

ПЕРСОНАЛЬНЫЕ ВЫТЯЖНЫЕ СИСТЕМЫ ВЕНТИЛЯЦИИ ИНФЕКЦИОННЫХ БОЛЬНИЦ

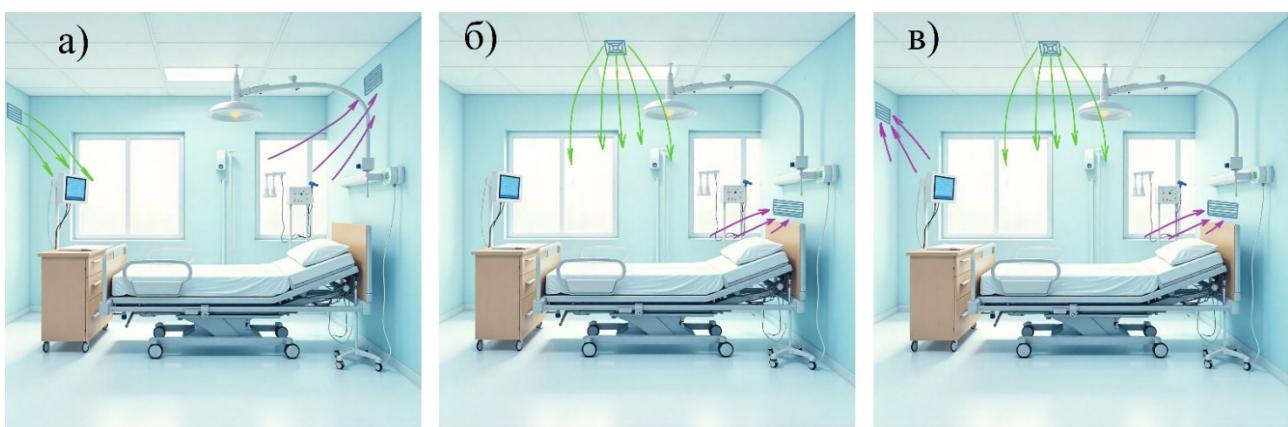
Аннотация. Объектом исследования являются персональные вытяжные системы вентиляции, применяемые в инфекционных отделениях лечебно-профилактических учреждений для защиты медицинского персонала от воздушно-капельных и аэрозольных инфекций. Актуальность работы обусловлена повышенными рисками заражения медиков при выполнении аэрозоль-генерирующих процедур. Методология исследования включает систематический теоретический анализ существующих конструкций защитных аэрозольных укрытий и персональных вытяжных систем. Поиск и отбор публикаций проводился по международным базам данных с использованием ключевых слов, связанных с персональной вытяжной вентиляцией и аэрозольными боксами. Основные научные результаты представлены в виде классификации персональных вытяжных систем на четыре типа: 1) аэрозольные боксы для процедур, 2) всасывающие панели открытого типа и с активированным отсосом, 3) малогабаритные всасывающие сопла и 4) навесы открытого и закрытого типа для длительного использования. Для каждого типа проанализированы конструктивные особенности, эффективность улавливания аэрозолей, расход воздуха, эргономика и клиническое применение. Установлено, что аэрозольные укрытия с принудительной вентиляцией демонстрируют эффективность до 99 % и наиболее целесообразны для кратковременных процедур, в то время как регулируемые навесы обеспечивают лучший баланс между защитой и комфортом пациента при длительной терапии. Выявлен дефицит нормативных требований к воздухообмену для таких систем. Персональная вытяжная вентиляция является эффективным инструментом снижения внутрибольничных инфекций, передающихся аэрозольным и воздушно-капельным путями.

Ключевые слова: персональная вентиляция, аэрозольные укрытия, инфекционный контроль, вытяжные системы, перекрестное заражение, вентиляция палат

Введение. Распространение патогенов, передающихся воздушно-капельным и аэрозольными путями, представляет собой одну из наиболее серьезных проблем современного здравоохранения. Пандемия COVID-19 с особой остройностью продемонстрировала уязвимость медицинского персонала перед внутрибольничными инфекциями, что привело к значительной заболеваемости и смертности среди врачей, медицинских сестер и санитаров по всему миру [1–2]. Эта си-

туация обнажила системные недостатки существующих инфраструктурных решений, в частности, систем вентиляции, которые зачастую не были рассчитаны на столь высокие концентрации патогенных аэрозолей в воздухе помещений.

Начиная с XIX века при проектировании инфекционных отделений лечебно-профилактических учреждений, традиционно используются несколько видов схем организации воздухообмена (рис. 1) [3].



Для минимизации распространения вредных веществ по помещению оптимальным вариантом является установка вытяжных отверстий как можно ближе к источнику загрязнения. В 1894 году А.К. Павловский [4], приводя описание больниц Am Urban в Берлине, отмечал, что извлечение загрязненного воздуха производится с помощью вентиляционных каналов, расположенных в наружных стенах здания с помощью решеток, установленных позади коек. При этом вытяжка может функционировать в двух режимах: лето (удаление воздуха производится из верхней зоны помещения) и зима (из нижней зоны помещения). Переключение режимов осуществляется вручную с помощью штанги, установленной на регулировочных жалюзи вентиляционных решеток, что исключает одновременное открытие вытяжных отверстий. Похожая схема организации воздухообмена использовалась и в больнице Тенон в Париже. Для обеспечения стабильного расхода вытяжного воздуха применялся подогрев вентиляционных каналов с помощью газовых горелок или паровых трубок.

Интенсивное развитие медицинских технологий, включающих в себя процедуры, генерирующие аэрозоли (высокопоточная оксигенотерапия [5], небулайзерная терапия [6], двухфазная вентиляция легких (BiPAP), эндотрахеальная интубация и бронхоскопия [7]), приводит к повышенному риску инфицирования лечебного персонала. Согласно рекомендациям Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) [8], при обслуживании пациентов с синдромами респираторных заболеваний и использовании аэрозоль-генерирующих процедур, требуется использование медицинских масок и респираторов для снижения риска перекрестного заражения (СИЗ). Безусловно, СИЗ сыграли критически важную роль в сдерживании инфекции, однако, как показали последующие исследования, их защитная эффективность не является абсолютной. Вирусные аэрозоли, особенно мелкодисперсные частицы размером 1–5 мкм, способны не только проникать через недостаточно плотные прилегания маски, но и длительное время сохраняться в воздухе во взвешенном состоянии, переносясь конвективными потоками на значительные расстояния [9].

Прогресс в лабораторных методах визуализации микроорганизмов и аэрозолей, а также развитие современных лечебных технологий, выявили острую потребность в модернизации существующих систем вентиляции. Традиционные системы общеобменной вентиляции, зачастую не способны оперативно локализовать облако аэрозоля, образующееся непосредственно у источника – дыхательных путей пациента. Время

жизни мелкодисперсных частиц (1–5 мкм) может достигать нескольких часов, а их перенос потоками воздуха на значительные расстояния внутри помещения создает зоны повышенного риска даже при формальном соблюдении нормативов по воздухообмену [9]. Это обуславливает необходимость внедрения систем точечного (локализующего) действия, каковыми и являются персональные вытяжные системы. Их ключевая задача – своевременный захват и удаление загрязненного воздуха в момент его генерации, до того, как он смешается с общим объемом воздуха в палате. Исследование [9] в госпиталях Уханя наглядно продемонстрировало, что вирус SARS-CoV-2 может обнаруживаться в пробах воздуха и на поверхностях в палатах даже при формальном соблюдении нормативов по воздухообмену. Время жизни таких частиц может достигать нескольких часов, создавая постоянный фоновый риск инфицирования для всего медицинского персонала, находящегося в помещении. Этот факт указывает на принципиальное ограничение традиционных систем общеобменной вентиляции, будь то схемы с перемешивающей или вытесняющей вентиляцией. Их основная парадигма – «разбавление и удаление» – оказывается недостаточно эффективной для оперативного реагирования на точечный, но интенсивный выброс аэрозоля непосредственно из дыхательных путей пациента, особенно при проведении аэрозоль-генерирующих процедур. Облако инфекционного аэрозоля успевает рассеяться в объеме помещения до того, как будет захвачено вытяжными устройствами, расположенными, как правило, на периферии [3, 9]. Следовательно, возникает объективная необходимость в переходе к системам нового типа – системам локализующей или точечной вентиляции, которые способны перехватывать и удалять загрязненный воздух в момент его генерации, не позволяя ему смешаться с общим объемом воздуха в палате. Именно эту функцию и призваны выполнять персональные вытяжные системы.

