

УДК [616.8 : 613.636] : [004.896+621.865]
DOI 10.25016/2541-7487-2021-0-2-104-114

И.Б. Ушаков¹, А.В. Поляков², В.М. Усов²,
М.М. Князьков³, А.И. Мотиенко⁴

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕРВИСНЫХ РОБОТОВ ДЛЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ВИРУСА SARS-COV-2 В ЗАКРЫТЫХ МЕДИЦИНСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

¹Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна (Россия, Москва, ул. Живописная, д. 46);

²Государственный научный центр Российской Федерации – Институт медико-биологических проблем (Россия, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А);

³Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского (Россия, Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1);

⁴Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр (Россия, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39)

Актуальность. Распространение эпидемии COVID-19 высветило ряд новых проблем, связанных с защитой здоровья медицинского персонала первой линии скорой и специализированной медицинской помощи, поскольку высокий уровень заболеваемости медицинских работников COVID-19 может приводить к рискам коллапса системы здравоохранения. В то же время, для обеспечения безопасности труда персонала могут применяться технологии робототехнического обеспечения тяжелых и опасных работ по дезинфекции воздушной среды замкнутых медицинских помещений.

Цель – представить современные взгляды на роботизированное обеззараживание воздушной среды замкнутых медицинских помещений на основе анализа прототипов роботов, разрабатываемых для противодействия распространению вируса SARS-CoV-2.

Методология. Анализ задач поддержания безопасной рабочей среды для медицинских работников базировался на описании функций и спецификаций роботов, предназначенных для обеззараживания рабочей среды дислокации медицинского персонала. При систематизации решений, принятых при проектировании роботов, выдвигаются следующие критерии выбора: режимы управления (автоматический, контролируемый, ручной) и их комбинации; бортовые средства дезинфекции во внешней среде и в помещениях; особенности человекомашинного взаимодействия для обеспечения безопасности робототехнической поддержки в закрытых медицинских помещениях.

Результаты и их анализ. Сформулированы направления применения сервисных (дезинфекционных) роботов, вытекающие из эпидемиологических знаний о преимущественных путях передачи инфекции и способах дезинфекции помещений. Показано, что тактико-технические характеристики существующих образцов автономных мобильных роботов в основном нацелены на реализацию безлюдных технологий. Для решения задач массовой обработки объектов внешней среды, а также обширных площадей аэропортов, стадионов, гипермаркетов, складов, транспортных средств в приемлемые сроки предполагается применение автоматических режимов и/или супервизорное управление такими роботами оператором дистанционно. Применение дезинфекционных роботов в замкнутых медицинских помещениях требует дополнительного учета фактора внедрения их в социальную среду. С этих позиций и на основе выделенных прототипов рассмотрены перспективы применения группы малых мобильных роботов, оснащенных системами, повышающими сенсорные и коммуникативные возможности в рабочей среде.

Заключение. Использование роботов, позволяющих снизить риск инфицирования вирусом SARS-CoV-2, открывает путь к улучшению условий труда медицинских работников, для которых заболевание COVID-19 относится к факторам профессионального риска. Предлагаемые способы роботизированной дезинфекции медицинских помещений также могут помочь снизить психическое напряжение от пребывания в опасной среде благодаря расширению роботизированной поддержки обеззараживания помещений и гибкому реагированию на изменение обстановки.

Ключевые слова: пандемия, эпидемиология, COVID-19, инфицирование, медицинский персонал, медицинская организация, робот, дезинфекция.

Ушаков Игорь Борисович – д-р мед. наук проф., академик РАН, гл. науч. сотр., Гос. науч. центр России – Федер. мед. биофиз. центр им. А.И. Бурназяна (Россия, 123182, Москва, ул. Живописная, д. 46), e-mail: ibushakov@gmail.com;

Поляков Алексей Васильевич – канд. мед. наук, зав. отделом, Гос. науч. центр Рос. Федерации – Ин-т мед.-биол. пробл. (Россия, 123007, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А), e-mail: apolyakov@imbp.ru;

✉ Усов Виталий Михайлович – д-р мед. наук проф., вед. науч. сотр., Гос. науч. центр Рос. Федерации – Ин-т мед.-биол. проблем (Россия, 123007, Москва, Хорошёвское шоссе, д. 76А), e-mail: khoper.1946@gmail.com;

Князьков Максим Михайлович – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., лаб. робототехники и мехатроники, Ин-т пробл. механики им. А.Ю. Ишлинского (Россия, 119526, Москва, пр. Вернадского, д. 101, корп. 1), e-mail: ipm_labrobotics@mail.ru;

Мотиенко Анна Игоревна – канд. техн. наук, ст. науч. сотр., лаб. технологий больших данных социкиберфизических систем, С.-Петерб. федер. исслед. центр (Россия, 199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д. 39), e-mail: anna.gunchenko@gmail.com

Введение

Методы и средства обеспечивающих технологий противодействия эпидемии COVID-19 востребованы в практической медицине для того, чтобы снизить риски инфицирования в местах загрязнения, массового скопления потенциально зараженных лиц, плохой вентиляции. Применительно к защите медицинских работников от инфицирования коронавирусом повышенное внимание к этим вопросам надо проявлять в местах постоянной дислокации [29, 31, 32]. Необходимость обратиться к проблеме защиты медицинских работников возникла по той причине, что кадровые потери среди них представляют собой серьёзный лимитирующий фактор, который может негативным образом отразиться на системе организации скорой помощи и интенсивной терапии инфекционных клиник. В настоящее время имеются основания говорить о профессиональных заболеваниях медицинских работников при заражении COVID-19 [1], а также свидетельства высоких рисков кадровых потерь среди медицинского персонала, связанных с социально-психологическими факторами [7, 20].

В этом контексте актуально изучение существующих решений для противодействия эпидемии на базе мобильных роботов, предназначенных для выполнения дезинфекции медицинских помещений, с теми начальными ограничениями, что выбор типоразмеров роботов и режимов управления должен обеспечить безопасность выполнения противоэпидемических работ, в том числе при постоянном присутствии персонала.

