

Лаборатория ВМФ США

Naval Research Laboratory,

Washington, DC 20375-5320

NRL/MR/6112--05-8875

=====

Использование датчиков, устанавливаемых в противогазные фильтры респираторов как индикаторов окончания срока службы: обзор исследований и направления развития

*Integration of Sensor Technologies into Respirator Vapor Cartridges as End-of-Service-Life
Indicators: Literature and Manufacturer's Review and Research Roadmap*

Авторы:

Сьюзан Роза-Пехерсон

Susan L. Rose-Pehrsson, Chemical Dynamics and Diagnostics Branch, Chemistry Division

Моника Уильямс

Monica L. Williams, Nova Research, Inc., Alexandria, VA

Приготовлено для:

Джея Снайдера и Рональда Шаффера

Лаборатория СИЗ (NPRTL) в Национальном институте охраны труда (NIOSH)

Jay L. Snyder, Ronald E. Shaffer

*National Institute for Occupational Safety and Health National Personal Protective Technology
Laboratory Pittsburgh, PA*

Одобрено для публичной публикации, распространение документа не ограничено

Approved for public release; distribution is unlimited.

6 мая 2005

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 Department of Defense, Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports (0704-0188), 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302. Respondents should be aware that notwithstanding any other provision of law, no person shall be subject to any penalty for failing to comply with a collection of information if it does not display a currently valid OMB control number.					
PLEASE DO NOT RETURN YOUR FORM TO THE ABOVE ADDRESS.					
1. REPORT DATE (DD-MM-YYYY) 06-05-2005		2. REPORT TYPE Memorandum Report	3. DATES COVERED (From - To) October 2004-January 2005		
4. TITLE AND SUBTITLE Integration of Sensor Technologies into Respirator Vapor Cartridges as End-of-Service-Life Indicators: Literature and Manufacturer's Review and Research Roadmap		5a. CONTRACT NUMBER			
		5b. GRANT NUMBER 04FED06911			
6. AUTHOR(S) Susan L. Rose-Pehrsson and Monica L. Williams*		5c. PROGRAM ELEMENT NUMBER			
		5d. PROJECT NUMBER			
		5e. TASK NUMBER			
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Naval Research Laboratory, Code 6112 4555 Overlook Avenue, SW Washington, DC 20375-5320		5f. WORK UNIT NUMBER 61-M826-0-4			
		8. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER NRL/MR/6112-05-8875			
9. SPONSORING / MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) National Institute for Occupational Safety and Health National Personal Protective Technology Laboratory P.O. Box 18070 626 Cochrans Mill Road Pittsburgh, PA 15236		10. SPONSOR I MONITOR'S ACRONYM(S) NIOSH-NPPTL			
		11. SPONSOR / MONITOR'S REPORT NUMBER(S)			
12. DISTRIBUTION IAVAILABILITY STATEMENT Approved for public release; distribution is unlimited.					
13. SUPPLEMENTARY NOTES *Nova Research, Inc., 1900 Elkin Street, Suite 230, Alexandria, VA 22308					
14. ABSTRACT This report provides a state-of-the-art review of sensor integration into respirator vapor cartridges for end-of-service-life indication (ESLI). The study identifies current research and available products for use as ESLI. In addition, this report provides a roadmap for research and development to the National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), National Personal Protective Technology Laboratory (NPPTL). The approach was to conduct a literature survey and to have detailed discussions with commercial manufacturers, user-group representatives, and key research groups. This report contains a library of research papers, patents, reports, and other communications discussing integration of various sensor technologies into protection equipment. The survey also provides current capabilities of commercial sensors. This report provides a review of the literature, the results of the discussions conducted, a description of the state of the art of sensor technology, and concludes with recommendations for future research and development.					
15. SUBJECT TERMS End-of-service-life indicators; Respiratory protection; Respirator vapor cartridges; Sensor technology; Nanotechnology; Chemical sensors; MEMS-based sensors; Sensor integration					
16. SECURITY CLASSIFICATION OF:		17. LIMITATION OF ABSTRACT UL	18. NUMBER OF PAGES 37	19a. NAME OF RESPONSIBLE PERSON Susan L. Rose-Pehrsson	
a. REPORT Unclassified	b. ABSTRACT Unclassified			19b. TELEPHONE NUMBER (include area code) (202) 767-3138	
c. THIS PAGE Unclassified					