В современной научной литературе можно наблюдать определенную вариативность в терминологии, связанную с понятиями «персональная» (personal) и «персонализированная» (personalized) вентиляция. В данном исследовании мы сознательно используем термин «персональная вытяжная вентиляция», поскольку он точнее отражает суть рассматриваемых устройств: они обеспечивают удаление воздуха непосредственно из зоны дыхания конкретного индивида (пациента). При этом, в отличие от «персонализированных» систем, они, как правило, не подразумевают индивидуальной адаптации параметров воздушной среды (температуры,

скорости потока) под субъективные предпочтения пользователя. Их основная и единственная задача – обеспечение максимальной эффективности захвата аэрозолей.

Таким образом, актуальность настоящего исследования обусловлена необходимостью систематизации накопленных знаний о конструкциях, эффективности и практической применимости персональных вытяжных систем, которые из импровизированных решений времен кризиса пандемии должны превратиться в стандартизированный, научно обоснованный инструмент инфекционного контроля в медицинских учреждениях.

Методы и материалы исследования. Целью исследования является проведение теоретического анализа существующих конструкций защитных аэрозольных укрытий (aerosol box) и персональных вытяжных систем вентиляции, использующихся в лечебно-профилактических учреждениях для выявления наиболее удобных (эргономичных) конструктивных решений и эффективных мер по защите персонала от заражения.

Исследование было построено по методологии систематического обзора с элементами нарративного синтеза. Для обеспечения полноты охвата релевантных публикаций поиск проводился в нескольких международных и российских библиографических и репозитарных базах данных: eLIBRARY, PubMed, ResearchGate и Science Direct. Выбор данных платформ был обусловлен их специализацией: eLIBRARY как крупнейшая российская база научных публикаций, PubMed как авторитетный ресурс по биомедицинской тематике, а ResearchGate и Science Direct как источники актуальных статей и материалов конференций по инженерным и строительным аспектам вентиляции.

Поиск осуществлялся по научным статьям, опубликованным на русском и английском языках, с 2020 по 2024 год, что связано с необходимостью охвата публикаций, появившихся в период пандемии COVID-19 и после него, когда интерес к теме персональных средств защиты резко возрос. Для обеспечения доступности и проверки исходных данных рассматривались только работы, имеющие полнотекстовые версии в открытом доступе.

В отечественных базах данных были найдены только публикации, относящиеся к приточным системам персональной вентиляции и воздухораспределительным устройствам, поэтому в дальнейшей выборке и анализе участвовали зарубежные источники литературы. Для обеспечения репрезентативности выборки были

установлены следующие критерии включения публикаций:

1) Наличие подробного технического описания конструкции устройства (материалы, габариты, схема организации воздушных потоков);

2) Наличие количественных или качественных данных об эффективности улавливания аэрозолей (например, процент эффективности, снижение концентрации частиц, результаты визуализации потоков);

3) Описание условий проведения эксперимента (лабораторные испытания, численное моделирование) или опыта клинического применения;

4) Наличие рецензирования статьи.

Критерии исключения:

1) Публикации, содержащие только концептуальные описания без технических деталей;

2) Статьи, дублирующие одни и те же результаты в разных изданиях (в выборку включалась наиболее полная или ранняя версия).

Поиск и отбор литературы проводился в два этапа, соответствующих основным типам рассматриваемых устройств.

Первый этап был направлен на выявление и анализ аэрозольных боксов для проведения медицинских процедур. Для этого использовались ключевые слова: «aerosol box», «protective boxes», «aerosol containment device». Для фильтрации результатов и выделения наиболее эффективных конструкций с активным удалением аэрозолей в поисковый запрос было добавлено ключевое слово «negative pressure». На этом этапе особое внимание уделялось наличию информации о геометрических параметрах боксов, а также наличию систем вытяжной вентиляции, так как эти факторы напрямую влияют на эргономику и эффективность.

Второй этап был сфокусирован на поиске персональных вытяжных устройств, предназначенных для длительного размещения над больничной койкой. Использовались ключевые слова: «personal exhaust devices», «personal exhaust ventilation», «personalized exhaust ventilation», «personal exhaust hood», «personal ventilation hood». Для сужения области поиска к каждому варианту добавлялись слова «aerosol» и «hospital».

Результаты и их анализ. Проведенный анализ научных публикаций позволил не только систематизировать существующие разработки, но и выявить ключевые тенденции, компромиссы и пробелы в области персональной вытяжной вентиляции. Предложенная классификация на четыре типа систем отражает эволюцию подхода от простых барьерных методов к сложным, интегрированным инженерным решениям.

1. Аэрозольные укрытия (боксы), применяемые в период проведения аэрозоль-генерирующих процедур. Их особенностью является небольшой габаритный размер, а также наличие специализированных отверстий для доступа персонала к больному пациенту. Чаще всего такие устройства выполняют из полиэтиленовой

пленки и (или) акриловых листов. Например, стенки и крышка укрытия может быть выполнена из твердых светопрозрачных материалов, а открытое отверстие закрывается полиэтиленовой шторкой при проведении медицинских процедур (рис. 2).

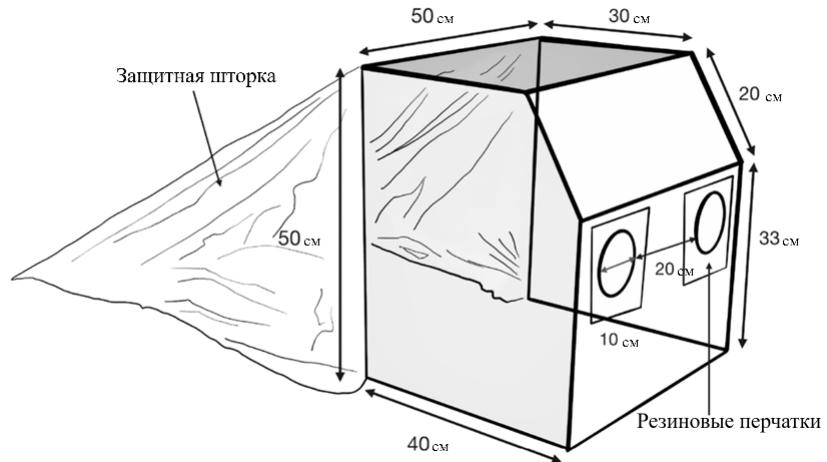


Рис. 2. Слева: фото аэрозольного укрытия (бокса) [10]; справа: габаритные размеры аэрозольного укрытия (бокса) [11].

Значительное количество публикаций описывают конструкции аэрозольных укрытий без создания в них разрежения путем использования вытяжной вентиляции (табл. 1). Они позволяют

снизить распространение капельных загрязнений, образующихся при кашле и чихании, но не обеспечивают эффективную защиту персонала от мелкодисперсных частиц [12, 13].

Таблица 1

Сравнительный анализ аэрозольных укрытий

Параметры для сравнения	Простое аэрозольное укрытие [14]	Усовершенствованные конструкции с вытяжной системой [18]
Конструкция	Укрытие открытого типа с двумя круглыми отверстиями для доступа медицинского персонала	Герметичные боксы с перчатками для медицинского персонала
Размер	50×40×50 см	Различные
Материал	Акрил	Пластиковый корпус, полиэтиленовая пленка
Система вентиляции	Отсутствует	Присутствует. Производится сравнение различных вытяжных систем, данные по расходу не указаны. Для очистки воздуха установлены HEPA фильтры.
Увеличение времени интубации	Увеличивает на 3-40 сек [13]	Увеличивает
Эффективность улавливания капель	Высокая [15]	Очень высокая
Эффективность улавливания аэрозолей	Низкая [16]	Высокая
Преимущества	Простота изготовления, низкая стоимость, защита от капельных загрязнений	Высокая эффективность, максимальная защита от аэрозолей
Недостатки	Риск распространения аэрозолей, возможно использование только со средствами индивидуальной защиты (СИЗ) [17]	Более высокая стоимость, чем у простого укрытия, неудобство использования

Использование аэрозольных укрытий с системой вытяжной вентиляции позволяет снизить концентрацию вредных частиц в рабочей зоне, обеспечивая эффективность независимо от того, превышает ли давление в помещении нормативное значение или находится ниже него. Это открывает возможность применения таких укрытий как в чистых зонах с избыточным давлением, так и в помещениях с разряжением [19]. Эффективность работы закрытого аэрозольного бокса при работе вытяжного вентилятора может достигать 99 % [20].

