

Изучение повторного использования противогазных фильтров СИЗОД при очистке ими воздуха от органических соединений *Reusability Study with Organic Vapor Air-Purifying Respirator Cartridges*

Авторы: Джерри Вуд и Ричард Киссан

[Национальная лаборатория в Лос-Аламосе](#)

Los Alamos National Laboratory, Mail Stop K-486, Los Alamos, NM 87345 Tel: (505) 667-9824, Fax: (505) 665-3689

Исследование финансировалось: DOE, и [Edgewood Research, Development and Engineering Center](#).

Реферат

При использовании противогазных фильтров СИЗОД с активированным углём (и других аналогичных фильтров) для защиты от органических соединений часто возникает вопрос – можно ли использовать их более одного раза после хранения (если при хранении через них не прокачивался воздух). Крайними случаями могут быть: (1) использовать только 1 раз, и затем заменить новым; (2) использовать многократно, считая, что фильтр будет очищать воздух. Мы попытались получить исходные данные и разработать метод (математическую модель) для определения того, когда повторное применение фильтра допустимо. (Для этого) мы изучали ухудшение защитных свойств имеющихся в продаже противогазных фильтров после их хранения в течение разных периодов времени. С помощью машины, имитирующей дыхание человека, через фильтры прокачивали три вещества: этилацетат, метилен хлорид и гексан (по отдельности). При обработке фильтров эти вещества прокачивали при разной концентрации, в течение разных периодов времени, и до достижения накопления в фильтре разного количества этих веществ. После хранения в течение определённых периодов времени, через фильтры снова прокачивали те же вещества при той же концентрации. (Оказалось, что) концентрация газа в выходящем из фильтра очищенном воздухе, сразу после начала повторного использования, зависит от длительности хранения фильтра; количества загрязнения, накопленного в фильтре во время первого использования, степени увлажнения сорбента, и слабо зависит от концентрации вредного вещества.

Введение

В течение 2 лет проводилось исследование для определения того, при каких условиях, если они вообще существуют, можно использовать противогазные фильтры СИЗОД повторно для защиты от органических соединений (в промышленности и армии). В первых исследованиях мы изучали противогазные фильтры MSA GMC-H «Органические соединения». При отсутствии информации о том, можно ли применять их неоднократно, лучше всего использовать их только 1 раз, и затем заменять новыми. Но означает ли это, что фильтр можно использовать только одну смену? Или – только один период использования (например, в течение смены)? Или – их можно использовать в течение 1 рабочей недели? Могут ли условия хранения повлиять на то, сколько раз можно использовать противогазный фильтр?

Получение ответов на эти вопросы может помочь улучшить защиту работников, и сэкономить деньги. Появилась тенденция – использовать фильтры (для защиты от органических соединений) неоднократно, т.к. это удобно и позволяет экономить средства. В промышленности, при использовании СИЗОД при окрасочных работах, чрезмерно интенсивное использование фильтров может создать серьёзные проблемы. Получение нами достоверной информации и её распространение – какой бы она не была – поможет проводить обучение и организовать правильное применение СИЗОД, уменьшит воздействие на работников растворителей и других органических веществ. Дополнительно, хотя это и менее важно, сведения о том, когда повторное применение возможно, помогут сэкономить средства. Потребуется покупать меньше фильтров, меньше их хранить, раздавать и выбрасывать.

Исследование проводилось для: а) получения экспериментальных данных о миграции органических соединений в противогазных фильтрах, используемых в Лос-Аламосе, после однократного и многократного использования и хранения в разных условиях; и б) разработать математическую модель, и компьютерную программу, позволяющую определить – можно ли использовать противогазные фильтры после первого применения и хранения второй раз, в зависимости от условий (химический состав загрязнений, их концентрация, относительная влажность воздуха, температура, длительность использования и хранения, и др.).

