

IOH-RS-BR-SR-2005-0005
United States Air Force AFIOH

IOH-RS-BR-SR-2005-0005



UNITED STATES AIR FORCE
AFIOH

Estimating Organic Vapor Cartridge Service Life

David S. DeCamp, Captain, USAF, BSC
Joseph Costantino, Major, USAF, BSC
Jon E. Black, Captain, USAF, BSC

20051114 021

November 2004

Approved for public release;
distribution is unlimited.

Air Force Institute for Operational Health
Risk Analysis Directorate
Health and Safety Division
2513 Kennedy Circle
Brooks City-Base TX 78235-5116

Прогнозирование времени защитного действия (ВЗД) противогазных фильтров СИЗОД «Органические соединения»

Estimating Organic Vapor Cartridge Service Life

Авторы: Дэвид ДеКамп, Джозеф Константино, Джон Блэк

(David S. DeCamp, Captain, USAF, BSC Joseph Costantino, Major, USAF, BSC Jon E. Black, Captain, USAF, BSC)

*Air Force Institute for Operational Health Risk Analysis Directorate Health and Safety Division 2513 Kennedy Circle
Brooks City-Base TX 78235-5116*

Ноябрь 2004

Получено разрешение на публикацию документа; распространение не ограничивается.
Approved for public release; distribution is unlimited.

REPORT DOCUMENTATION PAGE			Form Approved OMB No. 0704-0188
Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing this collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.			
1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)	2. REPORT DATE November 2004	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED Final	
4. TITLE AND SUBTITLE Estimating Organic Vapor Cartridge Service Life		5. FUNDING NUMBERS	
6. AUTHOR(S) DeCamp, David. S., Captain Costantino, Joseph, Major Black, Jon. E., Captain		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER IOH-RS-BR-SR-2005-0005	
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Air Force Institute for Operational Health Risk Analysis Directorate Health and Safety Division 2513 Kennedy Circle Brooks City-Base, TX 78235-5116		10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER	
9. SPONSORING / MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)		10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER	
11. SUPPLEMENTARY NOTES			
12a. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT Approved for public release; distribution is unlimited.		12b. DISTRIBUTION CODE	
13. ABSTRACT (Maximum 200 words) Respirator cartridge change-out schedules depend upon many factors such as the contaminant, airborne concentration, humidity, temperature cartridge, and worker characteristics. End of service life indicator (ESLI) estimator calculators have been created by several cartridge manufacturers including 3M, North, and MSA. This technical report details background information pertaining to cartridge change-out schedules with regard to OSHA and Air Force requirements and manufacturer calculators which may be used to establish cartridge change-out schedules.			
14. SUBJECT TERMS Respirator, Cartridge Change-Out, Cartridge Service Life, End of Service Life Indicator, Breakthrough		15. NUMBER OF PAGES 58	
17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT Unclassified		16. PRICE CODE	
18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE Unclassified	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT Unclassified	20. LIMITATION OF ABSTRACT UL (unlimited)	

Предисловие к переводу

В интернет можно найти немало разных сайтов и форумов, где обсуждают вопрос – как вовремя заменить противогазные фильтры у респиратора? Если посмотреть учебники по охране труда и технике безопасности, то можно увидеть, что всем СИЗ вместе отводится очень мало места; а вопрос замены противогазных фильтров обычно не рассматривается вообще. Авторы учебников, в лучшем случае, перечисляют типы фильтров и описывают, от чего они защищают.

Если посмотреть требования национального законодательства, регулирующего выбор и применение СИЗОД работодателем, то указаний по замене фильтров нет и там – ни в «Типовых отраслевых нормах бесплатной выдачи...» (где фильтрующие СИЗОД фактически приравниваются к валенкам и телогрейкам), ни в «Методике снижения классов (подклассов) труда при обеспечении работников ... эффективными средствами индивидуальной защиты ...». Трудно понять, чем руководствовались авторы второго документа, так как очевидно, что если фильтры не будут заменяться вовремя, то говорить об «эффективности» просто бессмысленно. В [ГОСТ 12.4.299-2014](#), в разделе 10, указано что СИЗОД следует использовать в соответствии с указаниями изготовителя, а в разделе 12 – что замена фильтров производится по указаниям изготовителя. Таким образом, и специалисты по охране труда, и работники – не имеют никакой подготовки в области выбора и использования СИЗОД, и единственным источником информации для них становятся указания компетентных и ответственных специалистов с предприятий-изготовителей. Что же они советуют?

Иногда – вообще ничего; иногда указания более подробны, например: «... фильтры заменяются тогда, когда работник почувствует запах вредного вещества под маской, головокружение, недомогание, ... (+ *другие признаки отравления*)». Если работник способен почувствовать запах вредного вещества при концентрации, несколько меньшей 1 ПДК_{рз}, то замена фильтров будет выполнена вовремя. Но при прохождении предварительного медосмотра (перед началом работы в загрязнённой атмосфере) работников не проверяют, могут ли они чувствовать запах вредного вещества при не опасной концентрации, или нет; и Минздрав не разработал соответствующих методик. Кстати сказать, среди авторов указаний «менять по запаху», похоже, нет специалистов в области чувствительности органа обоняния человека. Такие рекомендации могут быть не очень хорошо обоснованы.

Имеется и альтернативная информация. Результаты научных исследований, проводившихся в СССР, США и многих других странах показали, что у разных людей разная чувствительность органа обоняния. Например, в одном из исследований формальдегида люди реагировали (в среднем) при концентрации 1/16 от ПДК_{рз}. В другом – при концентрации свыше 1000 ПДК_{рз}. У разных веществ разные свойства, и – как отметили разработчики австралийского стандарта, регулирующего выбор и применение СИЗОД в этой стране – «одни вредные газы вызывают реакцию органов чувств работника до превышения ПДК_{рз}, другие – не вызывают; поэтому использование реакции органов чувств как способ определения необходимости заменять фильтры – не позволяет надёжно защитить рабочих (*по крайней мере, часть из них – прим.*)». Замена по запаху использовалась в США в середине прошлого века, но с одним условием: вредные вещества разделили на две группы – с «хорошими предупреждающими свойствами», и остальные. Если вредное вещество вызывало реакцию органа обоняния; вызывало раздражение слизистой оболочки глаз, органов дыхания, или раздражение кожи при концентрации, меньшей 1 ПДК_{рз} – его считали веществом с «хорошими предупреждающими свойствами», и разрешали применять фильтрующие противогазы для защиты от него. Но к концу 20-века выяснилось, что среди людей есть некоторая доля с очень низкой чувствительностью. Обнаружилось, что небольшая простуда может резко снизить чувствительность органа обоняния; и что работа в загрязнённой атмосфере при концентрации газа менее 1 ПДК_{рз} приводит к понижению чувствительности органа обоняния (т.е. он привыкает к присутствию газа во вдыхаемом воздухе, и потом уже не реагирует при опасной концентрации).

В связи с этим в 1990-х в США, а затем и в других развитых странах – использование реакции органа обоняния на запах как главного способа определения необходимости заменять фильтры – запретили вообще. Если, по каким-то причинам, работник чувствовал запах – он должен был менять фильтры; но при выполнении работодателем требований законодательства к выбору и применению фильтрующих СИЗОД в полном объёме такие случаи не должны происходить, или же бывают как исключение. Западные поставщики продают не только товар (ёмкость с активированным углём) – но и услугу: возможность использовать его в соответствии с требованиями охраны труда. Если СОТ в США знает условия труда работника, он может определить время защитного действия фильтров (например, с помощью бесплатно доступных компьютерных программ) и менять их по расписанию – вовремя. Ведутся работы и над созданием индикаторов окончания срока службы фильтров ([обзор 1](#); [обзор 2](#)).

В то же время российские поставщики, пользуясь неподготовленностью потребителя, не всегда дают ему достоверную информацию (если вообще дают), перекладывая решение проблемы на людей, которые в большинстве случаев не имеют никакой возможности решить её своими силами. Наличие проблемы может маскироваться тем, что из-за различия в индивидуальной чувствительности работников, часть из них может отравиться (в разной степени), а часть заменит фильтры вовремя – используя одинаковые СИЗОД в одинаковых условиях.

Хотя этот документ не новый, и написан не как учебник, он может быть интересен российским СОТам как источник альтернативной информации по теме. Часть упомянутых в документе недостатков – сейчас уже устранена (например, программы могут вычислять время защитного действия при защите от смеси разных веществ).

Примечание

Во всех случаях, когда документы правительства США используются не для тех целей, для которых они создавались, Правительство США не несёт никакой ответственности (и не имеет никаких обязательств). Содержание этих документов не должно (прямо или косвенно) истолковываться как лицензирование каких-то лиц, компаний; или как передача каких-либо прав или разрешений на производство, использование или продажу любого запатентованного изобретения, которое может быть каким-либо образом связано с ним.

Упоминание в документе компаний, продукции, программ – сделано лишь для иллюстрации, и не является ни одобрением, ни рекомендацией использовать их.

Управление по связям с общественностью рассмотрело этот доклад, и он может быть передан в Национальную службу технической информации, где он будет доступен для широкой общественности, включая иностранных граждан.

Этот отчет был рассмотрен и одобрен для публикации.

Правительственные учреждения и их подрядчики, зарегистрированные в Центре технической информации по обороне (DTIC), должны направлять запросы на копии в Центр технической информации по обороне, 8725 John J. Kingman Rd., STE 0944, Ft. Belvoir, VA 22060-6218.

Неправительственные учреждения могут приобрести копии этого отчета у: Национальной службы технической информации (NTIS), 5285 Port Royal Road, Springfield, VA

David S. DeCamp (*Industrial Hygiene Consultant*), David R. Carpenter (*Chief, Health and Safety Division*)

Оглавление

[Введение](#)

[Требования законодательства к замене противогазных фильтров](#)

[Фильтры для защиты от аэрозолей](#)

[Вредные вещества, для защиты от которых нельзя использовать противогазные фильтры «органические соединения»](#)

[Рекомендации на основе накопленного опыта](#)

[Использование информации \(о ВЗД\) для аналогичных химических веществ](#)

[Непосредственное экспериментальное измерение ВЗД как наилучший способ получения информации для замены фильтров по расписанию](#)

[Использование информации от изготовителей фильтров](#)

[Математическое моделирование](#)

[Защита от смесей вредных веществ](#)

[Программы для вычисления ВЗД](#)

[Ограничения](#)

[Список литературы](#)

Приложения

[1. Блок-схема оценки ВЗД противогазного фильтра](#)

[2. Требования законодательства США \(к замене фильтров при работе с некоторыми вредными веществами\)](#)

[3. Измерение эффективности СИЗОД на рабочем месте](#)

[4. Приспособления для отбора проб воздуха, имеющиеся в продаже для разных масок, продающихся в США](#)

[5. Изготовители СИЗОД \(список\)](#)

[6. Факторы, влияющие на составление расписания замены фильтров](#)

[7. Вычисления ВЗД с помощью уравнения Вуда](#)

[8. Внесение поправок для учёта относительной влажности воздуха и концентрации органического растворителя](#)

[9. Таблица ВЗД при воздействии вредных веществ, полученная с помощью уравнения Вуда](#)

[10. Пример \(OSHA\) – как использовать матмодель \(таблицы\)](#)

[11. Пример \(OSHA\) – как использовать матмодель \(уравнение\)](#)

[12. Как вычислять ВЗД для смесей газов](#)

[13. Основные особенности программ, используемых для расчёта ВЗД \(на 2004 г.\)](#)

[14. Для каких вредных веществ можно вычислить ВЗД с помощью программ, предлагаемых поставщиками и производителями СИЗОД](#)

[15. Сравнение ВЗД, вычисленных с помощью программ разных производителей СИЗОД, и программы OSHA](#)

[16. Прогнозирование ВЗД при воздействии на фильтр ракетного топлива JP-8](#)

[17. Параметры некоторых противогазных фильтров](#)

Введение

Время защитного действия противогазного фильтра СИЗОД – период времени, в течение которого фильтр обеспечивает требуемый уровень защиты работника. После того, как сорбционная ёмкость фильтра исчерпана (сорбент насытился воздушными загрязнениями), последние начинают проходить сквозь фильтр и попадают в маску, что принято называть «просококом» (*breakthrough*). Если замена противогазных фильтров проводится по (правильно составленному) расписанию, то это позволит работнику менять фильтры до того, как произойдёт проскок – без использования (субъективной) реакции органов чувств на воздействие вредных веществ. Адекватное расписание замены фильтров должно быть и удобным, и обеспечивающим замену фильтров до того, как загрязнённость очищенного воздуха превысит ПДКрз. В [приложении 1](#) показана диаграмма для составления расписания.

Реакция органов чувств работника на воздействие вредных веществ (запах, вкус, раздражение и т.п.) плохо подходит для использования в качестве признаков необходимости заменять фильтры, так как они ненадёжны. В Руководстве по выбору респираторов (*Respirator Decision Logic*), разработанному Национальным институтом охраны труда (NIOSH) в 1987 г., вкратце описано разнообразие концентраций, при которых органы чувств у разных людей реагируют на присутствие вредных веществ (различие больше чем на 2 порядка). Имеются и другие проблемы: при длительном воздействии вредных веществ при их низкой концентрации происходит ослабление чувствительности органов чувств, «привыкание». Чувствительность может снизиться при обычной простуде и других заболеваниях. Если внимание работника сосредоточено на выполняемой работе, он может не отреагировать на воздействие вредных веществ (вовремя). Поскольку у разных людей очень разная индивидуальная чувствительность к воздействию вредных веществ (концентрация реагирования органа обоняния), и из-за проблем при измерении этой концентрации – лучшим способом замены противогазных фильтров является их замена по расписанию, даже если они используются для защиты от таких вредных веществ, у которых адекватные «предупреждающие свойства» (*т.е. работник чувствует запах, привкус, раздражение при концентрации, меньшей 1 ПДКрз – прим.*).

Разработано несколько (видов) противогазных фильтров, которые предупреждают работника о необходимости их замены. (Однако) сейчас в продаже очень мало фильтров, у которых есть сертифицированный Национальным институтом охраны труда (NIOSH) индикатор окончания ВЗД (*end-of-service life indicator, ESLI*). С такими индикаторами изготавливают фильтры для защиты от паров ртути, монооксида углерода, сероводорода, и оксида этилена. В таких фильтрах (может быть) полоска на боковой стороне, и участок в центре отверстия для входа загрязнённого воздуха, в которых размещена индикаторная бумага. Эта бумага обработана химическими веществами так, что при воздействии загрязнений при использовании фильтра она меняет цвет. Это изменение является признаком того, что ВЗД завершается, и фильтр пора менять. В результате работник может в любой момент времени проверить, можно ли продолжать работать с этим фильтром.

Требования законодательства к замене противогазных фильтров

Управление по охране труда (OSHA) в стандарте 29 Code of Federal Regulations (CFR) 1910.134(d)(3)(iii) (требует от работодателей) обеспечивать работников для защиты от газов и паров фильтрующими СИЗОД или с фильтрами, у которых есть индикатор ВЗД (ESLI), сертифицированный NIOSH (для того вредного вещества, от которого защищается работник); или разработать и выполнять расписание замены фильтров, основанное на объективной информации или каких-то достоверных сведениях, позволяющих обеспечить замену фильтров до того, как истечёт ВЗД.

В параграфе 4.2.2.10 стандарта (*AFOSH Standard 48-137, Respiratory Protection Program*) написано, что использование фильтрующих СИЗОД разрешается только тогда, когда у них есть надёжный индикатор окончания ВЗД (который предупредит работника о необходимости менять фильтры), или если замена фильтров проводится по расписанию. Такое расписание должно составляться на основе информации о ВЗД, и учитывающей возможность десорбции (если фильтр будет использоваться более 1 смены); ожидаемой концентрации загрязнений; характера использования СИЗОД; длительности воздействия вредных веществ; и того, будет ли воздействие вредных веществ, для которых ПДКрз не установлены. В последнем случае *Bioenvironmental Engineering* (BE) должен определить, может ли СИЗОД обеспечить защиту, и адекватно ли расписание замены фильтров.

Также в параграфе 7.3.3.6 этого стандарта указано, что работник обязательно должен быть обучен; в том числе, он должен знать, как заменять противогазные фильтры у фильтрующих СИЗОД. А параграф 9.3.3.4 требует, чтобы в (конкретных) инструкциях (по выполнению работы с применением) СИЗОД включались (для работника) критерии того, когда необходимо заменять противогазные фильтры. По поводу того, как (вообще) допускается заменять фильтры, в параграфе 8.4.2 стандарта сказано, что противогазные фильтры должны заменяться, если:

- (a) увеличилось сопротивление дыханию;
- (b) работник почувствовал запах/вкус вредного вещества, или вызванное вредным веществом раздражение;
- (c) по показаниям индикатора окончания ВЗД (ESLI);

- (d) в соответствии со стандартом Управления по охране труда (OSHA) по защите от того вещества, которым загрязнён воздух (если такой стандарт имеется);
- (e) по указаниям *Bioenvironmental Engineering* (BE).

При использовании противогазных фильтров для защиты от таких веществ, для которых Управление (OSHA) разработало специальные стандарты по охране труда (*аналог СанПиН в РФ*), замену фильтров следует проводить так, как указано в таких стандартах (там есть информация, см. [приложение 2](#)).

Фильтры для защиты от аэрозолей

В стандарте США, определяющем обязанности работодателей в части выбора и организации использования СИЗОД (29 CFR 1910.134), про периодичность замены противоаэрозольных фильтров не сказано ничего; он регулирует замену только противогазных фильтров. У противоаэрозольных фильтров по мере их применения происходит загрязнение волокон, и оно обычно повышает степень очистки воздуха. Их заменяют при повреждении, загрязнении или при увеличении сопротивления дыханию. Кроме того, те противоаэрозольные фильтры, которые не предназначены для защиты от аэрозолей масел, не должны использоваться для защиты от них. В США у таких (не маслостойких) фильтров маркировка «N», а в ЕС и РФ в маркировке нет буквы «L». В публикации Института охраны труда (NIOSH) в 1996 г. (*NIOSH 1996 Publication 96-101, Guide to the Selection and Use of Particulate Respirator*) рекомендуется заменять противоаэрозольные фильтры тип «R» (классификация США, ограниченно маслостойкие фильтры) не реже чем через 8 часов – если они использовались для защиты от аэрозолей масел. Большинство изготовителей рекомендует использовать их (маслостойкие) фильтры тип «P» (классификация США) не более 40 часов (применения в загрязнённой атмосфере); и не более 30 дней (используется более строгое ограничение).