Перевод сделан без консультации со специалистами, и в нём могут быть неточности. Во всех сомнительных случаях обращайтесь к первоисточнику (ссылка вверх на первой странице)

Предисловие к переводу

При использовании фильтрующих противогазных средств индивидуальной защиты органов дыхания необходимо периодически заменять противогазные фильтры. Запоздавшая замена может привести к чрезмерному воздействию вредных веществ на работника, повредить его здоровье, а иногда – угрожает его жизни. К сожалению, в РФ (в отличие от развитых стран) специалистов по охране труда не учат выбирать и применять СИЗОД. Информации о том, как вовремя заменить фильтры нет ни в учебниках по охране труда (там, как правило, кратко описываются СИЗОД, и приводится маркировка фильтров), ни в других документах. Основным источником информации для специалистов и работников становятся указания изготовителей (и сложившиеся за десятилетия традиции).

Как правило, производители и поставщики рекомендуют менять фильтры «при появлении запаха под маской». Это способ замены очень удобен тем, что позволяет учесть всё множество факторов, влияющих на срок службы фильтра: химический состав загрязнений, их концентрацию, температуру и влажность воздуха, потребление воздуха работником, количество и свойства сорбента в фильтре. Все эти факторы, в совокупности, могут изменять срок службы фильтра в очень широких пределах – от нескольких минут до десятков и сотен часов. Вдобавок «замена по появлению запаха» не требует каких-то дополнительных усилий ни от производителя, ни от работодателя: выдал СИЗОД, проинструктировал работника – и всё. Очень удобно. Но для того, чтобы этот очень широко распространённый способ позволил вовремя заменить фильтры, необходимо выполнение 2 условий: (1) работник должен чувствовать запах вредного вещества при концентрации, не превышающей 1 ПДК; и (2) у всех работников свойства органа обоняния должны соответствовать условию (1). К сожалению, оба эти условия иногда не выполняются, а порой совершенно не соответствуют фактам. Например, порог восприятия запаха бутилового спирта изучался с 1892 до 2011 гг. в более чем 70 исследованиях. И значение минимального порога отличалось от максимального в 300 тыс. раз; а у этилмеркаптана (18 исследований, 1919-2003 гг.) – 2 млн раз. И у многих веществ даже наименьшие значения порога восприятия запаха заметно превышают ПДК (а у многих замеры порога вообще не проводились).

По указанным причинам в США до 1998 г. разрешали использовать фильтрующие СИЗОД лишь для защиты от таких вредных веществ, у которых есть «предупреждающие свойства» (то есть тех, у которых порог восприятия запаха ниже 1 ПДК, которые при концентрации менее 1 ПДК вызывают раздражение слизистых оболочек органов дыхания и/или глаз; раздражение кожи). Новые научные исследования показали, что и в этом случае среди работников находятся такие, которые из-за индивидуальных особенности организма не способны почувствовать запах вовремя. Отметим, что в РФ, при прохождении предварительного медосмотра (перед началом работы в загрязнённой атмосфере, требующей применения СИЗОД), не проверяется – способен ли работник с помощью своих органов чувств различать опасную концентрацию загрязнений от безопасной. Также оказалось, что у людей, работающих в загрязнённой атмосфере, постепенно снижается чувствительность органа обоняния («привыкание»); она может резко снизиться при простудном заболевании; а также тогда, когда внимание работника сосредоточено на выполняемой работе. Поэтому в США с 1998 г. запретили использование «замены при появлении запаха» вообще. Другие, более надёжные способы описаны в статье «Способы замены противогазных фильтров» (в Википедии). Один из таких способов – использование фильтров специальной конструкции, которые сигнализируют о приближении окончания срока службы – описано в этом документе.

Работы в этом направлении велись и в СССР, но до 1991 г. удалось сделать очень немного (как и в других странах в то время), а после 1991 г. работа по этой теме в РФ практически прекратилась – всем стало не до этого. Вдобавок, в силу сложившихся с 1936 г. традиций, в РФ сохранилась практика не регистрации большей части профессиональных заболеваний; а работающие во вредных условиях теперь часто настолько сильно дорожат повышенным заработком, что сами скрывают появление признаков ухудшения здоровья (чтобы не потерять работу, и возможность кормить семью). К сожалению, вред, наносимый здоровью запоздалой заменой фильтров, невозможно компенсировать повышенной зарплатой; а «удобность» (для работодателя) замены «по появлению запаха» приводит к материальному и иному ущербу, не сравнимой с преимуществами этого способа: повышенная текучесть кадров, снижение производительности труда, объёма и качества выпускаемой продукции, падение дисциплины, рост потребления алкоголя, числа аварий и пожаров, падение качества продукции.