Экспериментальная часть исследования

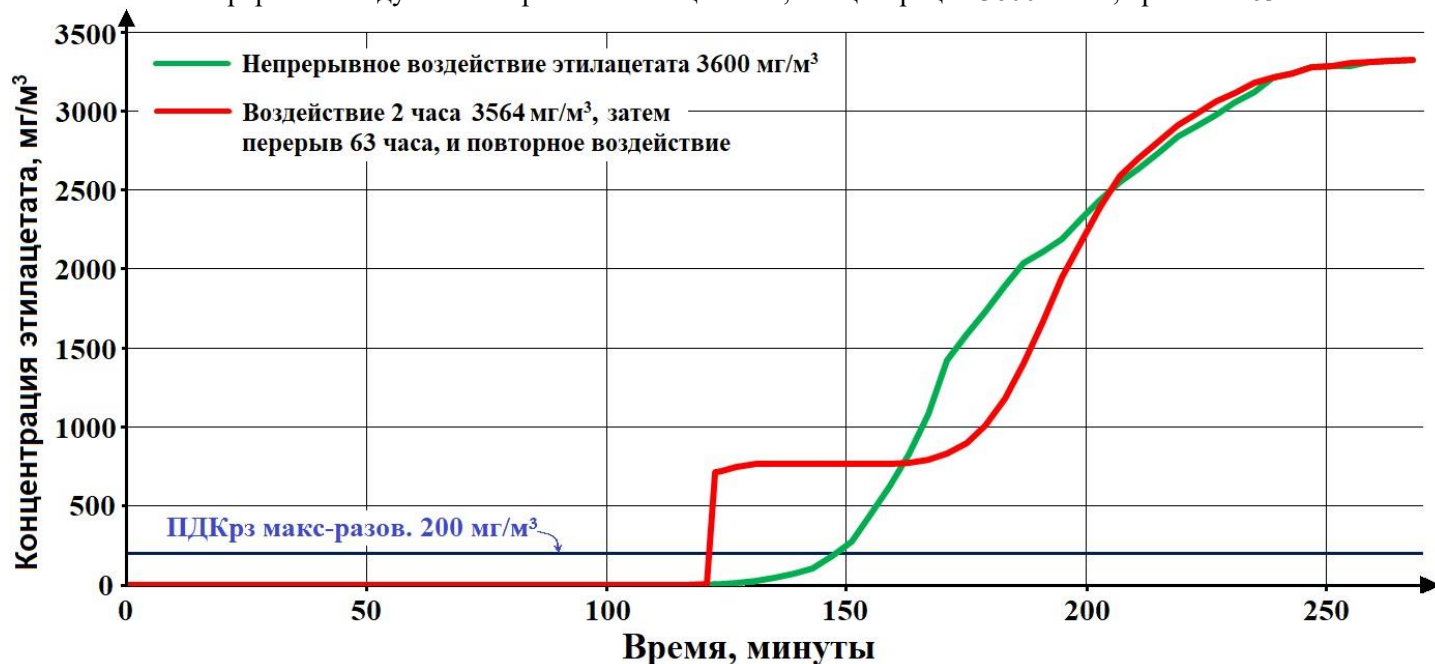
Мы сделали стенд, позволявший прокачивать через фильтр воздух, загрязнённый органическими соединениями в требуемой степени, и измерять концентрацию газов до и после фильтра (в том числе, при их повторном использовании). Стенд был размещён в месте, из которого воздух удалялся вентиляционной системой. Для контролируемого загрязнения воздуха, поступающего в фильтр, использовался дозатор – откалиброванный шприцевой насос (syringe pump). Для получения циклического движения воздуха через фильтр использовалась дыхательная машина. Для того, чтобы с интервалом около одной минуты измерять концентрацию газа, выходящего из фильтра, использовали фотоакустический инфракрасный анализатор. Собранный стенд был автоматизирован (включение, остановка и анализ результатов измерений). Результаты измерений концентрации автоматически передавались на компьютер для дальнейшей обработки. (При использовании фильтров с перерывами) их хранили в герметично закрывавшихся пластиковых пакетах, при окружающей температуре и давлении воздуха.