Применение аэрозольных укрытий сопряжено с проблемой увеличения времени интубации и усложнения эргономики обслуживания пациентов. Это, в свою очередь, повышает вероятность осложнений при выполнении медицинских манипуляций [21, 22]. Ограничение пространства внутри бокса не только затрудняет манипуляции с ларингоскопом и эндотрахеальной трубкой, но и может ухудшать визуализацию голосовых связок. Доступ к пациенту через стандартизированные отверстия зачастую не учитывает антропометрические различия медицинского персонала, а необходимость работать в перчатках, закрепленных в отверстиях бокса, снижает тактильную чувствительность и мелкую моторику. Это создает прямую корреляцию между использованием барьера укрытия и риском возникновения травм слизистых оболочек. В экстренных ситуациях, требующих немедленного доступа к дыхательным путям, необходимость быстро снять или обойти бокс создает дополнительную угрозу для пациента. Следовательно,

при применении аэрозольных укрытий особое внимание следует уделять обучению персонала, проработке действий врачей в случае проведения реанимационных действий.

Одним из наиболее значимых практических ограничений, напрямую влияющих на жизненный цикл и эксплуатационную надежность аэрозольных укрытий, является комплекс проблем, связанных с их очисткой и дезинфекцией [23]. Данный аспект приобретает критическое значение в условиях высокого потока пациентов и необходимости быстрой подготовки оборудования для повторного использования.

В ходе научных исследований аэрозольных укрытий с вытяжными патрубками часто отсутствует информация о габаритных размерах, материалах, фактических объемных расходах воздуха, скоростях внутри укрытия и открытых отверстиях [24].

2. Всасывающие панели открытого типа [25] и с активированным отсосом оснащены подувом, который создает плоскую струю воздуха, подаваемую с противоположной стороны медицинского стола или больничной койки (рис. 3). Эта струя, направляя поток воздуха к вытяжной щели, существенно уменьшает требуемый объем отсоса по отношению к стандартным всасывающим панелям [26, 27]. Анализ конструкций с активированным отсосом показывает смещение парадигмы от создания физического барьера к управлению воздушными потоками. Это принципиально иной уровень решения, который интегрируется в рабочее или лежачее место пациента.

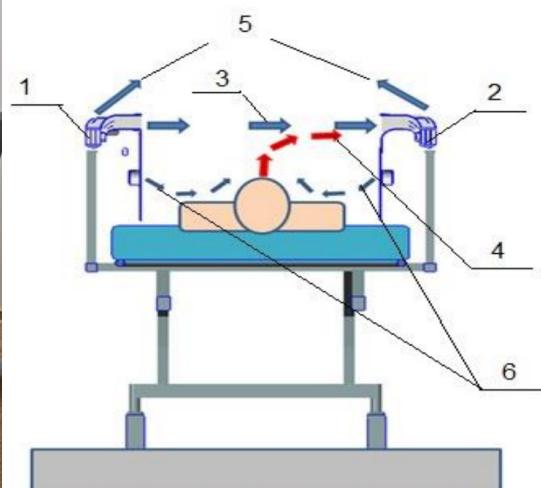


Рис. 3. Слева: фото всасывающей панели с активированным отсосом для медицинского стола [26]; справа: схема всасывающей панели с активированным отсосом у больничной койки [27], где 1 – приточный воздухораспределитель, 2 – всасывающее устройство, 3 – горизонтальный поток воздуха, 4 – загрязненный воздух, выдыхаемый пациентом, 5 – вертикальные восходящие/наклонные воздушные завесы, 6 – вертикальные нисходящие воздушные завесы

Приточно-вытяжная воздушная завеса [26] предназначена для защиты людей в сидячем положении, например, в офисах, учебных аудиториях или на рабочих местах с открытой планировкой. Это настольное устройство, создающее воздушный барьер между двумя собеседниками. Система состоит из двух блоков, расположенных напротив друг друга на столе. Один блок подает ламинарный поток чистого воздуха, создавая невидимую «воздушную стену». Второй блок, расположенный напротив, захватывает этот поток вместе с загрязнениями. Система одинаково эффективно функционирует с разными схемами организации воздухообмена в помещении: как со смешивающей, так и с вытесняющей вентиляцией, не нарушая их работу. Эффективность удаления аэрозольных загрязнений зависит от расстояния до источника, скорости выдоха и скорости потока самой завесы и составляет более 60 %, что сопоставимо с эффективностью средств индивидуальной защиты [26].

Система, предложенная в исследовании [27] представляет собой комплексное решение, интегрированное непосредственно в конструкцию больничной кровати. Локальная система вентиляции устанавливается непосредственно на раму больничной койки, создавая при своей работе несколько воздушных потоков: завесы, которые направляют выдыхаемый воздух пациента в сторону всасывающих устройств, и потоки чистого воздуха, подаваемые в непосредственно в зону дыхания пациента. Очищение загрязненного воздуха осуществляется с помощью НЕРА-фильтров и УФ-ламп для обеззараживания. Система сочетает в себе удаление избытков теплоты и углекислого газа от человека, а также эффективный захват аэрозольных загрязнений. Применение подобных персональных панелей у больничных коек позволяет снизить энергопотребление системами вентиляции до 83,6 %.

Всасывающие сопла – малогабаритные устройства персональной вытяжной вентиляции открытого типа в виде воронки, размещаемые у лица человека на небольшом расстоянии (рис. 4).

В исследовании [28] приводятся результаты экспериментальных испытаний, всасывающих сопел различной конфигурации: фланцевые (диаметром 6 и 8 мм), круглое и овальное. Наибольшую эффективность продемонстрировали фланцевые сопла, обеспечившие захват около 66 % выдыхаемых аэрозолей. Причина заключается в специфической геометрии фланца, выполненного под углом 45°. Такая конструкция оптимизирует поле скоростей всасываемого воздуха: скорость на периферии отверстия снижается, в то

время как в центральной части, куда направлена струя выдыхаемого воздуха, – возрастает. Это обеспечивает целенаправленный захват наиболее концентрированного потока аэрозолей непосредственно у источника их генерации.



Рис. 4. Фото всасывающего сопла [28]

Использование всасывающих воронок ограничено, так как их расположение вблизи рта человека создает трудности при проведении аэрозоль-генерирующих процедур, однако они могут быть эффективно использованы при общем осмотре врача, установке капельниц и заборе анализов. Другим преимуществом этих устройств является их компактность, возможность быстрого переноса и монтажа на разной высоте для лежачих и сидячих пациентов.

Подобные системы предлагаются к использованию не только у постели больного, но и в качестве средства индивидуальной защиты в местах массового скопления людей, где традиционные средства вентиляции неэффективны, а социальное дистанцирование невозможно.

Малогабаритные всасывающие сопла представляют собой пример компромисса между эффективностью и максимальной мобильностью. Их ограниченная применимость во время процедур компенсируется потенциалом для использования в ситуациях, где другие системы громоздки: при обходе врача, в приемных отделениях или даже за пределами медицинских учреждений. Это открывает путь к персонализированной защите в динамичных сценариях.

3. Навесы открытого и закрытого типа – вид укрытия, располагающийся над лежачим или сидячим пациентом, оборудованный системой вытяжной вентиляции с НЕРА фильтрами и закрывающий большую часть тела человека (табл. 2). Такие устройства применяются в течение всего срока нахождения пациента в палате, в связи с чем они имеют большую высоту, чем аэрозольные боксы, обеспечивая возможность поднять спинку больничной койки (рис. 5).