Материал и методы

В основу выбора мишеней и объектов воздействия для дезинфекционных роботов положены рекомендации по противодействию коронавирусной инфекции Всемирной организации здравоохранения и отечественных нормативных документов. Среди основных мер противодействия распространению коронавирусной инфекции в медицинских организациях одной из ведущих является проведение дезинфекционных мероприятий. В источниках [2, 3, 8] изложены основные подходы и применяемые методы дезинфекции помещений медицинского назначения. При оценке рисков для медицинского персонала и пациентов, прежде всего, необходимо принимать во внимание пути распространения вирусной инфекции [17, 18, 22]. В настоящее время в качестве основного рассматривается воздушно-капельный путь передачи патогена

от человека к человеку [30, 32]. Считается, что заражение происходит при распространении капель секрета из дыхательных путей инфицированного пациента, что представляет непосредственную угрозу для медицинских работников, вынужденных пребывать в этой среде по роду своих профессиональных обязанностей [24, 25, 28]. Эпидемиологические данные, полученные из вышеперечисленных источников, дают основания сосредоточить усилия по роботизированной поддержке дезинфекции в местах массового скопления (потенциально инфицированных) пациентов в замкнутых медицинских помещениях и при этом выбирать аппаратные методы дезинфекции, которые можно размещать на борту мобильных роботов. По результатам анализа литературных источников было акцентировано внимание на преимуществах использования ультрафиолетового излучения, в частности, в пользу такого решения говорят исследования эффективности импульсных ультрафиолетовых установок [9], а также результативность тестов, приведенных в [19, 32]. Для обеззараживания воздушной среды помещений имеются широкие возможности подбора аппаратуры, отвечающей массогабаритным и энергетическим ограничениям для сервисных роботов.

Результаты и их анализ

Выполненный анализ показывает, что удастся выявить сервисные роботы медицинского назначения, которые в срочном порядке уже в первые месяцы распространения эпидемии COVID-19 были анонсированы к применению, и существуют прототипы, которые потенциально пригодны для применения в условиях эпидемии COVID-19 после определенной доработки. Современное состояние сервисной робототехники показывает достаточно большой потенциал для разработки в интересах обеспечения разнообразных потребностей медицинской сферы. Из опыта отечественной и мировой практики разработки медицинских роботов, согласно [11, 12, 27], их использование предусматривается для выполнения следующих работ:

- 1) уборка помещений;
- 2) обеззараживание помещения;
- 3) погрузка и транспортировка грузов и др.

В числе выполняемых роботами функций предлагается рассматривать:

- мониторинг среды обитания человека;
- тестирование параметров рабочей среды замкнутых помещений на предмет ее заражения вирусами и другими патогенами;

- выполнение уборочных и/или подготовительных работ по приведению помещения к готовности безопасного выполнения санитарной обработки;

- оповещение присутствующих в помещении людей о готовящейся операции обеззараживания, ее длительности, требуемых мерах безопасности и расположения безопасного места для укрытия при выявленных угрозах здоровью;

- выполнение текущих и/или срочных работ по дезинфекции помещения;

- приведение помещения в пригодное для обитания состояние проведением завершающей фазы операции (проветривание, удаление вредных примесей из воздушной среды, расстановка меток-оповещений о факте обеззараживания и времени плановых работ);

- ведения расписания работ и дневника выявленных проблем при применении группы сервисных роботов (возможных предпосылок к коллизиям).

Прототипы сервисных роботов для обеззараживания помещений рассматривались, прежде всего, в аспектах возможности массового тиражирования для медицинских учреждений и выполнения требований к функционированию в социальной среде.

На практике сложилась ситуация, когда в достаточно больших объемах создавались сервисные мобильные роботы, приспособленные к работе во внешней среде, и именно они стали применяться для дезинфекции

дорог, в зданиях и промышленных конструкциях, как правило, с большой площадью помещений для дезинфекции. Акцент внимания на такие объекты связан с необходимостью выполнения работ в ограниченные сроки роботами с большой производительностью, с достаточно высокой проходимостью, развитым функционалом для ориентирования в пространстве, возможностью идентификации объектов для предупреждения коллизий. Часто автономные режимы дополнялись супервизорным управлением дистанционно удаленным оператором.

В контексте темы исследования внимание также обращено на робототехнические комплексы, которые в большей мере учитывают потребности противодействия эпидемии COVID-19 на уровне отдельных замкнутых помещений.

В рассмотрение были включены так называемые дезинфекционные роботы, представляющие интерес с точки зрения детализации облика перспективных изделий.

Дезинфекционные роботы могут отличаться по способу дезинфекции (ультрафиолетовые лампы и распыление дезинфицирующих средств). Согласно работе [6], объёмы продаж за 2017 г. в стоимостном выражении показывают шестикратное преобладание роботов, применяющих для дезинфекции жёсткое ультрафиолетовое излучение, по отношению к роботам, распыляющим жидкие антисептики.

В числе наиболее известных разработок, применяющих ультрафиолетовые лампы, фигурирует семейство роботов разной производительности, получившее название «UVD» (рис. 1), от фирмы-производителя «Blue Ocean Robotics». Мобильный UVD-робот представляет собой движущуюся установку, оснащённую датчиками удаления, лазерным дальномером и ультрафиолетовыми лампами, установленными в верхней части. Предусмотрено отключение ламп, если в помещение заходит человек. В первую очередь UVD-робот нужен для дезинфекции больших помещений, в частности, он позиционируется для офисов, аэропортов, железнодорожных вокзалов, общественных помещений и др. По данным разработчика UVD-робота, его лампы производят коротковолновый ультрафиолетовый свет достаточной мощности, чтобы разрушить микроорганизмы, попадающие в радиус действия. Важно отметить, что облучатели открытого типа могут применяться, когда в помещении нет людей, так как прямое излучение



Рис. 1. Робот «Blue Ocean Robotics Model C»
[<https://www.uvd-robots.com>].

ультрафиолетовой лампы может негативно влиять не только на вредоносные бактерии и вирусы, но и на клетки человеческого организма, нанося, тем самым, вред его здоровью. В дополнение к конструкции открытого типа существуют аналогичные изделия типа «облучатель-рециркулятор ультрафиолетовый бактерицидный», которые позволяют применять устройство в присутствии людей.