Обычно измерения проводили так: брали фильтр в заводской упаковке, открывали её, взвешивали фильтр, устанавливали фильтр на стенд между генератором паров и измерителем. Предварительно дыхательную машину и насос регулировали так, чтобы они обеспечивали требуемый расход воздуха (25 л/мин) и подачу жидкого органического соединения (соответствующего концентрации в газообразном виде 0,1% по объёму, 1000 частей по объёму на миллион, ppm). Для начала замера насос и дыхательную машину включали одновременно. Для обнаружения появления газа в очищенном воздухе его концентрацию непрерывно измеряли, примерно 0,5 – 2 часа (после включения, при использовании фильтра первый раз). После этого фильтр снимали со стенда, взвешивали повторно, и упаковывали в герметичный пластиковый пакет для хранения требуемое время. После хранения, фильтр снова устанавливали на стенд, и повторно подвергали воздействию загрязнённого воздуха при той же концентрации газа. Измерение роста загрязнённости очищенного фильтром воздуха велось до тех пор, пока концентрация не стабилизировалась, достигая максимума (приближаясь к концентрации в поступающем в фильтр загрязнённом воздухе). В конце испытания фильтра его снимали со стенда и взвешивали в третий раз – чтобы определить, сколько газа он поглотил при полном насыщении сорбента при используемой концентрации загрязнителя.

Результаты

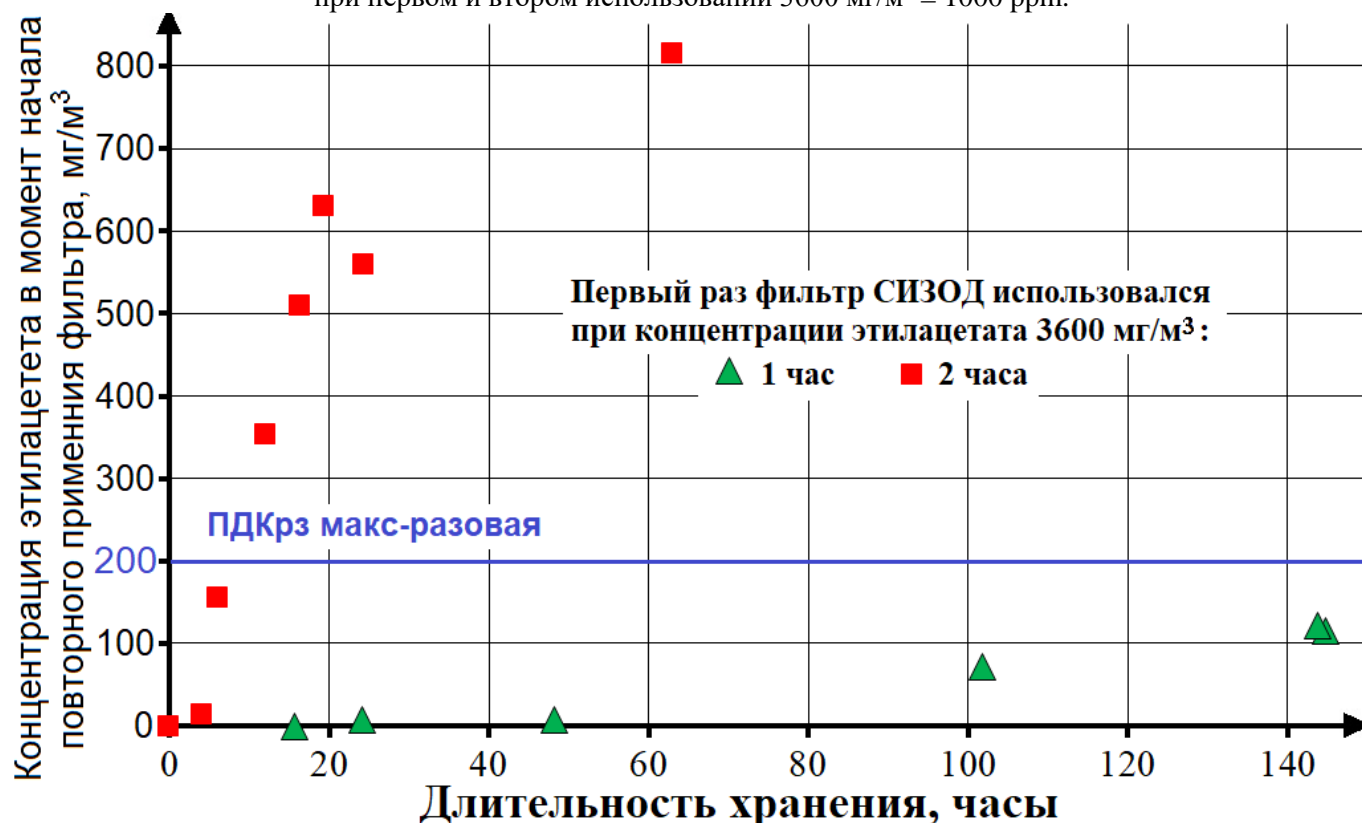
Первым результатом было то, что мы показали, что проблема опасности повторного использования фильтров при защите от органических соединений - существует. На Фиг. 1 показан пример (при воздействии этилацетата, Ткип 77 град С, ПДК_{ср} среднесменная 50 мг/м³, макс-разовая 200 мг/м³). Газ при концентрации 1000 ppm (3600 мг/м³) непрерывно прокачивали через фильтр GMC-H 6 часов, получилась плавно искривляющаяся кривая (зелёная). (Другой) график (красная кривая) получен путём перерыва в использовании фильтра на 63 часа (суббота + воскресенье), при хранении воздух через фильтр не прокачивался. При повторном воздействии газа его концентрация была 990 ppm (3564 мг/м³). При начале повторного использования, среднее значение первых пяти замеров загрязнённости очищенного воздуха было 200 ppm (720 мг/м³), что значительно больше концентрации на выходе из фильтра в конце первого периода его использования, непосредственно перед прекращением воздействия - 2 ppm (7,2 мг/м³).