Рис. 5. Фото укрытий в виде навесов [29, 30]

Таблица 2

Сравнительный анализ навесов открытого и закрытого типов

Параметры для сравнения	Укрытие-навес закрытого типа [31]	Регулируемое укрытие купольного типа [29]	Укрытие-навес открытого типа [30]	Полузакрытый навес [32]	Вакуумное укрытие (VEIL) [33]	Купольное укрытие [34]
Конструкция	Полиэтиленовый навес	Полиэтиленовый навес	Укрытие из брезента и ПВХ-труб	Металлическая конструкция и полиэтиленовый навес	Поликарбонатный корпус с ПВХ шторой	Прозрачный купол (материал не указан) + нетканое покрытие
Расход воздуха в системе вентиляции	1 л/с (≈ 3,6 м ³ /ч)	Не указан. Скорость всасывания 4,4 м/с.	50 – 470 м ³ /ч	33 л/с (≈ 119 м ³ /ч)	46 л/мин (≈ 3 м ³ /ч)	500 л/мин (30 м ³ /ч)
Эффективность против аэрозолей	Высокая. Снижение флуоресцентных маркеров на поверхностях	Высокая (99,9%)	Полное устранение жизнеспособных вирусов	Снижение утечки частиц 0,3-1 мкм; не эффективен против частиц >5 мкм	Эффективное удержание и удаление выдыхаемых аэрозолей и капель	Уменьшение рассеивания аэрозолей за счет создания разряжения
Клиническое применение	Интузация, бронхоскопия	Неинвазивная вентиляция легких, СИПАП терапия, кислородная терапия с высоким потоком	Респираторная поддержка	Длительная кислородная терапия с высоким потоком, уход за пациентами	Респираторная терапия, круглосуточное использование	Интузация, бронхоскопия, транспортировка пациентов

Устройства закрытого типа значительно снижает поступление мелкодисперсных аэрозолей (0,3–1 мкм) при использовании высокопоточных назальных канюль, что способствует повышению безопасности медицинских специалистов, а также снижение уровня нозокомиальных инфекций [32].

Требуемая производительность аэрозольных боксов и навесов определяется рядом факторов, ключевыми из которых являются: габариты и положение проемов для обслуживания медработниками, объем воздухообмена в защитном пространстве, а также размеры, форма и местоположение всасывающих отверстий [35]. Оценивая эффективность укрытий, необходимо учитывать влияние аэрозольного загрязнения, которое может быть вызвано различными условиями, например при испарении или рассеивании выдыхаемых аэрозолей во время двухуровневой положительной вентиляции в дыхательных путях

(BiPAR), кашля во время интубации, а также длительностью проведения медицинских процедур. Сводный анализ всех четырех типов систем позволил выявить обратную зависимость между уровнем защиты и эргономикой: наивысшая защита (закрытые боксы и навесы) зачастую достигается в ущерб удобству манипуляций и свободе передвижения пациента.

При проектировании персональных систем вентиляции необходимо произвести выбор типа конструкции, размеров укрытия и требуемый расход воздуха с учетом комфорта и благополучия пациентов, при этом обеспечивая удобство для проведения медицинских осмотров и процедур персоналом больниц. Важным условием является определение требуемых температур и подвижности воздушного потока, для исключения чрезмерного охлаждения пациента, находящегося в его зоне действия. Другим ограничением,

влияющим на величину воздухообмена и конструкцию укрытия, является шум, генерируемый вентиляционным оборудованием.

Укрытие должно быть спроектировано с учетом эргономических особенностей, позволяя пациенту менять позы (сидеть, лежать), принимать пищу и вставать с кровати без помощи медицинского персонала.

При выборе материалов учитываются такие критерии, как простота монтажа, небольшой вес, возможность переноса оборудования, удобство его очистки, устойчивость к дезинфектантам и прозрачность, что положительно скажется на общении и возможности осмотра пациентов [36]. Для небольших аэрозольных боксов чаще всего используются жесткие листы, выполненные из акрила [37, 38], полиэтилентерефталата (ПЭТ) [39] и полиметилметакрилата [40]. Многообразие применяемых материалов создает определенные сложности для разработки универсальных протоколов обработки. Жесткие пластики, такие как акрил (оргстекло), характеризуются низкой устойчивостью к абразивному воздействию и многим агрессивным химическим дезинфектантам на основе спиртов, альдегидов или хлорактивных соединений. Многократная обработка приводит к образованию микротрещин и помутнению поверхности, что не только снижает оптическую прозрачность, затрудняя наблюдение за пациентом и проведение манипуляций, но и создает микропористую структуру, в которой могут накапливаться и сохранять жизнеспособность патогенные микроорганизмы. Полимерные пленки, используемые в качестве шторок или гибких элементов, часто не рассчитаны на многократную химическую обработку и могут терять прочность, деформироваться или становиться хрупкими, поэтому чаще всего они предназначены для единовременного применения.

Внедрение персональных систем вентиляции оказывает комплексное влияние на энергопотребление лечебно-профилактических учреждений. С одной стороны, использование локальных вытяжных устройств, таких как всасывающие панели или навесы, позволяет снизить общий воздухообмен в палате, так как основная масса загрязнений удаляется непосредственно в месте их образования. Исследования [27] показывают, что переход на системы с локализующей вентиляцией, такие как персональные панели, позволяет снизить общий воздухообмен в палате, что приводит к значительной экономии энергии на подогрев и транспортировку воздуха, что подтверждает высокий энергосберегающий потенциал таких решений в сравнении с традиционными системами общеобменной вентиляции.

Выводы. Проведенный теоретический анализ позволяет сделать однозначный вывод о том, что персональные вытяжные системы вентиляции представляют собой не просто временную меру в условиях пандемии, а принципиально новое, перспективное направление в организации воздушной среды инфекционных стационаров. Их объединяющий принцип – переход от пассивной стратегии разбавления вредных веществ во всем объеме помещения к активному, целевому управлению потоками загрязнений в микросреде, окружающей источник инфекции. Этот подход позволяет достичь беспрецедентно высокого уровня защиты для наиболее уязвимых категорий – медицинского персонала, выполняющего врачебные манипуляции, и других пациентов в многоместных палатах.

Классификация, предложенная в исследовании, выявила четыре основных типа систем, каждый из которых имеет свою нишу применения. Аэрозольные боксы с принудительной вентиляцией демонстрируют максимальную эффективность (до 99%) улавливания аэрозолей и являются оптимальным решением для кратковременных, но высокорисковых процедур, таких как интубация и бронхоскопия. Однако их широкое внедрение сдерживается рядом существенных ограничений: ухудшение эргономики работы врача, увеличение времени выполнения манипуляций и серьезные проблемы, связанные с надлежащей очисткой и дезинфекцией многоразовых конструкций. Регулируемые навесы, напротив, предназначены для длительного использования и обеспечивают оптимальный баланс между высоким уровнем защиты (до 99,9 %) и комфортом пациента, позволяя ему менять положение тела, принимать пищу и взаимодействовать с окружающими. Для ситуаций, требующих мобильности и гибкости, перспективными представляются малогабаритные всасывающие сопла, эффективность которых может достигать 66 %, а также всасывающие панели с активированным отсосом, которые не только локализуют аэрозоли, но и интегрируются в мебель, способствуя значительной экономии энергии.

Теоретический обзор позволил выявить отсутствие нормативно-технических требований к величине воздухообмена и скорости воздушных потоков для персональных вытяжных устройств разных типов. Необходимый расход воздуха для таких систем не может быть единым; он должен варьироваться в зависимости от типа устройства (стационарное навесное или переносной бокс), его геометрии, количества и размера открытых проемов, а также режима использования (круглосуточная защита или только на время проведения процедур). Отсутствие такой нормативной базы

тормозит серийное производство, сертификацию и безопасное внедрение этих устройств в клиническую практику.

Важным аспектом, требующим дальнейшего изучения, является энергоэффективность. Исследования, подобные работам [27], демонстрируют, что интеграция персональных панелей в конструкцию кровати позволяет снизить общий воздухообмен в палате и, как следствие, энергопотребление системами вентиляции и кондиционирования воздуха. Это указывает на значительный энергосберегающий потенциал локализующей вентиляции, что делает ее экономически привлекательной не только с точки зрения снижения заболеваемости персонала, но и в аспекте эксплуатационных расходов лечебного учреждения. С другой стороны, системы с активной вытяжкой могут создавать дополнительную нагрузку на вентиляционную систему здания. Для поддержания отрицательного давления в палате (критически важного для инфекционных отделений) приточная система должна компенсировать этот дополнительный расход. Это требует точной настройки и, возможно, модернизации общеобменных систем. В связи с чем, перспективным направлением является использование систем с замкнутым циклом, НЕРА-фильтрацией и обеззараживанием воздуха. Такие устройства рециркулируют и очищают воздух внутри себя, что делает их энергетически более выгодными и простыми в интеграции в существующую инфраструктуру.