Технологическая корпорация «Panasonic» предложила использовать в борьбе с распространением COVID-19 модификацию из серии автономных роботов «HOSPI». Согласно этому источнику, усовершенствованная модель «HOSPI-mist» может проводить санитарную обработку «грязных» зон медицинских учреждений. Он оборудован сенсорами, с помощью которых ориентируется в пространстве медицинских помещений (функция мобильности). Оператор может загрузить в память робота поэтажные планы конкретного здания и отправить его по требуемому маршруту (функция планирования с помощью электронной карты). «HOSPI-mist» может передвигаться автономно, ориентируясь с помощью датчиков, а также способен обнаруживать препятствия на своем пути как стационарно расположенных объектов, так и свободно перемещающихся людей (функции навигации, позиционирования, дальнометрии). Мобильный робот может выбирать кратчайший путь для обработки помещений с учетом графика работы медицинского персонала или поступления новых пациентов. В этом случае функционал робота, помимо решения целевой задачи дезинфекции, обеспечивает адаптацию к среде, в которой могут присутствовать люди. Это один из выявленных прототипов, который допускает активное участие персонала в коррекции режима функционирования робота.

В условиях распространения вируса COVID-19 производитель роботов «XAG» переоборудовал часть своей продукции в роботов для дезинфекции. В «XAG» разрабатывают наземные платформы, в частности – мобильные телеуправляемые тележки (рис. 2). Они больше подходят для дезинфекции больших пространств. Данная масштабируемая роботизированная платформа, настраиваемая на выполнение разнообразных работ, предполагает распыление дезинфицирующих растворов. Подобное решение не подходит для применения в относительно небольших замкнутых медицинских помещениях, но оно интересно с точки зрения масштабирования, допуская создание малых мобильных роботов.



Рис. 2. Робот «XAG R80»
[https://www.xa.com/en/xauv_r150].



Рис. 3. Робот-дезинфектор компании «Аврора Роботикс»
[<https://avrora-robotics.com/ru/projects/unior/>].

Отметим, что XAG-роботы могут рассматриваться для применения в переходных зонах, от городских маршрутов до мест парковки машин скорой помощи и транспортировки пациентов в приемный покой или изолятор.

Что касается отечественных разработок, то сервисные роботы на мобильных платформах сегодня предлагаются многими фирмами. Так, например, компания «Аврора Роботикс» провела испытания модульного распылителя, который может быть размещен на роботах семейства «Юниор» (рис. 3). Разработчик рассматривает предлагаемое решение по дезинфекции помещений в автономном режиме или дистанционно оператором. Модульная конструкция роботизированного комплекса позволяет создавать новые проекты, используя различные исходные модули и компоненты. Например, робот может быть собран как на гусеницах, так и на колесном приводе. Преимуществом первого варианта являются повышенная проходимость и возможность преодоления лестниц и других препятствий.



Рис. 4. Робот «Promobot Medical Assessor»
[<https://promo-bot.ai/use-case/medical-assessor/>].

Грузоподъемность платформы составляет 50 кг, что позволяет разместить достаточно объемные резервуары для распыляемой жидкости. Ресурс работы «Юниора» без подзарядки – около 2 ч.

Еще одно оригинальное решение, в данном случае – от зарубежного разработчика, – сервисный робот, получивший название «Promobot Medical Assessor». Базовая конфигурация требует незначительных модификаций для применения при COVID-19. Этот мобильный робот представлен на рис. 4 и интересен тем, что показывает вариант адаптации социального робота, изначально спроектированного для общения с человеком в форме речевого диалога, к выполнению задач дезинфекции – в данном случае он может быть оборудован резервуаром с дезинфицирующей жидкостью и распылителем. Есть и специальная версия робота на гусеничном шасси.

В таблице приведены варианты представленных выше мобильных робототехнических систем, которые по отдельным характери-

стикам могут рассматриваться как прототипы для перспективных роботов при дезинфекции медицинских рабочих помещений. Некоторые из них используются или находятся на стадии внедрения в эксплуатацию.

Возможность использования мобильных робототехнических систем в условиях, когда поверхность перемещения имеет не всегда ровный характер (дверные пороги, неровности, стесненность проходов между помещениями и наличие объектов, затрудняющих перемещения), обуславливает применение различных типов шасси. Так, гусеничные и колесные шасси вездеходного типа имеют наибольшую проходимость, но, в свою очередь, и большие показатели энергозатрат, что, в конечном итоге, влияет на время автономной работы робота.

Применение различных типов обеззараживания воздуха в помещениях обусловлено тем, что не всегда есть возможность удалить из помещения на длительное время персонал и пациентов. В зависимости от задач дезин-

Проанализированные образцы мобильных роботов для дезинфекции

Название робота	Тип воздействия	Тип шасси	Габариты, ДхВхШ, мм	Масса, кг	Время автономной работы, ч
Blue Ocean Robotics Model C	Ультрафиолетовое излучение	Колесное	680×1800×500	180	6
XAG R80	Распыление жидких антисептиков	Колесное	540×400×320	24	4
Робот-дезинфектор компании «Аврора Роботикс»	Распыление жидких антисептиков	Гусеничное	698×380×381	8	1,5
Promobot Medical Assessor	Коммуникация, телеметрия. Распыление жидких антисептиков	Антропоморфное колесное	320×1400×320	60	6

фекции следует выбирать тип робота и инструмента для дезинфекции.

Рассмотрение требований к дезинфекционным роботам и их базовому функционалу позволяет утверждать, этот тип отличает необходимость высокой мобильности при небольших габаритах. Как указывается в работе [4], в настоящее время в ряде прикладных областей признана необходимость в применении в особых условиях мобильных мини-роботов. Существенными отличительными особенностями мобильных мини-роботов являются компактный размер и небольшая масса – в большинстве разработок в диапазоне значений от 7–8 до (максимум) 15 кг. В свою очередь, малая масса определяет ряд других пользовательских особенностей роботов. В первую очередь, это – оперативная доставка по назначению и высокая подвижность. Например, мобильные мини-роботы, применяемые во внешней среде при чрезвычайной ситуации, отличаются меньшей скоростью и дальностью управления, ограничениями в преодолении препятствий. Отмеченные пользовательские показатели, на наш взгляд, не являются определяющими в медицинских приложениях. В большей степени для этой сферы применения характерны повышенные требования по безопасности, которые сегодня предъявляются к роботам при совместном пребывании с людьми в ограниченных по площади рабочих помещениях.

