

УДК 614.442:623.459.64:678.07

ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОРИСТЫХ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ИЗДЕЛИЯХ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОРГАНОВ ДЫХАНИЯ ОТ ВИРУСНЫХ И БАКТЕРИАЛЬНЫХ ИНФЕКЦИЙ

В.В. Чипизубов¹, П.Н. Сухонин², В.В. Петраш³

¹ООО «Криброк», Санкт-Петербург

²АНО ДПО Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности
и охраны окружающей среды, Санкт-Петербург

³Университет «Реавиз», Санкт-Петербург

Резюме. Проведена оценка эффективности процесса очистки воздушного потока от капельной и дисперсной фаз жидкостей, являющихся основным агентом транспорта большинства респираторных вирусов от носителя к инфицируемому объекту. Исследованы образцы композитно-полимерного материала «Криброк», имеющего объёмную фрактально-сетчатую структуру сквозных и несквозных пор от 5 до 150 мкм. В экспериментах показана высокая гигроскопичность данного материала, обеспечивающая поглощение влаги в количестве, составляющем более 700 % собственного веса испытываемого образца в сухом состоянии. Установлено, что материал «Криброк» может проходить процесс температурной дезактивации в нагревательных устройствах и использоваться многократно. Сделан вывод, что данный материал перспективен для использования в средствах индивидуальной защиты (СИЗ) и может быть конструктивно легко адаптирован к техническим решениям различных типов СИЗ дыхательных путей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Ключевые слова: вирусы, COVID-19, воздушная среда, капельно-аэрозольная фаза, композитно-полимерный материал «Криброк», средства индивидуальной защиты.

Для цитирования: Чипизубов В.В., Сухонин П.Н., Петраш В.В. Перспективность применения пористых композитных материалов в изделиях для защиты органов дыхания от вирусных и бактериальных инфекций. *Вестник медицинского института «Реавиз». Реабилитация, Врачи и Здоровье.* 2021;1(49):11-16. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2021.1.COVID.2>



PROSPECTS FOR THE USE OF POROUS COMPOSITE MATERIALS IN PRODUCTS FOR RESPIRATORY PROTECTION FROM VIRAL AND BACTERIAL INFECTIONS

V.V. Chipizubov¹, P.N. Sukhonin², V.V. Petrash³

¹Cribrol, St. Petersburg

²St. Petersburg Institute of Environmental Management, Industrial Safety and environmental protection, St. Petersburg

³University "Reaviz", St. Petersburg

Abstract. The effectiveness of cleaning the air flow from the droplet and dispersed phases of liquids, which are the main medium for transporting most respiratory viruses from the carrier to the infected person, was assessed. Samples of Cribrol, polymer composite with a three-dimensional fractal mesh structure of through and non-through pores from 5 to 150 µm, were examined. The experiments showed high hygroscopic properties of this material, providing moisture absorption of more than 700 % of the dry weight of the test sample. It has been found that Cribrol can undergo thermal decontamination in heating devices and can be used repeatedly. This material has been concluded to be promising for use in PPE, and its structure can easily be adapted to various respiratory personal protective equipment (PPE).

Competing interests. The authors declare no competing interests.

Funding. This research received no external funding.

Key words: viruses. COVID-19, air environment, drip-aerosol phase, composite-polymer material "Cribrol", personal protective equipment.

Cite as: Chipizubov V.V., Sukhonin P.N., Petrash V.V. Prospects for the use of porous composite materials in products for respiratory protection from viral and bacterial infections. *Bulletin of the Medical Institute Reaviz. Rehabilitation, Doctor and Health*. 2021;1(49):11-16. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2021.1.COVID.2>

Заболевания органов дыхания занимают ведущее место в структуре профессиональной патологии работников многих предприятий, связанных с запылённостью производственной среды (угольная промышленность, горно-обогатительные комбинаты, текстильное производство и др.). Повсеместная практика работы на такого рода объектах предусматривает использование средств индивидуальной защиты (СИЗ) органов дыхания в виде респираторов и иных устройств [2, 3]. В медицинской практике одним из важнейших направлений профилактики профессионально-обусловленных заболеваний персонала является использование СИЗ для предотвращения поступления через органы дыхания как биологических, так и химических вредных и опасных агентов [1]. В последнее время человечество все чаще сталкивается с угрозами, связанными с появлением новых вирусов, этимологию, варианты мутаций, свойства и

способы передачи которых значительно разнятся. Одной из проявленных угроз современности является вирус COVID-19. Достоверно известны два основных способа транспортировки большинства респираторных вирусов от носителя к инфицируемому объекту – воздушно-капельный и контактный, при этом воздушно-капельный вариант является наиболее частым.

