.T., Frederiksen M.W., Madsen A.M. A characterization of bioaerosols in bio-waste pretreatment plants in relation to occupational health // Waste Management, 2021, 131, с. 237–248.
3. Образование биопленок – пример «социального» поведения бактерий / Ю.М. Романова [и др.] // Микробиология. 2006. Т. 75(4). С. 1–6.
4. Shkrabak V.S., Gavrikova E.I., Shkrabak R.V. et al. Photocatalytic method of disinfection of indoor areas with increased microbial content / International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. 2020. Т. 11. No. 10. С. 11A10J.
5. Чеботарь И.В., Маянский А.Н., Кончакова Е.Д., Лазарева А.В., Чистякова В.П. Антибиотикорезистентность биопленочных бактерий // Клини. микробиол. антимикроб. химиотер. 2012, Т. 14(1). С. 51–58.
6. Wikuats C.F.H., da Silva I., et al. Health symptoms and inflammatory blood biomarkers from exposure of recyclable waste workers to particulate matter and bioaerosols // Atmospheric Pollution Research, 13(2022), 101323.
7. Møller S.A., Rasmussen P.U., Frederiksen M.W., Madsen A.M. Work clothes as a vector for microorganisms: Accumulation, transport, and resuspension of microorganisms as demonstrated for waste collection workers // Environment International. 2022, 161, 107112.
8. Hoseinzadeh E. A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms / E. Hoseinzadeh, P. Makhdoumi, P. Taha, H. Hossini, J. Stelling, M.A. Kamal, G.M. Ashraf // Curr. Drug. Metab. 2017. Vol. 18. No. 2. P. 120–128.



9. Raghunath A. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future / A. Raghunath, E. Perumal // *Int. J. Antimicrob. Agents*. 2017. Vol. 49. No. 2. P. 137–152.
10. Zaidi S. Nano-therapeutics: a revolution in infection control in post antibiotic era / S. Zaidi, L. Misba, A.U. Khan // *Nanomedicine*. 2017. Vol. 13. No. 7. P. 2281–2301.
11. Gold K. Antimicrobial activity of metal and metal oxide based nanoparticles / K. Gold, B. Slay, M. Knackstedt, A.K. Gaharwar // *Adv. Therap.* 2018. Vol. 1. No. 3. DOI: 10.1002/adtp.201700033.
12. Гаврикова Е.И. Особенности характеристик защитных свойств тканых материалов / Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 8 (164). С. 18–20.
13. Mosalaei S., Amiri H., Rafiee A., et al. Assessment of fungal bioaerosols and particulate matter characteristics in indoor and outdoor air of veterinary clinics // *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(2021), 1773–1780.
14. Гаврикова Е.И. Устройство с прерыванием для определения микробной обсемененности спецодежды // пат. РФ № 2730027, 2020.

REFERENCES

1. Klar S., Poether D.-C. et al. Application of impedance measurement to investigate in vitro inhalation toxicity of bacteria. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 16(2021), 32.
2. Rasmussen P.U., Phan H.U.T., Frederiksen M.W., Madsen A.M. A characterization of bioaerosols in bio-waste pretreatment plants in relation to occupational health. *Waste Management*. 2021; 131: 237–248.
3. Formation of biofilms as an example of the social behavior of bacteria / Yu. M. Romanova, et al. *Microbiology*. 2006; 75; 4: 481–485. DOI 10.1134/S0026261706040199. – EDN LJXHUT. (In Russ.).
4. Shkrabak V.S., Gavrikova E.I., Shkrabak R.V. et al. Photocatalytic method of disinfection of indoor areas with increased microbial content. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020; 11; 10: 11A10J.
5. Chebotar I.V., Mayansky A.N., Konchakova E.D., Lazareva A.V., Chistyakova V.P. Antibiotic resistance of biofilm bacteria. *Wedge. microbiol. antimicrobial chemother.* 2012; 14(1): 51–58. (In Russ.).
6. Wikuats C.F.H., da Silva I. et al. Health symptoms and inflammatory blood biomarkers from exposure of recyclable waste workers to particulate matter and bioaerosols. *Atmospheric Pollution Research*, 13(2022), 101323.
7. Møller S.A., Rasmussen P.U., Frederiksen M.W., Madsen A.M. Work clothes as a vector for microorganisms: Accumulation, transport, and resuspension of microorganisms as demonstrated for waste collection workers. *Environment International*. 2022, 161, 107112.
8. Hoseinzadeh E. A review on nano-antimicrobials: metal nanoparticles, methods and mechanisms / E. Hoseinzadeh, P. Makhdoumi, P. Taha, H. Hossini, J. Stelling, M.A. Kamal, G.M. Ashraf. *Curr. Drug. Metab.* 2017; 18; 2: 120–128.
9. Raghunath A. Metal oxide nanoparticles as antimicrobial agents: a promise for the future / A. Raghunath, E. Perumal. *Int. J. Antimicrob. Agents*. 2017; 49; 2: 137–152.
10. Zaidi S. Nano-therapeutics: a revolution in infection control in post antibiotic era / S. Zaidi, L. Misba, A.U. Khan. *Nanomedicine*. 2017; 13; 7: 2281–2301.
11. Gold K. Antimicrobial activity of metal and metal oxide based nanoparticles / K. Gold, B. Slay, M. Knackstedt, A.K. Gaharwar. *Adv. Therap.* 2018; 1; 3. DOI: 10.1002/adtp.201700033.
12. Gavrikova E.I. Features of the characteristics of the protective properties of woven materials. *Life safety*. 2014; 8 (164): 18–20. (In Russ.).
13. Mosalaei S., Amiri H., Rafiee A., et al. Assessment of fungal bioaerosols and particulate matter characteristics in indoor and outdoor air of veterinary clinics. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(2021), p. 1773–1780.
14. Gavrikova E.I. Device with interruption to determine the microbial contamination of overalls // Patent Russia No. 2730027, 2020. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 13.02.2023; одобрена после рецензирования 1.03.2023; принята к публикации 8.03.2023.

The article was submitted 13.02.2023; approved after reviewing 1.03.2023; accepted for publication 8.03.2023.