Фиг. 1. Пример того, как может изменяться концентрация газа в очищенном воздухе при использовании фильтра с и без перерыва. Воздух был загрязнён этилацетатом, концентрация 3600 мг/м^3 , хранился 63 часа.



Изучение влияния длительности хранения и того, сколько накопилось газа в фильтре при первом использовании, сначала провели при воздействии этилацетата. На Фиг. 2 показаны результаты — средние значения загрязнённости очищенном воздухе после хранения фильтра в течение разных периодов времени. Для вычисления этих значений мы брали результаты пяти последних замеров загрязнённости воздуха перед перерывом в использовании фильтра; вычисляли среднее значение, и вычитали его из среднего значения первых пяти результатов измерений после начала повторного использования фильтра. Первый раз фильтр использовался или 2 часа при концентрации 990-1026 частей на миллион ppm (3564 - 3694 мг/м^3); или же 1 час при концентрации 1008-1077 ppm (3629 - 3877 мг/м^3). При хранении фильтра 4 часа после более сильного загрязнения (использование первый раз 2 часа) — концентрация газа в очищенном воздухе быстро возрастала. А при меньшем первом загрязнении (использование 1 час) концентрация газа в очищенном воздухе заметно отличалась: она росла значительно медленнее, и достигала схожей величины лишь при хранении в течение 16 часов.

Фиг. 2. Концентрация этилацетата в очищенном воздухе в момент начала повторного использования. Влияние длительности хранения фильтра и того, сколько фильтр накопил газа при первом использовании. Квадратные маркеры — первое использование 2 часа, треугольные — первое использование 1 час; концентрация этилацетата при первом и втором использовании $3600 \text{ мг/м}^3 = 1000 \text{ ppm}$.