Таким образом, дальнейшее развитие персональной вытяжной вентиляции должно быть сосредоточено на нескольких стратегических направлениях:

1. Совершенствование конструкций: разработка регулируемых, адаптивных кожухов, которые минимизируют риски проведения медицинских манипуляций и максимизируют комфорт пациента.

2. Использование гибридных решений: например, стационарный регулируемый навес для длительной терапии пациента может быть дополнен выдвижной панелью с активированным отсосом для проведения кратковременных процедур без нарушения защитного контура.

3. Совершенствование материалов: поиск и испытание материалов, устойчивых к многократной агрессивной дезинфекции без потери прозрачности и прочности.

4. Разработка нормативной базы: установление научно обоснованных требований к воздухообмену, скоростям и шуму для различных типов систем.

5. Автоматизация и диспетчеризация: создание интеллектуальных систем, способных

адаптировать мощность вытяжного устройства в зависимости от проводимой процедуры (например, увеличивая расход во время кашля или интубации).

6. Исследование новых областей применения: адаптация технологий для использования не только в инфекционных стационарах, но и в поликлиниках, стоматологических кабинетах, домах престарелых и даже в местах массового скопления людей, где традиционная вентиляция может быть неэффективна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gómez-Ochoa S.A., Franco O.H., Rojas L.Z., Raguindin P.F., Roa-Díaz Z.M., Wyssmann B.M., Guevara S.L.R., Echeverría L.E., Glisic M., Muka T. COVID-19 in Health-Care Workers: A Living Systematic Review and Meta-Analysis of Prevalence, Risk Factors, Clinical Characteristics, and Outcomes // American Journal of Epidemiology. 2021. Vol. 190 (1). Pp. 161–175. DOI: 10.1093/aje/kwaa191

2. Bandyopadhyay S., Baticulon R.E., Kadhum M., Alser M., Ojuka D.K., Badereddin Y., Kamath A., Parepalli S.A., Brown G., Iharchane S., Gandino S., Markovic-Obiago Z., Scott S., Manirambona E., Machhada A., Aggarwal A., Benazaize L., Ibrahim M., Kim D., Tol I., Taylor E.H., Knighton A., Bbaale D., Jasim D., Alghoul H., Reddy H., Abuelgasim H., Saini K., Sigler A., Abuelgasim L., Moran-Romero M., Kumarendran M., Jamie N.A., Ali O., Sudarshan R., Dean R., Kissyova R., Kelzang S., Roche S., Ahsan T., Mohamed Y., Dube A.M., Gwini G.P., Gwokyala R., Brown R., Papon M.R.K.K., Li Z., Ruzats S.S., Charuvila S., Peter N., Khalidy K., Moyo N., Alser O., Solano A., Robles-Perez E., Tariq A., Gaddah M., Kollovos S., Muchemwa F.C., Saleh A., Gosman A., Pinedo-Villanueva R., Jani A., Khundkar R. Infection and mortality of healthcare workers worldwide from COVID-19: a systematic review // BMJ Global Health. 2020. Vol. 5(12). e003097. DOI: 10.1136/bmjgh-2020-003097

3. Борисоглебская А.П. Проектирование инженерных систем инфекционных больниц: Р НП "АБОК" 7.8.1-2020. Москва: Изд-во АБОК-ПРЕСС, 2020. 89 с.

4. Павловский А.К. Общие основания устройства больниц и описание новейших из них, находящихся в Париже, Берлине и Гамбурге. Санкт-Петербург: Типография А. Хомского и Ко, 1894. 64 с.

5. Patel J., McGain F., Bhatelia T., Wang S., Sun B., Monty J., Pareek V. Vented Individual Patient (VIP) hoods for the control of infectious airborne diseases in healthcare facilities // Engineering.

2022. Vol. 15. Pp. 126–132.
DOI: 10.1016/j.eng.2020.12.024.
6. Fang R., Andrus N., Dominguez T., Sleeth D.K., Jones R.M. Aerosol and surface contamination assessment of a novel ventilated infectious aerosol containment device // Annals of Work Exposures and Health. 2024. Vol. 68 (2). Pp. 192–202. DOI: 10.1093/annweh/wxad079. PMID: 38156674.
7. Jackson T., Deibert D., Wyatt G., Durand-Moreau Q., Adisesh A., Khunti K., Khunti S., Smith S., Chan X.H.S., Ross L., Roberts N., Toomey E., Greenhalgh T., Arora I., Black S.M., Drake J., Syam N., Temple R., Straube S. Classification of aerosol-generating procedures: a rapid systematic review // BMJ Open Respir Res. 2020. Vol. 7(1). e000730. DOI: 10.1136/bmjresp-2020-000730.
8. World Health Organization. Advice on the use of masks the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. Interim guidance 29 January 2020. Geneva: World Health Organization, 2020. 2 p. URL: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefind-mkaj/https://www.who.int/docs/default-source/documents/advice-on-the-use-of-masks-2019-ncov.pdf (дата обращения: 13.10.2025)
9. Guo Z.D., Wang Z.Y., Zhang S.F., Li X., Li L., Li C., Cui Y., Fu R.B., Dong Y.Z., Chi X.Y., Zhang M.Y., Liu K., Cao C., Liu B., Zhang K., Gao Y.W., Lu B., Chen W. Aerosol and surface distribution of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 in hospital wards, Wuhan, China, 2020 // Emerging Infectious Diseases. 2020 Vol. 26(7). Pp. 1583–1591. DOI: 10.3201/eid2607.200885.
10. Hsu S.H., Lai H.Y., Zabaneh F., Masud F.N. Aerosol containment box to the rescue: extra protection for the front line // Emergency Medicine Journal. 2020. Vol. 37. Pp. 400–401. DOI: 10.1136/emermed-2020-209829
11. Noor Azhar M., Bustam A., Poh K., Ahmad Zahedi A.Z., Mohd Nazri M.Z.A., Azizah Ariffin M.A., Md Yusuf M.H., Zambri A., Chong J.Y.O., Kamarudin A., Ang B.T., Iskandar A., Chew K.S. COVID-19 aerosol box as protection from droplet and aerosol contaminations in healthcare workers performing airway intubation: a randomised crossover simulation study // Emergency Medicine Journal. 2021. Vol. 38. Pp. 111–117. DOI: 10.1136/emermed-2020-210514
12. Canelli R., Connor C.W., Gonzalez M., Nozari A., Ortega R. Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation // The New England Journal of Medicine. 2020. Vol. 382(20). Pp. 1957–1958. DOI: 10.1056/NEJM2007589.
13. Kloka J.A., Martin C., Gilla P., Lotz G., Zacharowski K., Raimann F.J. Visualized effect of the Frankfurt COVID aerosol protection dome – covered // Indian Journal of Anaesthesia. 2020. Vol. 64. Pp. S156–S158. DOI: 10.4103/ija.IJA_569_20.
14. Tseng J.Y., Lai H.Y. Protecting against COVID-19 aerosol infection during intubation // Journal of the Chinese Medical Association. DOI: 10.1097/JCMA.0000000000000324
15. Maniar A., Jagannathan B. The aerosol box // Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology. 2020. Vol. 36 (1). Pp. S141–S143. DOI: 10.4103/joacp.JOACP_283_20
16. Begley J.L., Lavery K.E., Nickson C.P., Brewster D.J. The aerosol box for intubation in coronavirus disease 2019 patients: an in-situ simulation crossover study // Anaesthesia. 2020. Vol. 75(8). Pp. 1014–1021. DOI: 10.1111/anae.15115.
17. Simpson J.P., Wong D.N., Verco L., Carter R., Dzidowski M., Chan P.Y. Measurement of airborne particle exposure during simulated tracheal intubation using various proposed aerosol containment devices during the COVID-19 pandemic // Anaesthesia. 2020. Vol. 75(12). Pp. 1587–1595. DOI: 10.1111/anae.15188
18. Fidler R.L., Niedek C.R., Teng J.J., Sturgeon M.E., Zhang Q., Robinowitz D.L., Hirsch J. Aerosol Retention Characteristics of Barrier Devices // Anesthesiology. 2021. Vol. 134(1). Pp. 61–71. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003597
19. Issa R., Urbanowicz R., Richebé P., Blain J., Ferreira Benevides A., Tanoubi I. VACuum INTubation (VACcIN) box restricts the exhaled air dispersion generated by simulated cough: description and simulation-based tests of an innovative aerosolization protective prototype // Journal of Clinical Monitoring and Computing. 2022. Vol. 36(5). Pp. 1289–1295. DOI: 10.1007/s10877-021-00759-0.
20. Fang R., Andrus N., Dominguez T., Sleeth D.K., Jones R.M. Aerosol and surface contamination assessment of a novel ventilated infectious aerosol containment device // Annals of Work Exposures and Health. 2024. Vol. 68(2). Pp. a192–202. DOI: 10.1093/annweh/wxad079
21. de Lima A., Chen M.J., Abbas A., Rama-chandran S.K., Mitchell J.D. Evaluating the Use of an Aerosol Box During Simulated Intubations // Curaeus. 2021. Vol. 13 (7). e16507. DOI: 10.7759/curaeus.16507
22. Christopher R.A., Lohanathan A., Hazra D., Pal R., Vegiraju V., Abhilash K.P.P. // Journal of Global Infectious Diseases. 2023. Vol. 15(1). Pp. 6–12. DOI: 10.4103/jgid.jgid_165_22.
23. Querney J., Cubillos J., Ding Y., Cherry R., Armstrong K. Patient barrier acceptance during airway management among anesthesiologists: a simulation pilot study // Korean Journal of Anesthesiology. 2021. Vol. 74 (3). Pp. 254–261. DOI: 10.4097/kja.20464