Для замены фильтров в РФ следует использовать более эффективные способы, как в США.

Содержание

История вопроса	1
Цель	3
Методы	3
Итоги обзора литературы	3
Описание противогазных фильтров	3
Исследования индикаторов ESLI	5
Патенты	7
Обсуждение результатов	10
Изготовители СИЗОД	10
Потребители	13
Исследователи	13
Датчики, которые есть в продаже	17
Уровень техники в области датчиков	20
Нано-датчики и системы датчиков	21
Недавно опубликованные статьи о таких датчиках	21
Рекомендации по проведению исследований и разработок	23
Направления исследований и НИОКР на кратковременный период: 3-5 лет	24
Направления исследований и НИОКР на долговременный период: 3-10 лет	25
Приложение А: Обзор публикаций	27
Приложение В: Участники обсуждения	33
Приложение С: Сравнение датчиков, изготовленных с помощью разных технологий	34

Использование датчиков, устанавливаемых в противогазные фильтры респираторов, как индикаторов окончания срока службы: обзор исследований и направления развития

История вопроса

Фильтрующие респираторы защищают сотрудников от вредных веществ во время работы. В продаже имеется большое количество разных респираторов и фильтров, и для разных условий работы есть разные изделия. В настоящем документе рассматриваются только респираторы со сменными противогазными фильтрами. В таблице 1 приводится перечень типов противогазных фильтров (*классификация соответствует стандартам США*).

Таблица 1. Виды противогазных фильтров
(классификация США отличается от европейской, принятой в РФ)

Фильтры	Типы вредных веществ	Примеры применения
OV	Пары органических соединений с хорошими предупреждающими свойствами	Обезжиривание, химчистка, сельское хозяйство, горнодобывающая промышленность, нефтехимические заводы и т.д.
AG	Кислые газы: хлор, хлороводород, диоксид серы, диоксид хлора, фтороводород	Гальваника, химическая обработка, травление или полирование стекла, и т.д.
F	Формальдегид	Синтез формальдегидных смол, хелатирующих агентов и красителей, бальзамирование и т.д.
AMMA	Аммиак/метиламин	Изготовление бумаги или резины, текстиля, удобрений и т.д.
MC	Смеси разных газов, или разные газы: OV+AG+F+AMMA	-
MV	Пары ртути	-
CBRN	Химические/Биологические/Радиологические/Ядерные воздушные загрязнения	(<i>First Responder</i> - первые люди, появляющиеся в зоне ЧС - полицейские, спасатели, пожарники и т. д., имеющие медицинскую подготовку) Далее в тексте - <u>Спасатели</u>

Респираторная защита с помощью фильтрующих СИЗОД является эффективным методом защиты рабочих (лишь) до тех пор, пока маска плотно прилегает к лицу (*отделяя органы дыхания от окружающей загрязнённой атмосферы*), и пока сорбент фильтров не утратил способность поглощать газы. Но определить, когда сорбент насытился, и перестал поглощать газы - сложно. На срок службы фильтров влияет много факторов: количество и химический состав вредных газов, их концентрация, расход воздуха, условия применения (влажность воздуха, температура). В 1984г NIOSH опубликовал стандарт с требованиями к активным индикаторам окончания срока службы противогазных фильтров (*Active End-of-Service-Life Indicators ESLI*). Целью этой публикации было стимулирование изготовителей СИЗОД разрабатывать такие индикаторы. (Но) до сих пор в этой области было проведено мало исследований и опубликовано мало работ. Публикации о ESLI начали появляться в научной литературе в конце 1980-х и начале 1990-х, но большинство из них относились к описанию ограничений при использовании сорбента (активированного угля) в различных условиях, и при воздействии смеси разных газов.

В 1998г Управление по охране труда (OSHA) в Минтруда США опубликовало пересмотренный стандарт по охране труда с требованиями к работодателю - как выбирать и как организовывать применение СИЗОД. В этом документе [*OSHA Standard 1910.134(d)(3)(iii)(B)(2)*] разрешалось заменять противогазные фильтры или по расписанию (*после определения их срока службы*), или использовать фильтры с индикаторами ESLI (*а использовать для замены фильтров появление запаха газа под маской запретили*). Ранее рабочие заменяли фильтры тогда, когда они чувствовали запах или вкус вредного вещества, или чувствовали раздражение. (Но) у некоторых газов величина опасной для здоровья концентрации (ПДК) значительно превышает концентрацию, при которой люди воспринимают запах.