Еще одна важная особенность, которая непосредственно связана с пользовательскими характеристиками роботов, имеет отношение к их дистанционному супервизорному управлению [14, 15]. В работе [14] рассмотрены принципы его организации в сценариях применения робототехнических средств с различными уровнями автономности. В общем случае повышение уровня автономности робота позволяет снизить нагрузку на контролирующего его специалиста за счёт разделения труда между человеком и машиной. При автономном выполнении сценария план операции должен учитывать особенности топологии рабочих помещений и существующие в переходах между ними препятствия, чтобы робот мог соответствующим образом на них реагировать. Для этих целей используется предварительное планирование, строятся электронная карта помещений и разрешенные маршруты перемещения. Кроме того, обозначаются зоны, запрещенные для доступа, зоны повышенной опасности из-за размещения оборудования или постоянного присутствия людей,

а также места расположения информационных табло (метки) с динамически меняющимися управляющими сообщениями (по типу «табличек» оповещения на входах в кабинеты врачей). Эти данные электронной карты фиксируются, исходя из априорной информации, которая хранится в долговременной памяти роботов, чтобы быть доступной тем пользователям, которые формируют задачи дезинфекции помещений на определенный временной период в форме расписания работ. Кроме того, предусматривается этап оперативного планирования, на котором возможно внесение коррекции исполнения планов работы, основанной на текущих данных сенсоров робота. Более того, перспективные решения построения многопользовательских режимов должны предусматривать совместный доступ к информационным ресурсам, в том числе, к электронной карте, сообщениям от роботов, подтверждение полученных команд и запрос на выполнение очередных плановых задач. Совокупности таких требований отвечают тенденции создания интеллектуальных пространств типа «Умного дома».

Для того, чтобы внесение коррекций не привносило помехи в работу специалистов и не создавало трудности взаимодействия с роботами, должны быть предусмотрены различные виды интерфейсов [11, 16]:

- графический – для внесения изменений с носимого устройства типа планшета;
- голосовые команды для обработки речевых данных;
- жестовые команды в зоне прямого наблюдения роботов, распознаваемые с помощью системы компьютерного зрения мобильного робота, которая применяется также для позиционирования и навигации при перемещениях по маршруту.

Производительность как одного, так и группы сервисных роботов в режиме супервизорного управления может быть улучшена за счет повышения качества интерфейсов и естественности взаимодействия человека и робота. В этом отношении в последние годы произошел качественный скачок в построении многомодальных интерфейсов, в которых человек (пользователь) и сервисный робот могут обмениваться информацией на языке, близком к естественной речи. Кроме того, человек в пределах непосредственно зрительного контроля может задавать жестовые команды для управления движением мобильных мини-роботов. Возможный путь решения этих вопросов изложен в [13].

Обсуждение. Как и в других тяжелых условиях пикового нарастания рабочей нагрузки на структуры, связанные с чрезвычайной ситуацией, как, например, при Чернобыльской катастрофе, которые сопровождаются повышенным риском для здоровья и работоспособности медицинских работников и спасателей всех других специальностей, для противодействия распространению эпидемии COVID-19 рассматривается путь технологического перевооружения с использованием робототехнических комплексов.

Это позволяет реализовать:

1) внедрение дистанционных технологий контроля среды и автоматической дезинфекции мест массового пребывания людей на путях их перемещения в режиме профилактической и завершающей дезинфекции;

2) прерывание путей передачи коронавируса и, тем самым, снижение рисков заражения при контактах здоровых с людьми, инфицированными вирусом SARS-CoV-2;

3) расширение применения роботов в рабочем пространстве, в частности, замкнутых помещениях для врачей и пациентов, когда невозможно или нерационально прервать рабочий процесс для временной эвакуации людей на период текущей дезинфекции, но необходимо обеспечить высокий уровень безопасности;

4) оперативное информирование врачей для адекватного восприятия той защитной роли, которую призваны сыграть роботы.

В период распространения эпидемии COVID-19 в числе основных стрессорирующих факторов рассматриваются переживания, непосредственно связанные со страхом заражения, болезни и смерти людей. В этом контексте можно говорить о повышенных рисках профессионального выгорания медицинских работников, что свидетельствует о наличии психосоциального фактора риска для них [5, 10, 21, 26].

При формировании концепции создания новых типов сервисных роботов необходимо использовать критерии массовости применения, простоты, доступности, безопасности в эксплуатации для того, чтобы не усложнить проблемами взаимодействия с роботами и без того непростые задачи противодействия эпидемии и защиты здоровья пациентов и самих врачей. В этом отношении перспективны технологии многомодальных интерфейсов, упрощающих взаимодействие пользователей с роботами различного назначения.

Выводы

1. Анализ областей применения сервисных роботов позволяет выделить их специализации по назначению, а также набор потенциально полезных функций, которые могут быть реализованы в дальнейших разработках при эпидемии COVID-19. Применение дезинфекционных роботов создает возможности противодействовать эпидемическому распространению вируса за счет внедрения технологий роботизации на критически важных направлениях снижения рисков рабочей среды.

2. Защита медицинского персонала при проведении мероприятий противодействия распространению эпидемии COVID-19 входит в число ключевых направлений поддержки устойчивости функционирования системы оказания помощи и предотвращения ее коллапса при массовом инфицировании населения. В число приоритетных направлений роботизированной поддержки входят различные способы обеззараживания помещений, преимущественно с помощью аппаратов ультрафиолетового излучения, которые могут быть размещены на борту малых мобильных роботов.

3. Применение роботизированного обеспечения должно создавать оптимальные условия проведения работ в соответствии с санитарно-гигиеническими нормативами эксплуатации помещений и рабочих мест медицинского персонала.

4. Предложенный к углубленной проработке путь роботизированной адресной поддержки мероприятий противодействия инфицированию может позволить более точно находить точки приложения и время проведения противоэпидемических мероприятий с использованием сервисных роботов. Одновременно постоянная готовность к робототехнической поддержке мер противодействия эпидемии повышает шансы оперативного реагирования на другие виды ЧС при COVID-19.

