

Читать
онлайн
Read
onlineКапцов В.А.¹, Панкова В.Б.¹, Чиркин А.В.²

Риск многократного применения противогазных фильтров респираторов (обзор литературы)

¹ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт гигиены транспорта» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 125438, Москва, Россия;

²ООО «Бета ПРО», 111024, Москва, Россия

При защите работников от чрезмерного воздействия воздушных загрязнений, находящихся в газообразном состоянии, с помощью фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) их эффективность определяется в том числе своевременной заменой фильтров, поскольку срок службы любого фильтра ограничен. Если срок службы превышает продолжительность работы в загрязнённой атмосфере, фильтр может использоваться неоднократно. Но во время хранения накопленные в нём токсичные вещества могут десорбироваться и мигрировать к отверстию для выхода очищенного воздуха так, что сам фильтр может стать источником опасности. Риск зависит от свойств газа и фильтра, количества накопленного вредного вещества, длительности и условий хранения. Поскольку субъективная реакция органов чувств работника оказалась ненадёжным критерием оценки срока службы фильтра, её запретили использовать для этой цели (и при однократном, и при неоднократном применении фильтров).

При подготовке настоящего обзора были использованы публикации *Journal of the ISRP*; *National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)*; *US Occupational Health and Safety Administration (OSHA)*, Taylor & Francis, Springer, Oxford University Press; законодательные документы развитых стран, регламентирующие требования к применению СИЗОД; учебники и другие официальные источники.

Описаны немногочисленные научные исследования десорбции газов во время хранения фильтров, показывающие, что десорбция в опасной степени возможна при защите не только от органических соединений с низкой температурой кипения (T_k) (до 65°C), но и при большей T_k , а также при защите от некоторых неорганических веществ. Показано сильное несоответствие между небольшим объёмом доступной научной информации и многообразием возможных ситуаций, в которых работник потенциально подвергается опасности из-за десорбции.

К настоящему моменту для профилактики отравлений работников используют запрет на применение фильтров более одной смены при защите от легко десорбирующихся веществ; запрет неоднократного использования без разрешения изготовителя фильтров; ограничение длительности применения фильтров. Также рекомендуется при большом непрерывном сроке службы фильтров (более суток) ограничить их использование так, чтобы продолжительность применения (включая период хранения) не превышала срок службы.

Описаны математические модели для прогнозирования риска при применении фильтров.

Заключение. Даны рекомендации по улучшению защиты работников, включающие улучшение сертификационных требований СИЗОД, разработку требований к их использованию, обучение специалистов по охране труда и работников.

Ключевые слова: СИЗОД; противогазный фильтр; срок службы; токсичные газы; профессиональные заболевания; острые отравления; охрана труда; обзор

Для цитирования: Капцов В.А., Панкова В.Б., Чиркин А.В. Риск многократного применения противогазных фильтров респираторов (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2022; 101(2): 174-179. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-174-179>

Для корреспонденции: Капцов Валерий Александрович, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, руководитель отдела гигиены труда ФГУП «ВНИИ гигиены транспорта Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека», 125438, Москва. E-mail: kaptsova@mail.ru

Участие авторов: Капцов В.А. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста; Панкова В.Б. — обработка материала, написание и редактирование текста; Чиркин А.В. — сбор материала и редактирование текста. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 14.09.2021 / Принята к печати: 25.11.2021 / Опубликовано 10.03.2022

Valery A. Kaptsov¹, Vera B. Pankova¹, Alexander V. Chirkin²

The risk of multiple uses of respirator gas filters (literature review)

¹All-Russian Research Institute Hygiene of Transport the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, 125438, Russian Federation;

²LLC Beta PRO, Moscow, 111024, Russian Federation

If a worker uses filtering respirators to protect against toxic gases, the cartridges must be replaced promptly, as they have a limited service life. If the service life exceeds the length of the job, the cartridges can be reused in some cases. However, toxic substances can desorb and migrate during storage; and then be released into the inhaled air. So, the cartridges can become a source of hazard themselves. The risk depends on the properties of gases, cartridges, and the conditions in the workplace and during storage. The sensory response to inhaled gas has proven to be an unreliable indicator of the end of service life, and its use has been prohibited. We prepared this article using the results of a search for relevant information in *Journal of the ISRP*; publications of *National Institute for Occupational Safety and Health*, *U.S. Occupational Health and Safety Administration (OSHA)*, Taylor & Francis, Springer, Oxford University Press; western law requirements for respiratory protection, and textbooks.

The article describes the results of studies of gas desorption during cartridge storage. Researchers have found that hazards can occur when protecting against organic compounds with different boiling points and some inorganic substances. A significant difference is shown between the amount of available information and the possible reuses of the cartridges.