Таблица 2. Сведения о том, как в разных отраслях определяли необходимость замены противогазных фильтров (по данным обзора [NIOSH/BLS Survey, Respirator Usage in Private Sector Firms, 2001 adapted from Table 56, page 133-134](#))

Принципы замены фильтров	Данные по отраслям, %			
	Все отрасли вместе	Строительство	Производство	Сфера обслуживания*
Противогазные фильтры не используются	37.5	43.3	24.2	43.2
Согласно указаниям изготовителя	36.6	35.4	47.4	28.9
По результатам проверки в своей лаборатории	4.8	4.9	6.6	2.3
По расписанию	11.4	5.2	18.6	8.9
Рабочий решает самостоятельно	20.1	17.1	30.8	20.9
Другие принципы	6.2	8.2	8	1.2
Неизвестно	6.5	7.6	3.3	9.8

* - медицинские учреждения и др.

Количество индикаторов окончания срока службы противогазных фильтров, которые есть сейчас в продаже, невелико, а для паров органических соединений таких индикаторов нет совсем. Определить, сколько рабочим требуются заменять фильтры по расписанию или по сигналам ESLI - нелегко. Но для оценки их числа есть немного информации. Известно, что ежегодно в США продаётся более 12 млн противогазных фильтров. Согласно обследованию NIOSH/BLS (<http://www.cdc.gov/niosh/docs/respsurv/>) в частном секторе экономики противогазные респираторы использовали хотя бы один раз за предыдущие 12 месяцев в 267 474 организациях. Чаще всего фильтрующие респираторы использовали для защиты от вредных газов (41.8%) и от окрасочных паров и растворителей (32.3%). Эти воздушные загрязнения чаще всего встречаются в строительстве, производстве и промышленности (>20%). Проведённый обзор использовался для выявления признаков возможного неадекватного применения респираторов (*нарушения требований к программам респираторной защиты*). В опросе один из вопросов затрагивал то, как в организации проводят замену противогазных фильтров. Ответы на этот вопрос приводятся в таблице 2. Из 4 столбцов, первый показывает результаты по всем отраслям вместе. Оказалось неожиданностью, что в ~20% организаций рабочим разрешают заменять противогазные фильтры самим. В этих организациях рабочие подвергаются наибольшему риску повреждения здоровья из-за потенциально несвоевременной замены фильтров. Использование индикаторов ESLI может снизить воздействие на таких рабочих.

Чтобы разработать ESLI, Национальная лаборатория СИЗ (*National Personal Protective Technology Laboratory NPPTL*) заинтересована в проведении рассчитанной на несколько лет программы исследований, направленной на установку разных датчиков (включая датчики на основе MEMS) в фильтры респираторов для определения их срока службы. Федеральное правительство не будет изготавливать такие устройства. Вместо этого, оно (с помощью лаборатории СИЗ) может разработать и испытать прототипы такой системы, чтобы определить самые важные критерии и требования к ней, что позволит NIOSH обоснованно разработать (требования к такой системе, и включить их) в стандарт по сертификации СИЗОД, и другие подобные документы так, чтобы они поощряли (разработку и применение ESLI. Эта информация также должна использоваться изготовителями фильтров при установке датчиков в их фильтры. (А) настоящий документ разрабатывался для того, чтобы помочь лаборатории СИЗ, другим заинтересованным сторонам и партнёрам о предполагаемых закупках и потребностях исследовательского проекта.

Цель

Цель настоящего документа - определить уровень развития техники в области установки датчиков в противогазные фильтры респираторов для определения их срока службы. (Мы) сосредоточились на выявлении имеющихся сейчас технологий и продукции, которые можно использовать в качестве индикаторов окончания срока службы. Также в документе приводится план проведения исследований и разработок лаборатории СИЗ и NIOSH.