24. Sorbello M., Rosenblatt W., Hofmeyr R. Aerosol boxes and barrier enclosures for airway management in COVID-19 patients: a scoping review and narrative synthesis // British Journal of Anaesthesia. 2020. Vol. 125 Iss. 6. Pp. 880–894. DOI: 10.1016/j.bja.2020.08.038
25. Olmedo I., Sánchez-Jiménez J.L., Peci F., Ruiz de Adana M. Personal exposure to exhaled contaminants in the near environment of a patient using a personalized exhaust system // Building and Environment. 2022. Vol. 223.109497. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109497
26. Choi N., Bivolarova M.P., Wargocki P. Performance of a prototype of the push-pull type personalized air curtain (PPAC) aimed to reduce respiratory infection risks // Building and Environment. 2025. Vol. 282. 113314. DOI: 10.1016/j.buildenv.2025.113314
27. Wang Z., Bivolarova M., Melikov A. Energy-saving and IAQ control in hospital patient room by bed-integrated ventilation. CLIMA 2022 Conference. 2022. DOI: 10.34641/clima.2022.358
28. Bivolarova M.P., Kierat W., Hvidkjær S., Stengade K., Illum T., Boe Gad S., Melikov A. Reduced personal exposure to airborne cross-infection using wearable exhaust ventilation // E3S Web of Conference. 2023. Vol. 396. 02032. DOI: 10.1051/e3sconf/202339602032
29. Adir Y., Segol O., Kompaniets D., Ziso H., Yaffe Y., Bergman I., Hassidov E., Eden A. COVID-19: minimising risk to healthcare workers during aerosol-producing respiratory therapy using an innovative constant flow canopy // European Respiratory Journal. 2020. Vol. 55. No. 2001017. DOI: 10.1183/13993003.01017-2020
30. Landry S.A., Barr J.J., MacDonald M.I., Subedi D., Mansfield D., Hamilton G.S., Edwards B.A., Joosten S.A. Viable virus aerosol propagation by positive airway pressure circuit leak and mitigation with a ventilated patient hood. // European Respiratory Journal. 2021. Vol. 57. No. 2003666. DOI: 10.1183/13993003.03666-2020
31. Gan C.C.R., Tseng Y.C., Lee F.Y., Lee K.I. Personal ventilation hood for protecting healthcare workers from aerosol-transmissible diseases // The American Journal of Emergency Medicine. 2021. Vol. 45. Pp. 551–552. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.07.036
32. Matsui R., Sasano H., Azami T., Yano H., Yoshikawa H., Yamagishi Y., Goshima T., Miyazaki Y., Imai K., Tsubouchi M., Matsuo Y., Takiguchi S., Hattori T. Effectiveness of a novel semi-closed barrier device with a personalized exhaust in cough aerosol simulation according to particle counts and visualization of particles // Indoor Air. 2022. Vol. 32(2). e12988. DOI: 10.1111/ina.12988
33. Gopesh T., Grant A.M., Wen J.H., Wen T.H., Criado-Hidalgo E., Connacher W.J., Friend J.R., Morris T.A. Vacuum exhausted isolation locker (VEIL) to reduce inpatient droplet/aerosol transmission during COVID-19 pandemic // Infection Control and Hospital Epidemiology. 2022 Vol. 43(1). Pp. 105–107. DOI: 10.1017/ice.2020.1414
34. Ueno S., Iwabuchi M., Suzuki R., Izuha H., Iseki K. A Dome-Shaped Aerosol Box for Protection During a Pandemic // Cureus. 2022. Vol. 14(2). e22267. DOI: 10.7759/cureus.22267
35. Daniel D., Lin M., Luhung I., Lui T., Sadovoy A., Koh X., Sng A., Tran T., Schuster S.C., Jun Loh X., Thet O.S., Tan C.K. Effective design of barrier enclosure to contain aerosol emissions from COVID-19 patients // Indoor Air. 2021. Vol. 31(5). Pp. 1639–1644. DOI: 10.1111/ina.12828
36. Sorbello M., Rosenblatt W., Hofmeyr R., Greif R., Urdaneta F. Aerosol boxes and barrier enclosures for airway management in COVID-19 patients: a scoping review and narrative synthesis. // British Journal of Anaesthesia 2020. Vol. 125(6). Pp. 880–894. DOI: 10.1016/j.bja.2020.08.038
37. Yang S.S., Zhang M., Chong J.J.R. Comparison of three tracheal intubation methods for reducing droplet spread for use in COVID-19 patients // British Journal of Anaesthesia. 2020. Vol. 125. Iss. 1. Pp. e190–e191. DOI: 10.1016/j.bja.2020.04.083
38. Sundeep V., Nitu P. Aerosol box for protection during airway manipulation in COVID-19 patients // Indian Journal of Anaesthesia. 2020. Vol. 64 (2). Pp. S148–S149. DOI: 10.4103/ija.IJA_375_20
39. Fonseca E. O., Blanco H., Alvernia J. E. New design for aerosol protection during endotracheal intubation in the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic era: the “Anti-Aerosol Igloo”(AAI) // World Neurosurg. 2020. Vol. 139. Pp. 720–722. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.04.227
40. Pollaers K., Herbert H., Vijayasekaran S. Pediatric microlaryngoscopy and bronchoscopy in the COVID-19 era // JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery. 2020. Vol. 146. №. 7. Pp. 608–612.

Информация об авторах

Абрамкина Дарья Викторовна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция». E-mail: dabramkina@ya.ru. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Верма Вишал, аспирант. E-mail: vishalverma2k16@gmail.com. Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет. Россия, 129337, Центральный федеральный округ, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26.

Поступила 12.11.2025 г.