Вредные вещества, для защиты от которых нельзя использовать противогазные фильтры «органические соединения»

Противогазные фильтры «органические соединения» очень плохо улавливают такие вещества как метанол, дихлорметан, сероуглерод, метилхлорид, ацетон и метилацетат. Из-за маленького ВЗД для защиты от таких веществ следует использовать другие сорбенты. Чтобы фильтры лучше улавливали определённые вещества, активированный уголь насыщают такими химическими соединениями, которые улавливают молекулы вредного газа за счёт хемосорбции. При хемосорбции между молекулами газа, загрязняющими воздух, и молекулами вещества, которым насытили активированный уголь, возникают более прочные связи, чем при адсорбции. И такие связи обычно не разрываются (со временем). Фильтры, в которых для очистки воздуха используется хемосорбция, обычно можно использовать повторно, без каких-то проблем. А при использовании фильтров (классификация США) «кислые газы», «аммиак/метиламин», и других, где используется хемосорбция, с ростом относительной влажности работа фильтра обычно улучшается.

Рекомендации на основе накопленного опыта

Для оценки ВЗД противогазных фильтров опубликованы разные рекомендации, основанные на результатах наблюдений. Эти правила очень не универсальны, и не могут использоваться во всех случаях. Кроме того, они не применимы к очистке воздуха от неорганических газов – таких как диоксид серы и сероводород. Конкретно:

- (a) Если температура кипения вредного вещества выше чем 70 град С, а концентрация не превышает 20 частей на миллион по объёму ppm, то можно ожидать, что ВЗД достигнет 8 часов и более (при нормальных условиях работы);
- (b) ВЗД обратно пропорционально расходу воздуха;
- (c) При уменьшении концентрации вредного вещества в 10 раз ВЗД возрастает в 5 раз;
- (d) При относительной влажности более 85% ВЗД сокращается на 50%;
- (e) С ростом температуры воздуха на 10 град С ВЗД снижается на 1-10%;
- (f) ВЗД прямо пропорционально количеству активированного угля в фильтре.

Так как эти «эмпирические правила» учитывают лишь (небольшую) часть параметров, например концентрацию и температуру кипения, то они очень субъективны. А для выполнения требований национального законодательства США (*OSHA standard 29 CFR 1910.134 Respiratory Protection*), работодатель обязан использовать объективную информацию. Для достоверного определения ВЗД можно использовать три способа: симитировать применение фильтра; использовать указания изготовителя, или использовать (математическую) модель изготовителя фильтра.

Использование информации (о ВЗД) для аналогичных химических веществ

В соответствии с Приложением А к (CPL 2-0.120), если есть достоверная информация о ВЗД какого-то вещества, и если необходимо определить ВЗД (или возможность миграции уловленных молекул к отверстию для выхода очищенного воздуха – во время хранения перед повторным использованием) для другого аналогичного вещества, то такую информацию можно использовать. В целом, по мнению Управления (OSHA), использование информации по аналогичным веществам даёт менее точный результат, чем другие (рекомендуемые Управлением) способы; и этот способ следует использовать только тогда, когда нет никакой другой информации. (Специалисты) Управления считают, что использование информации по схожим веществам не приведёт к ошибке (запоздалой замене из-за ошибочно большого ожидаемого ВЗД), если достоверные сведения о ВЗД при защите от вредного вещества с меньшей молекулярной массой будут применяться как источник информации о ВЗД для аналогичного вещества с большей молекулярной массой – если последнее содержит лишь дополнительные метильные или фенольные группы. А использование сведений о ВЗД при защите от вещества с большей молекулярной массой для оценки ВЗД при защите от аналогичного вещества с меньшей молекулярной массой – недопустимо.

Непосредственное экспериментальное измерение ВЗД как наилучший способ получения информации для замены фильтров по расписанию

В идеале, расписание замены фильтров должно основываться на точно измеренном значении ВЗД (при испытании фильтра в лаборатории в условиях, точно имитирующих условия на рабочем месте). Однако обычно проведение таких испытаний затруднено или вовсе невозможно; оно занимает много времени и требует больших затрат для получения информации для рабочих мест с не одинаковыми условиями работы. В [приложении 3](#) обсуждается использование этого способа.

В США сертификация противогазных фильтров (тип «органические соединения») проводится в Институте охраны труда (NIOSH, единственный орган по сертификации СИЗОД). Они должны соответствовать требованиям стандарта (*сертификационным, измерение ВЗД - это другое. – прим.*) 42 CFR 84 *Approval of Respiratory Protective Devices*. Универсальный, стандартный метод измерения ВЗД фильтров – не существует. Тем не менее, и Управление по охране труда, и Агентство по охране окружающей среды (OSHA & EPA) разработали свои рекомендации по определению ВЗД; их можно найти по ссылкам:

- (a) <http://www.osha-slc.gov/SLTC/etools/respiratory/oshfiles/h049.html>
- (b) <http://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/testing/testing.html>

Использование информации от изготовителей фильтров

В принципе, никто лучше изготовителей фильтров не знает того, какие свойства у этих изделий. Но они могли не проводить измерений ВЗД своих фильтров в тех именно условиях, которые имеются на рабочих местах на Вашем предприятии; и при защите от именно тех вредных веществ, с которыми сталкиваются Ваши сотрудники. Поэтому изготовители могут не располагать информацией о ВЗД, которая необходима Вам для составления адекватного расписания. Информация о ВЗД фильтра одного изготовителя основана на свойствах его изделия, она не применима для оценки ВЗД фильтра другого изготовителя (используемого в точно таких же условиях), так как у фильтров могут быть разные свойства (например, использовался активированный уголь с разным объёмом микропор). В некоторых случаях сведения о ВЗД фильтров некоторых изготовителей в определённых условиях можно получить не у изготовителей, а, например, в тех организациях, где их использовали; в коммерческих ассоциациях и объединениях; в профсоюзных организациях; у производителей химической продукции; в научных организациях.

В списке продукции, сертифицированной Институтом охраны труда (NIOSH) в сентябре 2001 г., перечислено 78 поставщиков и изготовителей СИЗОД. Не все из них изготавливают СИЗОД с противогазными фильтрами; а те, кто изготавливает – обеспечивают разную степень (послепродажной) поддержки своей продукции. В [приложении 5](#) приводится перечень изготовителей фильтрующих СИЗОД (неполный).

Математическое моделирование

С помощью математического моделирования, вычислений, можно – с разной степенью точности – прогнозировать ВЗД противогазных фильтров СИЗОД. Существуют разные методы расчёта ВЗД, некоторые из них сложно использовать. Некоторые из параметров (уравнений) используемые при вычислениях, не раскрываются изготовителями фильтрующих противогазных СИЗОД. К сожалению, нет одного такого параметра вредного вещества (например – температура кипения, (парциальное) давление паров, молекулярная масса, поляризуемость и т.п.) и сорбента, которые бы определяли сорбционную способность фильтра, и позволяли однозначно определить ВЗД. В [приложении 6](#) рассмотрены факторы, влияющие на срок службы противогазных фильтров.

В целом, математические модели для вычисления ВЗД можно (условно) разделить на 2 вида: «предсказывающие» и «описательные». Предсказывающие прогнозируют ВЗД, используя для этого физические и химические свойства вредных веществ; а описательные используют (теоретические) математические уравнения, параметры и способ использования которых корректируют так, чтобы они соответствовали результатам измерений. Предсказывающие полезны для первой, приближённой оценки того, может ли фильтр защитить от какого-то нового вредного вещества. Если, например, математическая модель показывает, что ВЗД (конкретного фильтра «органические соединения», в конкретных условиях) будет меньше 20 минут, то вероятно, этот фильтр вряд ли пригоден для использования (для защиты от такого вещества, и в таких условиях).

Специалист Национальной лаборатории в Лос-Аламосе, Джерри Вуд, занимаясь математическим моделированием очистки воздуха фильтрами СИЗОД с 1980-х, разработал предсказывающую модель. В [приложении 7](#) показано её использование. Предсказывающий метод использует меньше информации для прогнозирования ВЗД, чем описательные, и из-за этого у при использовании предсказывающих методов ошибки получаются чаще. Математическая модель Вуда сейчас позволяет вычислять ВЗД только при относительно сухом воздухе (влажность до 50%). Учёт влияния влажности – сложная проблема, и сейчас нет опубликованных материалов, где бы описывалась предсказывающая матмодель, учитывающая влажность. Модель Вуда не позволяет вычислять ВЗД для смеси газов, и для неорганических газообразных загрязнений. (*Примечание к переводу: с момента публикации этого документа Вуд улучшил метод вычислений – можно вычислять ВЗД для влажного воздуха (но точность не всегда высокая); для смеси газов, для неорганических загрязнений; и даже то, можно ли применять фильтры второй раз*). Сравнение результатов вычислений с результатами измерений показало, что с погрешностью $\pm 50\%$ они совпадают с доверительной вероятностью 95%.

Во вступлении к стандарту Управления по охране труда, регулирующему выбор и применение СИЗОД, сказано, что «вероятно, прогнозирование ВЗД не является альтернативным способом определения ВЗД для работодателей; и при его использовании следует давать большой запас для безопасности при составлении расписания замены фильтров». Поэтому нежелательно использовать результат вычислений (с помощью модели Вуда) без какого-нибудь экспериментального подтверждения правильности результатов вычислений; и/или вводя запас для безопасности, скажем, снижая ВЗД в 2 раза (как минимум) по сравнению с вычисленным.

Влияние влажности воздуха на ВЗД при защите от органических соединений зависит от относительной влажности, концентрации вредных веществ, их летучести (*способности переходить в газообразное состояние из жидкого*) и их способности растворяться в воде. По данным, полученным Гари Нельсоном в лаборатории им. Лоуренса в Ливеморе в 1976 г., при предварительной выдержке противогазных фильтров при относительной влажности 90% и использовании их при этой же влажности загрязнённого воздуха, ВЗД уменьшалась из-за увлажнения активированного угля. По его данным, по сравнению со случаем влажности воздуха (при выдержке до использования и во время применения) 50% ВЗД при влажности 90% составило лишь 48%. На основе небольшого числа экспериментальных исследований, специалисты Управления рекомендовали учитывать влияние влажности, снижая ВЗД в 2 раза при относительной влажности 65% (по сравнению с ВЗД при влажности 50%). А если относительная влажность превышает 85%, Управление рекомендует измерить ВЗД экспериментально, или использовать какой-то другой метод для оценки ВЗД. В [приложении 8](#) показано, как 3М рекомендует использовать поправочные коэффициенты при повышенной влажности воздуха (с учётом летучести вредного вещества).

На сайте Управления имеется 2 результата использования математической модели Джерри Вуда. Первое — это таблица (см. [приложения 9](#) и [10](#)) значений ВЗД для химических веществ при их разных концентрациях. Значения ВЗД в таблицах вычислены для стандартных/типичных (*generic*) характеристик фильтра (значения «по умолчанию») и введённых значений условий на рабочем месте. Поэтому данные из таблицы не являются точной оценкой ВЗД. Программа OSHA "Advisor Genius" ([приложение 11](#)) позволяет пользователю вводить конкретные значения исходных данных для более точного вычисления ВЗД. А если какие-то данные неизвестны, то можно (как и в таблице, см. выше) использовать значения «по умолчанию». Кроме того, программа "Advisor Genius" позволяет вычислять ВЗД для любого вредного органического вещества, которое при комнатной температуре находится в жидком состоянии, и для которого известны некоторые из свойств (параметры, используемые при вычислениях).

Защита от смесей вредных веществ

(В 2004 г. было) сложно составлять расписание замены противогазных фильтров с помощью математического моделирования ВЗД, если СИЗОД использовался для защиты от смеси вредных веществ. При воздействии на фильтр смеси его ВЗД меньше, чем при воздействии одного вещества. Самый точный способ определения ВЗД в этом случае – экспериментальное измерение. Сейчас (2004 г.) нет надёжного способа предсказания ВЗД, если воздух загрязнён смесью вредных веществ. Тем не менее, Управление (OSHA) в своей инструкции для государственных инспекторов, в которой определён порядок проверки того, как работодатель выбирает и применяет СИЗОД (*Compliance Directive CPL 2-0.120, Inspection procedures for the Respiratory Protection*

Standard) написано, что если ВЗД для отдельных веществ в смеси отличаются меньше, чем на порядок, то следует сложить концентрации веществ вместе. То есть, предполагается, что (в этом случае) смесь ведёт себя как одно вещество (а суммирование концентраций позволяет учесть снижение ВЗД). А если ВЗД у отдельных веществ отличаются больше чем в 10 раз, то для определения ВЗД смеси необходимо взять наименьшее из значений ВЗД для составных частей смеси. Однако неизвестно, насколько хорошо эти простые рекомендации позволяют учесть взаимовлияние отдельных веществ друг на друга при очистке воздуха, загрязнённого их смесью.

По данным исследования Корина Роббинса, ВЗД для отдельных веществ в смеси зависит от их молярной доли в смеси. Молярная доля вещества в смеси равна его концентрации (по объёму, выражается в частях на миллион, ppm), поделенной на общую концентрацию всех веществ в смеси. ВЗД по отдельным веществам в смеси вычисляют, умножая его молярную долю на спрогнозированное ВЗД для смеси – когда смесь рассматривается как одно вещество. Иными словами, этот метод вычислений показывает, когда первое вещество из веществ, составляющих смесь, достигнет на выходе концентрации, равной ПДКрз. В [приложении 12](#) приводится пример вычислений ВЗД для смеси.

В описательных моделях для определения параметров, позволяющих вычислить ВЗД по формулам, используют результаты экспериментальных измерений. Если удалось подобрать такие параметры, которые делают результаты расчётов схожим с результатами экспериментов, то можно вычислять ВЗД и для тех случаев, для которых эксперименты не проводили. Качество математической модели зависит от точности результатов экспериментальных замеров; и некоторые из описательных моделей могут не учитывать часть факторов, способных сильно повлиять на ВЗД (например – относительную влажность и температуру воздуха и т.п.).

Описательная математическая модель Юна-Нельсона предполагает, что на графике (горизонтальная ось – время, вертикальная – отношение концентрации в очищенном воздухе к концентрации в загрязнённом воздухе) у каждого из веществ кривая изменения относительной загрязнённости очищенного воздуха имеет сигмообразную (ζ) и притом симметричную форму. При концентрации вредного вещества в очищенном воздухе от 0 до 50% от его концентрации в загрязнённом воздухе, результаты измерений хорошо соответствуют сигмообразному графику. Но при большей относительной концентрации вредного вещества в очищенном воздухе, различия между экспериментом и расчётом возрастают, результаты измерений становятся не симметричными. Эти отличия усиливаются при маленькой проскоковой концентрации и большой относительной влажности. Математическая модель Юна-Нельсона (\pm) точнее, чем Джерри Вуда. Но для использования первой необходимо сначала определить ряд параметров, которые зависят от сочетания свойств фильтра, относительной влажности, температуры, и вредного вещества – экспериментально. Если Вам необходимо определить ВЗД для известных условий использования СИЗОД, то компания (Nelson Research Inc. in Monterey, California, <http://www.millernelson.com/>, phone number: 831-6471551) может за плату определить и необходимые параметры, и ВЗД фильтра, который Вы используете, для конкретных условий его применения на рабочем месте.

Программы для вычисления ВЗД

Компьютерные программы становятся основным средством для определения ВЗД противогазных фильтров СИЗОД. Поэтому важно знать, когда они позволяют получить точный результат, а когда погрешность вычислений возрастает, и какие у них ограничения. Большинство программ несложно использовать. Пользователь видит окно с полями для ввода или выбора значений концентрации вредного вещества, химического состава загрязнений, вида фильтра, значения ПДКрз, температуры и относительной влажности воздуха, расхода воздуха у работника. В наиболее качественных программах пользователя просят ввести атмосферное давление, выбрать коэффициент безопасности и (*integrate the specific relative humidity as a parameter*). Так как в эти программы не заложены условия на конкретном рабочем месте, то точность результатов их вычислений зависит от точности вводимых исходных данных (расход воздуха у работника, концентрация вредного вещества, температура и относительная влажность воздуха). В [приложениях 13](#) и [14](#) описаны свойства программ для вычисления ВЗД, а в [приложении 15](#) сравнивается вычисленное и измеренное ВЗД для некоторых моделей противогазных фильтров.

Первой программой, которую предложили использовать потребителю производители СИЗОД, стала Respirator Service Life Software (компания 3M, математическая модель Джерри Вуда). Она была выпущена

вскоре после внесения изменений в требования к работодателю, определяющих порядок выбора и использования СИЗОД (*standard OSHA 29 CFR 1910.134 Respiratory Protection*). Математическая модель Вуда также используется в программе Управления по охране труда (OSHA) "Advisor Genius". В этой программе заложены параметры противогазного фильтра (по умолчанию), но при желании пользователь может вводить их сам, используя информацию о них, полученную от изготовителя. Ввод конкретных свойств используемого фильтра повышает точность вычисления ВЗД. Программа для вычисления ВЗД (компания AO Safety) "Merlin" – это электронная таблица. Может вычислять ВЗД и для неорганических газов, и для органических соединений, и она тоже использует математическую модель Вуда. На экране одновременно отображаются и вводимые данные, и результат вычислений, а также список вредных веществ. В программе "esLife" (компания North Safety), по желанию, пользователь может для каждого случая вычисления ВЗД дополнительно вводить данные о месте работы и должности сотрудника (использующего СИЗОД). После вычисления ВЗД результат может быть распечатан, и тогда в нём отображается и то, для какого сотрудника и какого рабочего места выполнялись расчёты. Компания Willson распространяет свою программу для определения ВЗД только на CD дисках, и в ней используется математическая модель Нельсона. Эта же матмодель использована компанией Survivaир для программы "Air Purifying Respirator Cartridge Service Life Program", вычисляющей ВЗД для воздействия органических соединений. Компании Moldex, US Safety и Scot не предлагают потребителям никакого программного обеспечения для определения ВЗД, а лишь предоставляют им таблицы. Компания MSA декларировала, что её программа "Cartridge Life Expectancy Calculator" вычисляет ВЗД с погрешностью не более 25%.