Методы

Для решения поставленной задачи мы провели обзор публикаций и подробное обсуждение с изготовителями, представителями потребителей и представителями наиболее важных исследовательских групп. На основе обзора подведены итоги и сделан анализ имеющихся и разрабатываемых методов для определения срока службы противогазных фильтров респираторов. Мы собрали информацию о исследованиях, патентах, отчётах и другие сообщения, где обсуждалось использование разных датчиков в средствах защиты. В настоящем документе также приводятся сведения о современных технических характеристиках датчиков, имеющихся в продаже. В приложении А приводится перечень (таких) публикаций (*до 2005г*), а приложении В - список всех изготовителей СИЗОД, представителей потребителей и важнейших исследовательских групп, которые были опрошены при подготовке документа. Документ содержит перечень публикаций, результаты проведённых обсуждений, описание уровня техники в области датчиков, и выводы и рекомендации в отношении проведения дальнейших исследований и НИОКР.

Итоги обзора литературы

Описание противогазных фильтров

Согласно OSHA "у всех противогазных фильтров респираторов должны быть индикаторы окончания срока службы, или же (*какая-то другая*) объективная основа, которая должна использоваться для составления расписания замены фильтров". В тех случаях, когда нет индикаторов окончания срока службы, разработано несколько методов для определения необходимости замены фильтров.

Например, при использовании конкретного фильтра, для оценки его срока службы может быть полезно математическое моделирование. Но оно не позволяет определить срок службы при воздействии смеси разных газов¹. Нужно провести лабораторные исследования для определения реального времени проскока определённых веществ через определённые фильтры. При отсутствии индикаторов также могут оказаться полезны испытания фильтров в производственных условиях. В отличие от лабораторных экспериментов, испытания в производственных условиях автоматически включают в себя учёт тех параметров атмосферы, которые влияют на срок службы фильтров. Но такие испытания требуют специального измерительного оборудования, и они трудоёмкие.

Несколько авторов описали проблемы, которые приходится решать при составлении расписания для своевременной замены противогазных фильтров. Moyer and Berardinelli показали, что не все (математические) модели проникания корректны. Их статья показывает, что проникание хлорсиланов схоже с прониканием органических веществ, а не с прониканием продуктов гидролиза - хлороводорода, как предлагалось. Кроме того, в их статье показано влияние относительной влажности на (время) проскока, и необходимость в ESLI [Moyer, 1987]. Cohen and Garrison разработали метод для определения срока службы противогазных фильтров в производственных условиях. Для этого они использовали трубки с активированным углём (RCT) так же, как используют трубки с углём для измерения концентрации воздушных загрязнений. При воздействии четырёххлористого углерода с помощью RCT можно было предсказать/вычислить срок службы противогазного фильтра респиратора. Но чтобы показать, что с помощью RCT можно предсказывать срок службы при воздействии смеси газов и при разной влажности, требовалось провести дополнительную работу [Cohen, 1989]. Вышеописанный способ был использован Giardino et al. для 1,6 гексаметилен диизоцианата. Они получили, что математическая модель Cohen and Garrison можно использовать для определения срока службы противогазных фильтров "органические соединения", если использовать сорбционную ёмкость, определённую в лабораторных условиях [Giardino, 2000]. Wood and Lodewyckx улучшили модель для вычисления скорости адсорбции паров органических соединений. Это улучшит вычисление срока службы, но влияние влажности и температуры не учитывается [Wood and Lodewyckx, 2003]. Позднее Wood описал способ учёта влияния влажности [Wood, 2004].

Yoon et al в своей статье показали, что при воздействии смесей определить срок службы противогазных фильтров респираторов - сложно. Авторы показали, что реакция респиратора зависит от природы компонент и состава смеси. Они предложили (математическую) модель, которая требовала три параметра: скорость адсорбции, сорбционную ёмкость фильтра и способность данного компонента вытеснять из сорбента ранее уловленный компонент. Используя эти параметры, они смогли описать адсорбцию смесей и вычислить кривую проскока [Yoon, 1996]. Vahdat изучал проскок бинарных смесей теоретически. Он сделал вывод, что требуются три параметра - расход воздуха, концентрация и сорбционная ёмкость. Проникание одного их компонент происходит быстрее, и у него время проскока меньше. Результаты этого исследования показывают, что при определённых условиях изменение концентраций компонент может привести к тому, что более прочно удерживаемый сорбентом компонент станет удерживаться менее прочно, и станет проникать через фильтр быстрее [Vahdat, 1997]. Dharmarajan et al показали, что гексаметилен диизоцианат эффективно улавливается противогазным фильтром "органические соединения" даже после того, как сорбент этого фильтра полостью насыщается парами растворителей. Эффективность очистки воздуха от гексаметилен диизоцианата превышала 99.6% в течение 40 часов, и не было обнаружено никаких признаков миграции или десорбции этого вещества во время хранения фильтра при комнатной температуре за ночь в течение 5 ночей [Dharmarajan, 2001]. В другой статье Dharmarajan et al сделали точно такие же выводы для диизоцианата толуола. Но в этой статье авторы указали, что растворители насыщают сорбент за 6 часов, и рабочих нужно защищать и от растворителей тоже.