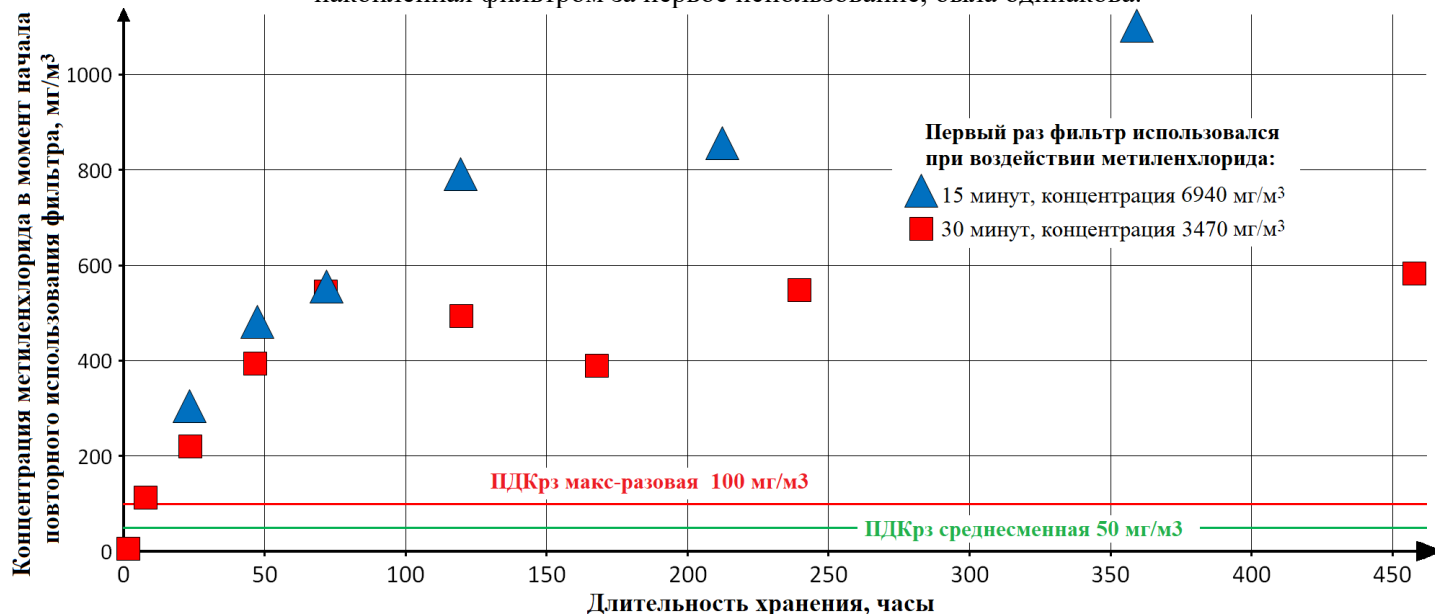


Затем мы изучали метиленхлорид (Т кипения 40 град С, ПДКрз среднесменная 50 мг/м³, макс-разовая 100 мг/м³). Его молекулярная масса схожа с молекулярной массой этилацетата, но это вещество более летучее. Его широко используют как растворитель. ПДКрз этого вещества (в США, PEL) была снижена Управлением по охране труда ([OSHA](#)) с 500 до 25 ppm (с 1735 → 87 мг/м³) 10 апреля 1997 г., так что теперь случаи чрезмерного воздействия при повторном использовании будут происходить чаще.

Изучали то, как влияет (на загрязнённость очищенного воздуха) концентрация метиленхлорида при первом использовании. На Фиг. 3 показаны (результаты) двух серий измерений. Газ прокачивали через фильтр первый раз 15 или 30 минут, при концентрации 2000 или 1000 ppm (6940 или 3470 мг/м³), то есть на фильтр воздействовала одна и та же доза газа – 30 000 ppm×мин (104 100 мг/м³×мин). Концентрация газа в воздухе, подаваемом в фильтр после хранения, была такой же, как и при первом использовании. Первым полученным результатом было то, что концентрация газа при первом использовании, и хранении фильтра в течение до 72 часов – не влияет на загрязнённость очищенного воздуха после начала использования. (Некоторые) наблюдавшиеся отличия в загрязнённости очищенного воздуха могли объясняться тем, что при повторном использовании загрязнённость подававшегося в фильтр воздуха была не вполне одинакова. Во-вторых, при повторном использовании фильтра значительное изменение загрязнённости воздуха обнаружилось только после 2 часов хранения фильтра. При удвоенном первоначальном загрязнении фильтра (концентрация газа 2000 ppm / 6970 мг/м³ в течение 30 минут) загрязнённость воздуха при повторном использовании тоже быстро возрастала (через 1 час), и очень сильно (800 ppm = 2776 мг/м³).

Фиг. 3. Концентрация метиленхлорида в очищенном воздухе в момент начала повторного использования.

