

DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-186-189

УДК 614.8:62-78

Е.А. Снатенков, А.А. Коваленко, К.А. Ротов

Анализ неисправностей боксов микробиологической безопасности и систем приточно-вытяжной вентиляции в бактериологических лабораториях

ФКУЗ «Волгоградский научно-исследовательский противочумный институт», Волгоград, Российская Федерация

Цель работы – выявление и анализ неисправностей боксов микробиологической безопасности и систем приточно-вытяжной вентиляции в бактериологических лабораториях. **Материалы и методы.** Проверка технического состояния, целостности НЕРА-фильтров боксов микробиологической безопасности и фильтров очистки воздуха приточно-вытяжной вентиляции проводилась в соответствии с требованиями пп. 188–191 СанПиН 3.3686-21, ГОСТ Р EN 12469-2010. За период с 2018 по 2023 г. включительно проведено 926 обследований по проверке защитной эффективности боксов микробиологической безопасности и фильтров очистки воздуха, из них боксов микробиологической безопасности 1, 2, 3-го классов – 524 единицы, фильтров очистки воздуха приточно-вытяжной вентиляции – 402. Обследование проводилось с использованием следующего оборудования (средств измерения): портативного счетчика частиц Solair 3100, генератора тестового аэрозоля Atomizer Aerosol Generator ATM 226, разбавителя аэрозоля Dilution System DIL 554, дифференциального манометра Testo 510. **Результаты и обсуждение.** Установлено, что из 524 боксов соответствовали требованиям санитарных правил 488 единиц (93 %), которые и были допущены к дальнейшей эксплуатации. Не прошли проверку на соответствие требованиям санитарных правил и норм 36 боксов микробиологической безопасности по следующим параметрам: скорость входящего потока – 4 единицы, скорость нисходящего потока – 6, защитная эффективность фильтра – 26. Из 26 случаев нарушения защитной эффективности фильтров очистки воздуха боксов микробиологической безопасности у 15 фильтров нарушена целостность в одной или двух-трех точках поверхности, у 6 единиц оборудования диффузно повреждена вся поверхность фильтра. У 5 единиц отмечена утечка тестового аэрозоля по периметру установки и нарушение герметизации фильтра в корпусе бокса.

Ключевые слова: боксы микробиологической безопасности, биологическая безопасность, защитная эффективность.

Корреспондирующий автор: Снатенков Евгений Александрович, e-mail: info@vniptchi.rospotrebnadzor.ru.

Для цитирования: Снатенков Е.А., Коваленко А.А., Ротов К.А. Анализ неисправностей боксов микробиологической безопасности и систем приточно-вытяжной вентиляции в бактериологических лабораториях. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2025; 3:186–189. DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-186-189
Поступила 02.06.2025. Отправлена на доработку 01.07.2025. Принята к публикации 04.07.2025.

E.A. Snatenkov, A.A. Kovalenko, K.A. Rotov

Analysis of Malfunctions of Microbiological Safety Cabinets and Ventilation Systems in Bacteriological Laboratories

Volgograd Research Anti-Plague Institute, Volgograd, Russian Federation

Abstract. The aim of the work was to identify and analyze failures of microbiological safety cabinets and supply and exhaust ventilation systems in bacteriological laboratories. **Materials and methods.** The technical condition and integrity of the HEPA filters of the microbiological safety cabinets and air purification filters for supply and exhaust ventilation were checked in accordance with the requirements of articles 188–191 of SanPiN 3.3686-21, GOST R EN 12469-2010. Over the period of 2018–2023, 926 studies were conducted to verify the protective effectiveness of microbiological safety cabinets and air purification filters; of those, microbiological safety cabinets class 1, 2, 3 – 524 units, filters for air purification of supply and exhaust ventilation – 402. The inspection was performed using the following bits of equipment (measuring instruments): Solair 3100 portable particle counter, Atomizer Aero Generator ATM 226 test aerosol generator, Dilution System DIL 554 aerosol diluent, Testo 510 differential pressure gauge. **Results and discussion.** As a result of the study conducted, it was established that out of 524 cabinets, 488 units (93 %) met the requirements of sanitary regulations and were approved for further use. 36 microbiological safety cabinets did not pass the test for compliance with the requirements of sanitary rules and regulations by the following parameters: the incoming flow rate – 4 units, the downward flow rate – 6 units, and the protective efficiency of the filter – 26 units. Of the 26 cases of the protective effectiveness violation of the air purification filters in the microbiological safety cabinets, 15 filters had their integrity compromised at one or 2–3 surface points, and 6 pieces of equipment had diffusely damaged entire filter surface. 5 pieces of equipment had a leak of test aerosol around the perimeter of the installation and breach of the sealing of the filter in the housing of the cabinet.