There are different ways to protect workers: prohibit the reuse of cartridges when protecting against most hazardous substances; prohibit reuse without the permission of the cartridges manufacturers; limit the duration of their use. If the service life is long enough, the cartridges may be used within their limits (including breaks for storage). Mathematical modelling for risk assessment is described, and recommendations for improved training and workers protection are provided. If a worker uses filtering respirators to protect against toxic gases, the cartridges must be replaced promptly, as they have a limited service life. If the service life exceeds the length of the job, the cartridges can be reused in some cases.

Nevertheless, toxic substances can desorb and migrate during storage; and then be released into the inhaled air. So, the cartridges can become a source of hazard themselves. The risk depends on the properties of gases, cartridges, and the conditions in the workplace and during storage. The sensory response to inhaled gas has proven to be an unreliable indicator of the end of service life, and its use has been prohibited.

The article describes the results of studies of gas desorption during cartridge storage. Researchers have found that hazards can occur when protecting against organic compounds with different boiling points and some inorganic substances. A significant difference is shown between the amount of available information and the possible reuses of the cartridges.

There are different ways to protect workers: prohibit the reuse of cartridges when protecting against most hazardous substances; prohibit reuse without the permission of the cartridges manufacturers; limit the duration of their use. If the service life is enough long, the cartridges may be used within its limits (including breaks for storage). Mathematical modeling for risk assessment is described.

Conclusion. Recommendations on improving the protection of workers have been given. They include: improvement of respiratory approval requirements, development of the law requirements for their use, training of occupational health and safety specialists and workers.

Keywords: respirator; cartridges & canisters; toxic gases; occupational diseases; acute poisonings; occupational health and safety; review

For citation: Kaptsov V.A., Pankova V.B., Chirkin A.V. The risk of multiple use of respirator gas filters (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(2): 174–179. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-2-174-179> (In Russ.)

For correspondence: Valery A. Kaptsov, MD., PhD, DSci., professor, RAS corresponding member, Head of Occupational Health Department, All-Russian Research Institute Hygiene of Transport the Federal Service for the Oversight of Consumer Protection and Welfare, Moscow, 125438, Russian Federation. E-mail: kaptsova39@mail.ru

Information about the authors:

Kaptsov V.A., <https://orcid.org/0000-0002-3130-2592> Pankova V.B., <https://orcid.org/0000-0002-3035-4710> Chirkin A.V., <https://orcid.org/0000-0003-3661-8323>

Contribution: Kaptsov V.A. – the concept and design of the study; writing a text, editing. Pankova V.B. – processing of material, writing a text, editing. Chirkin A.V. – collection processing of material, editing. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: September 14, 2021 / Accepted: November 25, 2021 / Published: March 10, 2022

Введение

Защита работников от токсичных газов может осуществляться с помощью фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД). В этих СИЗОД загрязнённый воздух проходит через фильтр, обычно наполненный сорбентом, и слои сорбента постепенно (последовательно, от отверстия для входа воздуха к выходному) насыщаются газом. При насыщении сорбента, находящегося у выходного отверстия, очистка ухудшается, и концентрация газа в выходящем воздухе растёт («проскок»). В англоязычной литературе период времени, в течение которого концентрация газа в очищенном воздухе не превышает предельно допустимой (ПДК), называют *service life* (срок службы) [1]. Он зависит от многих факторов. Необходимым (но не достаточным) условием защиты работника является замена фильтра до того, как он перестал очищать воздух в требуемой степени.

В прошлом веке для оценки срока службы широко использовали реакцию органов чувств работника на попадание газа в маску: запах, раздражение слизистых оболочек органов дыхания и глаз, привкус. Но оказалось, что этот способ ненадёжен. Субъективная реакция органов чувств может быть запоздалой из-за свойств газа (отсутствие заметного запаха), пониженной чувствительности работника, привыкания и отвращения внимания. Поиски более надёжных способов привели к тому, что в настоящее время основным методом является составление расписания замены фильтров. Путём вычислений или экспериментальных измерений работодатель получает приближённую оценку срока службы (для наихудших ожидаемых условий) и, несколько снизив полученную величину, составляет расписание [2]. Использование ненадёжной реакции органов чувств в развитых странах запрещено [3, 4]. Следует отметить, что в Российской Федерации оценка способности выявлять присутствие токсичного газа при опасной концентрации с помощью обоняния при медосмотрах не применяется [5].

Поиск информации об исследованиях десорбции в фильтрах СИЗОД и способов профилактики чрезмерного воздействия десорбированных газов проводился в *Journal of the International Society for Respiratory Protection*; публикациях NIOSH; OSHA; Taylor & Francis; Springler; Oxford University Press; требованиях законодательства развитых стран к замене фильтров и в западных учебниках по охране труда.