© Абрамкина Д.В., Верма В., 2026

***Abramkina D.V., Verma V.**

National research Moscow state university of civil engineering

**E-mail: dabramkina@ya.ru*

PERSONAL EXHAUST VENTILATION SYSTEMS FOR INFECTIOUS DISEASE HOSPITALS

Abstract. The object of this research is personal exhaust ventilation systems used in infectious disease departments of medical institutions to protect healthcare workers from airborne and aerosol-transmitted infections. The relevance of the work is determined by the increased risk of infection for medical staff during aerosol-generating procedures. The research methodology involves a systematic theoretical analysis of existing designs of protective aerosol containment devices and personal exhaust systems. The search and selection of publications were conducted in international databases using keywords related to personal exhaust ventilation and aerosol boxes. The main scientific results are presented as a classification of personal exhaust systems into four types: 1) aerosol boxes for procedures, 2) open-type suction panels and panels with activated suction, 3) compact suction nozzles, and 4) open and closed-type canopies for long-term use. For each type, the design features, aerosol capture efficiency, air flow rate, ergonomics, and clinical application were analyzed. It was found that aerosol containment devices with forced ventilation demonstrate an efficiency of up to 99% and are most suitable for short-term procedures, while adjustable canopies provide the best balance between protection and patient comfort during long-term therapy. A deficit of regulatory requirements for air exchange rates for such systems was identified. Personal exhaust ventilation is an effective tool for reducing nosocomial infections transmitted via aerosols and airborne routes.

Keywords: personal ventilation, aerosol containment devices, infection control, exhaust systems, cross-contamination, ward ventilation

REFERENCES

1. Gómez-Ochoa S.A., Franco O.H., Rojas L.Z., Raguindin P.F., Roa-Díaz Z.M., Wyssmann B.M., Guevara S.L.R., Echeverría L.E., Glisic M., Muka T. COVID-19 in Health-Care Workers: A Living Systematic Review and Meta-Analysis of Prevalence, Risk Factors, Clinical Characteristics, and Outcomes. *American Journal of Epidemiology*. 2021. Vol. 190 (1). Pp. 161–175. DOI: 10.1093/aje/kwaa191
2. Bandyopadhyay S., Baticulon R.E., Kadhum M., Alser M., Ojuka D.K., Badereddin Y., Kamath A., Parepalli S.A., Brown G., Iharchane S., Gandino S., Markovic-Obiago Z., Scott S., Manirambona E., Machhada A., Aggarwal A., Benazaize L., Ibrahim M., Kim D., Tol I., Taylor E.H., Knighton A., Bbaale D., Jasim D., Alghoul H., Reddy H., Abuelgasim H., Saini K., Sigler A., Abuelgasim L., Moran-Romero M., Kumarendran M., Jamie N.A., Ali O., Sudarshan R., Dean R., Kissyova R., Kelzang S., Roche S., Ah-san T., Mohamed Y., Dube A.M., Gwini G.P., Gwokyla R., Brown R., Papon M.R.K.K., Li Z., Ruzats S.S., Charuvila S., Peter N., Khalidy K., Moyo N., Alser O., Solano A., Robles-Perez E., Tariq A., Gaddah M., Kolovos S., Muchemwa F.C., Saleh A., Gosman A., Pinedo-Villanueva R., Jani A., Khundkar R. Infection and mortality of healthcare workers worldwide from COVID-19: a systematic review. *BMJ Global Health*. 2020. Vol. 5(12). Pp. e003097. DOI: 10.1136/bmjjh-2020-003097
3. Borisoglebskaya A.P. Design of the engineering systems of infectious hospitals: P NP "AVOK" 7.8.1-2020. [Proektirovanie inzhenernykh sistem infektsionnykh bol'nits: R NP "AVOK" 7.8.1-2020] Moscow Printing house AVOK-PRESS, 2020. 89 p. (rus)
4. Pavlovskii A.K. General grounds for the establishment of hospitals and description of the newest ones located in Paris, Berlin and Hamburg. [Obshchie osnovaniya ustroistva bol'nits i opisanie noveishikh iz nikh, nakhodyashchikhsya v Parizhe, Berline i Gamburge] Saint-Petersburg: Printing house A. Homskogo and Ko, 1894. 64 p. (rus)
5. Patel J., McGain F., Bhatelia T., Wang S., Sun B., Monty J., Pareek V. Vented Individual Patient (VIP) hoods for the control of infectious airborne diseases in healthcare facilities. *Engineering*. 2022. Vol. 15. Pp. 126–132. DOI: 10.1016/j.eng.2020.12.024.
6. Fang R., Andrus N., Dominguez T., Sleeth D.K., Jones R.M. Aerosol and surface contamination

- assessment of a novel ventilated infectious aerosol containment device. *Annals of Work Exposures and Health.* 2024. Vol. 68 (2). Pp. 192–202. DOI: 10.1093/annweh/wxad079. PMID: 38156674.
7. Jackson T., Deibert D., Wyatt G., Durand-Moreau Q., Adisesh A., Khunti K., Khunti S., Smith S., Chan X.H.S., Ross L., Roberts N., Toomey E., Greenhalgh T., Arora I., Black S.M., Drake J., Syam N., Temple R., Straube S. Classification of aerosol-generating procedures: a rapid systematic review. *BMJ Open Respir Res.* 2020. Vol. 7(1). e000730. DOI: 10.1136/bmjresp-2020-000730.
8. World Health Organization. Advice on the use of masks the community, during home care and in health care settings in the context of the novel coronavirus (2019-nCoV) outbreak. Interim guidance 29 January 2020. Geneva: World Health Organization, 2020. 2 p. URL: chrome-extension://efaidnbmnnibpcapcglclefind-mkaj/https://www.who.int/docs/default-source/documents/advice-on-the-use-of-masks-2019-ncov.pdf (date of access: 13.10.2025)
9. Guo Z.D., Wang Z.Y., Zhang S.F., Li X., Li L., Li C., Cui Y., Fu R.B., Dong Y.Z., Chi X.Y., Zhang M.Y., Liu K., Cao C., Liu B., Zhang K., Gao Y.W., Lu B., Chen W. Emerging Infectious Diseases. 2020 Vol. 26(7). Pp. 1583–1591. DOI: 10.3201/eid2607.200885.
10. Hsu S.H., Lai H.Y., Zabaneh F., Masud F.N. Aerosol containment box to the rescue: extra protection for the front line. *Emergency Medicine Journal.* 2020. Vol. 37. Pp. 400–401. DOI: 10.1136/emermed-2020-209829
11. Noor Azhar M., Bustam A., Poh K., Ahmad Zahedi A.Z., Mohd Nazri M.Z.A., Azizah Ariffin M.A., Md Yusuf M.H., Zambri A., Chong J.Y.O., Kamarudin A., Ang B.T., Iskandar A., Chew K.S. COVID-19 aerosol box as protection from droplet and aerosol contaminations in healthcare workers performing airway intubation: a randomised crossover simulation study. *Emergency Medicine Journal.* 2021. Vol. 38. Pp. 111–117. DOI: 10.1136/emermed-2020-210514
12. Canelli R., Connor C.W., Gonzalez M., Nozari A., Ortega R. Barrier Enclosure during Endotracheal Intubation. *The New England Journal of Medicine.* 2020. Vol. 382(20). Pp. 1957–1958. DOI: 10.1056/NEJM2007589.
13. Kloka J.A., Martin C., Gilla P., Lotz G., Zacharowski K., Raimann F.J.. Visualized effect of the Frankfurt COVID aerosol protection dome – covered // *Indian Journal of Anaesthesia.* 2020. Vol. 64. Pp. S156-S158. DOI: 10.4103/ija.IJA_569_20.
14. Tseng J.Y., Lai H.Y. Protecting against COVID-19 aerosol infection during intubation. *Journal of the Chinese Medical Association.* 2020. Vol. 83(6). DOI: 10.1097/JCMA.0000000000000324
15. Maniar A., Jagannathan B. The aerosol box. *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology.* 2020. Vol. 36 (1). Pp. S141–S143. DOI: 10.4103/joacp.JOACP_283_20
16. Begley J.L., Lavery K.E., Nickson C.P., Brewster D.J. The aerosol box for intubation in coronavirus disease 2019 patients: an in-situ simulation crossover study. *Anaesthesia.* 2020. Vol. 75(8). Pp. 1014–1021. DOI: 10.1111/anae.15115.
17. Simpson J.P., Wong D.N., Verco L., Carter R., Dzidowski M., Chan P.Y. Measurement of airborne particle exposure during simulated tracheal intubation using various proposed aerosol containment devices during the COVID-19 pandemic. *Anaesthesia.* 2020. Vol. 75(12). Pp. 1587–1595. DOI: 10.1111/anae.15188
18. Fidler R.L., Niedek C.R., Teng J.J., Sturgeon M.E., Zhang Q., Robinowitz D.L., Hirsch J. Aerosol Retention Characteristics of Barrier Devices. *Anesthesiology.* 2021. Vol. 134(1). Pp. 61–71. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003597
19. Issa R., Urbanowicz R., Richebé P., Blain J., Ferreira Benevides A., Tanoubi I. VACuum IN-tubation (VACcIN) box restricts the exhaled air dispersion generated by simulated cough: description and simulation-based tests of an innovative aerosolization protective prototype. *Journal of Clinical Monitoring and Computing.* 2022. Vol. 36(5). Pp. 1289–1295. DOI: 10.1007/s10877-021-00759-0.
20. Fang R., Andrus N., Dominguez T., Sleeth D.K., Jones R.M. Aerosol and surface contamination assessment of a novel ventilated infectious aerosol containment device. *Annals of Work Exposures and Health.* 2024. Vol. 68(2). Pp. a192-202. DOI: 10.1093/annweh/wxad079
21. de Lima A., Chen M.J., Abbas A., Rama-chandran S.K., Mitchell J.D. Evaluating the Use of an Aerosol Box During Simulated Intubations. *Cureus.* 2021. Vol. 13 (7). e16507. DOI: 10.7759/cureus.16507
22. Christopher R.A., Lohanathan A., Hazra D., Pal R., Vegiraju V., Abhilash K.P.P. Performance of Aerosol Boxes for Endotracheal Intubation during the COVID-19 Pandemic with Systematic Review. *Journal of Global Infectious Diseases.* 2023. Vol. 15(1). Pp. 6–12. DOI: 10.4103/jgid.jgid_165_22.
23. Querney J., Cubillos J., Ding Y., Cherry R., Armstrong K. Patient barrier acceptance during airway management among anesthesiologists: a simulation pilot study. *Korean Journal of Anesthesiology.* 2021. Vol. 74 (3). Pp. 254–261. DOI: 10.4097/kja.20464
24. Sorbello M., Rosenblatt W., Hofmeyr R. Aerosol boxes and barrier enclosures for airway