Анализ образцов аэрозолей, которые собирали врачи из Народной больницы и полевого госпиталя Уханя (КНР), показал, что фрагменты РНК вируса изначально были во всех помещениях. Особенно характерно это было для мест скопления людей, туалетов и тех помещений, где врачи переодевались. Обрывки генома SARS-CoV-2 встречались как в мелких, так и в крупных частицах аэрозолей, однако больше всего их было в каплях диаметром в 0,25–0,5 микрометра [6].

Как известно, основным переносчиком острых инфекционных заболеваний, таких как грипп, SARS, MERS и COVID-19, является зараженный человек и, возможно, животные. В окружающее пространство вирусы попадают через капли жидкости (диаметром от < 1 до 200 мкм), выделяемые инфицированным человеком во время чихания, кашля и, как показали последние исследования, при извлечении звуков, в том числе и при разговоре. Причём, количество и размер капель сильно варьируется и зависит как от тона, так и от амплитуды звука.

В окружающем воздухе, влажность которого, как правило, ниже 100 %, вода из микрокапель начинает быстро испаряться, значительно уменьшая их в диаметре. При этом эффективность фильтрации (задержания/оседания) частиц с размерами меньше 1 микрона резко снижается для большинства общедоступных масок и респираторов; даже задержанные современной маской или фильтром респиратора вирионы достаточно длительное время жизнеспособны. В зависимости от влажности и температуры окружающего воздуха капли могут оставаться жидкими или высыхать, превращаясь в твердые или вязкие частички. Большинство крупных капелек и высушенных частиц достаточно быстро оседает на различных окружающих объектах (например, столешницах, кнопках, поручнях и сенсорных экранах), превращая их в потенциально инфекционные источники. Капли с размерами менее нескольких микрон могут оставаться в воздухе в течение нескольких часов и переноситься воздушными потоками на десятки метров.

Следовательно, необходимо рассмотреть и использовать все существующие методы для блокирования, выделения, или дезактивации уже вынесенных в окружающую среду вирионов, а также недопущения их проникновения в организм здорового человека [1].

Цель работы: оценка гигроскопичности композитно-полимерного материала «Криброк» и анализ эффективности процесса очистки воздушного потока от капельной и дисперсной фазы жидкостей, потенциально содержащих в себе мелкие частицы пыли, бактерии, в том числе вирусы и их фрагменты.

Материал и методы исследования

В качестве основного элемента для поглощения влаги из воздуха использован пористый материал типа «Криброк» [4], который предназначен для осушки газов от влаги (воды). Пористые материалы «Криброк» представляют из себя композитно-полимерный объёмный фрактал и имеют многократно размноженную, развитую и сложную объёмную сетчатую структуру сквозных и не сквозных пор от 5 до 150 мкм. Основным показателем для такого рода материалов является их гигроскопичность. Испытываемые образцы были представлены в виде объёмных картриджей в количестве 5 штук. Снимок структуры материала «Криброк» на электронном микроскопе показан на рис. 1.

Для проведения экспериментов по удалению аэрозолей и влаги из потока воздуха была собрана тестовая установка, схема которой показанная на рис. 2.

Порядок проведения экспериментов по оценке гигроскопичности картриджей из материала «Криброк» включал следующие этапы:

1. Определение веса испытуемого картриджа «Криброк» в сухом состоянии. Взвешивание проводили на стандартных лабораторных весах типа Mertech (Mercury) M-ER 123 ACF-1500.05.

2. Насыщение картриджа влагой на установке, показанной на рис. 2, путём прокачки через картридж увлажнённого мелко-дисперсными частицами воздуха. На этом этапе после полного насыщения влагой картридж начинал выделять крупные капли воды в отстойную зону на дно колбы 5 тестовой установки.

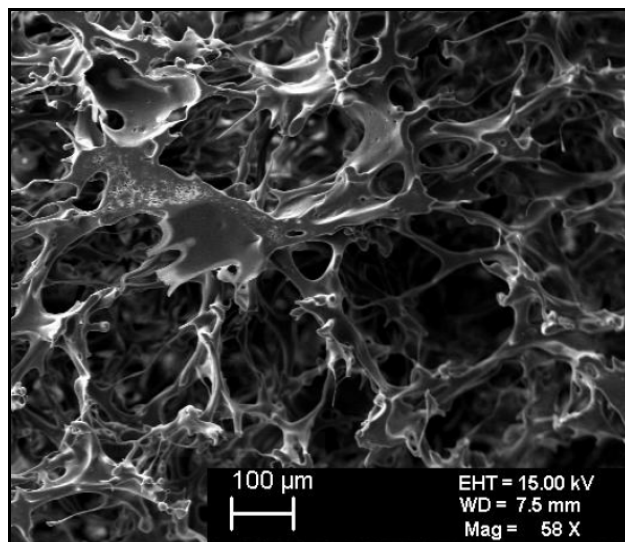


Рис. 1. Структура материала «Криблор»