Влияние длительности хранения фильтра и того, какая была концентрация газа при первом использовании. Квадратные маркеры – первое использование 30 минут при концентрации 1000 ppm = 3470 мг/м³, треугольные – первое использование 15 минут при концентрации 2000 ppm = 6940 мг/м³; в обоих случаях доза метиленхлорида, накопленная фильтром за первое использование, была одинакова.

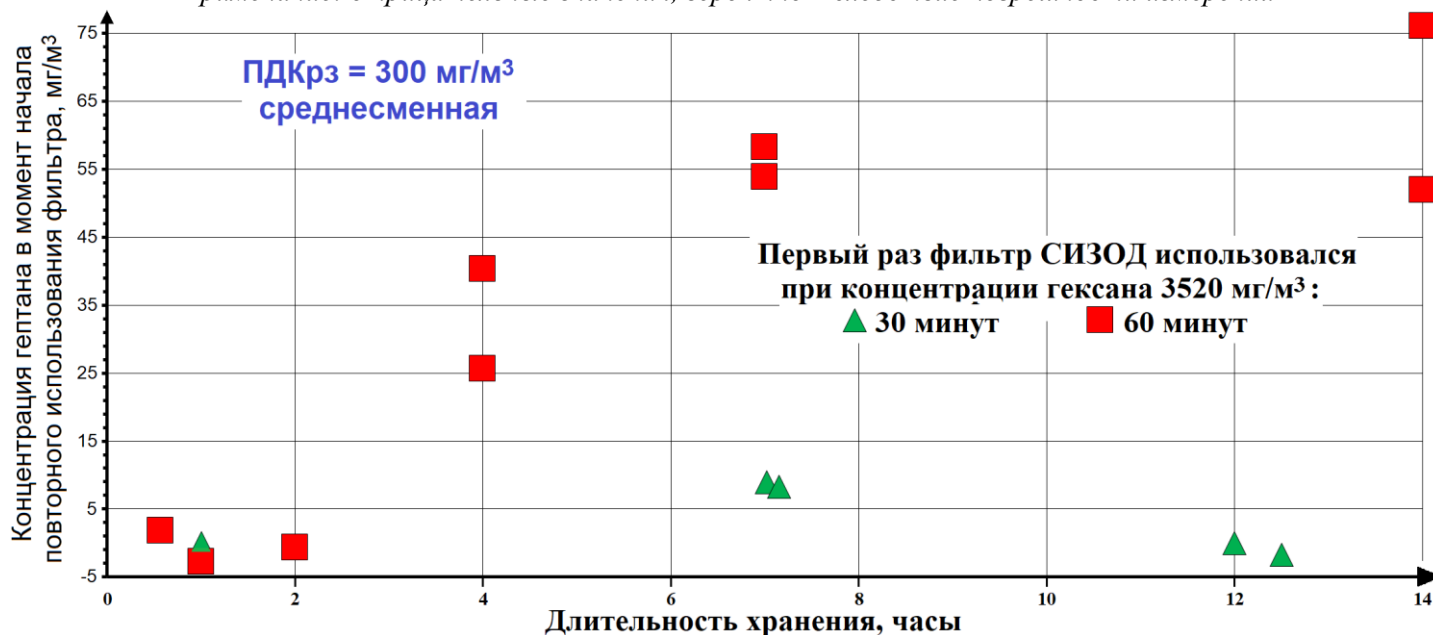


Третьим газом, который мы изучали, был гексан (Т кипения 68 град С, ПДКрз = 300 мг/м³ среднесменная и 900 мг/м³ макс-разовая). На Фиг. 4 показано, какой была концентрация газа в очищенном воздухе сразу после начала повторного использования, при первом использовании при концентрации 1000 ppm = 3600 мг/м³, и воздействии в течение 0,5 и 1 часа. Фильтры хранили до повторного использования до 14 дней. При этом, если фильтры хранили до 2-3 дней, то никаких изменений в загрязнённости очищенного воздуха (при повторном использовании) не наблюдалось.