Потребители должны знать особенности используемого ими программного обеспечения. Например, в некоторых программах бывает сложно найти вредное вещество в списке веществ. (На английском языке) метилэтилкетон может иметь разные названия (*methyl ethyl ketone; MEK; 2-butanone*). Поэтому поиск по одному из названий в одних программах позволит найти это вещество, а в других – нет. Тогда лучше использовать универсальный уникальный идентификатор вещества – его номер CAS. Но некоторые программы не позволяют искать вещество по этому номеру. У программ есть и другие особенности, требующие проявлять внимание. Например, в США есть стандарт по охране труда (аналог санитарных норм в РФ) по работе с бензолом, где описаны требования к выбору и использованию СИЗОД. Поэтому некоторые программы, с учётом конкретных требований по этому веществу – не вычисляют ВЗД при воздействии бензола – или предупреждают пользователя о наличии конкретных требований Управления по охране труда по использованию СИЗОД для защиты от этого вещества. То есть, если программа вычислит ВЗД, и это ВЗД будет больше чем ограничения при работе с бензолом, то использование вычисленного значения приведёт к нарушению действующих требований охраны труда, и при проверке работодатель может быть оштрафован. Лишь небольшая часть программ предусматривает защиту от ошибок при вводе исходных данных – если пользователь ввёл такие большие концентрации, которые превышают значения мгновенно-опасных (IDLH, в США запрещено использовать фильтрующие СИЗОД при большой концентрации, при которой кратковременное воздействие может привести к смерти или необратимому значительному ухудшению здоровья). Значения ПДКрз и мгновенно-опасных концентраций, а также содержание стандартов по охране труда (по работе с вредными веществами) могут изменяться с течением времени. Следовательно, не все программы во всех случаях достаточно точны в этом отношении.

В большинстве программ пользователя предупреждают о возможности десорбции вредного вещества, или о том, что повторное использование фильтра недопустимо. Среди тех органических соединений, у которых температура кипения выше 65 град С, некоторые могут постепенно перемещаться внутри фильтра от входного отверстия к отверстию для выхода очищенного воздуха (во время хранения перед вторичным использованием). Из-за этого, если фильтр используется повторно, загрязнённость очищенного воздуха может быстро возрасти и превысить ПДКрз, что приведёт к опасному воздействию на работника. Если такая миграция возможна, то фильтр следует использовать только один раз. В стандарте, разработанном Американским национальным институтом стандартов (ANSI; *Z88.2-1992 Practices for Respiratory Protection*) рекомендуется проводить исследование того, происходит ли десорбция (и миграция) перед тем, как использовать фильтры повторно. В инструкции (OSHA) для инспекторов по охране труда, (*описывающей то, как проводить проверку работодателя – правильно ли он выбрал и организовал использование СИЗОД: CPL 2-0.120*) сказано, что если у вредного вещества температура кипения выше 65 град С, то есть – когда миграция возможна, фильтры должны заменяться в конце каждой смены. А если работодатель провёл экспериментальное исследование, которое показало, что в конкретном случае миграция не происходит, и если замена фильтров проводится по расписанию, то ежесменная замена фильтров не требуется.

Ограничения

Те вещества, которые хуже переходят из жидкого состояния в газообразное, могут вытеснять из пор активированного угля ранее уловленное более летучее вещество, то есть способствовать десорбции и попаданию в очищенный воздух другого вещества. Например, пусть рабочий использовал респиратор для защиты от вредного вещества А, и загрязнённость очищенного воздуха не превысила ПДК_{рз} потому, что длительность использования была меньше, чем ВЗД фильтра при воздействии вещества А, и по этой же причине фильтр решили использовать повторно. Если на следующий день работник будет использовать тот же фильтр для защиты от вредного вещества В, которое хуже переходит в газообразное состояние из жидкого чем А (менее летучее), то В будет вытеснять А из фильтра. При этом загрязнённость очищенного воздуха веществом А может превысить ПДК_{рз} (для А) до того, как концентрация вещества в очищенном воздухе станет равной ПДК_{рз} (для В). Изучение фильтров в лабораторных условиях (проводившиеся Юном и Нельсоном) показали, что лучше удерживающиеся сорбентом вещества могут вытеснять (с активированного угля в воздух) более летучие вещества.

Как критерий того, что вредное вещество может мигрировать через фильтр во время хранения, используется температура кипения вещества (= 65 град С). При этом не учитывается то, что при увеличении длительности хранения менее летучие вещества тоже могут успеть мигрировать. (Известен) случай, когда не летучее вещество мигрировало за период хранения доследующей смены, что привело к чрезмерному воздействию на спасателя. Например, стандарт Национальной противопожарной ассоциации (NFPA; *standard 77: Standard on Protective Clothing and Equipment for Wildland Fire Fighting*) квалифицирует лесной пожар как не представляющий мгновенной опасности для жизни или здоровья (не IDLH), если степень опасности не была определена количественно. Соответственно, использование фильтрующих СИЗОД не запрещено, и пожарникам разрешают использовать фильтрующие противоаэрозольные СИЗОД (с фильтрами высокой эффективности) и дополнительно могут использоваться фильтры для защиты от органических соединений / кислых газов.

В ВВС США некоторые сотрудники используют фильтрующие СИЗОД на случай эвакуации из топливных баков. При этом есть некоторые обстоятельства, которые могут помешать надёжно защитить работника. Во-первых, в топливном баке должно быть достаточно много кислорода; а это не всегда так. В зависимости от выполняемой работы и причин (перебоев в подаче воздуха к работнику, использующему шланговый СИЗОД), концентрация кислорода может оказаться недостаточной. Пример. Если подача воздуха по шлангу прекратилась из-за того, что электропривод насоса/вентилятора оказался обесточен, то и электропривод вентиляционной системы (используемой для проветривания ёмкости) тоже может оказаться обесточен. Это может привести к снижению концентрации кислорода до опасной. Во-вторых, если концентрация кислорода высокая, то возможность эвакуироваться зависит от концентрации загрязнений в воздухе, сорбционной ёмкости фильтра, и того, где находился работник в момент отказа. Если противогазный фильтр использовался длительное время, его способность очищать воздух сильно уменьшится. При большой концентрации загрязнений он не сможет защитить работника, и фильтрующий СИЗОД не обеспечит безопасную эвакуацию.

В соответствии с требованиями стандарта по охране труда при работе с пестицидами (*AFI 32-1052, Pest Management Program*), параграф 3.4.12.1, при работе с этими веществами должна выполняться программа респираторной защиты. Согласно документу Агентства по охране окружающей среды EPA (*40 CFR Part 170.240(f)(7) Worker Protection Standard*), при использовании фильтрующих противогазных СИЗОД, работодатель обязан обеспечить замену фильтров, если:

- (а) Если работник почувствует запах, вкус или раздражение;
- (б) В соответствии с рекомендациями изготовителя СИЗОД, или в соответствии с указаниями на упаковке пестицида – выбираются те, где замена требуется чаще;
- (с) В конце каждого рабочего дня, если нет никаких других указаний, и если нет индикатора окончания ВЗД.

В июне 1999 г. AFMOA выпустило указание, в котором говорится: «При выполнении на авиационных базах окрасочных работ с использованием краски, содержащей изоцианаты, необходимо организовать применение СИЗОД с учётом условий труда, загрязнённости воздуха, и ожидаемых значений коэффициентов защиты СИЗОД (APF)». Это не соответствует AFOSH Standard 48-137. При попадании в воздух диизоцианаты часто образуют аэрозоль, и для защиты от них обычно используют противоаэрозольные фильтры в сочетании с противогазными «органическими соединениями». Если в загрязнённом воздухе есть и другие органические соединения, то они смогут пройти через фильтр раньше, чем диизоцианаты.

В исследовании Венкатрама Дхармараджана (*Bayer Corporation*) определялось ВЗД при использовании противогазных фильтров (MSA GMA type) и (North N7500-1) при разной относительной влажности воздуха и разной степени насыщения сорбента вредными веществами, для защиты от гексаметилен диизоцианата (HDI). Фильтры изучали при воздействии (HDI) при концентрации 1-00 частей на миллиард пор объёму (ppb). Относительная влажность воздуха была 80%, температура 20 град С, воздух был также загрязнён смесью: 60% н-бутил ацетата, 30% 1-Метокси-2-пропанолацетат, 5% толуола, и 5% метилэтилкетона. При использовании фильтра в течение 6 дней, никаких признаков десорбции или миграции HDI не наблюдалось. Но при этом мог произойти проскок через фильтр указанных органических соединений – растворителей, использовавшихся в краске.

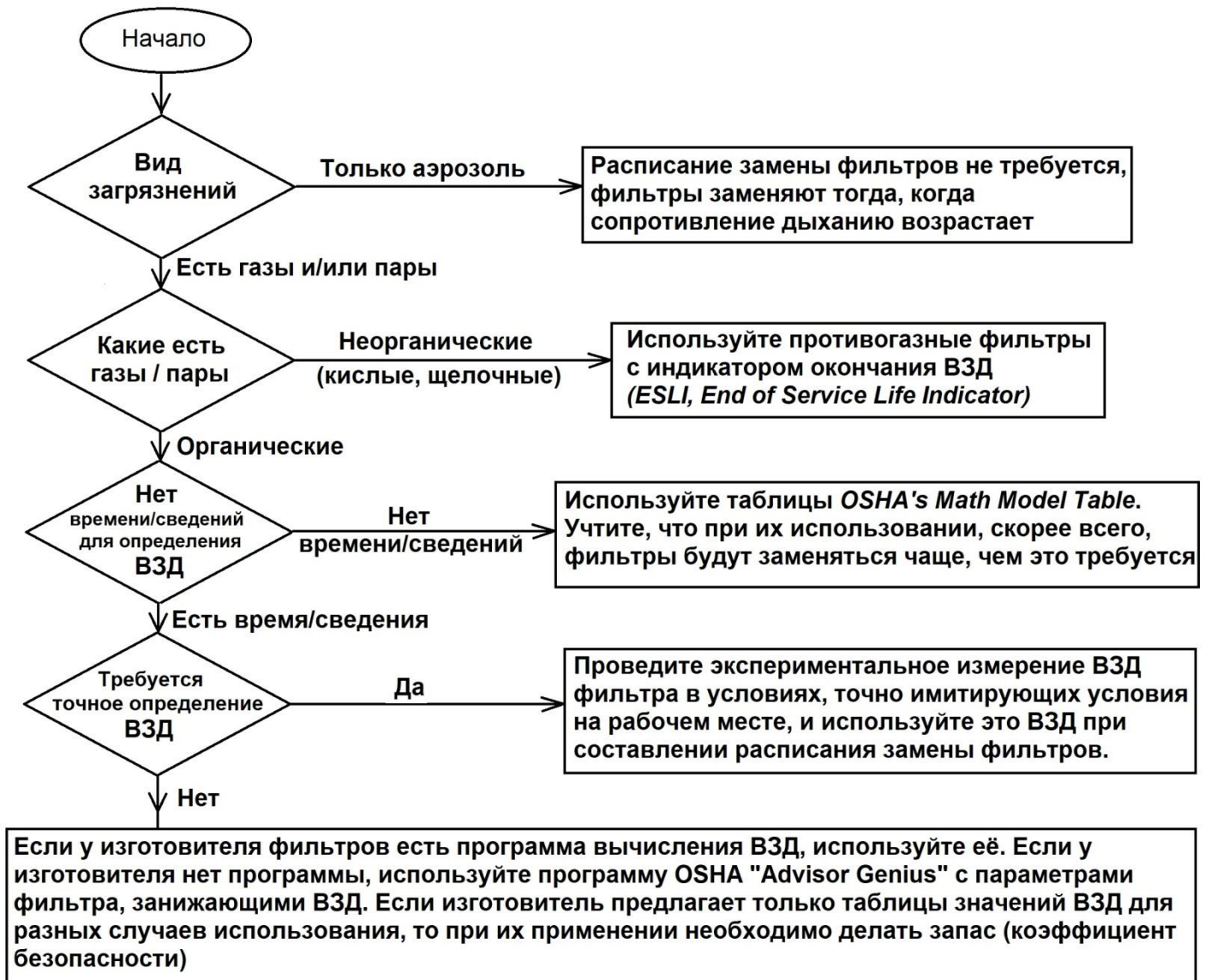
Список литературы

- 3M Technical Data Bulletin** #142, "Reuse of Organic Vapor Chemical Cartridges," May 1999, url <http://multimedia.3m.com/mws/media/1507510/reuse-of-organic-vapor-chemical-cartridges-technical-data.pdf>
- Culp, K. W.:** Determining Organic Vapor Cartridge Breakthrough Characteristics of JP-8 During Aircraft Fuel Tank Entry Operations, thesis at West Virginia University, Morgantown, West Virginia, (2000), url: https://www.researchgate.net/publication/235066743_Determining_Organic_Vapor_Cartridge_Breakthrough_Characteristics_of_JP-8_During_Aircraft_Fuel_Tank_Entry_Operations
<https://apps.dtic.mil/docs/citations/ADA382721>
- Dharmarajan, V., Lingg, R. D., and Myer, H. E.:** "Evaluation of Organic Vapor Respirator Cartridge Efficiency for Hexamethylene Diisocyanate Vapor in the Presence of Organic Solvents," Applied Occupational and Environmental Hygiene, Vol 16(3): 397-404 (2001), doi [10.1080/10473220117074](https://doi.org/10.1080/10473220117074)
- Jonas, L. A., Sansone, E. B. and Farris, T. S.:** "Prediction of Carbon Performance for Binary Mixtures," American Industrial Hygiene Association Journal, 44(10): 716-719 (1983), doi [10.1080/15298668391405625](https://doi.org/10.1080/15298668391405625)
- Myers, W. R.,** DHHS NIOSH Publication 87-108, NIOSH Respirator Decision Logic, 1987, url: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/87-108/> **Есть новое (2004) издание, в переводе:**
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/6c/Руководство_по_выбору_респираторов_2004.pdf
- Nelson, G.O.:** and **A.N. Correia:** Respirator Cartridge Efficiency Studies: VIII, Summary and Conclusions, American Industrial Hygiene Association Journal, 37(9): 514-525 (1976), doi [10.1080/0002889768507509](https://doi.org/10.1080/0002889768507509)
- Nelson, T.J. and Janseen L. L.:** "Developing Cartridge Change Schedules: What are the Options?" 3M Job Health Highlights, 17(1): 1-5 (1999), url: <http://multimedia.3m.com/mws/media/2241810/developing-cartridge-change-schedules-options-1999.pdf>
- OSHA's website** for Respirator Change-out Schedules:
<http://www.osha.gov/SLTC/respiratorprotection/changeout.html>
- Robbins, C. A. and Breysse, P. N.:** "The Effect of Vapor Polarity and Boiling Point on Breakthrough for Binary Mixtures on Respirator Carbon," American Industrial Hygiene Association Journal, 57(8): 717-723 (1996), doi [10.1080/15428119691014576](https://doi.org/10.1080/15428119691014576)
- N. Giardino, E. England, J. Doddridge, K. Greebon & G. Carlton:** "Application of Cohen and Garrison's Respirator Cartridge Service Life Prediction Model to 1,6-Hexamethylene Diisocyanate (HDI) Monomer," Applied Occupational and Environmental Hygiene, 15(3): 245-248 (2000), doi [10.1080/104732200301539](https://doi.org/10.1080/104732200301539)
- Wood, G.O.:** "Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges," American Industrial Hygiene Association Journal, 55(1): 11-15, (1994), doi [10.1080/15428119491019203](https://doi.org/10.1080/15428119491019203) Ссылка на статью (бесплатный доступ)
- Yoon, H. Y. and Nelson, J. H.:** "Application of Gas Adsorption Kinetics II. A Theoretical Model for Respirator Cartridge Service Life and its Practical Applications," American Industrial Hygiene Association Journal, 45(8): 517-524 (1984), doi [10.1080/15298668491400205](https://doi.org/10.1080/15298668491400205)
- Yoon, H. Y. and Nelson, J. H.:** "Respirator Cartridge Service-Life: Exposure to Mixtures," American Industrial Hygiene Association Journal, 57(9): 809-819 (1996), doi [10.1080/15428119691014486](https://doi.org/10.1080/15428119691014486)

Новые публикации по теме:

- Gerry O. Wood.** Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges II: A Single Vapor at All Humidities. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 1(7): 472-492 (2004), doi: [10.1080/15459620490467792](https://doi.org/10.1080/15459620490467792)
Ссылка на статью (бесплатный доступ)
- Gerry O. Wood.** Estimating Service Lives of Air-Purifying Respirator Cartridges for Reactive Gas Removal. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 2(8): 414-423 (2005), doi: [10.1080/15459620591034259](https://doi.org/10.1080/15459620591034259)
Ссылка на статью (бесплатный доступ)
- Gerry O. Wood & Jay L. Snyder.** Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges III: Multiple Vapors at All Humidities. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 4(5): 363-374 (2007), doi: [10.1080/15459620701277468](https://doi.org/10.1080/15459620701277468) Ссылка на статью (бесплатный доступ)
- Gerry O. Wood.** Estimating Reusability of Organic Air-Purifying Respirator Cartridges. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, Volume 8(10): 609-617 (2011), doi: [10.1080/15459624.2011.606536](https://doi.org/10.1080/15459624.2011.606536)
Ссылка на статью (бесплатный доступ)
- Hironobu Abiko, Mitsuya Furuse and Tsuguo Takano.** Estimation of Organic Vapor Breakthrough in Humidified Activated Carbon Beds: — Application of Wheeler-Jonas Equation, NIOSH MultiVapor™ and RBT (Relative Breakthrough Time). Journal of Occupational Health (Япония) Volume 58 (2016) Issue 6; pp. 570-581, doi [10.1539/joh.15-0244-OA](https://doi.org/10.1539/joh.15-0244-OA) ; url: https://www.jstage.jst.go.jp/article/joh/58/6/58_15-0244-OA/html-char/en