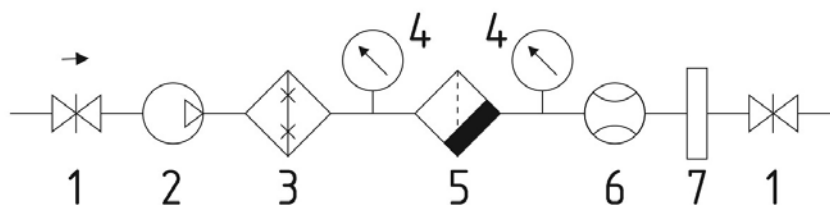


Рис. 2. Схема тестовой установки для оценки гигроскопичности материалов:

1 – задвижки, 2 – компрессор, 3 – увлажнитель (ультразвуковой парогенератор), 4 – манометры, 5 – корпус фильтра с картриджем «Криблор», 6 – расходомер, 7 – стеклянная колба контроля увлажнения

3. Определение количества влаги (воздушно-капельной или аэрозольной фаз), впитавшейся в материал картриджа, путём взвешивания картриджа в состоянии максимального насыщения влагой на тех же самых весах.

4. Нагрев картриджа в СВЧ печи на протяжении 60 секунд для выпаривания влаги. Использовали бытовую СВЧ печь (мощность 800 Вт).

5. Измерение давления в тестовой установке до и после картриджа проводили с использованием лабораторного образцового манометра ТМ-610РМТИ.00 (0...25 МПа) М20Х1,5.КЛ0,6 Класс точности – 0,6 %.

6. Взвешивание картриджа после выпаривания накопленной влаги на тех же весах.

Отсутствие влаги в воздухе на выходе установки после картриджа оценивали следующим образом.

На выходе потока воздуха из лабораторной установки расположена проходная ёмкость из стекла 7. Диаметр проходной ёмкости в несколько раз больше диаметра коммутирующей трубки на выходе воздуха из корпуса с картриджем 5. Следовательно, в этом месте установки происходило резкое расширение воздушного потока, и за счёт адиабатического процесса температура резко понижалась. При этом, если бы в воздухе содержалось некоторое значимое количество влаги, то она обязательно конденсировалась бы на стенках ёмкости в виде помутнения (тумана). В проведённых экспериментах за несколько циклов продувки увлажнённого воздуха через фильтр с картриджем «Криблор» изменение прозрачности стенок (помутнение) из-за микрокапель не наблюдалось, что свидетельствует о низкой влажности в воздушной среде на выходе установки.

Результаты

На протяжении всего теста с каждым испытываемым образцом картриджей давление воздуха в магистралях на входе и выходе было практически равное. Это свидетельствует о способности материала «Криброк» работать без перепадов давления даже в смоченном состоянии.

В таблице 1 приведены данные по оценке гигроскопичности образцов картриджей по результатам их взвешивания на этапах экспериментов.

Из полученных данных видно, что количество накопленной влаги материалом картриджа составляет более 700 % от исходного веса сухого материала. При этом материал картриджа не создаёт сопротивление прохождению воздуха и продолжает осушать воздух в условиях смачивания, выделяя избыточную влагу в виде укрупнённых капель в отстойную зону колбы тестовой установки.

В результате неоднократно проведённых повторных исследований гигроскопичности одного и того же картриджа после термообработки в СВЧ-печи установлено, что материал картриджа не теряет свои физические свойства при температуре 100 °С и возможно выше. В связи с этим ресурс использования картриджа можно считать неопределённо долгим.

Исходя из показателя гигроскопичности материала «Криброк» и функциональ-

ной нормы дыхания человека достаточно просто рассчитать необходимые параметры фильтрующего картриджа для СИЗ от проникновения бактерий и вирусов из воздушной среды воздушно-капельным путём. Минутный объём дыхания (МОД) – объём воздуха, проходящий через лёгкие человека за 1 минуту, в норме для взрослого человека составляет 5–6 литров или 300–360 л в час. При увеличении физической нагрузки МОД, естественно, увеличивается. Содержание влаги в воздушной среде зависит от температуры воздуха (табл. 2) и характеризуется показателем абсолютной влажности α , как количество водяного пара в граммах в 1 м³ воздуха [5].