Также мы провели предварительное исследование того, как влияет на загрязнённость очищенного воздуха и предварительное увлажнение фильтра, и увлажнение сухого фильтра влажным загрязнённым воздухом. Два фильтра увлажнили предварительно, прокачивая через них воздух при относительной влажности 63-68% в течение часа. Затем через них прокачивали воздух, загрязнённый гексаном при концентрации 1000 ppm = 3520 мг/м³ в течение 1 часа. А два других фильтра подвергли воздействию воздуха, загрязнённого гексаном при той же концентрации, и относительной влажности 53-55% (уже без предварительного увлажнения). На Фиг. 4 показаны результаты: при использовании фильтра повторно, и воздействии сухого воздуха, концентрация гексана в очищенном воздухе в начале повторного использования после хранения в течение 3 дней: 4 ppm = 14,1 мг/м³. При использовании предварительно увлажнённых фильтров, и при воздействии влажного воздуха, получили 32 ppm = 112,6 мг/м³ и 11 ppm = 38,7 мг/м³ соответственно.

Фиг. 4. Концентрация гексана в очищенном воздухе в момент начала повторного использования. Влияние длительности хранения фильтра и количества газа, накопленного фильтром при первом использовании. Квадратные маркеры – первое использование 1 час при концентрации 1000 ppm = 3520 мг/м³, треугольные – первое использование 0,5 часа при той же концентрации; при повторном использовании та же концентрация.

Примечание: отрицательные значения, вероятно – следствие погрешности измерений



Выводы

Мы показали, что при повторном использовании фильтра загрязнённость воздуха может возрасти по сравнению с непрерывным использованием фильтра в течение такого же времени. Это было установлено для трёх разных веществ при разных условиях. После первого воздействия, концентрация газа при повторном использовании была тем больше, чем дольше хранился фильтр (Фиг. 2-4). На то, какой была загрязнённость воздуха в момент начала повторного использования, и скорость роста загрязнённости воздуха, влияло то, какой был химический состав загрязнений, и то, как много газа было накоплено фильтром при первом использовании. А то, какова была концентрация газа при первом использовании (при одинаковом количестве накопленного фильтра газа), влияло несильно.

Рост загрязнённости воздуха после хранения был наибольшим у метилхлорида (более летучее вещество) и наименьшим у гексана (наименее летучее вещество).

При воздействии на фильтр влажного воздуха, загрязнённого гексаном, эффект от перерыва в использовании фильтра был более значительным. А при воздействии влажного загрязнённого воздуха на предварительно увлажнённые фильтры – эффект был ещё больше.

Результаты проведённых измерений показывают, что на опасность чрезмерного воздействия при повторном использовании фильтра влияют: количество вредного вещества, накопленного фильтром при первом использовании; длительность перерыва между первым и вторым использованием; свойства вредного вещества; влажность (сорбента и загрязнённого воздуха). Были получены количественные результаты для трёх газов. На основании этих данных будет разрабатываться математическая модель, позволяющая предсказать, как будет протекать миграция уловленных молекул в фильтре во время хранения (следующий этап исследования). Затем мы будем изучать как (указанные выше) параметры и условия хранения влияют на миграцию, и что может её уменьшить.

Примечание к переводу: позднее Дж. Вуд сделал программу IBUR (Immediate Breakthrough Upon Reuse) <http://gerryowood.com/service-life-estimation-computer-programs.html> которая позволяет учесть свойства газа, свойства фильтра, и другие параметры для оценки опасности чрезмерного воздействия при повторном применении фильтра. Эта программа пока не прошла независимой проверки, и её использование пока не предлагается работодателям Управлением по охране труда (а ранее сделанная программа Вуда MultiVapor рекомендована для применения работодателям в США). Описание метода вычислений и программы IBUR приводится в статье:

Gerry O. Wood and Jay L. Snyder. [Estimating Reusability of Organic Air-Purifying Respirator Cartridges](#). *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* (2011)V. 8(10): 609-617. doi 10.1080/15459624.2011.606536 Бесплатно доступна копия статьи <http://gerryowood.com/uploads/3/4/7/2/34729297/joeh11.pdf>

В РФ, ряд авторов книг о СИЗОД систематично заявляет, что фильтры с большим количеством сорбента могут использоваться, например, месяц. Это автоматически предполагает неоднократное применение фильтров. Сама возможность десорбции уловленных ранее газов и их попадание во вдыхаемый воздух даже не упоминается.