Приложение 1. Блок-схема оценки ВЗД противогазного фильтра



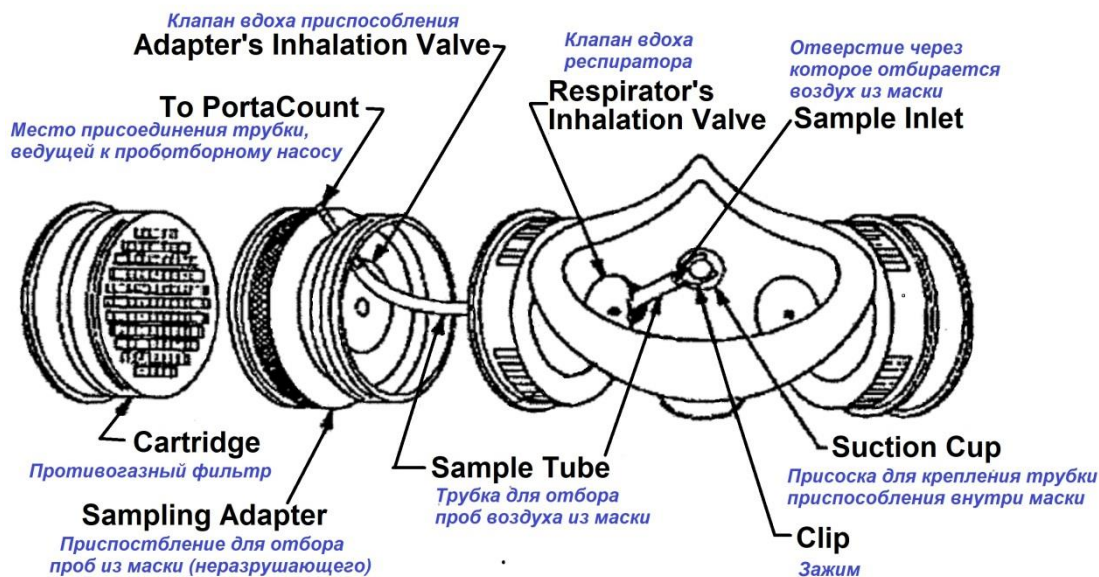
Приложение 2. Требования законодательства США
(Управления по охране труда OSHA) к замене противогазных фильтров
при работе с некоторыми вредными веществами

Стандарт OSHA	Требования к замене фильтров
29 CFR 1910.1045 (h)(2)(ii) Акрилонитрил	<p align="center">Если используется фильтрующий противогазный СИЗОД, то:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Фильтр должен заменяться до того, как закончится ВЗД, или в конце смены – выбирается наименьшая продолжительность использования; - К фильтру должен прикрепляться ярлык (этикетка) с отметкой – когда (дата, время) он был установлен на СИЗОД первый раз.
29 CFR 1910.1028 (g)(2)(ii) Бензол	<p>Если используется фильтрующий противогазный СИЗОД, то работодатель обязан заменять фильтры по окончании ВЗД, или в начале смены (выбирается то, что произойдёт раньше).</p> <p>Если у фильтра есть сертифицированный NIOSH индикатор окончания ВЗД, то можно использовать его для определения момента замены фильтров.</p>
29 CFR 1910.1051 (h)(2)(ii) 1,3-Бутадиен	<p>Если работодатель использует фильтрующие СИЗОД, он должен проводить замену фильтров по расписанию, приведённому в таблице 1, или в начале каждой смены. Также, вместо использования таблицы 1, работодатель может заменять фильтры тогда, когда истечёт 90% ВЗД, если при этом:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Работодатель покажет, что при такой замене фильтров работники будут надёжно защищены; - ВЗД, использованное для составления расписания, будет получено путём испытаний фильтра в условиях, имитирующих наихудшие условия применения (по температуре, относительной влажности, расходу воздуха у работника), и при этом работодатель в расписании замены фильтров будет указано, какая информация использовалась для составления расписания, и почему (именно) эта информация использовалась при разработке программы респираторной защиты работников. <p>К каждому фильтру должен прикрепляться ярлык (этикетка), которые бы показывали, когда и в какое время этот фильтр был первый раз установлен на СИЗОД.</p> <p>Если у фильтра есть сертифицированный NIOSH индикатор окончания ВЗД, то можно использовать его для определения момента замены фильтров; или фильтр должен заменяться в начале новой смены – выбирается наименьшая продолжительность использования.</p> <p>В любом случае, если работник почувствовал запах, то работодатель обязан сразу заменять фильтр.</p>
29 CFR 1910.1048 (g)(2)(ii) Формальдегид	<p>Если используется фильтрующий противогазный СИЗОД, то работодатель обязан:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Если у (маленьких) противогазных фильтров, устанавливаемых на маску по 2 по бокам (<i>cartridge</i>), нет сертифицированного индикатора окончания ВЗД, они должны заменяться каждые 3 часа, или в конце смены; - Если у (больших) противогазных фильтров, устанавливаемых на маску по 1 спереди (<i>canister</i>), нет сертифицированного индикатора окончания ВЗД, то: при концентрации до 10 ПДКрз (7,5 ppm) они должны заменяться каждые 4 часа; при концентрации до 100 ПДКрз (75 ppm) они должны заменяться каждые 2 часа; или в конце смены – выбирается наименьшая продолжительность применения.
29 CFR 1910.1052 (g)(2)(ii) Дихлорметан	<p>Если работодатель снабжает работников фильтрующими противогазами с фильтрами «органические соединения» для эвакуации, то он обязан заменить фильтры (которые использовали во время эвакуации) на новые – до того, как СИЗОД снова будет выдан работнику.</p>
29 CFR 1910.1017 (g)(3)(ii) Винилхлорид	<p align="center">Если используются фильтрующие СИЗОД:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Фильтры должны заменяться или по окончании ВЗД, или в конце смены (выбирается меньшая длительность использования); - Если концентрация винилхлорида на рабочем месте может превысить максимальную концентрацию, при которой разрешается использовать выбранный СИЗОД, то на рабочем месте должна находиться сигнализация, непрерывно измеряющая концентрацию винилхлорида, и предупреждающая работников об увеличении загрязнённости воздуха выше допустимой

Приложение 3. Измерение эффективности СИЗОД на рабочем месте

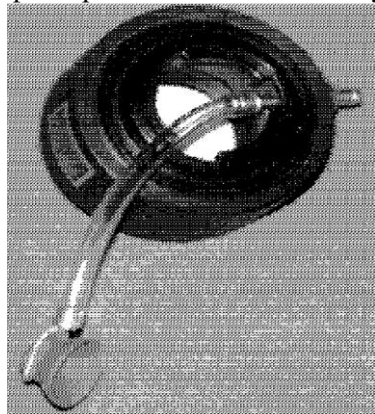
Для проверки эффективности СИЗОД на рабочем месте следует использовать приспособление, позволяющее отбирать пробу воздуха из-под маски (без того, чтобы делать отверстие в маске), *Portacount® mask sampling adapter*. Отбор проб должен проводиться на том рабочем месте, где используется респиратор, и во время работы. Для анализа отобранных проб могут использоваться разные способы (пламенный ионизационный детектор, индикаторная трубка для обнаружения углеводородов, трубка с активированным углём и т.п.). Эти способы не обязательно должны быть способными определять концентрацию каждого из компонентов смеси газов; но они должны быть достаточно чувствительны, чтобы обнаруживать присутствие компонент смеси при концентрации 25% от ПДКрз. Если при измерениях не обнаружили органические соединения, то расписание замены фильтров составлено правильно. В приложении 4 приводится список изготовителей СИЗОД, масок, приспособлений для отбора проб воздуха из маски, и телефонов изготовителей. Приспособление следует устанавливать на маску в не загрязнённом месте, а затем (работник) должен вернуться на рабочее место, и при надетой маске проводится отбор проб воздуха для определения эффективности защиты.

Portacount® mask sampling adapter

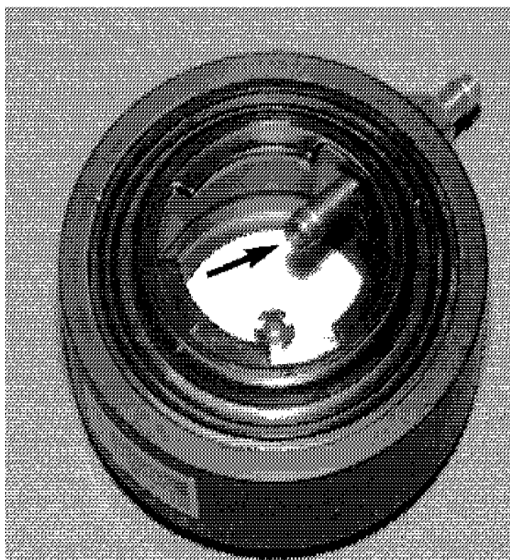


Отсоедините пробоотборную трубку, присоску и зажим. Установите приспособление между маской и фильтром. Присоедините пробоотборную трубку к внутреннему разъёму приспособления. Закройте отверстие для входа воздуха зажимом, чтобы не произошло попадание загрязнённого воздуха внутрь трубки. Затем работник надевает респиратор. При возвращении на рабочее место зажим снимается, и к приспособлению подключается трубка, ведущая к пробоотборному насосу. При сборе приспособления так, как это описано (то есть – при снятой трубке отбора проб воздуха из маски), откачиваемый воздух будет забираться из пространства между клапаном вдоха маски и клапаном вдоха приспособления, то есть исключительно из фильтра. Если анализ отобранного воздуха покажет, что нет сколько-нибудь значительного присутствия вредных веществ (более 25% от ПДКрз), то считается, что расписание замены фильтров составлено правильно. Можно использовать этот расписание для своевременной замены фильтров.

ВВС США могут не закупать никакого дополнительного оборудования для отбора проб воздуха, очищенного противогазными фильтрами СИЗОД. Можно проводить отбор проб на трубки с активированным углём при максимальном расходе воздуха, какой позволяет используемый метод отбора проб. Это позволит быстро отобрать наименьший объём воздуха, какой необходим для лабораторного анализа его загрязнённости (выше чем порог обнаружения вредных веществ). Продолжительность отбора большинства проб воздуха из-за фильтра составляет 5-10 минут



На фото слева показано приспособление 3М для проверки плотности прилегания маски к лицу (3М 601 Quantitative Fit Testing Adapter), которое позволяет отбирать пробу воздуха не делая отверстий в маске. Обычно (при проверке плотности прилегания маски (fit testing), трубка для отбора проб из маски проходит через клапан вдоха внутрь (из приспособления, надетого на разъём для крепления фильтра, внутри маски).



На фото слева - приспособление 3М со снятой трубкой. Стрелка показывает на место, куда крепилась трубка, и куда всасывался отбираемый воздух. При снятой трубке (ранее проходившей через клапан вдоха в маску), воздух будет всасываться из пространства между фильтром и маской. Это позволяет измерять загрязнённость воздуха, очищенного фильтром. К приспособлению для отбора проб из маски (снаружи) присоединяется шланг, ведущий к пробоотборному насосу. До начала отбора проб трубку закрывают с помощью зажима, чтобы в неё не попал загрязнённый воздух.



На фото слева - маска с приспособлением 3М для отбора проб (слева, между маской и фильтром). Трубка для отбора воздуха закрыта с помощью зажима.

Метод анализа должен быть достаточно чувствительным, чтобы обнаружить присутствие вредных газов при концентрации, меньшей ПДК_{рз}.

На фото справа - измерение концентрации вредных веществ в воздухе, очищенном фильтром, с помощью индикаторной трубки.



Эксплуатация респиратора с установленным пробоотборным приспособлением является нарушением требования законодательства: респиратор должен применяться на рабочем месте в именно той комплектации, в которой он сертифицировался. Поэтому приспособление должно использоваться лишь непродолжительное время, и его следует устанавливать на маску непосредственно (около 30 минут) перед замером.

Исследовательский центр ВМС США (*U.S. Navy Environmental Health Center, NAVENVIRHLTHCEN*) провёл исследование того, влияет ли дыхание работника на расход воздуха, отбираемого из маски пробоотборным насосом. Статистический анализ (*analysis of variance, ANOVA*) показал, что средний расход воздуха при отборе проб из атмосферы и при отборе проб из-за фильтра (используемого на рабочем месте респиратора) значимых отличий ($p=0,05$) не имеет. Во время отбора проб на рабочем месте работник должен дышать спокойно, чтобы не повлиять на отбор проб. Проинструктируйте работника делать перерыв для отдыха (и отбора проб из-за фильтра) на 5-10 минут на рабочем месте. Дыхание работника не оказывает влияние на обнаружение проскока. При отборе проб на проскок вредных веществ влияют (все вместе): изменение концентрации загрязнений; изменение температуры и влажности воздуха; изменение расхода воздуха у работника. То есть, когда непосредственно перед (и во время) замера, определения того, произошёл ли проскок, работник кратковременно дышит спокойно – это не влияет на проскок; он или уже произошёл, или ещё не произошёл.

Гари Нельсон и Чарльз Хардер из лаборатории Лоуренса (Ливемлр) провели исследование того, как влияет на ВЗД движение воздуха (пульсирующее, как на рабочем месте; или постоянное). Даже при большой влажности и сравнительно больших расходах воздуха значительных отличий ВЗД при разных видах движения воздуха не имели. Исследователи предположили, что между активированным углём и воздухом равновесное состояние возникает так быстро, что вид движения воздуха не оказывает заметного влияния на результат.

Литература

Industrial Hygiene Directorate of the Navy Environmental Health Center

<http://www-nehc.med.navy.mil/ih/Respirator/ChangeSchedule.htm>

Nelson, T. J., and Janssen, L. L.: "Developing Cartridge Change Schedules: What are the Options?" 3M Job Health Highlights, Volume 17(1): 1-5 (1999), <http://multimedia.3m.com/mws/media/224181O/developing-cartridge-change-schedules-options-1999.pdf>

Nelson, G. O. and Harder, C. A.: "Respirator Cartridge Efficiency Studies IV. Effects of Steady-State and Pulsating Flow", American Industrial Hygiene Association Journal, Volume 33(12), pp. 797-805 (1972), doi [10.1080/0002889728506748](https://doi.org/10.1080/0002889728506748)

Приложение 4. Приспособления для отбора проб воздуха, имеющиеся в продаже для разных масок, продающихся в США

Это список приспособлений для отбора проб воздуха из-за фильтра (из маски), предлагаемых изготовителями СИЗОД. Кроме этого, широкий ассортимент таких приспособлений для разных масок предлагает компания TSI.

Изготовитель СИЗОД	Модель СИЗОД (H - полумаска, F - полнолицевая маска)	Приспособление; номер	Телефон
MSA	Comfo Series (H)	812022 (QuikChek™ II)	(800) 672 -22-22
	Duo-Twin (F)	812022 (QuikChek™ II)	
	Ultra Twin (F)	812022 (QuikChek™ II)	
	Advantage 100/200/200LS (H)	812022 + 809999	
	Advantage 1000(F) MILLENIUM (F)	10006227	
	Ultra Elite (F) (разъём для крепления фильтра с резьбой)	805078 (QuikChek™ III) + 496081	
	Ultra Elite (F) (фильтр крепится при повороте на 90 град)	805078 (QuikChek™ III) и 817446 (QuikChek™ IV)	
	Ultravue (F) (маска не для дыхательных аппаратов)	802710 (QuikChek™ I)	
North	Phalanx (F)	802710 (QuikChek™ I)	(800) 430 -41-10
	5500 (H)	7700-21	
	7700 Series (H)	7700-21	
	5400 и 7600 Series (F)	7700-21	
	7800 Series	7700-21	
	85101, 85111, 85201, 85211	7700-21 вместе с 770-24	
3M	85400A, 85500A, 800 Series с подачей воздуха по потребности (F)	7700-21 вместе с 770-23 fitting	(800) 243 -46-30
	6000 Series (H/F)	601	
	7000 Series (H) (Bayonet)	601	
	7000 Series (H) (Conventional)	7930 (или 601 с переходником 9286)	
	7800 Series (H) (Bayonet)	601	
	7800 Series (F) (Conventional)	7930 (или 601 с переходником 9891)	
	7900 Series (F)	601	
Dalloz Safety (Willson)*	F40 Gas Mask (F)	601 и 701	(800) 345 -41-12 ???
	Screw Type (3-inch diameter): 1200 (H), 1600 (F), 1700 (F), 5000 (H) – резьбовое соединение, диаметр 3 дюйма	RP98	
Glendale Protective Technologies (GPT)*	Bayonet Type: 6100 (H), 6200 (H), 6400 (F), 6500 (H), 6800 (H), 8100 (F), 8600 (F) с байонетным соединением фильтров	RP99	(800) 345 -41-12 ???
	Маски серии "F" с резьбовым соединением фильтров, 1 дюйм	1232	
	Маски серии "F" с резьбовым соединением фильтров, 3 дюйма	RP98	
Scott	Сменный шланг (25)	1233	(800) 247 -72-57
	Scott-O-Vista (F)	803930-01	
	AV-2000 (F)	803930-01	
	66 Series (H)	Приспособлений нет, можно заказать набор для отбора проб (probe kit from Scott, 803550 - ?)	
	Scottoramic (F)	Приспособлений нет, можно заказать набор для отбора проб (probe kit from Scott, 803119-01)	
Pro-Tech*	XCEL (H)	7422-FT1	(800) 375 -60-20
	1490 Series (H)	QNFT Adaptor	
	1590 Series (H)	QNFT Adaptor	
	1694 Series (F)	QNFT Adaptor	