5. Разработка робототехнических изделий для условий чрезвычайной ситуации сегодня приобретает особое значение для задач снижения профессионально-обусловленных рисков воздействия патогенов в рабочей среде. Сохранение активных работников в строю является одним из приоритетов готовности к новым вызовам, в том числе, при распространении эпидемии COVID-19.

Литература

1. Атьков О.Ю., Горохова С.Г., Пфаф В.Ф. Коронавирусная инфекция – новая проблема в профессиональной заболеваемости медицинских работников. // Медицина труда и пром. экология. 2021. Т. 61, № 1. С. 40–48. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-40-48.
2. Брико Н.И., Каграманян И.Н., Никифоров В.В. [и др.]. Пандемия COVID-19. Меры борьбы с ее распространением в Российской Федерации // Эпидемиология и вакцинопрофилактика. 2020. Т. 19, № 2. С. 4–12. DOI 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12.
3. Брико Н.И., Зуева Л.П., Любимова А.В. [и др.]. Профилактика заноса и распространения COVID-19 в медицинских организациях. Временные методические рекомендации. Версия 2 от 14.05.2020. М., 2020. 46 с. URL: <http://nasci.ru/?id=11907>.
4. Васильев А.В., Лопота А.В. Уточнение типоразмерных групп наземных дистанционно управляемых машин для применения в опасных для человека условиях // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. 2015. № 1. С. 226–234.
5. Ениколопов С.Н., Медведева Т.И., Бойко Л.А. [и др.]. Принятие моральных решений во время пандемии COVID-19 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 14. Психология. 2020. № 4. С. 22–43.
6. Ефимов А.Р., Гонноченко А.С., Пайсон Д.Б. [и др.]. Практическое применение роботов и сопутствующих технологий в борьбе с пандемией COVID-19 // Робототехника и технич. кибернетика. 2020. Т. 8, № 2. С. 87–100. DOI: 10.31776/RTSJ.8201.
7. Кравченко Ю.В., Демкин А.Д., Кобрянова И.В. Профилактика стресс-ассоциированных расстройств у медицинского персонала при работе в условиях неблагоприятной эпидемиологической обстановки // Изв. Рос. Воен.-мед. акад. 2020. Т. 39, № S3-4. С. 136–140.
8. Никифоров В.В., Суранова Т.Г., Комаревцев В.Н. [и др.]. Меры противодействия заносу и распространению коронавирусной инфекции COVID-19 в медицинских организациях // Медицина экстрем. ситуаций. 2020. № 3. С. 77–82. DOI: 10.47183/mes.2020.008.
9. Носик Н.Н., Носик Д.Н., Чижов А.И. Сравнительный анализ вирулицидной эффективности дезинфицирующих средств // Вопросы вирусологии. 2017. Т. 62, № 1. С. 41–45. DOI: 10.18821/0507-4088-2017-62-1-41-45.
10. Падун М.А. Риски психической травматизации среди медицинских работников // Соц. и экономич. психология. 2020. Т. 5, № 2 (18) С. 309–329. DOI: 10.38098/ipran.sep.2020.18.2.011.
11. Рогаткин Д.А., Лапитан Д.Г. Интерфейс общения с сервисным медицинским роботом // Вест. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 1. С. 35–48. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-35-48.
12. Рогаткин Д.А., Лапитан Д.Г., Лапаева Л.Г. Концепция автономных мобильных сервисных роботов для медицины // Биомед. радиоэлектроника. 2013. № 5. С. 46–56.
13. Ронжин А.Л., Юсупов Р.М. Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Изв. ЮФУ. Технич. науки. 2015. № 1 (162). С. 195–206.
14. Смирнова Е.Ю., Спасский Б.А. Организация супервизорного управления в сценариях экстремальной робототехники // Робототехника и технич. кибернетика. 2020. Т. 8, № 4. С. 245–258.
15. Спасский Б.А. Телеуправление в экстремальной робототехнике // Робототехника и технич. кибернетика. 2020. Т. 8, № 2. С. 101–111.
16. Azeta J., Bolu C., Abioye A.A., Oyawale F.A. A review on humanoid robotics in healthcare // MATEC Web of Conferences. 2018. Vol. 153, N 5. Art. 02004. DOI: 10.1051/mateconf/201815302004.
17. Azuma K., Yanagi U., Kagi N. [et al.]. Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control // Environmental health and preventive medicine. 2020. Vol. 25, N 1. Art. 66. DOI: 10.1186/s12199-020-00904-2.
18. Bahl P., Doolan C., De Silva C. [et al.]. Airborne or droplet precautions for health workers treating COVID-19? // The Journal of infectious diseases. 2020. Apr. 16. Art. 189. DOI: 10.1093/infdis/jiaa189.
19. Buonanno M., Welch D., Shuryak I., Brenner D.J. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses // Scientific Reports. 2020. Vol. 10, N 1. Art. 10285. DOI: 10.1038/s41598-020-67211-2.
20. Galbraith N., Boyda D., McFeeters D., Hassan T. The mental health of doctors during the COVID-19 pandemic // BJ Psych Bulletin. 2020. Vol. 45, N 2. P. 93–97. DOI: 10.1192/bjb.2020.44.
21. Gold J.A. Covid-19: adverse mental health outcomes for healthcare workers // BMJ. 2020. Vol. 369. Art. m1815. DOI: 10.1136/bmj.m1815.
22. Islam M.S., Rahman K.M., Sun Y. [et al.]. Current knowledge of COVID-19 and infection prevention and control strategies in healthcare settings: A global analysis // Infection Control & Hospital Epidemiology. 2020. Vol. 41, N 10. P. 1196–1206. DOI: 10.1017/ice.2020.237.
23. HOSPI - Panasonic's Autonomous Delivery Robots – New Models Make Debutch. Web-Site. URL: <https://news.panasonic.com/global/stories/2019/69861.html>.
24. Kovach C.R., Taneli Y., Neiman T. [et al.]. Evaluation of an ultraviolet room disinfection protocol to decrease nursing home microbial burden, infection and hospitalization rates // BMC Infectious Diseases. 2017. Vol. 17, N 1. Art. 186. DOI: 10.1186/s12879-017-2275-2.