Key words: microbiological safety cabinets, biological safety, protective efficiency.

Conflict of interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The authors declare no additional financial support for this study.

Corresponding author: Evgeny A. Snatkov, e-mail: info@vniipchi.rosпотреbnadzor.ru.

Citation: Snatkov E.A., Kovalenko A.A., Rotov K.A. Analysis of Malfunctions of Microbiological Safety Cabinets and Ventilation Systems in Bacteriological Laboratories. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2025; 3:186–189. (In Russian). DOI: 10.21055/0370-1069-2025-3-186-189

Received 02.06.2025. Revised 01.07.2025. Accepted 04.07.2025.

Snatkov E.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5692-1229>
Kovalenko A.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1932-7014>

Rotov K.A., ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3717-7710>

Биологическая безопасность в бактериологической лаборатории обеспечивается системой медико-биологических, организационных и инженерно-технических мероприятий и средств, направленных на защиту работающего персонала, населения и окружающей среды от воздействия патогенных биологических агентов [Статья 1 Федерального закона от 30.12.2020 № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации»].

Работа с патогенными биологическими агентами (ПБА) проводится в специфических условиях безопасного биологического режима, однако риск инфицирования помещения и персонала сохраняется [1]. Это, в первую очередь, определяется видом микроорганизма и степенью его контагиозности для человека, устойчивостью во внешней среде, а также материально-технической оснащенностью лаборатории [Раздел IV Санитарных правил и норм СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней» (далее – СанПиН 3.3686-21)]. Инженерно-технические подходы в обеспечении биобезопасности сегодня рассматриваются как наиболее действенные для повышения надежности и снижения риска работ с ПБА, они опираются на методологию теории рисков, надежности и отказов оборудования [2, 3]. Технические факторы (оборудование, планировка, защитные системы) постоянно совершенствуются, в том числе с помощью применения страховочных механизмов, проходят объективный контроль, и поэтому с их помощью можно эффективно наращивать защитные барьеры, повышая уровни безопасности работ с ПБА [п. 4 ГОСТ Р ЕН 12469-2010 Биотехнология. Технические требования к боксам микробиологической безопасности]. Использование боксов микробиологической безопасности (БМБ) и фильтров очистки воздуха (ФОВ) в системах приточно-вытяжной вентиляции (ПВВ) при работе с микроорганизмами I–IV групп патогенности регламентировано требованиями СанПиН 3.3686-21 и обеспечивает высокий уровень безопасности для персонала и окружающей среды [4, 5].

Требования, предъявляемые действующими санитарными правилами и нормами к эксплуатации данных инженерных систем, подразумевают периодичность инструментального контроля, определяют все необходимые условия и параметры проверки эксплуатационных характеристик БМБ и ФОВ ПВВ. Проверку эксплуатационных характеристик БМБ и ПВВ в соответствии с требованиями нормативных документов проводят специалисты учреждений, организаций, аккредитованных на данный вид деятельности в национальной системе аккредитации [пп. 188–189 СанПиН 3.3686-21]. Защитная

эффективность БМБ и ФОВ ПВВ определяется на основании результатов проверки эксплуатационных характеристик. Защитная эффективность БМБ и ФОВ ПВВ не подтверждается, если при проверке их эксплуатационных характеристик хотя бы один показатель, определяемый нормативно-методической документацией, не соответствует требуемым параметрам [6]. В случае несоответствия параметров оборудования требованиям СанПиН 3.3686-21 оно требует ремонта и повторной проверки, которые оплачиваются из бюджета организации. В связи с этим актуальным является поиск причин выхода из строя данного оборудования, факторов, приводящих к неисправностям, и способов обеспечения длительной эксплуатации БМБ и ФОВ воздуха без нарушения эксплуатационных характеристик.