AO Safety (AEARO Company)	Все модели с резьбовым соединением	51171-00000 Adapter Kit*	(800) 225 -90-38
	Все модели с байонетным соединением	51172-00000	
Survivair	Фильтрующий СИЗОД с резьбовым соединением фильтров, в том числе, 2000 с 105005, Blue 1, Low Maintenance, 4000, 20/20, OPTi-Fit	420025 с фильтром 105005	(888) 277 -72-22
	Фильтрующий СИЗОД с байонетным соединением фильтров, в том числе OPTi-Fit 7000	760075 с фильтром 785000	
	Шланговый СИЗОД или дыхательный аппарат, с подачей воздуха под давлением, SCBA Masks с Panther-style Mask Mounted Regulator, including Classic, 20/20	962920 и 962900 и 2 фильтра 105005	
	Шланговый СИЗОД или дыхательный аппарат, с подачей воздуха под давлением, /SCBA (Mk-II) с шлангом, including Classic, 20/20	См. Appl. Note <u>III-029</u>	
Moldex	8000 Series (H)	#8006	(800) 267 -16-11
Interspiro	Дыхательные аппараты (SCBA) Spiromatic & Spirolite (F)	336-890-378	(800) 468 -77-88
	Дыхательный аппарат Spiromatic "S"	95991	
Sundstrom	SR90 (H)	702.120.99	
ISI	Дыхательные аппараты (SCBA) Viking (SCBA) with Airswitch Vanguard (SCBA) with Airswitch	Fit Test Kits: 171066 Small (маленькая маска) 171065 Medium (средняя маска) 171067 Large (большая маска) HEPA Filter 33003	(888) 474 -72-33
	Дыхательные аппараты Ranger (SCBA) – изготавливаемые с 1986 г	08925600 с фильтром 03407100	
	Дыхательные аппараты Magnum (SCBA), Magnum Plus (SCBA)	08925600	
Draeger	Panorama (F) с фильтрами	4056315	(800) 922 -55-18
	Futura (F)		
	Panorama (F) с подачей воздуха под давлением		
	Futura (F) с подачей воздуха под давлением		
	Combitox Nova (H)		
	Cirrus (H)		
Picco 20 (H)	4055655		
US Safety*	Приспособление (в наборе) для всех моделей	79200	(800) 252 -50-02
	Приспособление (без набора)	79210	
	Дополненный набор	79215	
Respiratory Systems, Inc.	C-Flex	L-1561-75	(800) 378 -10-00
	Lifeair STD 1000	L-4000-75	
	Lifeair XL		

* с этими приспособлениями можно использовать TSI 800553 Refill Kit

** вместе с MSA Quik Chek I, II и III - можно использовать TSI 800785 Refill Kit.

Приложение 5. Изготовители СИЗОД (список)

3M Company	1-800-243-4360	651-733-7364	http://www.3m.com/occsafety/html/cartridgechange.html
Aearo Corporation	1-800-444-4774	508-764-5787	http://www.aearo.com/html/products/respirat/respfor.htm
Draeger Safety	412-787-8383	412-788-5685	http://www.draeger.com/us/ST/productsnservices/protection/filters/filters.jsp
Mine Safety Appliance Company	1-800-MSA-2222	724-776-7775	http://www.msanet.com/msanorthamerica/msaunitedstates/cartlife/index.html
Moldex-Metrics, Inc	1-800-421-0668	310-837-6500	http://www.moldex.com/images/PDFs/CARTRIDGE.pdf
North Safety Products	1-800-430-4110	401-275-2445	http://www.northsafety.com/feature1.htm http://www.northsafety.com/train.htm
Scott Health & Safety	1-800-633-3915	704-296-4562	http://www.scotthealthsafety.com/hsliterature/product.asp?sku=0899
Survivair, Inc	1-888-APR-SCBA	714-850-0299	http://www.survivair.com/cartlife.html
U.S. Safety	-800-821-5218	1913-599-5555	http://www.ussafety.com/Cartridge Service Life.htm

Изменение названий производителей СИЗОД

Старое	Новое
AG Spiro	Interspiro USA, Inc.
American Optical	Aearo Corporation
Cabot Safety Corporation	Aearo Corporation
Cesco	U.S. Safety
Fastech Corp.	Axis Products, Inc.
Glendale Protective Technologies, Inc.	Willson ® Dalloz Safety Products
H.S. Cover	Pro-Tech Respirators, Inc.
National Draeger, Inc.	Dräger Safety, Inc.
New England Thermoplastics	Better Breathing, Inc.
Norton	North Safety Products
Parmellee	Willson ® Dalloz Safety Products
Pirelli	Dispositivi Protezione Individuale D.P.I. SRL
Protector Technologies Europe	Protector Technologies Limited
Pulmoson	Willson ® Dalloz Safety Products
Racal Health and Safety, Inc. / Racal Panorama	3M Company
Rexnord	Biomarine, Inc.
Robertshaw	International Safety Devices, Inc.
Safety & Supply	Vinatronics, Inc.
Technol	Kimberly-Clark Corporation
Trusafe, Inc.	Vinatronics, Inc.

Приложение 6. Факторы, влияющие на составление расписания замены фильтров

Ниже приводится неполный список факторов, которые могут повлиять на время защитного действия (ВЗД) противогазных фильтров СИЗОД, и/или на степень защиты, обеспечиваемую СИЗОД, при работе в конкретных условиях:

- Свойства воздушных загрязнений: (1) поляризуемость, дипольный момент, квадрупольный момент и т.п. (2) в целом, активированный уголь лучше улавливает и удерживает менее летучие вещества (у него больше аффинность к ним) (3) масса улавливаемого вещества уменьшается с ростом давления паров этого вещества;
- Концентрация воздушных загрязнений;
- Относительная влажность воздуха;
- Расход воздуха (потребление работником);
- Температура воздуха;
- Изменения концентрации, влажности, расхода воздуха и температуры
- Смеси вредных веществ: (1) воздействие нескольких веществ одновременно, или (2) последовательное использование фильтра для защиты от одних, а потом от других веществ, в разных случаях использования;
- Точность измерения условий на рабочем месте;
- Условия хранения фильтра: подвергался ли фильтр воздействию вредных веществ при их небольшой концентрации, воздействию влаги и повышенной температуры;
- Условия хранения фильтра в промежутке времени перед повторным применением: вредные вещества, уловленные фильтром во время первого случая использования, могут перемещаться внутри фильтра к отверстию для выхода очищенного воздуха (мигрировать) во время хранения, при отсутствии движения воздуха через фильтр;

- Физические и химические свойства сорбента в фильтре: *площадь поверхности, пористость, активированность сорбента.*
- Срок хранения фильтра («возраст»);
- Состояние фильтра и респиратора;
- Выбор респиратора и фильтра;
- Индивидуальный подбор маски к лицу с инструментальной проверкой того, насколько она соответствует лицу по форме и по размеру, и насколько хорошо работник умет её надевать (fit test);
- Комплектация СИЗОД, организация его применения и техобслуживания;
- Обучение и тренировка работников, их опыт работы и результаты их медобследования;
- Наличие/отсутствие у вредного вещества предупреждающих свойств (запах, привкус, раздражение – при концентрации ниже 1 ПДКрз);
- Если у вредного вещества плохие предупреждающие свойства, то при составлении расписания замены фильтров может потребоваться использовать больший коэффициент безопасности, чем при защите от вещества с хорошими предупреждающими свойствами;
- Другие обстоятельства, относящиеся к конкретному рабочему месту и/или работнику

Свойства «идеального» сорбента:

- Способность улавливать вредное вещество с большой скоростью;
- Способность накапливать и удерживать большое количество вредного вещества;
- Способность образовывать с молекулами уловленного вещества прочные связи так, чтобы вероятность десорбции была низкой;
- Гранулы сорбента должны быть прочными – они не должны разрушаться;
- Способность сохранять описанные выше свойства в течение хранения до начала использования, и в процессе использования в разных условиях;

Приложение 7. Вычисления ВЗД с помощью уравнения Вуда

Ниже приводятся вычисления ВЗД противогазного фильтра СИЗОД с активированным углём, в которых используются физические свойства (сорбента и вредного вещества) и параметры окружающей среды – для конкретных условий на рабочем месте. Такие вычисления можно проводить лишь тогда, когда вредное вещество (при температуре воздуха на рабочем месте) находится в жидком состоянии.

Задача. Воздух загрязнён гексаном (CAS 110-54-3), концентрация 500 ppm; относительная влажность воздуха 50%, температура 20 град С. На фильтрующий СИЗОД установлено 2 противогазных фильтра, расход воздуха (суммарный) 53,3 л/мин. Через какое время концентрация гексана в очищенном воздухе достигнет 50 ppm?

Первое. Информация о противогазных фильтрах СИЗОД. Для примера, свойства фильтра:

W₀ = 0,454 см³/грамм (объём микропор в сорбенте);

ρ_b = 0,441 грамм на см³ (насыпная плотность сорбента);

n = 2 (число фильтров на маске);

W = (объём сорбента в фильтра) × ρ_b × n = (80 см³) × (0,441 грамм/см³) × (2) = **70,6 грамм** (объём умножен на насыпную плотность сорбента и число фильтров на маске);

A = π × D² / 4 = π × (7,1 см)² = 39,6 см² – площадь поперечного сечения полости в фильтре, заполненной сорбентом, см².

Объём микропор в сорбенте показывает, какой объём занимает в сорбенте воздух. Эта величина определяется экспериментально для каждого (вида) сорбента. Если Вы не знаете её, то можете взять значение (близкое к минимальному) 0,4 см³/грамм. Если масса сорбента в (одном) фильтре неизвестна, то Вы можете разобрать фильтр и взвесить сорбент. Масса сорбента в противогазных фильтрах разных моделей может сильно отличаться. Если она нестабильна для фильтров одной модели – возьмите то значение, которое (по вашему мнению) близко к минимальному. Насыпная плотность сорбента измеряется в граммах на см³. Её можно определить, разобрав фильтр, и измерив полный объём (в см³) полости, в которой находится сорбент. Затем масса сорбента делится на этот объём. Типичное значение: 0,4 г/см³.

Часть свойств вредных веществ можно найти в интернет. В армии США (*Defense Occupational and Environmental Health Readiness System, DOEHRs*) есть бесплатно доступная (для зарегистрированных пользователей) база данных (*Micromedex TOMES CPS™*), адрес: <https://doehrswww.apgea.army.mil/>

Затем можно вычислить молярную поляризуемость *P_e*. Для этого используют плотность (в жидком состоянии) *d_L* молекулярную массу *M_w* и показатель преломления *n_D*. Эти параметры можно найти в справочнике (*CRC Handbook of Chemistry and Physics*).

$$Pe = \{ [(n_D)^2 - 1] \times Mw \} / \{ [(n_D)^2 + 2] \times d_L \} = \{ [(1,3751)^2 - 1] \times 86,18 \text{ грамм/моль} \} / \{ [(1,3751)^2 + 2] \times 0,6603 \text{ грамм/см}^3 \} = 29,88 \text{ см}^3/\text{моль}$$

В том же справочнике можно найти параметры, необходимые для вычисления парциального давления паров вещества в ограниченном диапазоне температур (с помощью уравнения Antoine):

$$p_{\text{sat}} = 10^{(A-B/(T+C))} = 10^{(6,87601-1171,17/(20+224,408))} = 121,4 \text{ torr}$$

В этом уравнении T – температура (град C), а A, B, C – коэффициенты уравнения Antoine, которые различаются у разных веществ.

Если использовать данные из (*Handbook of Chemistry and Physics*), и другую форму уравнения, то получится схожий результат:

$$p_{\text{sat}} = [-0,05223 \times a / T] + b = [-0,05223 \times (31,679)/(20+273,15)] + 7,724 = 120,2 \text{ torr}$$

В этом уравнении T – температура (в градусах Кельвина), а (a, b) – коэффициенты уравнения Antoine. Концентрация гексана определена в частях на миллион по объёму; то есть объёмная доля умножена на 1 млн. В соответствии с законами для идеального газа, занимаемый газом объём пропорционален числу молей, то есть объёмная доля соответствует молярной доле. (Для заданной загрязнённости воздуха) парциальное давление паров гексана составит:

$$p = (500 \text{ ppm}) \times (760 \text{ torr})/1000000 = 0,38 \text{ torr (при давлении воздуха на рабочем месте 1 атм.)}$$

Молярный объём = $R \times T / (\text{атмосферное давление}) = (0,08206 \text{ (L} \times \text{atm/mol} \times \text{K)}) \times (293,15 \text{ K}) / (1 \text{ atm}) = 24,056 \text{ литров на моль.}$

В этом уравнении R - универсальная газовая постоянная (но в уравнении она выражена не в единицах СИ); T – температура в градусах Кельвина.

Концентрация гексана на входе в фильтр, в граммах на литр:

$$C_0 = [500 \text{ ppm} / 1000000] \times Mw / (\text{молярный объём}) = [500 \text{ ppm} / 1000000] \times (86,18 \text{ грамм/моль}) / (24,056 \text{ литров/моль}) = 0,00179 \text{ грамм/литр}$$

Сорбционная ёмкость (в состоянии равновесия, при полном насыщении сорбента газом) W_e равна:

$$W_e = W_0 \times d_L \times \exp\{-\underline{b} \times W_0 \times (Pe)^{-1,8} \times R^2 \times T^2 \times [\ln(p/p_{\text{sat}})]^2\},$$

В этом уравнении \underline{b} – эмпирический коэффициент. Определим W_e :

$$W_e = (0,454 \text{ см}^3/\text{грамм}) \times (0,6603 \text{ грамм/см}^3) \times \exp\{- [3,56 \times 10^{-8} \text{ (mol}^2 \text{ g)/(cm}^3 \text{ cal)}] \times (0,454 \text{ см}^3/\text{грамм}) \times (29,877 \text{ см}^3/\text{моль})^{-1,8} \times (1,987 \text{ cal/(mol} \times \text{K)})^2 \times (293,15 \text{ K})^2 \times [\ln(0,38 \text{ torr} / 121 \text{ torr})]^2 \}$$

$$W_e = 0,199 \text{ грамм / грамм}$$

Отметим, что если Вы посмотрите это же уравнение в статье (*Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges American Industrial Hygiene Association Journal, Vol. 55 No 1 pp. 11-15*), то увидите, что значение \underline{b} не соответствует приведённому в уравнении выше. Это значение взято из статьи (*Activated Carbon Adsorption Capacities for Vapors, Carbon, Vol. 30(4), pp. 593-599*).

Линейная скорость движения воздуха V_L через фильтр:

$$V_L = Q/(A \times n) = [(53,3 \text{ л/мин}) \times (1000 \text{ см}^3/\text{литр})] / [(39,6 \text{ см}^3) \times (2) \times (60 \text{ сек/мин})] = 11,2 \text{ см/сек}$$

В этом уравнении Q – расход воздуха у работника.

Линейная скорость движения воздуха зависит от тяжести выполняемой работы. При расчётах учтите количество фильтров на маске. При расходе воздуха 60 л/мин типичное значение линейной скорости воздуха около 13 см/с.

Если Вам нужно определить ВЗД, то концентрацию вредного вещества в очищенном воздухе C_x можно не вычислять – достаточно лишь знать то, какую она составляет долю от концентрации в очищаемом воздухе. Эмпирический коэффициент S_b зависит от соотношения этих концентраций:

$$S_b = 0,063 \text{ ((min} \times \text{см}^4)/(\text{sec} \times \text{mol}))} - \{ 0,0058 \text{ ((min} \times \text{см}^4)/(\text{sec} \times \text{mol}))} \} \times \ln [(C_0 - C_x)/C_x]$$

Если загрязнённость очищенного воздуха равна 1% от загрязнённости очищаемого, то

$$S_b = 0,036 \text{ ((min} \times \text{см}^4)/(\text{sec} \times \text{mol}));$$

а если она равна 10%, то $S_b = 0,05 \text{ ((min} \times \text{см}^4)/(\text{sec} \times \text{mol}))$.

Коэффициент скорости адсорбции $k_{v10\%}$ для случая отношения концентраций в очищенном и окружающем воздухе 0,1 равен:

$$k_{v10\%} = 1/\{(1/V_L + 0,027 \text{ sec/cm}) \times ([0,000825 \text{ min} \times \text{cm/sec}] + S_b/P_e)\} = 1/\{(1/(11,22 \text{ cm/sec}) + 0,027 \text{ sec/cm}) \times ([0,000825 \text{ min} \times \text{cm/sec}] + [0,05 ((\text{min} \times \text{cm}^4)/(\text{sec} \times \text{mol})) / 29,88 \text{ cm}^3/\text{mol}]) \}$$

$$= 3447/\text{мин}$$

Для вычисления ВЗД можно использовать следующее уравнение:

$$t_{b10\%} = (W_e \times W)/(C_o \times Q) - ((W_e \times \rho_b)/(k_v \times C_o)) \times \text{Ln}((C_o - C_x)/C_x) =$$

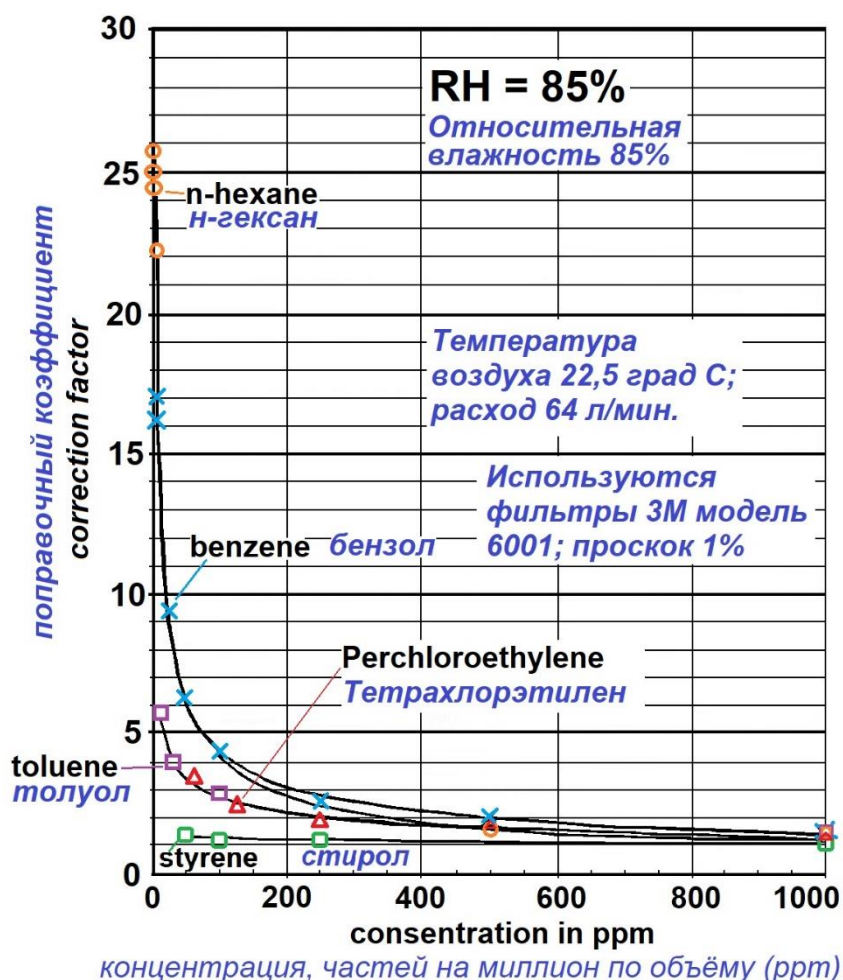
$$= (W_e \times W)/(C_o \times Q) - ((W_e \times \rho_b)/(k_v \times C_o)) \times \text{Ln}([100\% - \text{Проскок}(\%)] / \text{Проскок}(\%))$$

$$t_{b10\%} = \{ 0,199 \times 70,6(\text{грамм}) / [(0,00179 \text{ грамм/литр}) \times (53,3 \text{ л/мин})] \} -$$

$$- \{ [0,199 \times 0,441(\text{грамм/см}^3)] / [(3447/\text{мин}) \times (0,00179 \text{ грамм/литр}) \times (1 \text{ литр}/1000 \text{ см}^3)] \} \times \text{Ln}([100\% - 10\%] / 10\%) = 117 \text{ минут.}$$

$t_{b10\%}$ = время защитного действия = 117 минут.