25. Meyerowitz E.A., Richterman A., Gandhi R.T., Sax P.E. Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors // *Annals of Internal Medicine*. 2021. Vol. 174, N 1. P. 69–79. DOI: 10.7326/M20-5008.
26. Moitra M., Rahman M., Collins P.Y. [et al.]. Mental Health Consequences for Healthcare Workers During the COVID-19 Pandemic: A Scoping Review to Draw Lessons for LMICs // *Frontiers in psychiatry*. 2021. Vol. 12. Art. 602614. DOI: 10.3389/fpsyt.2021.602614.
27. Okamura A.M., Matarić M.J., Christensen H.I. Medical and HealthCare Robotics // *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2010. Vol. 17, Iss. 3. P. 26–37. DOI: 10.1109/MRA.2010.937861.
28. Sommerstein R., Fux C.A., Vuichard-Gysin D. [et al.]. Risk of SARS-CoV-2 transmission by aerosols, the rational use of masks, and protection of healthcare workers from COVID-19 // *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 2020. Vol. 9, N 1. Art. 100. DOI: 10.1186/s13756-020-00763-0.
29. Stadnytskyi V., Bax C.E., Bax A., Anfinrud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol. 117, N 22. P. 11875–11877. DOI: 10.1073/pnas.2006874117.
30. Tang S., Mao Y., Jones R.M. [et al.]. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control // *Environment international*. 2020. Vol. 144. Art. 106039. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106039.
31. Wang W., Xu Y., Gao R. [et al.]. Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. // *JAMA*. 2020. Vol. 323, N 18. P. 1843–1844. DOI: 10.1001/jama.2020.3786.
32. Wilson N.M., Norton A., Young F.P., Collins D.W. Airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 to healthcare workers: a narrative review // *Anaesthesia*. 2020. Vol. 75, N 8. P. 1086–1095. DOI: 10.1111/anae.15093.

Поступила 22.01.2021 г.

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией статьи. Работа выполнена при финансовой поддержке фонда РФФИ (проект №19-07-00832).

Участие авторов: И.Б. Ушаков – обобщение научных публикаций оценки рисков для медицинских работников в условиях COVID-19, анализ вариантов противодействия распространению COVID-19, редактирование окончательного варианта статьи; А.В. Поляков – написание статьи, обобщение научных публикаций по вопросам робототехнического обеспечения обеззараживания медицинских помещений; В.М. Усов – написание статьи, анализ литературы по проблеме противодействия распространению COVID-19, видов робототехнических изделий; М.М. Князьков – написание статьи, анализ видов робототехнических изделий и функционала сервисных роботов по направлению «обеззараживание закрытых помещений», подготовка иллюстративного (табличного) материала; А.И. Мотиенко – написание статьи, анализ вариантов выбора функционала мобильных сервисных роботов, окончательное редактирование статьи, подготовка иллюстративного (графического) материала.

Для цитирования. Ушаков И.Б., Поляков А.В., Усов В.М., Князьков М.М., Мотиенко А.И. Использование сервисных роботов для противодействия распространению вируса SARS-CoV-2 в закрытых медицинских помещениях // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2021. № 2. С. 104–114. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-104-114

Using service robots to counter the SARS-CoV-2 virus spread in enclosed medical premises

Ushakov I.B.¹, Polyakov, A.V.², Usov V.M.², Knyazkov M.M.³, Motienko A.I.⁴

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia);

² Russian Federation State Research Center – Institute of Biomedical Problems
(76a, Khoroshevskoe Highway, Moscow, 123007, Russia);

³ Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics (101-1, Vernadskogo Ave., Moscow, 119526, Russia);

⁴ St. Petersburg Federal Research Center (39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia)

Igor Borisovich Ushakov – Dr. Med. Sci. Prof., Chief Researcher, State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center (46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123182, Russia), e-mail: ibushakov@gmail.com;

Alexey Vasilievich Polyakov – PhD Med. Sci., Head of Department, Russian Federation State Research Center – Institute of Biomedical Problems (76a, Khoroshevskoe Highway, Moscow, 123007, Russia), e-mail: apolyakov@imbp.ru;

✉ Vitaly Mikhailovich Usov – Dr. Med. Sci. Prof., Leading Researcher, Russian Federation State Research Center Institute of Biomedical Problems (76a, Khoroshevskoe Highway, Moscow, 123007, Russia), e-mail: khofer.1946@gmail.com;

Maxim Mikhailovich Knyazkov – PhD Tech. Sci., Senior Researcher of laboratory of robotics and mechatronics, Ishlinsky Institute for Problems in Mechanics (101-1, Vernadskogo Ave., Moscow, 119526, Russia), e-mail: ipm_labrobotics@mail.ru;

Anna Igorevna Motienko – PhD Tech. Sci., Senior Researcher of laboratory of big data technologies in socio-cyberphysical systems, St. Petersburg Federal Research Center (39, 14th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia), e-mail: anna.gunchenko@gmail.com

Abstract

Relevance. Spreading of the COVID-19 epidemic highlighted a number of new challenges related to protecting the health of first-line emergency and specialized medical personnel, as the high incidence of COVID-19 among healthcare workers can lead to risks of health system collapse. At the same time, in the interests of personnel safety, robotic technologies can be applied for heavy and dangerous works of air disinfection in enclosed medical environments.

Intention: To present current views on robotic air disinfection of enclosed medical environments based on the analysis of robot prototypes developed to counteract the spread of the SARS-CoV-2 virus.

Methodology. Analysis of tasks related to maintaining a safe working environment for healthcare professionals was based on the description of the functionality and specifications of robots designed to decontaminate the working environment of medical personnel deployment. When systematizing solutions for robot design, the main criteria used were the selection of control modes (Automatic, Supervisory, Manual and their combinations), hardware for disinfection in the external environment and in premises, and features of Human-Machine interaction for the safety of robotic support in enclosed medical premises.