1 Сейчас математическая модель доработана, и она позволяет определить срок службы при загрязнении воздуха смесью газов при разной влажности.

Они сделали вывод, что для определения графика замены фильтров нужно использовать проскок паров органических соединений, так как он происходит раньше [Dharmarajan, 2003].

Tanaka et al изучали время проскока через противогазные фильтры респираторов при разном характере движения воздуха. Они показали, что при пульсирующем движении воздуха проскок происходит раньше, чем при постоянном движении воздуха. Они также показали, что характер движения воздуха у рабочих такой же "короткий" как (*as short as*) и при использовании синусоидального и трапецивидного характера дыхания [Tanaka, 1996]. Linders et al проводили исследования для изучения того, как пульсирующий характер движения воздуха влияет на проскок через противогазные фильтры. Они обнаружили, что ухудшение свойств вызвано в основном относительным ухудшением массопереноса при конвекционном переносе при пульсирующем потоке, что приводит к увеличению ширины зоны массопереноса. Они сделали вывод, что при экспериментальном измерении времени проскока нужно использовать не постоянный, а пульсирующий поток воздуха [Linders, 2003]. Scahill et al разработали новый метод определения времени проскока летучих органических соединений через сорбент. В статье описан метод и соответствующие данные. Разработанный метод значительно уменьшает затраты времени на определение свойств сорбента [Scahill, 2004].

Osmond and Phillips провели исследование конструкций фильтров для улучшения их свойств и удлинения срока службы. Они использовали инструмент - (*вычислительную программу*) предсказывающую свойства фильтра - для оптимизации его конструкции. Используя гидравлическое сопротивление и параметры химической адсорбции, изучались физические размеры фильтра. Увеличение поперечного сечения фильтра оказалось более перспективным способом, чем увеличение толщины сорбента [Osmond and Phillips, 2001].

Имеется прекрасный обзор методов разработки расписания замены фильтров [Nelson and Janssen, 1999]. В этой статье заявляется, что при воздействии на фильтр смеси разных газов приемлемого способа составления расписания замены не существует². Vincent также показал, какая информация нужна для вычисления срока службы фильтров. Эксплуатационные свойства фильтров зависят от типа вредных веществ, их концентрации, условий их применения (например - от относительной влажности, температуры и атмосферного давления) и расхода воздуха у рабочего. Он также показал, что трудно учитывать (воздействие) нескольких вредных веществ, которые встречаются в воздухе в производственных условиях (одновременно) [Vincent, 2001].

Исследования индикаторов ESLI

Разработка ESLI может помочь избежать преждевременной замены противогазных фильтров. В ряде статей Vincent описал достоинства индикаторов [Vincent, 2002, Vincent, 2003]. Чтобы разработать достаточно хороший фильтр, нужно учитывать параметры, влияющие на время проскока и процесс адсорбции, включая температуру, относительную влажность, расход воздуха, концентрации вредных газов и свойства сорбента в фильтре. Схожие исследования нужно проводить и для разработки индикатора ESLI.

Maclay et al опубликовал одну из первых статей об исследовании ESLI фильтров респираторов. Для наблюдения (за концентрацией) паров органических соединений авторы использовали химрезисторы. Конструкторской целью исследования было разработать датчик, соответствующую электронную часть и светодиодную индикацию, которые бы увеличивали размеры, вес и стоимость изделия не более чем на 5% по сравнению с имеющимися сейчас респираторами, и (могли бы) извещать рабочего об истечении 90% от срока службы противогазных фильтров.

2 Эта ситуация изменилась - современные компьютерные программы позволяют рассчитать срок службы фильтра при воздействии нескольких вредных газов и разной влажности. См. Википедия - [Способы замены противогазных фильтров респираторов](#)

Авторы сделали вывод, что для решения таких задач можно использовать химрезисторы. Но требуется провести больше исследований для компенсации влияния относительной влажности и для улучшения (их) чувствительности [Maclay, 1991].