Расчеты максимально гарантированного веса картриджа из материала «Криброк», который впитает в себя влагу (воздушно-капельную аэрозольную фракцию) для защиты организма от внешней среды на 12 часов, показывают величину порядка 30 г.

Учитывая широкие технологические возможности получения из материала «Криброк» картриджей, конструктивно адаптированных к различным техническим решениям СИЗ в виде респираторов, представляется актуальным использование этого материала в изделиях СИЗ, особенно в современной эпидемиологической ситуации с распространением COVID-19.

Таблица 1. Показатель гигроскопичности картриджей по весу образцов

Этапы исследования	Исходный	После насыщения влагой	После высушивания
Вес картриджа, г, $M \pm m$	$7,2 \pm 1,2$	$53,0 \pm 2,1$	$7,2 \pm 1,5$

Таблица 2. Абсолютная влажность α для различных температур T , °С воздуха

T , °С	α , г/м ³
–30	0,453
–20	1,073
0	4,844
+20	17,270
+30	30,330

Таким образом, итогом проведённых экспериментальных исследований является подтверждение эффективности процесса удаления влаги (мелко-дисперсных фракций и аэрозолей) из воздуха полимерным композитным материалом «Криброл». С учётом того, что данный тип материала уже прошёл стадию апробации по удалению влаги из газов в промышленных установках, становится очевидным, что его применения в СИЗ сводится к разработке их конструктивно-технологических решений, адаптированных к данному материалу с учётом медико-гигиенических требований.

Выводы

Композитно-полимерный материал «Криброл», при его конструктивной адаптации к техническим решениям различных

типов СИЗ, может рассматриваться как эффективное универсальное средство для индивидуальной защиты от бактерий и вирусов, передаваемых воздушно-капельным путём.

СИЗ на основе материалов «Криброл» могут улавливать и накапливать капли и аэрозоли из воздуха, затем проходить процесс дезактивации вероятной угрозы в различных нагревательных устройствах и использоваться многократно.

На основе композитно-полимерных материалов «Криброл» возможно создание средств коллективной гигиенической защиты для гарантированной очистки воздуха от различного рода бактерий и вирусов, в том числе COVID-19, в помещениях производственных структур, в торговой сфере, в общественном транспорте и т.п.

Литература/References

- 1 Golubkova A.A., Sisin E.I. *Maski i respiratory v medicine: vybor i ispol'zovanie*. Ekaterinburg: GBOU VPO UGMA Minzdravsocrazvitiya Rossii, 2011. 32 s. (In Russ).
- 2 Matvienko A.N. *Poristye materialy na osnove trekhfaznyh smesey polimerov*: avtoref. dis. .. kand. him. nauk. Moscow, 2008. 24 s. (In Russ).
- 3 Muhametzanov I.T. *Raschet vdyhaemoj frakcii dispersnyh vozdushnyh zagryaznenij*: dis. kand. him. nauk. Kazan', 2016. 135 s. (In Russ).
- 4 SHipizubov V.V., Ashkinazi L.A. *Sostav i sposob polucheniya fil'tra na osnove poristogo polivinilformalya*. Patent Rossii № 2445147. 2012. Byul. № 8. (In Russ).
- 5 SHmeter S.M. *Vlazhnost' vozduha : Fizicheskaya enciklopediya* / Gl. red. A. M. Prohorov. Moscow: Sovetskaya enciklopediya, 1988. T. 1. S. 285–286. (In Russ).
- 6 Liu, Y., Ning, Z., Chen, Y. et al. Aerodinamicheskij analiz SARS-CoV-2 v dvuh bol'nicah Uhanya. *Nature*. 2020; 582:557-560. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2271-3>

Авторская справка

Чипизубов Виталий Викторович

генеральный директор, руководитель лаборатории фильтровальных технологий, ООО «Криброл», Санкт-Петербург, Россия
e-mail: cribrol@mail.ru
ORCID 0000-0003-0654-8651

Сухонин Павел Николаевич

доктор философии, старший научный сотрудник, Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, Санкт-Петербург, Россия
e-mail: suhonin-p@yandex.ru
ORCID 0000-0002-6709-350X

Петраш Владимир Валентинович

доктор биологических наук, заслуженный изобретатель, профессор кафедры медико-биологических дисциплин, Университет «Реавиз», Санкт-Петербург
e-mail: vlapetrash@yandex.ru
ORCID 0000-0003-4209-3762