Причины и опасность неоднократного использования фильтров

В конкретных условиях использования СИЗОД срок службы фильтра зависит от многих факторов и может находиться в диапазоне от нескольких минут до сотен часов (см. таблицу).

Расчёты выполнены при расходе воздуха 50 л/мин, относительной влажности 50%, температуре 20 °С.

Возникает вопрос: если срок службы фильтра заметно превышает длительность работы, можно ли его использовать снова? Ответ на этот вопрос демонстрирует рисунок. При хранении фильтра газ *может* перемещаться в нём к отверстию для выхода воздуха, и при повторном применении его концентрация *может* сразу превысить ПДК.

Исследования

Исследование E. Valeu [7], изучавшего защиту от метанола на 4 моделях противогазных фильтров А1 с постоянной подачей воздуха 30 л/мин, показало, что при подаче в фильтр загрязнённого воздуха в течение 35–63% от времени, за которое при непрерывном использовании происходил «проскок», отмечается десорбция газа в опасной для работника степени.

После хранения (1 ч) через фильтры прокачивался чистый воздух (относительная влажность (ОВ) 75%, температура 22 °С). Концентрация метанола в «очищенном» воздухе могла достигать 786 мг/м³ (= 52 максимальной разовой ПДК_{мр}), а затем снижалась. Проводя эксперименты при разной концентрации газа (во время первого использования фильтра, когда он загрязнялся), автор сделал вывод, что опасность для работника зависит не от концентрации газа в окружающем воздухе, а лишь от дозы газа, накапливаемого фильтром, и предложил проводить проверку на десорбцию при сертификации фильтра.

В статье указана причина разделения фильтров «органические соединения» в Европейском союзе (ЕС) на два вида. В Российской Федерации также существуют фильтры А и АХ – для защиты от веществ с температурой кипения (Тк) выше и ниже 65 °С соответственно. Деление вызвано попыткой хоть как-то разделить вещества на более и менее склонные к десорбции, поскольку с ростом Тк риск десорбции в целом снижается. Граница 65 °С выбрана такой потому, что это позволило отнести метанол к более опасным веществам. Десорбция в опасной степени *может* возникнуть при защите

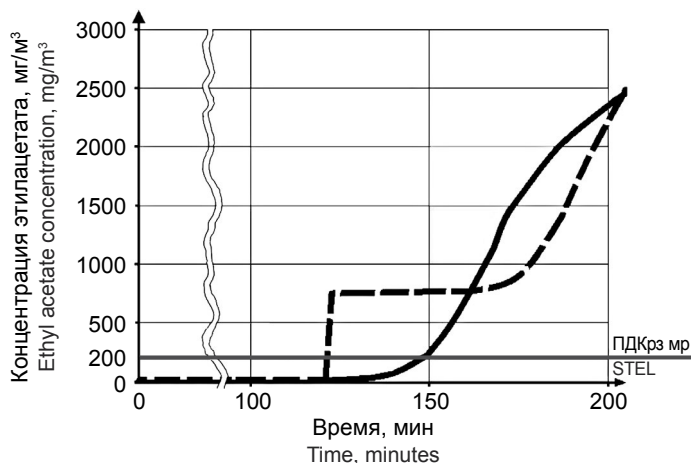
Примеры зависимости сроков службы одного и того же фильтра с сорбционной ёмкостью, меньшей чем у А1, от химического состава и концентрации токсиканта

Examples of the service lives of same cartridge (with the sorption capacity slightly lower than that of the A1); and the effect of airborne contaminant composition and concentration on the service life

Вещество Toxic substance	Срок службы при концентрации Service life at concentration		ПДК _{мр} , мг/м ³ STEL, mg/m ³	Порог запаха, мг/м ³ Odor thresholds, mg/m ³	
	10 ПДК _{мр} 10 STEL	50 ПДК _{мр} 50 STEL		ЗМ*	АИНА** (2 максимальных значения / two maximum values)
Гептан / Heptane	22 мин (minutes)	4 мин (minutes)	900	40.7	3000; 2240
Толуол / Toluene	145 мин (minutes)	32 мин (minutes)	150	0.613	1000; 590
Циклогексанон / Cyclohexanone	13 ч (hours)	175 мин (minutes)	30	0.078	800; 40
1,1,2,2-тетрахлорэтан / 1,1,2,2-tetrachloroethane	95 ч (hours)	23 ч (hours)	5	1.46	50; 20

Примечание. * ЗМ «Руководство по выбору фильтров» (2018); ** Обзор Американской ассоциации промышленной гигиены (США) (American Industrial Hygiene Association, АИНА). Murnane S.S., et al., eds. "Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards". 2 ed., American Industrial Hygiene Association, Falls Church, Virginia, 2013 [Мурнайн С.С. и др., ред. «Пороговые значения запаха для химических веществ с установленными стандартами гигиены труда» (2-е изд., Американская ассоциация промышленной гигиены, Фоллс-Черч, Вирджиния, 2013)].