Цель работы – выявление и анализ неисправностей боксов микробиологической безопасности и систем приточно-вытяжной вентиляции в бактериологических лабораториях.

Материалы и методы

Проверка технического состояния, целостности НЕРА-фильтров БМБ и ФОВ ПВВ проводилась специалистами ФКУЗ Волгоградский научно-исследовательский противочумный институт Роспотребнадзора в соответствии с требованиями пп. 188–191 СанПиН 3.3686-21, ГОСТ Р ЕН 12469-2010. За период с 2018 по 2023 г. включительно проведено 926 исследований по проверке защитной эффективности оборудования, из них БМБ 1, 2, 3-го классов – 524 единицы, ФОВ ПВВ – 402.

Для проверок использовали следующее оборудование (средства измерения): портативный счетчик частиц Solair 3100, генератор тестового аэрозоля Atomizer Aerosol Generator ATM 226, разбавитель аэрозоля Dilution System DIL 554, дифференциальный манометр Testo 510.

С помощью генератора аэрозоля организовывали подачу тестового аэрозоля в надфильтровое пространство бокса с дальнейшим определением концентрации частиц перед фильтром (n_0) путем отбора пробы воздуха из пространства до фильтра счетчиком частиц, подключенным через диллятор:

$$n_0 = \frac{N}{472 \cdot t} \cdot D, \text{ 1/см}^3,$$

где N – количество частиц, отобранных в пробе;

t – время отбора пробы;

D – коэффициент разбавления диллятора (согласно паспорту на диллятор, обычно 100).

Рассчитывали число частиц C_a , характеризующих утечку при сканировании:

$$C_a = 0,94 \cdot n_o \cdot P_s \cdot K_y \cdot D_p,$$

где n_o – концентрация аэрозоля перед фильтром, $1/\text{см}^3$;

P_s – стандартный коэффициент проскока фильтра;

K_y – коэффициент утечки, зависит от класса фильтра.

Изучение эксплуатационных характеристик (наличие и направление ламинарного потока в рабочей зоне бокса микробиологической безопасности), оценку средней скорости нисходящего потока и скорости потока воздуха, входящего в бокс через рабочий проем, проводили с помощью термоанемометра. Высоту рабочего проема ограничивали до величины (78 ± 2) мм, серию измерений скорости входящего потока воздуха в уменьшенном проеме измеряли в 10 точках, равномерно удаленных друг от друга и расположенных в плоскости уменьшенного проема. Чувствительный элемент термоанемометра располагали на середине высоты уменьшенного рабочего проема. Время измерения – не менее 20 с. Вычисление средней арифметической скорости потока воздуха ($\bar{v}$, м/с) в уменьшенном рабочем проеме определяли по формуле:

$$v_{\text{вход}} = K_{\text{вход}} \cdot \bar{v}, \text{ м/с},$$

где $\bar{v}$ – средняя скорость входящего потока в уменьшенном проеме, м/с;

$K_{\text{вход}}$ – коэффициент перевода, равный отношению высоты уменьшенного проема к высоте рабочего проема:

$$K_{\text{вход}} = \frac{h}{H},$$

где H – высота рабочего проема бокса, мм;

h – высота уменьшенного проема, мм [2, 7].

Результаты и обсуждение

Сотрудниками лаборатории биологической безопасности Волгоградского научно-исследовательского противочумного института Роспотребнадзора проведены исследования защитной эффективности боксов микробиологической безопасности и фильтров очистки воздуха систем ПВВ в микробиологических, клинито-диагностических, ветеринарных лабораториях, инфекционных госпиталях г. Волгограда, Волгоградской и Ростовской областей, Республики Калмыкия на соответствие требованиям СанПиН 3.3686-21:

- скорости нисходящего потока;
- скорости входящего потока;
- защитной эффективности фильтра;
- коэффициента аэродинамического сопротивления.