Приложение 8. Внесение поправок для учёта относительной влажности воздуха и концентрации органического растворителя



Эти измерения были сделаны компанией 3М при использовании фильтров «Органические соединения» 3М 6001 (у других фильтров, в том числе фильтров 3М, могут быть другие результаты – прим.). Если у вредного вещества низкая летучесть (способность переходить в газообразное состояние из жидкого), то рост относительной влажности воздуха слабо влияет на улавливание этого вещества. При относительной влажности 85%, и при тех условиях (концентрация стирола), можно использовать коэффициент безопасности 1,5 (ВЗД, вычисленное программой для стирола, при большой относительной влажности, до 85%, следует снизить в полтора раза). А если вредные вещества более летучие, то при маленьких концентрациях влияние относительной влажности сильнее. Например, для н-гексана при большой концентрации 400 ppm (=1400 мг/м³, это 1,6 максимально разовых, и 16,5 среднесменных ПДК_{крз} РФ), и относительной влажности 85%: следует использовать коэффициент безопасности 2. А при маленькой концентрации, 10 ppm, коэффициент безопасности должен быть около 16.

Вещество	Давление паров, мм. рт. столба	Температура кипения, град С
н-гексан	124	69
Бензол	75	80
Толуол	21	110,6
Тетрахлорэтилен	14	121
Стирол	5	145-146

Приложение 9. Таблица ВЗД при воздействии вредных веществ, полученная с помощью уравнения Вуда

Ниже приводится таблица со значениями ВЗД (длительности использования фильтра до начала проскока) для разных вредных веществ при их разной концентрации. Для получения этой таблицы Управление по охране труда (OSHA) использовало математическую модель Джерри Вуда (описана в статье: *Gerry O. Wood. "Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges", American Industrial Hygiene Association Journal, 1994, Vol. 55(1), pp. 11-15, doi:10.1080/15428119491019203, бесплатно доступна по ссылке <http://gerryowood.com/uploads/3/4/7/2/34729297/aihaj94.pdf>)*

При вычислениях в Управлении использовали стандартные условия:

- Относительная влажность не выше 50%%
- Масса сорбента в одном фильтре 26 грамм, на собранном СИЗОД установлено по 2 таких фильтра;
- Расход воздуха 53,3 л/мин;
- Проскок: концентрация равная 10% от концентрации в загрязнённом воздухе;
- Температура: 22 град С (72 град F);
- Сорбент: активированный уголь.

Если в условиях, в которых используется Ваш СИЗОД, эти параметры значительно отличаются от описанных, Вам необходимо внести поправки в те значения, которые приводятся в таблице. Эта таблица есть в интернет на сайте Управления: <http://www.osha.gov/SLTC/etools/respiratory/wood table/wood table.html>

Вещество	№ CAS	Концентрация вещества (ppm)				
		50	100	200	500	1000
Ароматические соединения						
Бензол	71-43-2	Вся смена ¹	Использование фильтрующих СИЗОД при концентрации выше 50 ppm в США запрещено			
Толуол	108-88-3	1018	562	307	135	72
Этилбензол (Фенилэтан)	100-41-4	1133	604	319	135	70
м-Ксилол	108-38-3	1143	608	321	136	70
Изопропилбензол (кумол, кумен)	98-82-8	1122	586	304	126	64
Мезитилен	108-67-8	1159	603	311	128	65
п-цимен	99-87-6	1104	566	289	117	59
Спирты						
Метанол	67-56-1	Для этого вещества выполнение расчёта ВЗД не применимо				
Этанол	64-17-5	123	105	85	60	43
Изопропиловый спирт	67-63-0	425	286	186	101	61
Аллиловый спирт	107-18-6	789	495	303	152	87
Пропиловый спирт	71-23-8	551	364	233	123	73
Бутиловый спирт вторичный	78-92-2	773	464	272	130	72
Бутиловый спирт	71-36-3	1073	615	345	156	84
Пентан-2-ол, втор-Амиловый спирт	6032-29-7	1091	601	327	143	75
<i>3-Methyl-1-butanol</i>	123-41-3	1242	672	358	152	78
Метиламиловый спирт	108-11-2	1076	578	307	130	67
Амиловый спирт	71-41-0	1281	690	366	155	79
2-этил-1-бутанол	97-95-0	1246	657	342	142	72
Монохлориды						
Метил хлорид, Хлорметан	74-87-3	Не применимо, темпера. кипения (-12,4 град С) ниже температуры воздуха				
Винил хлорид, Хлорэтен	75-01-4	Не применимо, температура кипения (-13,9 град С) ниже температуры воздуха. См. стандарт OSHA ²				
Этилхлорид, Монохлорэтан	75-00-3	Не применимо, температ. кипения (12,2 град С) ниже температуры воздуха				
2-Хлорпропан, Изопропилхлорид	75-29-6	224	150	99	54	34
Аллилхлорид, 3-Хлорпропилен	107-05-1	264	177	116	64	40
Пропилхлорид, 1-Хлорпропан	540-54-5	492	301	181	90	52
2-Хлоризобутан, 2-Хлор-2-метилпропан	507-20-0	655	374	212	98	54
Бутилхлорид, 1-Хлорбутан	109-69-3	733	422	239	111	61
2-Хлор-2-метилбутан	594-36-5	705	398	222	101	55
1-Хлорпентан	543-59-9	852	474	260	116	62
Хлорбензол	108-90-7	1327	709	376	160	83
1-Хлорогексан	544-10-5	993	530	281	119	62
2-Хлортолуол	95-49-8	1297	682	356	148	76
1-Хлоргептан	629-06-1	930	492	258	109	56
3-(хлорметил) гептан	123-04-6	771	410	216	92	48
Дихлориды						
Дихлорметан, Метилен хлорид	75-09-2	См. Methylene Chloride Standard ³				
транс-1,2-Дихлорэтилен	156-60-5	296	198	129	71	44
Винилиденхлорид; 1,1-Дихлорэтилен	75-35-4	234	157	103	57	35
цис-1,2-Дихлорэтилен	156-59-2	356	236	152	82	50
1,2-Дихлорэтан, Этилендихлорид	107-06-2	482	310	194	101	60
Пропилен дихлорид, 1,2-Дихлорпропан	78-87-5	776	452	259	121	67

¹ См. стандарт OSHA по охране труда при работе с бензолом: Benzene Standard 29 CFR 1910.1028(g)

<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/29/1910.1028>

² См. стандарт OSHA по охране труда при работе с винилхлоридом: Vinyl Chloride Standard 29 CFR 1910.1017(g)

<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/29/1910.1017>

³ См. стандарт OSHA по охране труда при работе с Метилен хлоридом: Methylene Chloride Standard 29 CFR 1910.1052(g)

<https://www.law.cornell.edu/cfr/text/29/1910.1052>

Тетраметиленхлорид, 1,4-Дихлорбутан	110-56-5	846	475	263	118	64
Трихлориды						
Хлороформ	67-66-3	409	263	166	87	52
Метилхлороформ, 1,1,1-Трихлорэтан	71-55-6	618	366	214	102	57
Трихлорэтилен, 1,1,2-Трихлорэтилен	79-01-6	749	441	256	122	68
1,1,2-трихлорэтан, винилтрихлорид	79-00-5	976	558	314	143	77
Тетрахлориды						
Четырёххлористый углерод, Тетрахлорметан	56-23-5	677	398	231	109	61
Перхлорэтилен, Тетрахлорэтилен	127-18-4	1106	609	331	145	77
Ацетаты						
Метил ацетат	79-20-9	182	131	92	55	36
Этенилацетат, Винилацетат	108-05-4	389	251	158	82	49
Этилацетат, Уксусный эфир	141-78-6	483	299	182	91	53
Изопропил ацетат, 2-Ацетоксипропан	108-21-4	668	386	219	102	56
н-Пропил ацетат, 1-Пропилацетат	109-60-4	768	438	246	112	61
Бутилацетат, н-Бутил ацетат	123-86-4	935	508	273	118	62
Изоамилацетат, 3-Метилбутил ацетат	123-92-2	1007	530	277	116	59
Пентилацетат, н-Пентил ацетат	628-63-7	1023	537	280	117	59
Кетоны						
Ацетон	67-64-1	118	92	69	44	30
Этилметилкетон, Буган-2-он	78-93-3	423	271	170	88	52
Метилэтилкетон, Метилпропилкетон	107-87-9	729	424	243	113	62
Диэтиловый кетон, 3-Пентанон	96-22-0	744	433	248	115	63
Метилизобутилкетон	108-10-1	884	488	266	117	62
Мезитил оксид, Изопропилиденацетон	141-79-7	1063	581	314	136	71
Циклопентанон	120-92-3	1020	589	333	153	83
Диацетилметан, Пентан-2,4-дион	123-54-6	1103	612	335	147	78
Этилбутилкетон	106-35-4	1061	561	294	123	63
Метил н-амил кетон, 2-Гептанон	110-43-0	791	432	234	102	54
Циклогексанон	108-94-1	1257	683	366	157	81
Диизобутил кетон, Изобутилкетон	108-83-8	963	496	254	103	52
Алканы						
Пентан, н-Пентан	109-66-0	332	205	124	63	37
2,3-Диметилбутан	79-29-8	533	307	175	82	45
Гексан, н-гексан	110-54-3	585	334	189	87	48
Метилциклопентан	96-37-7	613	357	205	96	53
2,2,4-триметилпентан,Изооктан	540-84-1	747	401	214	92	48
Гептан	142-82-5	769	420	227	99	52
Метилциклогексан	108-87-2	842	463	252	111	59
2,2,5-Триметилгексан	3522-94-9	817	429	224	93	48
Циклооктан	292-64-8	747	410	224	99	53
Нонан	111-84-2	907	470	242	100	51
н-Декан	124-18-5	902	461	234	95	48
Амины						
Метиламин	74-89-5	Не применимо, температура кипения (-6 град С) ниже температуры воздуха				
Диметиламин	124-40-3	Не применимо, температура кипения (6,7 град С) ниже температуры воздуха				
Этиламин	75-04-7	Не применимо, температура кипения (16,7 град С) ниже температуры воздуха				
Изопропиламин	75-31-0	167	117	80	46	30
н-пропиламин	107-10-8	226	155	104	59	37
Диэтиламин	109-89-7	498	299	177	86	49

Монобутиламин	109-73-9	580	349	207	100	57
Триэтиламин	121-44-8	747	412	225	100	53
Дипропиламин	142-84-7	871	474	255	111	58
Диизопропиламин	108-18-9	716	395	216	96	51
Циклогексанамин	108-91-8	1065	575	308	132	69
Дибутиламин	111-92-2	980	507	261	107	54
Другие разные вещества						
Иодметан	74-88-4	Для этого вещества выполнение расчёт ВЗД не применим				
Акрилонитрил	107-13-1	Вся смена ⁴	465	Использование фильтрующих СИЗОД при концентрации выше 50 ppm в США запрещено		
Дибромэтан	74-95-3	947	565	331	158	89
Пиридин	110-86-1	1031	599	342	158	87
Эпихлоргидрин	106-89-8	866	525	310	150	84
Бромистый этилен	106-93-4	1252	699	384	170	90
1-Нитропропан	108-03-2	933	548	315	147	80
2-Этоксизэтанол	110-80-5	1105	624	345	154	81
Уксусный ангидрид	108-24-7	1095	623	348	156	83
2-Methoxyethyl acetate	32718-56-2	1092	594	319	137	71
Бромбензол	108-86-1	1448	761	397	165	84
2-Этоксизтилацетат	111-15-9	1143	600	312	129	65

Приложение 10. Пример (OSHA) – как использовать матмодель (таблицы)

В приложении 7 Вы можете найти математическую модель Джерри Вуда для вычисления ВЗД противогазных фильтров. Эта модель (в 2004 г. – прим) могла использоваться для расчёта ВЗД лишь в случае воздействия на фильтр одного вредного вещества. А если воздух загрязнён смесью веществ, то Вам нужен другой метод, или нужно увеличить коэффициент безопасности. Если учесть то, что матмодель Вуда не является «описательной», то при составлении расписания замены фильтров Вы уменьшите (вычисленное) значение ВЗД на какой-то коэффициент безопасности.

Шаг	Пример
1. Определяется концентрация вредного вещества в воздухе в зоне дыхания	На мебельной фабрике наносится лаковое покрытие. Воздух загрязнён толуолом. Замеры показали, что его наибольшая концентрация может достигать 200 ppm – среднесменная концентрация за 8-часовую смену
2. Обратитесь к таблицам ВЗД на сайте Управления по охране труда (OSHA)	На сайте есть таблицы для случая воздействия 120 разных вредных веществ при разных концентрациях.
3. Определите то ВЗД, которое будет в таблице для соответствующего значения концентрации и соответствующего вредного вещества.	В столбце для концентрации «200 ppm» есть значение для строки «толуол» (в группе ароматических веществ). Соответствующее значение ВЗД в таблице – 307 минут.
4. Учтите то, что на Вашем рабочем месте другие температура и влажность воздуха, и другой расход воздуха у работника – по сравнению со значениями, использовавшимися при составлении таблицы.	Таблица составлялась для «стандартных» условий использования фильтра. Относительная влажность (для таблицы) – 50%, а на фабрике 75%. Так как рост влажности сильно уменьшает ВЗД, уменьшите ВЗД из таблицы в 2 раза (=154 минуты).
5. Составьте расписание замены фильтров.	Вы можете увеличить запас безопасности, указав периодичность замены фильтров – каждые 2 часа. Вы можете распечатать таблицу, использованную для принятия решения, подписать коэффициент безопасности (=2), и включить это в написанную программу респираторной защиты.

⁴ См. стандарт OSHA по охране труда при работе с акрилонитрилом, Acrylonitrile Standard 29 CFR 1910.1045(h) <https://www.law.cornell.edu/cfr/text/29/1910.1045>

Приложение 11. Пример (OSHA) – как использовать матмодель (уравнение)

Для прогнозирования ВЗД при воздействии одного вредного вещества можно использовать математические уравнения. Вы можете использовать, например, математическую модель Джерри Вуда. Но так как эта модель не «описательная» (а «предсказывающая»), результат её применения желательно подтвердить экспериментально; или использовать коэффициент безопасности.

На сайте управления по охране труда (OSHA) бесплатно доступна программа «Advisor Genius». Она позволяет вычислить ВЗД для фильтра с активированным углём, с учётом конкретных условий на рабочем месте. Её нельзя использовать для определения ВЗД при воздействии таких веществ, которые при температуре воздуха (на рабочем месте) не находятся в жидком состоянии.

http://www.osha.gov/SLTC/respiratory_advisor/advisor_genius_wood/advisor_genius.html

Шаг	Пример
1. Определите: - Число фильтров на маске; - Массу сорбента в 1 фильтре, грамм; - Объём микропор в активированном угле, см ³ /грамм; - Насыпную плотность сорбента, грамм/см ³ ; - Максимальную температуру на рабочем месте; - Максимальную влажность на рабочем месте; - Максимальную концентрацию вредного вещества на рабочем месте, в частях на миллион по объёму (ppm); - Расход воздуха у работника, л/мин.	На той же (приложение 10) мебельной фабрике наносится лаковое покрытие. После реконструкции концентрация загрязнений снизилась - воздух загрязнён толуолом, 125 ppm – среднесменная концентрация за 8-часовую смену. Это значение превышает ПДК _{рз} (США). В таблице на сайте управления нет значений ВЗД для такой именно концентрации (есть для 100 и 200 ppm). Поэтому Вы можете вычислить ВЗД именно для Ваших условий, а необходимые сведения о свойствах фильтра получить у его изготовителя.
2. Введите исходные данные в программу, и вычислите ВЗД.	Введя данные, получили ВЗД 224 минуты, что на 70 мин. больше чем в (ближайшей) ячейке таблицы.
3. Используя коэффициент безопасности, определите конкретное ВЗД для Вашего рабочего места; составьте расписание замены фильтров; и включите его Вашу написанную программу респираторной защиты.	С учётом коэффициента безопасности ВЗД для составления расписания составит 3 часа. Можно сделать распечатку результата вычислений.

Приложение 12. Как вычислять ВЗД для смесей газов

Задача: Маляры работают вне помещений, и подвергаются воздействию смеси газов при их концентрациях: толуол 100 ppm, метил изобутил кетон (МИБК) 75 ppm, этилацетат 100 ppm. Они выполняют лёгкую работу, отн. влажность воздуха 50%, используют респираторы 3М с фильтрами «органические соединения» модель 6001. Как часто следует менять фильтры?

Решение: (примечание: в 2004 г. программа 3М для расчёта ВЗД не могла вычислять ВЗД при воздействии смесей, сейчас может). Вычисляем ВЗД для трёх случаев – когда воздух загрязнён лишь одним веществом. ВЗД толуола 3770 минут; метил изобутил кетона 3290 минут; этилацетата 2480 минут. За это время загрязнённость воздуха, очищенного фильтром, достигнет 10% от загрязнённости очищаемого воздуха, при воздействии на фильтр только одного вещества.

1. Метод Управления по охране труда (OSHA)

(Примечание: позднее специалисты изучили, что происходит при использовании этого метода, и оказалось, что не всегда он даёт правильный ответ). Так как ВЗД отличаются друг от друга менее чем в 10 раз, то будем определять ВЗД для «одного» вещества с концентрацией, равной сумме концентраций 3 веществ.

$$100 + 100 + 75 = 275 \text{ ppm}$$

Наименьшее ВЗД у этилацетата. Вводим в программу случай воздействия этилацетата при концентрации 275 ppm, получаем ВЗД = 989 минут (16,5 часов).