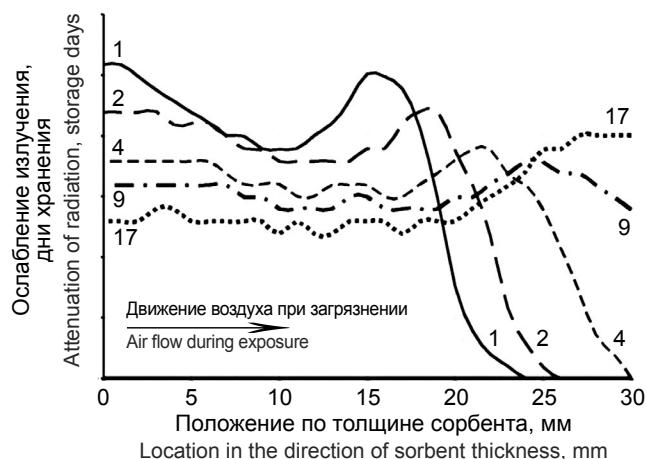
Note. * – ЗМ «Filter Selection Guide» (2018); ** – S.S. Murnane, et al. eds. "Odor Thresholds for Chemicals with Established Occupational Health Standards" (2 ed., American Industrial Hygiene Association, Falls Church, Virginia, 2013).



— — Применение в течение 2 ч, перерыв – 63 ч, затем следующее применение
Application for 2 hours, break – 63 hours, then the subsequent application

— — Применение без перерыва / No break

а



б

Зависимость эффективности фильтра от времени его использования:

а – концентрация газа в очищенном воздухе после применения фильтра непрерывно и с перерывом, Wood & Kissane, 1997;

б – результат рентгеновской томографии фильтра, хранившегося после загрязнения двумя газами [6].

The dependence of the filter efficiency on the time of its use: а – the concentration of gas in the purified air after applying the filter continuously and intermittently, Wood & Kissane, 1997; б – X-ray tomography of a filter stored after being contaminated with two gases [6].

от вещества с большей Ткип; а может отсутствовать при защите от веществ с меньшей Тк.

Ногі и Такака [8] изучали эти процессы при прохождении через имитатор фильтра этилацетата и толуола. Воздух прокачивали через имитатор фильтра (трубку диаметром 4 мм с углём), в нескольких экспериментах с перерывами 24 ч. По сравнению с непрерывным применением перерывы сократили срок службы фильтра при защите от этилацетата, а при защите от толуола (в условиях проведения экспериментов) значительных отличий не обнаружено.

Aitken и соавт. [9] исследовали изопропанол, циклогексан, а также толуол и гексан. Обнаружена миграция этих веществ в фильтре (в сторону отверстия для выхода очищенного воздуха) при перерывах до недели. Но концентрация изопропанола и циклогексана в выходящем воздухе (в условиях экспериментов) во всех случаях, кроме трёх, была

небольшой. Также изучалась защита от смеси двух газов, и оказалось, что срок службы (по сравнению с защитой от 1 газа) может снизиться более чем в 2,5 раза – из-за вытеснения одного газа другим из пор сорбента. Все измерения проводили, используя предварительно высушенные фильтры, относительная влажность прокачиваемого воздуха почти всегда не превышала 2,3%.

Linders и соавт. [10] изучали циклогексан и аммиак. Обнаружена возможность опасной десорбции циклогексана после хранения фильтра, особенно при увлажнении сорбента и ОВ воздуха 80%. Оказалось, что аммиак, улавливаемый за счёт хемосорбции (более прочной связи), десорбируется. При прокачивании через фильтр чистого воздуха сразу после прокачивания загрязнённого его концентрация могла заметно превышать ПДК_{рз}. Это согласуется с выводом Valeu [7]: опасная десорбция возможна и при защите от органических

веществ с высокой температурой кипения (у этилацетата Тк 77 °С, см. рисунок, а), и при защите от неорганических веществ.

Berezovska и соавт. [6] изучали миграцию органических веществ в фильтре во время хранения. Фильтр загрязнили четырёххлористым углеродом и гептаном. Компьютерная томография показала, что гептан, лучше удерживаемый сорбентом, постепенно вытеснил четырёххлористый углерод из пор, вытолкнув его к отверстию для выхода воздуха (см. рисунок, б). Повторное прокачивание воздуха не проводили. Авторы отметили, что часть работодателей, нарушая требования, используют фильтры повторно: вычисляют или измеряют сорбционную ёмкость фильтра и затем пытаются использовать её «по частям». При этом не учитывается ни миграция во время хранения, ни возможность вытеснения одного вещества другим (при защите от смеси газов), что создаёт опасность для работника.