При проведении исследований по оценке защитной эффективности указанного оборудования

выявлен ряд проблем, систематически встречающихся во многих организациях и препятствующих проведению исследований, а соответственно, и дальнейшей его эксплуатации. Проведение оценки защитной эффективности становилось возможным только после устранения выявленных неисправностей. Наибольшее количество несоответствий требованиям нормативно-методических документов выявлено при оценке защитной эффективности фильтров очистки воздуха в системах ПВВ, которые в большинстве случаев спроектированы, установлены и эксплуатировались без соблюдения установленных требований проведения соответствующей модернизации. Выявлены следующие наиболее частые несоответствия, препятствующие проведению проверки защитной эффективности:

- компоненты ПВВ (воздуховоды, корпус ФОВ, вентилятор, устройство подготовки воздуха) расположены в местах с ограниченным доступом, препятствующим проведению обслуживания, чаще всего в чердачных помещениях одноэтажных зданий, в скрытых полостях помещений;

- на корпусе ФОВ отсутствуют технологические штуцеры для отбора проб;

- воздуховоды системы ПВВ – прямоугольного, квадратного, круглого сечения, с множественными фланцевыми соединениями, многосекционные и, следовательно, часто негерметичные в местах соединений;

- корпус фильтр-бокса не соответствует размерам установленного ФОВ, отсутствуют уплотнители ФОВ в корпусе;

- негерметичный корпус ФОВ установлен в незащищенном от атмосферного воздействия месте (попадание влаги, пыли, перепады температур);

- при установке ФОВ допущено механическое повреждение его целостности.

При выявлении данных неисправностей проводить оценку защитной эффективности возможно только после их устранения.

Исследуемые боксы микробиологической безопасности производства различных как отечественных, так и зарубежных фирм имеют срок эксплуатации от 2 до 15 лет.

Установлено, что из 524 боксов соответствовали требованиям санитарных правил 488 единиц (93 %), которые и были допущены к дальнейшей эксплуатации.

Не прошли проверку 36 боксов микробиологической безопасности по следующим параметрам:

- скорость входящего потока – 4 ед.;
- скорость нисходящего потока – 6 ед.;
- защитная эффективность фильтра – 26 ед.

Несоответствие скорости входящего и нисходящего потока связано с двумя факторами:

- снижением эффективности работы мотора вентилятора;

- снижением пропускной способности фильтра вследствие его загрязнения.

Возникновение данных неисправностей прежде всего связано с интенсивной эксплуатацией оборудования без должного систематического контроля его параметров и отсутствием планово-предупредительного ремонта, регламентированного заводом-изготовителем.

Скорость входящего потока у 4 единиц оборудования была ниже требуемой.

Из 26 случаев несоответствия защитной эффективности фильтров очистки воздуха боксов микробиологической безопасности у 15 фильтров нарушена целостность в одной или двух-трех точках поверхности, у 6 единиц оборудования диффузно повреждена вся поверхность фильтра. У 5 единиц оборудования отмечена утечка тестового аэрозоля по периметру установки и нарушение герметизации фильтра в корпусе бокса. Наиболее трудоемким и финансово затратным является устранение диффузного повреждения всей поверхности фильтра и нарушения его герметизации в корпусе бокса, влекущих за собой полную замену фильтра. Повреждение всей площади фильтра вызвано нарушением способов дезинфекционной обработки и выбором дезинфектантов, которые не предназначены для обработки фильтра (обладают эрозивным действием при обработке материала фильтра) [7].

Таким образом, неисправности (снижение скорости входящего потока, снижение скорости нисходящего потока, механическое или химическое повреждение фильтра), выявленные при проведении исследований защитной эффективности БМБ и ФОВ в системах приточно-вытяжной вентиляции, обусловлены: механическими повреждениями НЕРА-фильтра во время проведения работ или технического обслуживания, химическим повреждением НЕРА-фильтра при дезинфекционной обработке, нарушением уплотнения по периметру крепления фильтра в корпусе БМБ при перемещении оборудования (деформация корпуса), превышением максимально допустимого конечного аэродинамического сопротивления фильтров очистки воздуха, установленного заводом-изготовителем, самостоятельным и неквалифицированным ремонтом оборудования, недостаточной информированностью персонала о правилах эксплуатации и методах работы с данным оборудованием.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликта финансовых/нефинансовых интересов, связанных с написанием статьи.

Финансирование. Авторы заявляют об отсутствии дополнительного финансирования при проведении данного исследования.