Results and Discussion. The features of using service (disinfection) robots are formulated based on epidemiological knowledge of the primary transmission routes and methods of disinfection of premises. It is shown that the tactical and technical characteristics of existing models of Autonomous mobile robots are mainly aimed at implementing unmanned technologies. Solving problems of massive processing of objects of the external environment, as well as vast areas of airports, stadiums, hypermarkets, warehouses, vehicles in a reasonable time involves automatic modes and/or Supervisory control of such robots by the operator in remote mode. The use of disinfection robots in enclosed medical premises requires additional consideration of the factor of introducing robots into the social environment. From these positions and on the basis of the selected prototypes, the prospects are considered for using a group of small mobile robots equipped with systems that enhance sensory and communication capabilities in the work environment.

Conclusion. Using robots to reduce risks of the SARS-CoV-2 contamination opens the way to improving the working conditions of healthcare professionals who are at risk of COVID-19. The proposed methods of robotic disinfection of medical premises also help reduce the mental strain of being in a dangerous environment by expanding robotic support for decontamination of premises and flexible response to changes in the environment.

Keywords: pandemic, epidemiology, COVID-19, contamination, medical personnel, medical facilities, robot, disinfection.

References

1. At'kov O.Yu., Gorokhova S.G., Pfaf V.F. Koronavirusnaya infektsiya – novaya problema v professional'noi zabolevaemosti meditsinskikh rabotnikov. [COVID-19 in health care workers. A new problem in occupational medicine]. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]. 2021. Vol. 61, N 1. Pp. 40–48. DOI: 10.31089/1026-9428-2021-61-1-40-482021 (In Russ.).
2. Briko N.I., Kagramanyan I.N., Nikiforov V.V., Suranova T.G. [et al.]. Pandemiya COVID-19. Mery bor'by s ee rasprostraneniem v Rossiiskoi Federatsii [Pandemic COVID-19. Prevention Measures in the Russian Federation]. *Epidemiologiya i Vaktsinoprofilaktika* [Epidemiology and Vaccinal Prevention.]. 2020. Vol. 19, N 2. Pp. 4–12. DOI: 10.31631/2073-3046-2020-19-2-4-12 (In Russ.).
3. Briko N.I., Zueva L.P., Ljubimova A.V. [et al.]. Profilaktika zanosov i rasprostraneniya COVID-19 v meditsinskikh organizatsiyakh. Vremennyye metodicheskie rekomendatsii. Versiya 2 ot 14.05.2020 [Prevention of the importation and spread of COVID-19 in medical organizations. Temporary guidelines. Version 2 from 14/05/2020]. 2020. 46 p. URL: <http://nasci.ru/?id=11907> (In Russ.).
4. Vasil'ev A.V., Lopota A.V. Utochnenie tiporazmernykh grupp nazemnykh distantsionno upravlyaemykh mashin dlya primeneniya v opasnykh dlya cheloveka usloviyakh [Mass-Dimensional Groups Elaboration of Ground Remotely Operated Vehicles for Hazardous Environments]. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbGPU* [Scientific and technical bulletin of SPbSPU]. 2015. N 1. Pp. 226–234. (In Russ.).
5. Enikolopov S.N., Medvedeva T.I., Boiko L.A. [et al.]. Prinyatie moral'nykh reshenii vo vremya pandemii COVID-19. [Making moral decisions during the COVID-19 pandemic]. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 14. Psikhologiya*. [Moscow University Psychology Bulletin. Series 14. Psychology]. 2020. N 4. Pp. 22–43. (In Russ.).
6. Efimov A.R., Gonnochenko A.S., Payson D.B. [et al.]. Prakticheskoe primeneniye robotov i sopolstvuyushchikh tekhnologiy v bor'be s pandemiei COVID-19 [Practical Use of Robots and Related Technologies in Counteraction to COVID-19 Pandemic]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics]. 2020. Vol. 8, N 2. Pp. 87–100. (In Russ.).
7. Kravchenko Yu.V., Demkin A.D., Kobryanova I.V. Profilaktika stress-assotsirovannykh rasstroystv u meditsinskogo personala pri rabote v usloviyakh neblagopriyatnoi epidemiologicheskoi obstanovki [Psychological Characteristics of Medical Personnel and Cadet (Student) in Conditions Adversive Epidemic Situation]. *Izvestiya Rossiiskoi Voenno-meditsinskoi akademii* [Russian Military Medical Academy Reports]. 2020. Vol. 39. N S3-4. Pp. 136–140. (In Russ.).
8. Nikiforov V.V., Suranova T.G., Komarevtsev V.N. [et al.]. Mery protivodeistviya zanosu i rasprostraneniyu koronavirusnoi infektsii covid-19 v meditsinskikh organizatsiyakh [Countermeasures Against the Introduction and Spread of Coronavirus Infection COVID-19 in Medical Organizations]. *Meditsina ekstremal'nykh situatsii* [Medicine of Extreme Situations]. 2020. N 3. Pp. 77–82. DOI: 10.47183/mes.2020.008. (In Russ.).
9. Nosik N.N., Nosik D.N., Chizhov A.I. Sravnitel'nyi analiz virulitsidnoi effektivnosti dezinfitsiruyushchikh sredstv [A Comparative Analysis of Virucidal Efficiency of Biocide Agents]. *Voprosy virusologii* [Problems of Virology]. 2017. Vol. 62, N 1. Pp. 41–45. DOI: 10.18821/0507-4088-2017-62-1-41-45. (In Russ.).
10. Padun M.A. Riski psichicheskoy travmatizatsii sredi meditsinskikh rabotnikov [Risks of Psychological Trauma in Health Care Workers During COVID-19 Pandemic]. *Sotsial'naya i jekonomicheskaya psikhologiya* [Social and economic psychology]. 2020. Vol. 5, N 2. Pp. 309–329. DOI: 10.38098/ipran.sep.2020.18.2.011. (In Russ.).
11. Rogatkin D.A., Lapitan D.G. Interfeis obshcheniya s servisnym meditsinskim robotom [Interface of Communication with Service Medical Robot]. *Vestnik MGTU im. N.E. Bauman. Ser. Priboroostroenie* [Herald of the Bauman Moscow State Technical University. Series Instrument Engineering]. 2017. N 1. Pp. 35–48. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-1-35-48. (In Russ.).