Vuong и соавт. [11] попытались разработать математическую модель, описывающую миграцию газов в фильтре во время хранения. Изучали 6 веществ: ацетон, ацетонитрил, бутанон, дихлорметан, циклогексан, этанол. Использовали имитатор фильтра – трубку (диаметром 1 см, длина 10 см), заполненную углем из фильтра А2. После прокачивания воздуха по прошествии 7 дней хранения концентрации ацетона, ацетонитрила и дихлорметана на выходе из фильтра были значительными, особенно у двух последних веществ. Концентрации бутанона, циклогексана и этанола в условиях эксперимента были очень низкими даже после недели хранения. Авторы показали, что движение газа в фильтре во время хранения определяется в основном диффузией в поверхностном слое гранул сорбента. Оказалось, что перераспределение газа внутри фильтра может занимать много времени, и резкий рост концентрации при повторном использовании фильтра произойдёт не сразу, а с задержкой по времени. Для использования этой математической модели требовались достаточно сложные замеры параметров диффузии и сложные вычисления.

Математическое моделирование в США

Запрет на использование ненадёжной субъективной реакции органов чувств побудил проводить исследования для разработки способов вычисления срока службы противогазных фильтров. В США этим занималась преимущественно Лос-Аламосская национальная лаборатория, где создавалось ядерное оружие. В конце 1990-х годов появилась первая программа, вычислявшая срок службы фильтров при защите от одного из 120 газов. Последняя версия бесплатно доступной программы Multi Vapor вычисляет срок службы при защите от смесей газов (до 5 из более чем 230) в разных условиях. Программа универсальна, может применяться для любого фильтра с известными свойствами. Департамент охраны труда (OSHA) проверил качество расчётов и рекомендовал использовать Multi Vapor [2]. Крупные производители СИЗОД, используя алгоритм Multi Vapor, разработали свои программы и предлагают их потребителям с начала 2000-х годов.

Параллельно с работой над этой программой изучали десорбцию и миграцию газов во время хранения фильтров. Это позволило создать программу IBUR для расчёта концентрации газа в начальный момент повторного использования фильтра. Программа использует данные о фильтре, степени его загрязнения, длительности хранения. IBUR создана на базе Multi Vapor [12] и бесплатно доступна на сайте разработчика. Она охватывает большое число токсичных веществ и позволяет удобно и просто учесть особенности применения и хранения фильтра.

Но IBUR пока не прошла независимой проверки, и её использование в настоящее время не рекомендовано. Vuong и соавт. [11] показали, что математическая модель IBUR может не учитывать, что миграция газа к отверстию для выхода воздуха может происходить медленно. Потенциально про-

грамма может иметь и более серьёзный недостаток. Исследование [13] показало, что при защите от токсичных газов, которые плохо растворяются в воде, качество вычислений Multi Vapor может быть невысоким. Математическая модель плохо учитывает условия, в которых поры сорбента заполнены водой. Так как IBUR была разработана на базе Multi Vapor, этот недостаток может быть и у неё.

В целом обращает на себя внимание следующее. С одной стороны, в воздухе может присутствовать много вредных веществ в газообразном состоянии, для более 1100 из них разработаны ПДКрз¹. Фильтрующие СИЗОД могут использоваться для защиты от многих из этих веществ. На их способность десорбироваться и загрязнять очищенный воздух при повторном использовании влияет помимо Тк множество факторов. С другой стороны, все упомянутые исследования (кроме проведённых в Лос-Аламосе) охватили незначительную долю веществ и в большинстве случаев не позволяют учитывать различные условия в конкретных случаях использования СИЗОД (другие концентрации газов, температура и влажность воздуха, другой фильтр, длительность и условия хранения). Можно сказать, что риск при повторном использовании противогазных фильтров плохо изучен, что отмечали и авторы вышеприведённых статей. Это ограничивает разработку научно обоснованных и легко выполнимых на практике требований к использованию фильтров.

Требования законодательства к работодателю

Австралия. Стандарт по охране труда [14] запрещает использовать субъективную реакцию органов чувств для оценки необходимости замены фильтров, но при попадании газа в маску ранее ожидаемого времени предписывает покинуть рабочее место и проверить точность расписания замены фильтров. Работодатель обязан оценить условия применения СИЗОД и передать эту информацию изготовителю фильтров для определения периодичности их замены. Использование фильтра более 6 мес запрещено в любом случае.

Канада. Работодатель должен менять фильтры по показаниям индикаторов, сигнализирующих о приближении конца срока службы (ESLI), или по расписанию, составленному специалистом на основании информации, полученной от изготовителя фильтров [1]. (Справочно: фильтры с индикаторами *End of Service Life Indicator (ESLI)* в продаже практически отсутствуют.)