Список литературы

1. Ляпин М.Н., Кутырев В.В. Актуальные проблемы биобезопасности. *Журнал микробиологии, эпидемиологии и иммунологии*. 2013; (1):97–102.
2. Тюрин Е.А., Храмов М.В., Дятлов И.А. Анализ выполнения требований по обеспечению биологической безопасности на потенциально опасном объекте. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2018; (2):95–100. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-2-95-100.
3. Малукова Т.А., Бойко А.В., Панин Ю.А., Безсмертный В.Е., Кутырев В.В. Вероятность реализации биорисков при проведении работ с ПБА I–II группы. *Эпидемиология и инфекционные болезни*. 2016; 21(3):136–45. DOI: 10.18821/1560-9529-2016-21-3-136-145.
4. Тюрин Е.А., Чекан Л.В. Обеспечение требований биологической безопасности при проведении биотехнологических процессов с микроорганизмами I–IV групп патогенности. *Бактериология*. 2020; 5(4):60–4. DOI: 10.20953/2500-1027-2020-4-60-64.
5. Найденев А.Я. Безопасность работ в микробиологических лабораториях. Защитная эффективность инженерных систем безопасности. М.: ДеЛи плюс; 2013. 224 с.
6. Ененко А.А. Особенности проверки целостности НЕРА и ULPA фильтров в боксах микробиологической безопасности. *Технология чистоты*. 2014; (2):14–9.
7. Золин В.В., Оськина О.П., Ерёмкина М.Н., Давыдов Г.Ф., Гостева Т.А. Особенности дезинфекции боксов микробиологической безопасности и помещений вирусологических лабораторий при проведении работ с вирусом натуральной оспы. *Проблемы особо опасных инфекций*. 2020; (1):85–90. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-85-90.

References

1. Lyapin M.N., Kutyrev V.V. [Relevant issues of biosafety]. *Zhurnal Mikrobiologii, Epidemiologii i Immunobiologii [Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology]*. 2013; (1):97–102.
2. Tyurin E.A., Khramov M.V., Dyatlov I.A. [Analysis of implementation of the requirements for provision of biological safety at a potentially hazardous facility]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2018; (2):95–100. DOI: 10.21055/0370-1069-2018-2-95-100.
3. Malyukova T.A., Boiko A.V., Panin Yu.A., Bezsmertny V.E., Kutyrev V.V. [Probability of realization of biorisks while working with PBA of I–II pathogenicity groups]. *Epidemiologiya i Infektsionnye Bolezni [Epidemiology and Infectious Diseases]*. 2016; 21(3):136–45. DOI: 10.18821/1560-9529-2016-21-3-136-145.
4. Tyurin E.A., Chekan L.V. [Ensuring biological safety requirements when carrying out biotechnological processes with microorganisms of I–IV pathogenicity groups]. *Bakteriologiya [Bacteriology]*. 2020; 5(4):60–4. DOI: 10.20953/2500-1027-2020-4-60-64.
5. Naidenov A.Ya. [Safety of Work in Microbiological Laboratories. Protective Efficiency of Engineering Safety Systems]. Moscow: “DeLi Plus”; 2013. 224 p.
6. Enenko A.A. [Features of integrity testing of HEPA and ULPA filters in microbiological safety cabinets]. *Tekhnologiya Chistoty [Purity Technology]*. 2014; (2):14–9.
7. Zolin V.V., Os'kina O.P., Eremina M.N., Davydov G.F., Gosteva T.A. [Peculiarities of disinfection of microbiological safety cabinets and premises of virological laboratories when carrying out works with the smallpox virus]. *Problemy Osobo Opasnykh Infektsii [Problems of Particularly Dangerous Infections]*. 2020; (1):85–90. DOI: 10.21055/0370-1069-2020-1-85-90.

Authors:

Snatenkov E.A., Kovalenko A.A., Rotov K.A. Volgograd Research Anti-Plague Institute. 7, Golubinskaya St., Volgograd, 400131, Russian Federation. E-mail: info@vniipchi.rosпотреbnadzor.ru.

Об авторах:

Снатенков Е.А., Коваленко А.А., Ротов К.А. Волгоградский научно-исследовательский противочумный институт. Российская Федерация, 400131, Волгоград, ул. Голубинская, 7. E-mail: info@vniipchi.rosпотреbnadzor.ru.