Ответ: Можно менять фильтры 1 раз за смену (8 часов).

2. Метод вычисления ВЗД для объёмных долей компонент смеси

Общая концентрация веществ-загрязнителей – 275 ppm. Объёмные доли компонент смеси:

$$\text{толуол} = 100/275 = 0,36; \quad \text{метил изобутил кетон} = 0,36; \quad \text{этилацетат} = 75/275 = 0,27.$$

Вычисляем ВЗД по-отдельности и в составе смеси:

Вещество	Объёмная доля в смеси	ВЗД индивидуально, минут	ВЗД в составе смеси, минут
толуол	0,36	3770	1360
метил изобутил кетон	0,36	3290	1180
этилацетат	0,27	2480	670

Т.е. фильтры следует менять через 670 минут (11 часов). ВЗД получилось меньше, чем при использовании метода Управления (OSHA). Можно менять фильтры 1 раз за смену 8 часов, но запас для безопасности получился меньше. Так как сейчас (2004 г. – прим) о ВЗД для воздействия смесей мало информации, желательно подтвердить правильность вычислений другим методом.

Приложение 13. Основные особенности программ, используемых для расчёта ВЗД (на 2004 г.)

На 2018 г. программное обеспечение для вычисления ВЗД у большинства компаний заметно улучшилось, они стали доступнее, а MSA отчасти русифицировала свою программу.

Разработчик	3M	OSHA	North	AO Safety	MSA	Willson	Survivair
Доступ	онлайн, скачивается	онлайн	онлайн, скачивается	скачивается	онлайн	Распротр. на CD	скачивается
Синонимы названий веществ	есть	нет	нет	нет	нет	есть	нет
Возможность добавить другие в-ва	есть	есть	есть	нет	нет	нет	нет
Расход воздуха, литров в минуту	Лёгкая работа 20, средн. 40, тяжёлая 60; у СИЗОД с подачей воздуха в маску 185, шлем 250	Лёгкая работа 30, средн. 60, тяжёлая 85	Лёгкая работа 30, средн. 50, тяжёлая 70	Лёгкая работа 20, средн. 40, тяжёлая 60	Лёгкая работа 30, средн. 60, тяжёлая 85; можно вводить свои значения	Лёгкая работа 40, средн. 60, тяжёлая 90, оч. тяжёлая 120	Лёгкая работа 30, средняя 50, тяжёлая 70
Расчёт ВЗД для смесей	Есть, орг. и неорг. в-ва вместе	нет	нет	нет	Есть, максимум 3 в-ва	Есть, максимум 3 в-ва	нет
Учёт относит. влажности	При ОВ от 65 до 85% вычисления проводятся, но вводится коэффициент безопасности; >85% не вычисляется	ОВ от 1 до 100%; от 65 до 85 ВЗД делится пополам, >85% – делится на 4	При ОВ 0, 20 и 50% поправку вводит оператор; при ОВ 65-85% поправка 1,11; при ОВ >85% - 1,25	При ОВ 50-65% поправка 1,06; ОВ от 60 до 80% - 1,39; ОВ 80-90% - поправка 2	Расчёт выполняется при любой ОВ, Никаких поправок не делается.	Расчёт выполняется при любой ОВ, коэффициент безопасности (поправка) вводится оператором.	При ОВ 66-80% поправка 1,11; 81-100% - 1,25. Можно вводить любой свой коэффициент безопасности
Температура	Выбирается из списка: <0; 0; 10; 20; 30; 40; 50; >50 град С	Вводится значение	Вводится значение	Вводится значение	Вводится значение	Вводится значение	Вводится значение
Атм. давление	Учитыв.	Не учитыв.	Не учитыв.	Не учитыв.	Учитыв.	Не учитыв.	Не учитыв.
Десорбция	Пользователя предупреждают	Не учитыв.	Пользователя предуп.	Пользователя предуп.	Пользователя предуп.	Пользователя предуп.	Пользователя предуп.
Расчёт ВЗД для неорганических веществ	есть	нет	есть	есть	На сайте есть таблица значений ВЗД	есть	есть
Расчёт ВЗД для веществ, для которых есть требования закона	Пользователя предупреждают, рекомендуя посмотреть соотв. требования	ВЗД вычисляется; советуют посмотреть требования	ВЗД вычисляется, предупреждений нет	ВЗД не вычисляется; советуют посмотреть требования	ВЗД не вычисляется; советуют посмотреть требования	ВЗД не вычисляется; советуют посмотреть требования	ВЗД вычисляется; советуют посмотреть требования

Приложение 14. Для каких вредных веществ можно вычислить ВЗД с помощью программ, предлагаемых поставщиками и производителями СИЗОД

(на 2004 г., сейчас перечень многократно расширен, и для расчёта ВЗД сделана программа компанией Dräger)

Вещество	CAS	3M	AOSafety	Survivair	Scott	US Safety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Диэтиламиноэтиловый спирт	100-37-8	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
4-Винилциклогексен	100-40-3	3M	AOSafety								
Этил бензол	100-41-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Стирол	100-42-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Бензилхлорид	100-44-7	3M	AOSafety	Survivair			North				
Диоксид хлора	10049-04-4		AOSafety	Survivair			North			Willson	
Бензиловый спирт	100-51-6	3M	AOSafety					MSA			
Бензальдегид	100-52-7	3M	AOSafety					MSA			
N-Метиламинобензол	100-61-8	3M	AOSafety	Survivair			North				
Гидразинбензол	100-63-0	3M	AOSafety	Survivair			North				
4-Этилморфолин	100-74-3			Survivair			North				
Метилен бифенил изоцианат	101-68-8	3M	AOSafety	Survivair				MSA		Willson	
Феноксibenзол	101-84-8		AOSafety								
Триэтаноламин	102-71-6	3M									
втор-Бутилацетат	105-46-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA	Willson	
Этил бутил кетон	106-35-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
пара-Ксилол	106-42-3			Survivair			North	MSA		Willson	
n-Крезол	106-44-5			Survivair			North				
1,4-Дихлорбензол	106-46-7			Survivair			North	MSA			
n-Толуидин	106-49-0							MSA			
Этилоксиран	106-88-7	3M	AOSafety								
1,2-Epoxybutane	106-88-8	3M									
Эпихлоргидрин	106-89-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Аллилглицидиловый эфир	106-92-3							MSA			
Этилен дибромид	106-93-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Бутадиен	106-99-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Акролеин	107-02-8	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Пропантиол-1	107-03-9		AOSafety								
Аллилхлорид	107-05-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
1,2-Дихлорэтан	107-06-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Этилен хлоргидрин	107-07-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Пропиламин	107-10-8				Scott	USSafety			OSHA		
Акрилонитрил	107-13-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		Moldex
Этилендиамин	107-15-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Аллиловый спирт	107-18-6	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Пропиловый спирт	107-19-7	3M	AOSafety					MSA			
Хлорацетальдегид	107-20-0	3M		Survivair				MSA			
Этиленгликоль	107-21-1		AOSafety					MSA			
Метил формиат	107-31-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
2,4,4-Триметил-1-пентен	107-39-1	3M	AOSafety								
Гексиленгликоль	107-41-5	3M	AOSafety					MSA			
Метилэтилкетон	107-87-9	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
1-Метоксипропан-2-ол	107-98-2	3M	AOSafety					MSA		Willson	
1-Нитропропан	108-03-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety			OSHA		
Этилацетат	108-05-4	3M	AOSafety		Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Метилизобутилкетон	108-10-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Метиламиловый спирт	108-11-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Диизопропиламин	108-18-9	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Диизопропиловый эфир	108-20-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Изопропил ацетат	108-21-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Изопропенилацетат	108-22-5				Scott	USSafety			OSHA		
Уксусный ангидрид	108-24-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
m-Ксилол	108-38-3			Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		Moldex
мета-Крезол	108-39-4			Survivair			North				
m-Толуамин	108-44-1	3M	AOSafety								
Метоксипропил-2-ацетат	108-65-6	3M									
Мезитилен	108-67-8		AOSafety		Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Диизобутил кетон	108-83-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
сек-Гексил ацетат	108-84-9			Survivair			North			Willson	
Бромобензол	108-86-1				Scott	USSafety			OSHA		
Метилциклогексан	108-87-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		

Толуол	108-88-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
4-Пиколин	108-89-4	3M	AOSafety								
Хлорбензол	108-90-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Циклогексиламин	108-91-8	3M	AOSafety		Scott	USSafety		MSA			
Циклогексанол	108-93-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Циклогексанон	108-94-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA		Willson	Moldex
Фенол	108-95-2							MSA		Willson	
<i>Phenyl Mercaptan</i>	108-96-5							MSA		Willson	
Фенилтиол	108-98-5	3M	AOSafety								
3-Пиколин	108-99-6	3M	AOSafety								
2-Метилпиридин	109-06-8	3M	AOSafety								
n-Пропил ацетат	109-60-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
n-Пентан	109-66-0	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
1-Хлорбутан	109-69-3				Scott	USSafety					
n-Бутиламин	109-73-9	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	Moldex
n-Бутил-меркаптан	109-79-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
2-Метоксизэтанол	109-86-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		Moldex
Диметоксиметан	109-87-5	3M	AOSafety	Survivair			North				
Диэтиламин	109-89-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Этилформиат	109-94-4	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Тетрагидрофуран	109-99-9	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Изобутилацетон	110-12-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Изобутилацетат	110-19-0	3M	AOSafety	Survivair			North			Willson	
Метиламилкетон	110-43-0	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
2-Метоксиэтилацетат	110-49-6				Scott	USSafety					Moldex
n-Гексан	110-54-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Тетраметиленхлорид	110-56-5				Scott	USSafety			OSHA		
Валериановый альдегид	110-62-3	3M	AOSafety					MSA			
Пентилмеркаптан	110-66-7		AOSafety								
2-Этоксизэтанол	110-80-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		Moldex
Циклогексан	110-82-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Циклогексен	110-83-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA		Willson	Moldex
Пиридин	110-86-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Пиперидин	110-89-4	3M	AOSafety								
Морфолин	110-91-8	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Полихлорированный бифенил	11097-69-1			Survivair			North				
2-Этоксизэтилацетат	111-15-9	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	Moldex
Пентадиаль	111-30-8	3M	AOSafety					MSA			
Гексил меркаптан	111-31-9		AOSafety								
Диэтилентриамин	111-40-0	3M	AOSafety								
Диэтаноламин	111-42-2							MSA			
Хлорекс	111-44-4							MSA			
Диэтиленгликоль	111-46-6	3M	AOSafety					MSA			
Октан	111-65-9	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Адипонитрил	111-69-3	3M	AOSafety								
2-Бутоксизэтанол	111-76-2	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Нонан	111-84-2	3M	AOSafety		Scott	USSafety		MSA	OSHA		Moldex
Октанол	111-87-5	3M	AOSafety					MSA			
Этилкарбитол	111-90-0	3M	AOSafety					MSA			
Дибутиламин	111-92-2	3M	AOSafety		Scott	USSafety		MSA	OSHA		
Триэтилентетрамин	112-24-3	3M									
Додецил меркаптан	112-55-0		AOSafety								
1,2,4-Трихлорбензол	120-82-1	3M	AOSafety					MSA			
Циклопентанон	120-92-3				Scott	USSafety			OSHA		
Триэтиламин	121-44-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Диметиланилин	121-69-7	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
2,3-Эпоксипропил фенил	122-60-1			Survivair			North				
3-(хлорметил) гептан	123-04-6				Scott	USSafety			OSHA		
4-Гептпнон	123-19-3	3M	AOSafety								
<i>3-Methyl-1-butanol</i>	123-41-3								OSHA		
Диацетоновый спирт	123-42-2	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Изопентиловый спирт	123-51-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA		Willson	
Диацетилметан	123-54-6				Scott	USSafety			OSHA		
Масляный альдегид	123-72-8	3M	AOSafety					MSA			
Бутилацетат	123-86-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Диоксан	123-91-1	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Изоамилацетат	123-92-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Диаллиламин	124-02-7	3M									
n-Декан	124-18-5				Scott	USSafety			OSHA		
Диметиламин	124-40-3				Scott	USSafety			OSHA	Willson	Moldex
Метакрилонитрил	126-98-7	3M	AOSafety								

Хлоропрен	126-99-8	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Перхлорэтилен	127-18-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Диметилацетамид	127-19-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Ксилидин	1300-73-8			Survivair			North			Willson	
Диметилфталат	131-11-3	3M	AOSafety	Survivair			North				
Крезол (смесь изомеров)	1319-77-3	3M	AOSafety					MSA		Willson	
Дивинилбензол	1321-74-0	3M	AOSafety								
Ксилол (смесь изомеров)	1330-20-7	3M	AOSafety								
Гексахлорнафталин	1335-87-1			Survivair			North				
Бензилацетат	140-11-4	3M	AOSafety								
Этил акрилат	140-88-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Бутилакрилат	141-32-2	3M	AOSafety					MSA			
Этаноламин	141-43-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Этилацетат	141-78-6	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Мезитил оксид	141-79-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
н-Гептан	142-82-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Дипропиламин	142-84-7				Scott	USSafety			OSHA		
Гексилацетат	142-92-7				Scott	USSafety			OSHA		
Декан-1-тиол	143-10-2		AOSafety								
Этиленимин	151-56-4	3M						MSA			
Галотан	151-67-7	3M	AOSafety								
цис-1,2-Дихлорэтилен	156-59-2				Scott	USSafety			OSHA		
транс-1,2-Дихлорэтилен	156-60-5				Scott	USSafety			OSHA		
Этилиденнорборнен	16219-75-3				Scott	USSafety			OSHA		
2-Метил-2-метоксипропан	1634-04-4	3M	AOSafety					MSA			
Фреон 141, 1,1-Дихлор-1-фторэтан	1717-00-6	3M									
(Бутоксиметил)оксиран	2426-08-6			Survivair			North				
Винилтолуол	25013-15-4	3M		Survivair			North	MSA			
Триметилбензол	25551-13-7	3M	AOSafety					MSA			
Метилгексалин	25639-42-3			Survivair			North				
Циклопентан	287-92-3	3M	AOSafety					MSA			
Циклооктан	292-64-8				Scott	USSafety			OSHA		
Хладон-123, 2,2-Дихлоро-1,1,1-трифторэтан	306-83-2	3M									
2-Methoxyethyl acetate	32718-56-2								OSHA		
Диазометан	334-88-3			Survivair			North				
2,2,5-Триметилгексан	3522-94-9				Scott	USSafety			OSHA		
Глицидил изопропил эфир	4016-14-12			Survivair			North				
Изофорона диизоцианат	4098-71-9	3M									
Крононовый альдегид	4170-30-3	3M	AOSafety					MSA			
Формальдегид	50-00-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Триметилхлорметан	507-20-0				Scott	USSafety			OSHA		
Тетранитрометан	509-14-8	3M	AOSafety	Survivair			North				
Хлорацетофенон	532-27-4			Survivair			North				
Арохлор	53469-21-9			Survivair			North				
Пропилхлорид	540-54-5				Scott	USSafety			OSHA		
1,2-Дихлорэтилен	540-59-0	3M	AOSafety	Survivair				MSA		Willson	
Изооктан	540-84-1				Scott	USSafety			OSHA		
трет-Бутилацетат	540-88-5	3M	AOSafety					MSA	OSHA		
Никогин	54-11-5						North				
Этил амил кетон	541-85-5			Survivair	Scott	USSafety			OSHA	Willson	
1,3-Дихлорпропен	542-75-6				Scott	USSafety					
Бис(хлорметилвый) эфир	542-88-1	3M	AOSafety					MSA			
Циклопентадиен	542-92-7	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
1-Хлорпентан	543-59-9				Scott	USSafety			OSHA		
1-Хлоргексан	544-10-5				Scott	USSafety			OSHA		
Циклогептатриен	544-25-2				Scott	USSafety			OSHA		
Нитроглицерин	55-63-0	3M	AOSafety	Survivair							
Эпигидриновый спирт	556-52-5	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Тетрахлорметан	56-23-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Метилизопропилкетон	563-80-4	3M	AOSafety					MSA			
Пропиленгликоль	57-55-6	3M	AOSafety					MSA			
бета-Пропиолактон	57-57-8	3M	AOSafety					MSA			
2-Метилциклогексанон	583-60-8			Survivair							
Метилфенилендиизоцианат	584-84-9	3M	AOSafety	Survivair				MSA		Willson	
4-Метилциклогексанон	589-92-4				Scott	USSafety			OSHA		
(R,S)-3-Метилциклогексанон	591-24-2				Scott	USSafety					
Метилбутилкетон	591-78-6	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Аллилацетат	591-87-7				Scott	USSafety			OSHA		
Гексен-1	592-41-6	3M									
1,5-Гексадиен	592-42-7							MSA			