Европейский союз. Стандарт [15] предписывает работодателю собрать информацию об условиях использования СИЗОД, передать её изготовителю фильтров и заменять их так, как он укажет. Хотя фильтры АХ предназначены для однократного применения (что отражено в стандарте требований к ним), разрешается их повторное применение, если это допустит изготовитель.

Япония. Для оценки срока службы должна использоваться информация, полученная от изготовителя фильтра [16].

США. Правила, регулирующие защиту при работе с акрилонитрилом, бензолом, 1,3-бутадиеном и винилхлоридом, требуют, чтобы фильтры всегда заменялись в конце смены. При наличии индикатора ESLI и защите от бензола фильтры могут заменяться по его показаниям.

Во всех остальных случаях работодатель может использовать фильтры повторно. Для этого он должен согласовать свои действия с изготовителем фильтров (в письменном виде) и обязан включить подробное обоснование в свою программу респираторной защиты [2, 17].

Фактически отсутствие достаточно хорошей научной базы и разнообразие условий применения и хранения фильтров, а также их свойств побуждают законодателей перекладывать принятие решения на изготовителей фильтров.

¹ СанПиН 1.2.3685-21 URL: <https://base.garant.ru/400274954/#friends> (дата обращения: 30.11.2021 г.).

Влияние десорбции и требований к применению фильтров на их конструкцию

При одинаковых условиях на рабочем месте увеличение количества сорбента в фильтре увеличивает срок службы, а при повторном применении снижается концентрация газа в момент начала использования. Но при наличии ограничений (в частности, указание использовать фильтр не более 1 смены) применение фильтров с большим количеством сорбента бессмысленно — основная его часть не будет израсходована. Возникла тенденция делать маленькие фильтры, недорогие и одноразовые. Специалисты 3М (США) предложили допускать использование фильтра в течение периода времени, равного сроку службы. Например, если непрерывный срок службы фильтра составляет 36 ч, его можно использовать два дня подряд, но не в пятницу и понедельник [18].

Требования к противогазным фильтрам при сертификации

Стандарт ИСО [19] предусматривает три вида проверок способности фильтра удерживать уловленное вредное вещество. 1. Сначала через фильтр прокачивается загрязнённый воздух, а затем (без перерыва) чистый. 2. Через фильтр прокачивается загрязнённый воздух, после перерыва 64 ч (суббота + воскресенье) прокачивается чистый. 3. После прокачивания загрязнённого воздуха и перерыва 64 ч снова прокачивается загрязнённый. Третий вид проверки соответствует повторному применению фильтра. Но в ЕС требования к сертификационным испытаниям фильтров не предусматривают ни одной из этих проверок — ни для фильтров А (для защиты от органических веществ с $T_k > 65^\circ\text{C}$), ни для АХ ($T_k < 65^\circ\text{C}$).

На основании этого можно было бы предположить, что для защиты от веществ с $T_k < 65^\circ\text{C}$ необходимо использовать фильтры АХ, и лишь 1 раз, а при защите от веществ с $T_k > 65^\circ\text{C}$ — фильтры А. Но найти фильтры АХ в каталогах СИЗОД сложно, их не изготавливают. Таким образом, возможность изготавливать разные фильтры для веществ с разной способностью десорбироваться на практике не реализована. В США и Канаде нет деления фильтров для защиты от органических веществ на два вида.

Ситуация в Российской Федерации

О возможности десорбции уловленных газов было известно давно [20], и даже пробовали очищать полностью отработанные фильтры для повторного применения. Но при подготовке обзора [21] публикаций об опасности повторного использования фильтров мы не нашли. Может быть, это объясняется сочетанием нескольких причин. В противогазах довоенного производства использовался сорбент в виде крупных гранул, иногда более сантиметра. Перемещение газа с поверхности гранул к их средней части происходит сравнительно медленно, и за время работы в загрязнённой атмосфере средняя часть гранул не успевала насытиться молекулами вредного вещества. При хранении миграция шла в основном с поверхности к центру гранул, а не к отверстию для выхода воздуха: перерыв в использовании фильтра на несколько часов мог увеличить срок службы из-за появления свободных мест на поверхности гранул [22].

При использовании противогазных фильтров увеличение количества сорбента смягчает все проблемы. Эта особенность учитывалась в СССР: масса типичного фильтра противогаза составляла около 2 кг, а применение полумасок ограничивали случаями небольшого превышения ПДК_{рз}. Кроме того, подавляющее большинство случаев развития профзаболеваний не регистрировалось.