management in COVID-19 patients: a scoping review and narrative synthesis. *British Journal of Anaesthesia*. 2020. Vol. 125 Iss. 6. Pp. 880–894. DOI: 10.1016/j.bja.2020.08.038

25. Olmedo I., Sánchez-Jiménez J.L., Peci F., Ruiz de Adana M. Personal exposure to exhaled contaminants in the near environment of a patient using a personalized exhaust system. *Building and Environment*. 2022. Vol. 223.109497. DOI: 10.1016/j.buildenv.2022.109497

26. Choi N., Bivolarova M.P., Wargocki P. Performance of a prototype of the push-pull type personalized air curtain (PPAC) aimed to reduce respiratory infection risks. *Building and Environment*. 2025. Vol. 282. 113314. DOI: 10.1016/j.buildenv.2025.113314

27. Wang Z., Bivolarova M., Melikov, A. Energy-saving and IAQ control in hospital patient room by bed-integrated ventilation. *CLIMA 2022 Conference*. 2022. DOI: 10.34641/clima.2022.358

28. Bivolarova M.P., Kierat W., Hvidkjær S., Stengade K., Illum T., Boe Gad S., Melikov A. Reduced personal exposure to airborne cross-infection using wearable exhaust ventilation. *E3S Web of Conference*. 2023. Vol. 396. 02032. DOI: 10.1051/e3sconf/202339602032

29. Adir Y., Segol O., Kompaniets D., Ziso H., Yaffe Y., Bergman I., Hassidov E., Eden A. COVID-19: minimising risk to healthcare workers during aerosol-producing respiratory therapy using an innovative constant flow canopy. *European Respiratory Journal*. 2020. Vol. 55. No. 2001017 DOI: 10.1183/13993003.01017-2020

30. Landry S.A., Barr J.J., MacDonald M.I., Subedi D., Mansfield D., Hamilton G.S., Edwards B.A., Joosten S.A.. Viable virus aerosol propagation by positive airway pressure circuit leak and mitigation with a ventilated patient hood. *European Respiratory Journal*. 2021. Vol. 57. No. 2003666. DOI: 10.1183/13993003.03666-2020

31. Gan C.C.R., Tseng Y.C., Lee F.Y., Lee K.I. Personal ventilation hood for protecting healthcare workers from aerosol-transmissible diseases. *The American Journal of Emergency Medicine*. 2021. Vol. 45. Pp. 551–552. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.07.036

32. Matsui R., Sasano H., Azami T., Yano H., Yoshikawa H., Yamagishi Y., Goshima T., Miyazaki Y., Imai K., Tsubouchi M., Matsuo Y., Takiguchi S.,

Hattori T. Effectiveness of a novel semi-closed barrier device with a personalized exhaust in cough aerosol simulation according to particle counts and visualization of particles. *Indoor Air*. 2022. Vol. 32(2). e12988. DOI: 10.1111/ina.12988

33. Gopesh T., Grant A.M., Wen J.H., Wen T.H., Criado-Hidalgo E., Connacher W.J., Friend J.R., Morris T.A. Vacuum exhausted isolation locker (VEIL) to reduce inpatient droplet/aerosol transmission during COVID-19 pandemic. *Infection Control and Hospital Epidemiology*. 2022 Vol. 43(1). Pp. 105–107. DOI: 10.1017/ice.2020.1414

34. Ueno S., Iwabuchi M., Suzuki R., Izuha H., Iseki K. A Dome-Shaped Aerosol Box for Protection During a Pandemic. *Cureus*. 2022. Vol. 14(2). e22267. DOI: 10.7759/cureus.22267

35. Daniel D., Lin M., Luhung I., Lui T., Sadovoy A., Koh X., Sng A., Tran T., Schuster S.C., Jun Loh X., Thet O.S., Tan C.K. Effective design of barrier enclosure to contain aerosol emissions from COVID-19 patients. *Indoor Air*. 2021. Vol. 31(5). Pp. 1639–1644. DOI: 10.1111/ina.12828

36. Sorbello M., Rosenblatt W., Hofmeyr R., Greif R., Urdaneta F. Aerosol boxes and barrier enclosures for airway management in COVID-19 patients: a scoping review and narrative synthesis. *British Journal of Anaesthesia* 2020. Vol. 125(6). Pp. 880–894. DOI: 10.1016/j.bja.2020.08.038

37. Yang S.S., Zhang M., Chong J.J.R. Comparison of three tracheal intubation methods for reducing droplet spread for use in COVID-19 patients. *British Journal of Anaesthesia*. 2020. Vol. 125. Iss. 1. Pp. e190–e191. DOI: 10.1016/j.bja.2020.04.083

38. Sundeep V., Nitu P. Aerosol box for protection during airway manipulation in COVID-19 patients. *Indian Journal of Anaesthesia*. 2020. Vol. 64 (2). Pp. S148–S149. DOI: 10.4103/ija.IJA_375_20

39. Fonseca E.O., Blanco H., Alvernia J. E. New design for aerosol protection during endotracheal intubation in the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic era: the “Anti-Aerosol Igloo”(AAI). *World Neurosurg*. 2020. Vol. 139. Pp. 720–722. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.04.227

40. Pollaers K., Herbert H., Vijayasekaran S. Pediatric microlaryngoscopy and bronchoscopy in the COVID-19 era. *JAMA Otolaryngology–Head & Neck Surgery*. 2020. Vol. 146. No. 7. Pp. 608–612.

Information about the authors

Abramkina, Daria V. Assistant professor, PhD. E-mail: dabramkina@ya.ru. National research Moscow state university of civil engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Verma, Vishal. PhD student. E-mail: vishalverma2k16@gmail.com. National research Moscow state university of civil engineering. Russia, 129337, Moscow, Yaroslavskoye Shosse, 26.

Received 12.11.2025

Для цитирования:

Абрамкина Д.В., Верма В. Персональные вытяжные системы вентиляции инфекционных больниц // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2026. № 1. С. 70–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-70-84

For citation:

Abramkina D.V., Verma V. Personal exhaust ventilation systems for infectious disease hospitals. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2026. No. 1. Pp. 70–84. DOI: 10.34031/2071-7318-2025-11-1-70-84