1,4-Гексадиен	592-45-0	3M	AOSafety								
2-Хлор-2-метилбутан	594-36-5				Scott	USSafety			OSHA		
Тиокабонилтетрахлорид	594-42-3			Survivair			North				
D-Лимонен	5989-27-5	3M									
1-Хлоро-1-нитропропан	600-25-9			Survivair							
2-Меркаптоэтанол	60-24-2	3M	AOSafety								
Диэтиловый эфир	60-29-7	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
втор-Амиловый спирт	6032-29-7				Scott	USSafety			OSHA	Willson	
Метил изоцианат	624-83-9	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Анилин	62-53-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
3-Methylcyclohexanone	625-96-7								OSHA		
втор-Амилацетат	626-38-0			Survivair			North			Willson	
Пентилацетат	628-63-7	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
1-Хлоргептан	629-06-1				Scott	USSafety			OSHA		
Этиловый спирт	64-17-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Муравьиная кислота	64-18-6	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Уксусная кислота	64-19-7	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Метанол	67-56-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA	Willson	
Изопропиловый спирт	67-63-0	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Ацетон	67-64-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Хлороформ	67-66-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Диметилформамид	68-12-2	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
cis-1,2-dichloropropene	6923-20-2								OSHA		
trans-1,2-dichloropropene	7069-38-7								OSHA		
Пропиловый спирт	71-23-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
1-Бутанол	71-36-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
Амиловый спирт	71-41-0				Scott	USSafety			OSHA		
Бензол	71-43-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		Moldex
Метилхлороформ	71-55-6	3M		Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Диоксид серы	7446-09-5	3M	AOSafety	Survivair			North			Willson	
Метил хлорид	74-87-3				Scott	USSafety			OSHA	Willson	
Иодметан	74-88-4		AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Метиламин	74-89-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA	Willson	Moldex
Метилен бромистый	74-95-3				Scott	USSafety			OSHA		
Этилбромид	74-96-4	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Хлорбромметан	74-97-5	3M	AOSafety				North	MSA			
Метилацетилен	74-99-7						North				
Этилхлорид	75-00-3			Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Хлорэтен	75-01-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North		OSHA		
Этиламин	75-04-7				Scott	USSafety			OSHA		
Ацетонитрил	75-05-8	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Ацетальдегид	75-07-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Этилмеркаптан	75-08-1	3M	AOSafety	Survivair				MSA			
Дихлорметан	75-09-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Формамид	75-12-7	3M	AOSafety								
Сероуглерод	75-15-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Окись этилена	75-21-8	3M	AOSafety	Survivair			North				
Бромформ	75-25-2	3M	AOSafety	Survivair							
2-Хлорпропан	75-29-6				Scott	USSafety			OSHA		
Изопропиламин	75-31-0	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
1,1-Дихлорэтан	75-34-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA			
1,1-Дихлорэтилен	75-35-4	3M	AOSafety					MSA	OSHA		
Дихлорфторметан, Хладон-21	75-43-4							MSA			
Нитрометан	75-52-5	3M	AOSafety	Survivair			North				
2-Метилазирин	75-55-8	3M		Survivair			North				
Пропилен оксид	75-56-9	3M	AOSafety	Survivair			North				
Дибромдифторметан	75-61-6	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
трет-Бутиловый спирт	75-65-0	3M	AOSafety	Survivair				MSA		Willson	
Трихлорфторметан	75-69-4						North				
Ацетонциангидрин	75-86-5	3M	AOSafety					MSA			
Пентахлорэтан	76-01-7				Scott	USSafety			OSHA		
Хлоропикрин	76-06-2	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
1,1,1,2-Тетрахлор-2,2-дифторэтан	76-11-9			Survivair			North				
Тетрахлордифторэтан	76-12-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Трифтортрихлорэтан	76-13-1	3M	AOSafety	Survivair			North				
1,4-Дихлор-2-бутилен	764-41-0	3M									
Хлористый водород	7647-01-0		AOSafety	Survivair			North			Willson	
Фтористый водород	7664-39-3	3M	AOSafety	Survivair			North			Willson	
Аммиак	7664-41-7	3M	AOSafety	Survivair			North			Willson	
Гексахлорциклопентадиен	77-47-4	3M	AOSafety								

Диметилсульфат	77-78-1	3M	AOSafety	Survivair			North				
Хлор	7782-50-5		AOSafety	Survivair			North			Willson	
Сероводород	7783-06-4	3M	AOSafety	Survivair			North				
Тетраэтилсвинец	78-00-2	3M	AOSafety	Survivair							
Тетраэтил силикат	78-10-4			Survivair			North	MSA			
Изофорон	78-59-1	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Изопрен	78-79-5	3M	AOSafety								
Изопропилицианид	78-82-0		AOSafety								
Изобутиловый спирт	78-83-1	3M	AOSafety	Survivair			North			Willson	
Пропилен дихлорид	78-87-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
2-Бутанол	78-92-2	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
Этилметилкетон	78-93-3	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	
1,1,2-трихлорэтан	79-00-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Трихлорэтилен	79-01-6	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Хлорацетилхлорид	79-04-9	3M	AOSafety								
Акриламид	79-06-1			Survivair			North				
Пропановая кислота	79-09-4	3M	AOSafety					MSA			
Акриловая кислота	79-10-7	3M	AOSafety					MSA			
Метил ацетат	79-20-9	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Нитроэтан	79-24-3	3M	AOSafety	Survivair			North				
Тетрабромид ацетилен	79-27-6	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Диизопропил	79-29-8				Scott	USSafety			OSHA		
Ацетилен тетрахлорид	79-34-5	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Метакриловая кислота	79-41-4	3M	AOSafety								
2-Нитропропан	79-46-9	3M	AOSafety	Survivair			North				
Нефть сырая	8002-05-9			Survivair			North				
Скипидар	8006-64-2			Survivair			North				
Гидроперекись кумола	80-15-9	3M									
Нафта; нефтяной бензин	8030-30-6			Survivair			North			Willson	
Бензин	8032-32-4									Willson	
Уайт-спирит	8052-41-3									Willson	
Метилметакрилат	80-62-6	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Гексаметилендиизоцианат	822-06-0	3M	AOSafety							Willson	
Дибутилфталат	84-74-2	3M	AOSafety	Survivair			North				
1-Метил-2-пирролидон	872-50-4	3M									
Гексахлорбугадиен	87-68-3	3M	AOSafety								
2-Нитрогептолуол	88-72-2	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
2-Метоксианилин	90-04-0			Survivair			North				
Нафталин	91-20-3							MSA		Willson	
Бензопиридин	91-22-5	3M	AOSafety								
4-Амино-2,6-дихлорофенол	930-28-9				Scott	USSafety			OSHA		
Бензоил перекись	94-36-0			Survivair			North				
Инден	95-13-6	3M	AOSafety					MSA			
орто-Кеиллол	95-47-6			Survivair			North	MSA		Willson	
орто-Крезол	95-48-7						North				
2-Хлортолуол	95-49-8	3M	AOSafety	Survivair				MSA	OSHA		
орто-Дихлорбензол	95-50-1	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety		MSA	OSHA	Willson	
орто-Толуидин	95-53-4	3M	AOSafety	Survivair			North				
1,6-Гептадин	96-63-6		AOSafety								
Дибромхлорпропан	96-12-8	3M	AOSafety	Survivair			North				
1,2,3-Трихлорпропан	96-18-4	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA		
Диэтиловый кетон	96-22-0	3M	AOSafety		Scott	USSafety		MSA	OSHA		
Метил акрилат	96-33-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Метилциклопентан	96-37-7				Scott	USSafety			OSHA		
2-Этилбутиловый спирт	97-95-0				Scott	USSafety			OSHA		
Тетрагидрофурфурфуриловый спирт	97-99-4	3M									
Фурфуриловый спирт	98-00-0	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
Фурфурол	98-01-1	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA			
Бис(2-этилгексилфосфат)	98-07-7	3M									
4-трет-Бутилтолуол	98-51-1			Survivair			North	MSA			
Изопропилбензол	98-82-8	3M	AOSafety	Survivair	Scott	USSafety	North	MSA	OSHA	Willson	Moldex
Изопропенил бензол	98-83-9	3M	AOSafety	Survivair				MSA			
Метилфенилкетон	98-86-2		AOSafety					MSA			
Бензоилхлорид	98-88-4	3M	AOSafety		Scott	USSafety					
Нитробензол	98-95-3	3M	AOSafety	Survivair			North	MSA		Willson	
3-Нитрогептолуол	99-08-1		AOSafety								
п-Цимол	99-87-6		AOSafety		Scott	USSafety			OSHA		
Всего веществ:		226	222	188	120	120	169	168	118	103	22

**Приложение 15. Сравнение ВЗД, вычисленных с помощью программ
разных производителей СИЗОД, и программы OSHA**

Разработчик программы →			3M	AOSafety	Willson	Survivair	MSA	North	OSHA
Вещество	CAS	2×ПДКрз	Вычисленное время защитного действия, часы						
Ацетон	67-64-1	1000	1,9	1,5	2,3	2,5	2,6	1	1
Бутилацетат	123-86-4	300	10,7	10,1	22,7	14,4	12	6,9	5,3
Изопропилбензол	98-82-8	100	32,5	30,9	25,5	38	36,7	18,1	16,3
Циклогексан	110-82-7	600	5,1	4,6	6,2	6,2	5,9	2,8	2,7
Этилацетат	141-78-6	800	3,7	3,2	5,3	5	4,2	2,2	1,9
Этил бензол	100-41-4	200	17,8	16,7	16,8	22,4	20	10,7	8,9
Этил бутил кетон	106-35-4	100	31,1	29,3	27,4	40,9	33,3	19,8	15,7
н-Гексан	110-54-3	100	18,4	16,1	20,1	24,7	23,9	11,2	10,1
Изоамилацетат	123-92-2	200	15,2	29,4	14,1	20,6	17,1	10,1	7,7
Изопропил ацетат	108-21-4	500	5,8	5,2	7	17,1	6,7	3,7	3
Этилметилкетон	78-93-3	400	6,1	5,2	9,8	7,7	7,7	3,1	3,3
Метил н-амил кетон	110-43-0	100	31,2	29,5	30,4	44,7	84,1	20,7	12,5
Метилизобутилкетон	108-10-1	100	27,4	25,1	29,2	35,8	29,8	16,7	14,1
н-Пропил ацетат	109-60-4	400	7,8	7,1	9,8	10,4	6,8	4,9	4
Толуол	108-88-3	100	31,4	28,6	29,5	33,4	29,2	15,1	16,3
Модель противогазного фильтра:			6001	8051	T01	100100	Comfo GMA	N-7500-1	Default*
Относительная влажность воздуха, %			<65%	<50%	0%	0-65%	0%	<65%	1%
Расход воздуха, л/мин			40	40	40	30	30	30	30
Температура воздуха 20 град С (68 F), атмосферное давление 1 атм, значения ПДКрз, использованные при вычислениях, соответствуют американским: TLV (ACGIH), или PEL (OSHA)									

* использованы значения, которые предлагает программа «Advisor Genius» – по умолчанию.

Вычислялся проскок – концентрация загрязнений в очищенном воздухе, равная 10% от концентрации в окружающем воздухе. Некоторые программы позволяют делать расчёты лишь для концентрации загрязнений в очищенном воздухе, если она задана как % от ПДКрз. В этом случае вводили такой % от ПДКрз, что концентрация получалась равной 10% от концентрации в загрязнённом воздухе.

Предупреждение: эта таблица, сама по себе, не является показателем того, какой противогазный фильтр лучше или хуже. Она приводится только для того, чтобы показать, что в схожих условиях вычисленное ВЗД может быть разным; а для сравнения качества фильтров необходимо проводить их проверку – экспериментально.

**Приложение 16. Прогнозирование ВЗД
при воздействии на фильтр ракетного топлива JP-8
(jet propulsion fuel-8)**

Случай (а): концентрация не выше 300 ppm

Загрязнённость очищенного воздуха, для которой получено ВЗД	Прогнозируемое время защитного действия		
	Отн. влажность до 50%	Отн. влажн. 50-80%	ОВ выше 80%; или температура выше 29,4 град С (85 F)
7 ppm (1/2 ПДКрз США - TLV)	1 час 30 мин	1 час	45 минут
25 ppm (1/2 ПДКрз ВВС США - OEL)	3 часа 15 мин	2 часа	1 час 30 минут

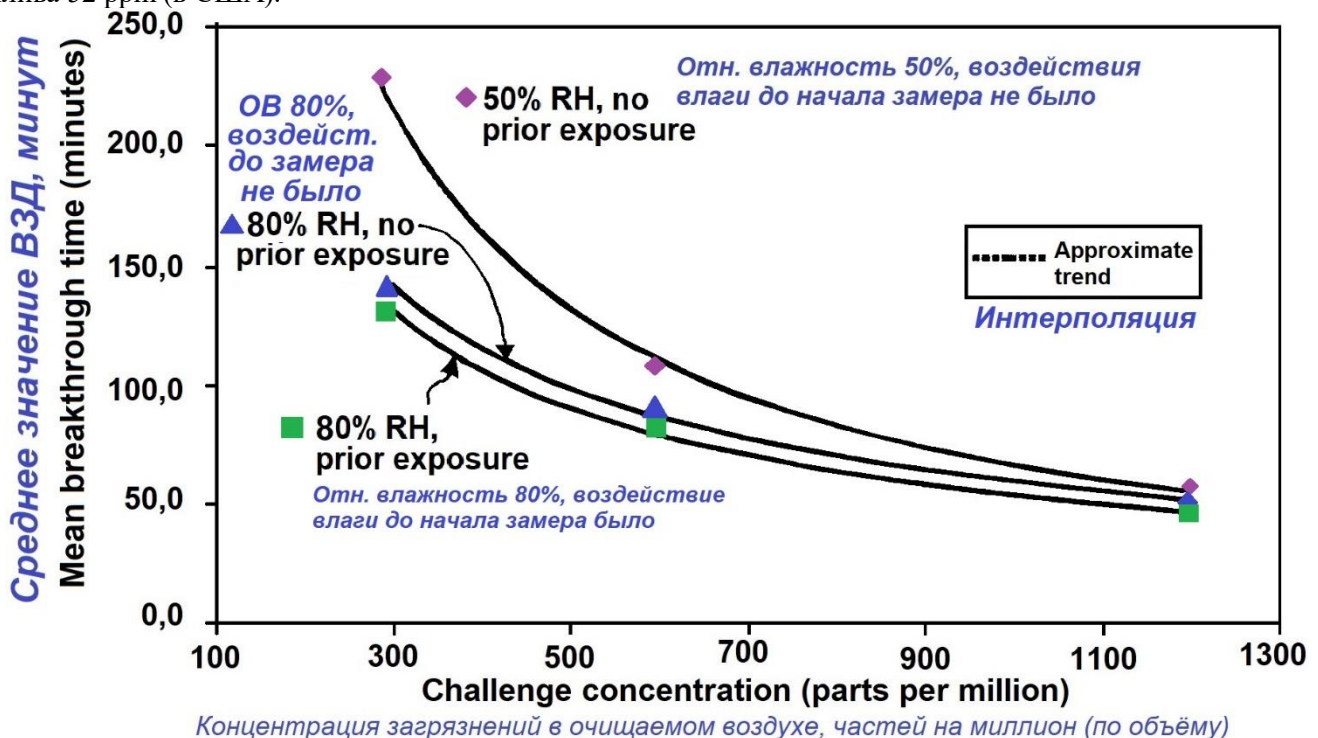
Случай (b): концентрация от 300 до 600 ppm

Загрязнённость очищенного воздуха, для которой получено ВЗД	Прогнозируемое время защитного действия		
	Отн. влажность до 50%	Отн. влажн. 50-80%	ОВ выше 80%; или температура выше 29,4 град С (85 F)
7 ppm (1/2 ПДКрз США - TLV)	1 час	35 минут	20 минут
25 ppm (1/2 ПДКрз ВВС США - OEL)	1 час 15 мин	1 час	45 минут

Случай (c): концентрация от 600 до 1200 ppm

Загрязнённость очищенного воздуха, для которой получено ВЗД	Прогнозируемое время защитного действия		
	Отн. влажность до 50%	Отн. влажн. 50-80%	ОВ выше 80%; или температура выше 29,4 град С (85 F)
7 ppm (1/2 ПДКрз США - TLV)	35 минут	30 минут	20 минут
25 ppm (1/2 ПДКрз ВВС США - OEL)	40 минут	30 минут	20 минут

Оценки сделаны на основе лабораторных испытаний при расходе воздуха через каждый фильтр 32 л/мин (суммарный расход для СИЗОД в целом 64 л/мин). Все фильтры перед испытаниями были выдержаны при относительной влажности 80% и температуре 25 град С в течение 6 часов. ПДКрз использовавшегося ракетного топлива 52 ppm (в США).



Источник:

Culp, K. W.: Determining Organic Vapor Cartridge Breakthrough Characteristics of JP-8 During Aircraft Fuel Tank Entry Operations, thesis at West Virginia University, Morgantown, West Virginia, (2000).

<https://researchrepository.wvu.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2005&context=etd>

<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a382721.pdf>

Приложение 17. Параметры некоторых противогазных фильтров

Модель фильтра	Объём микропор в активированном угле, см ³ /грамм	Масса сорбента в (одном) фильтре	Насыпная плотность сорбента, грамм/см ³	Диаметр полости в фильтре, заполненной сорбентом
MSA Comfo GMA	0,75	37	0,4	7,4
MSA Comfo GMC	0,55	48	0,51	7,4
MSA Comfo GME	0,35	72	0,62	7,4
MSA Advantage GMA	0,75	41	0,4	8,0
MSA Advantage GMC	0,55	52	0,51	8,0
MSA Advantage GME	0,35	75	0,62	8,0
North N7500-1	0,604	83,4	0,444	7,52
North N7500-3	0,49	93,8	0,5	7,52
North 75SC	0,346	7,52	140,6	0,59
Moldex 8100	?	36,7	?	7,85
Moldex 8600	?	28	?	7,85
Scott Organic Vapor Cartridges*	0,78	110	0,87	7,95
OSHA Default Values**	0,4	26	0,4	7

* значения параметров, указанные в таблице для фильтров Scott, применимы для сертифицированных противогазных фильтров, номера сертификатов (ТС-...):

- **ТС-23С-219** «органические соединения», фильтр предназначен для установки на полнолицевые маски;
- **ТС-84А-2711** «органические соединения» + противоаэрозольный фильтр высокой эффективности «Р100», предназначен для установки на полнолицевые маски;
- **ТС-84А-2858** «органические соединения» + противоаэрозольный фильтр средней эффективности «N95», предназначен для установки на полнолицевые маски;
- **ТС-23С-780** «органические соединения», фильтр предназначен для установки на полумаски;
- **ТС-84А-2712** «органические соединения» + противоаэрозольный фильтр высокой эффективности «Р100», предназначен для установки на полумаски;
- **ТС-84А-2855** «органические соединения» + противоаэрозольный фильтр средней эффективности «N95», предназначен для установки на полумаски.

** Значение «по умолчанию», используемое Управлением по охране труда (OSHA), было вычислено основе информации о диаметре (13 см) и расходе воздуха (60 л/мин).

Источники информации

<http://www.moldex.com/images/PDFs/CARTRIDGE.pdf>

<http://www-nehc.med.navy.mil/ih/Respirator/ChangeSchedule.htm>

<http://warranty.msnet.com/safetyproducts/resptest/index.html>

http://www.osha.gov/SLTC/respiratoryadvisor/advisor_genius-wood/calcfame.html