После 1991 г. процессы деградации затронули и систему охраны труда, и разработку СИЗОД. В результате, например, российский филиал 3М рекомендует использовать появление запаха в маске для замены фильтров, в то время как потребителям в других странах уже давно рекомендуют вычислять срок

службы для составления расписания его замен и использовать индикаторы ESLI. Публикации о СИЗОД обращают внимание читателей на значительную долю контрафактных² СИЗ на российском рынке. Вместе с тем нет информации, как избежать отравления работников из-за неправильного использования высококачественных, не контрафактных СИЗОД.

В развитых странах выбор и применение СИЗОД регулируются требованиями законодательства к работодателю, дополняющими требования к изготовителю в отношении качества респираторов, но в Российской Федерации таких требований нет. Однако западные специалисты по охране труда в отличие от отечественных специалистов могут обучаться с помощью учебников, написанных в соответствии с требованиями национального законодательства [2]. В таких условиях главным источником информации становится поставщик фильтров. Но в каталогах нет ни сведений о сроке службы, ни о допустимости неоднократного применения; лишь иногда советуют менять фильтры по появлению запаха в маске, а нередко ничего не советуют. В книгах, написанных специалистами по СИЗОД, могут быть рекомендации использовать фильтры, например, в течение месяца (то есть неоднократно) без объяснений, когда это допустимо, а когда нет, и как различать такие случаи.

Статьи 5 и 7 закона «О защите прав потребителей»³ обязывают поставщика товара сообщать срок его службы и гарантировать безопасность изделия в течение этого срока. Статья 225 Трудового кодекса Российской Федерации обязывает работодателя обучать работников правильно использовать СИЗОД, но в нашей стране работодатели полностью лишены информации по этому вопросу, и даже представления о существовании проблемы, что повышает риск отравления работников.

Необходимо прекратить сертификацию всех противогазных и комбинированных фильтров, производители и поставщики которых не предоставляют информации о своей продукции для определения срока её службы без использования субъективной реакции органов чувств. Также следует стимулировать разработку фильтров с индикаторами ESLI, ассортимент которых сильно сократился вопреки прогрессу в области датчиков, микроэлектроники и источников питания. А те небольшие производители, которые способны купить сорбент, насыпать его в ёмкость и сертифицировать, но не способны оценивать срок службы в разных условиях, обязаны выпускать фильтры таким образом, чтобы в них можно было устанавливать подходящие датчики для обнаружения газов, и предоставлять информацию об их свойствах для применения программ MultiVapor и IBUR.

Заключение

1. При использовании противогазных фильтров с перерывами возможна десорбция уловленных вредных веществ в концентрации, представляющих опасность для работника.
2. Полноценному изучению десорбции при многократном применении противогазных фильтров и определению срока, когда неоднократное применение недопустимо, мешает многообразие возможных условий применения и хранения фильтров в сочетании с многообразием их свойств.
3. Работодатели лишены адекватной информации о проблеме неоднократного использования противогазных фильтров СИЗОД, что повышает риск их несвоевременной замены.
4. Необходимо изменить систему сертификации СИЗОД, гармонизировать требования к их выбору и применению с лучшими зарубежными документами и организовать обучение специалистов по охране труда правильному применению фильтрующих СИЗОД при защите от газов [2, 4].

² По неизвестным причинам производители не используют современную упаковку, облегчающую распознавание контрафакта. Это может затруднить выявление причин отравления: низкое качество фильтра или запоздалая замена высококачественного фильтра «по появлению запаха в маске».

³ Закон РФ от 7 февраля 1992 г. № 2300-1 «О защите прав потребителей» URL: <http://zakonozpp.ru/zakonozpp.pdf> (accessed: July 15, 2021).

Литература

(п.п. 1, 2, 6–19 см. References)

3. Капцов В.А., Чиркин А.В. Совершенствование работоспособности фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания. *Медицина труда и промышленная экология*. 2021; 61(8): 497–502. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-8-497-502>
4. Капцов В.А., Чиркин А.В. Замена противогазных фильтров СИЗОД; 2019. Доступно: [https://ru.wikibooks.org/wiki/Замена_противогазных_фильтров_СИЗОД_\(лекция\)](https://ru.wikibooks.org/wiki/Замена_противогазных_фильтров_СИЗОД_(лекция))
5. Панкова В.Б. 2.2 Методы исследования верхних дыхательных путей. В кн.: Бухтияров И.В., Дайхес Н.А., ред. *Профессиональные заболевания ЛОР-органов*. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2021. <https://doi.org/10.33029/9704-6069-6-ENT-2021-1-544>
20. Андреев И. *Испытания противогазов Кумманта-Зелинского*. Петроград; 1918.
21. Капцов В.А., Чиркин А.В. Об эффективности средств индивидуальной защиты органов дыхания как средства профилактики заболеваний. *Токсикологический вестник*. 2018; (2): 2–6.
22. Купчинский П.Д. *Работа противогаса и его расчёт. Глава 2*. М.; 1937.