12. Rogatkin D.A., Lapitan D.G., Lapaeva L.G. Kontseptsiya avtonomnykh mobil'nykh servisnykh robotov dlya meditsiny [Conception of the mobile autonomous service medical robots]. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedicine Radioengineering]. 2013. N 5. Pp. 46–56. (In Russ).
13. Ronzhin A.L., Yusupov R.M. Mnogomodal'nye interfeisy avtonomnykh mobil'nykh robototekhnicheskikh komplekso [Multimodal Interfaces for Autonomous Mobile Robotic Systems]. *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences]. 2015. N 1. Pp. 195–206. (In Russ).
14. Smirnova E.Yu., Spassky B.A. Organizatsiya supervizornogo upravleniya v stsenariyakh ekstremal'noi robototekhniki [Organization of supervisory control in scenarios of extreme robotics]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics]. 2020. Vol. 8, N 4. Pp. 245–258. (In Russ).
15. Spassky B.A. Teleupravlenie v ekstremal'noi robototekhnike [Teleoperation in extreme robotics]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and Technical Cybernetics]. 2020. Vol. 8, N 2. Pp. 101–111. (In Russ).
16. Azeta J., Bolu C., Abioye A.A., Oyawale F.A. A review on humanoid robotics in healthcare. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 153, N 5. Art. 02004. DOI: 10.1051/mateconf/201815302004.
17. Azuma K., Yanagi U., Kagi N. [et al.]. Environmental factors involved in SARS-CoV-2 transmission: effect and role of indoor environmental quality in the strategy for COVID-19 infection control. *Environmental health and preventive medicine*. 2020. Vol. 25, N 1. Pp. 1–16. DOI: 10.1186/s12199-020-00904-2.
18. Bahl P., Doolan C., De Silva C. [et al.]. Airborne or droplet precautions for health workers treating COVID-19? *The Journal of infectious diseases*. 2020. Apr. 16. Art. 189. DOI: 10.1093/infdis/jiaa189.
19. Buonanno M., Welch D., Shuryak I., Brenner D.J. Far-UVC light (222 nm) efficiently and safely inactivates airborne human coronaviruses. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10, N 1. Pp. 1–8. DOI: 10.1038/s41598-020-67211-2.
20. Galbraith N., Boyda D., McFeeters D., Hassan T. The mental health of doctors during the COVID-19 pandemic. *BJ Psych Bulletin*. 2020. Vol. 45, N 2. Pp. 93–97. DOI: 10.1192/bjb.2020.44.
21. Gold J.A. Covid-19: adverse mental health outcomes for healthcare workers. *BMJ*. 2020. Vol. 369. Art. m1815. DOI: 10.1136/bmj.m1815.
22. Islam M.S., Rahman K.M., Sun Y. [et al.]. Current knowledge of COVID-19 and infection prevention and control strategies in healthcare settings: A global analysis. *Infection Control & Hospital Epidemiology*. 2020. Vol. 41, N 10. Pp. 1196–1206. DOI: 10.1017/ice.2020.237.
23. HOSPI – Panasonic's Autonomous Delivery Robots – New Models Make Debut. Web-Site. URL: <https://news.panasonic.com/global/stories/2019/69861.html>
24. Kovach C.R., Taneli Y., Neiman T. [et al.]. Evaluation of an ultraviolet room disinfection protocol to decrease nursing home microbial burden, infection and hospitalization rates. *BMC Infectious Diseases*. 2017. Vol. 17, N 1. Art. 186. DOI: 10.1186/s12879-017-2275-2.
25. Meyerowitz E.A., Richterman A., Gandhi R.T., Sax P.E. Transmission of SARS-CoV-2: A Review of Viral, Host, and Environmental Factors. *Annals of Internal Medicine*. 2021. Vol. 174, N 1. Pp. 69–79. DOI: 10.7326/M20-5008.
26. Moitra M., Rahman M., Collins P.Y. [et al.]. Mental Health Consequences for Healthcare Workers During the COVID-19 Pandemic: A Scoping Review to Draw Lessons for LMICs. *Frontiers in psychiatry*. 2021. Vol. 12. Art. 602614. DOI: 10.3389/fpsyt.2021.602614.
27. Okamura A.M., Mataric M.J., Christensen H.I. Medical and HealthCare Robotics. *IEEE Robotics & Automation Magazine*. 2010. Vol. 17, Iss. 3. Pp. 26–37. DOI: 10.1109/MRA.2010.937861.
28. Sommerstein R., Fux C.A., Vuichard-Gysin D. [et al.]. Risk of SARS-CoV-2 transmission by aerosols, the rational use of masks, and protection of healthcare workers from COVID-19. *Antimicrobial Resistance & Infection Control*. 2020. Vol. 9, N 1. Art. 100. DOI: 10.1186/s13756-020-00763-0.
29. Stadnytskyi V., Bax C.E., Bax A., Anfirud P. The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020. Vol. 117, N 22. Pp. 11875–11877. DOI: 10.1073/pnas.2006874117.
30. Tang S., Mao Y., Jones R.M. [et al.]. Aerosol transmission of SARS-CoV-2? Evidence, prevention and control. *Environment international*. 2020. Vol. 144. Art. 106039. DOI: 10.1016/j.envint.2020.106039.
31. Wang W., Xu Y., Gao R. [et al.]. Detection of SARS-CoV-2 in Different Types of Clinical Specimens. *JAMA*. 2020. 2020. Vol. 323, N 18. Pp. 1843–1844. doi: 10.1001/jama.2020.3786.
32. Wilson N.M., Norton A., Young F.P., Collins D.W. Airborne transmission of severe acute respiratory syndrome coronavirus-2 to healthcare workers: a narrative review. *Anaesthesia*. 2020. Vol. 75, N 8. Pp. 1086–1095. DOI: 10.1111/anae.15093.

Received 22.01.2021

For citing. Ushakov I.B., Polyakov, A.V., Usov V.M., Knyazkov M.M., Motienko A.I. Ispol'zovanie servisnykh robotov dlya protivodeistviya rasprostraneniyu virusa SARS-CoV-2 v zakrytykh meditsinskikh pomeshcheniyakh. *Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2021. N 2. pp. 104–114. (In Russ.)

Ushakov I.B., Polyakov, A.V., Usov V.M., Knyazkov M.M., Motienko A.I. Using service robots to counter the SARS-CoV-2 virus spread in enclosed medical premises. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2021. N 2. pp. 104–114. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-104-114