References

1. CSA Standard Z94.4-11. Selection, use, and care of respirators; 2012.
2. OSHA. Respirator Change Schedules; 2019. Available at: https://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/change_schedule.html
3. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. Improving the performance of filters for personal respiratory protection. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2021; 61(8): 497–502. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2021-61-8-497-502> (in Russian)
4. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. Respirator cartridge replacement (lection); 2019. Available at: [https://ru.wikibooks.org/wiki/Замена_противогазных_фильтров_СИЗОД_\(лекция\)](https://ru.wikibooks.org/wiki/Замена_противогазных_фильтров_СИЗОД_(лекция)) (in Russian)
5. Pankova V.B. 2.2 Methods of upper respiratory tract examination. In: Bukhtiyarov I.V., Daykhes N.A., eds. *Occupational Diseases of ENT-organs [Professional'nye zabolevaniya LOR-organov]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2021. <https://doi.org/10.33029/9704-6069-6-ENT-2021-1-544> (in Russian)
6. Berezovska I., Fettaka H., Salmon T., Toye D., Lodewyck P. Redistribution of a mixture of organic vapours inside an activated carbon filter. *Chem. Eng. J.* 2015; 280: 677–81. <https://doi.org/10.1007/s10450-017-9874-5>
7. Balieu E. Respirator filters in protection against low-boiling compounds. *J. Int. Soc. Resp. Protect.* 1983; 1: 125–38.
8. Hori H., Tanaka I. Breakthrough time of organic solvent vapors in adsorption column of activated carbon under intermittent airflow conditions. *J. UOEH*. 1993; 15(4): 267–75. <https://doi.org/10.7888/juoeh.15.267>
9. Aitken J., Apsley A., Hemingway M. Performance of organic vapour filters: Effects of discontinuous and multiple vapour exposures. Health and Safety Executive; 2005. Available at: <https://www.hse.gov.uk/research/rrhtm/rr322.htm>
10. Linders M.J.G., Baak P.J., van Bokhoven J.J.G.M. Exploratory investigation of the risk of desorption from activated carbon filters in respiratory protective device. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2007; 46(12): 4034–9. <https://doi.org/10.1021/ie060909b>
11. Vuong F., Marsteau S., Silvente E., Vallieres C. The role of static diffusion during storage in the immediate breakthrough of activated carbon bed cyclically exposed to vapour. *Adsorption*. 2017; 23(2–3): 443–54. <https://doi.org/10.1007/s10450-017-9874-5>
12. Wood G., Snyder J. Estimating reusability of organic air-purifying respirator cartridges. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2011; 8(10): 609–17. <https://doi.org/10.1080/15459624.2011.606536>
13. Abiko H., Furuse M., Takano T. Estimation of organic vapor breakthrough in humidified activated carbon beds: application of Wheeler-Jonas equation, NIOSH MultiVapor™ and RBT (Relative Breakthrough Time). *J. Occup. Health*. 2016; 58(6): 570–81. <https://doi.org/10.1539/joh.15-0244-OA>
14. Standard AS/NZS 1715:2009. Selection, use and maintenance of respiratory protective equipment. Joint Technical Committee SF-010. Sydney; 2009.
15. DIN EN 529:2006. Atemschutzgeräte – Empfehlungen für Auswahl, Einsatz, Pflege und Instandhaltung – Leitfaden. Brüssel, Europäisches Komitee für Normung; 2005. (in German)
16. JIS T 8150:2006. Guidance for selection, use and maintenance of respiratory protective devices. Tokyo: JSA; 2006.
17. OSHA Standard 29 CFR 1910.134. Respiratory Protection. Available at: <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/29/1910.134>
18. 3M Technical Data Bulletin #142. Reuse of Organic Vapor Chemical Cartridges; 2012.
19. Standard ISO 16900-04:2015. Determination of gas filter capacity and migration, desorption and carbon monoxide dynamic testing. Geneva: ISO; 2015.
20. Andreev I. *Tests of Kummant-Zelinsky Gas Masks [Ispytaniya protivogazov Kummanta-Zelinskogo]*. Petrograd; 1918. (in Russian)
21. Kaptsov V.A., Chirkin A.V. About efficiency of individual protection equipment of respiratory organs as prophylactics of diseases. *Toksikologicheskii vestnik*. 2018; (2): 2–6. (in Russian)
22. Kupchinskiy P.D. *Purification of Air in a Cartridge and its Calculation. Chapter 2 [Rabota protivogaza i ego raschet. Glava 2]*. Moscow; 1937. (in Russian)