Moyer et al изучали использование химрезисторов в качестве индикаторов проскока паров органических соединений. У каждого датчика определялось увеличение его реакции при воздействии паров органических соединений. С помощью вычислений, при использовании модифицированного уравнения Уилера (Wheeler) удалось определить наилучшее положение датчика в сорбенте. Moyer обнаружил, что установка датчика в толще сорбента позволяет уменьшить воздействия на датчик влаги и (воздушных) загрязнений. Результаты экспериментов показали необходимость улучшить чувствительность датчика и стабильность его базового сигнала. Кроме того, относительная влажность, температура и расход воздуха также влияли на сопротивление, и это тоже нужно учитывать. Но датчики могли использоваться неоднократно, и после начала эксперимента они быстро стабилизировались [Moyer, 1993].

Anstice and Alder показали уникальный метод обнаружения цианистого водорода HCN. Для наблюдения за процессом проникания газа через фильтр использовали 4 термопары и волоконно-оптический рН зонд, чувствительный к цианистому водороду. Для обнаружения времени проскока использовалась нейронная сеть. Температура и относительная влажность не контролировались. Получены обнадеживающие предварительные результаты [Anstice and Alder, 1999].

Tanaka et al описали обнаружение паров органических соединений с помощью газовых индикаторных трубок при наступлении проскока. Время проскока паров органических соединений с низкой температурой кипения было относительно небольшим. Результаты экспериментов показали, что индикаторные трубки являются эффективным средством обнаружения проскока паров органических соединений. В продаже имеется более сотни разных индикаторных трубок, которые позволяют количественно определять концентрацию паров. Авторы заявили, что при обнаружении окончания срока службы противогазного фильтра респиратора газовые индикаторные трубки гораздо полезнее и чувствительнее, чем химрезисторы. Так как трубки сконструированы для обнаружения паров конкретного вещества, или группы веществ, то для проверки может потребоваться несколько трубок. (Но) такие трубки не позволяют проводить измерения в реальном масштабе времени [Tanaka, 2001]

В качестве датчиков проскока изучались датчики, использующие поверхностные акустические волны (*Surface acoustic wave SAW*). Эти исследования описаны в серии статей Dominguez et al. Датчики SAW с фторополимерным покрытием (*Fluoropolyol-coated SAW*) устанавливались в толще сорбента, и изучалась их реакция на воздействие имитатора нервно-парализующего вещества, проникавшего через фильтр. Влияние низкой влажности на время проскока было незначительным. Датчик с покрытием не утрачивал свои свойства после многих воздействий газа [Dominguez, 1998]. Fang et al показали обнаружение паров органических соединений при использовании группы датчиков SAW и химиометрического программного обеспечения. Использование группы датчиков позволило получать количественные результаты в широком динамическом диапазоне [Fang, 1999]. Использование группы из трёх датчиков SAW позволило идентифицировать не менее 16 паров органических соединений, и определить их (низкую) концентрацию при её величине от меньше ppm [Park et al, 2000]. Park and Zellers использовали группу датчиков SAW для обнаружения, идентификации и измерения концентраций растворителей и смеси паров растворителей при их проникании через химическую защитную одежду. У датчиков SAW время реакции было сравнимо с временем реакции газового хроматографа. Характер реакции датчиков SAW позволял выявлять чистые растворители а также их бинарные и тройные смеси [Park and Zellers, 2002].

При использовании датчиков SAW с покрытием *Carbowax* оказалось, что они могут реагировать на 2,4 динитротолуол [Kannan et al 2004]. Датчики SAW также использовались для определения содержания паров органических соединений в выдыхаемом воздухе [Groves, 1996].

Hori et al описали обнаружение проскока паров органических соединений (12 шт) при использовании после фильтра толстоплёночного полупроводникового датчика. Для определения концентрации паров использовался газовый хроматограф. Результаты, полученные с помощью датчика, показывают уменьшение чувствительности при увеличении относительной влажности. Тем не менее датчик обнаруживал присутствие паров органических соединений до того или достаточно близко к моменту их обнаружения с помощью газового хроматографа. Был сконструирован новый респиратор с таким датчиком под маской, а сигнал передавался в портативную систему сигнализации. Эта система сигнализации могла предупредить рабочего при достижении окончания срока службы противогазных фильтров. К сожалению, реакция датчика на разные вещества была различной (в отношении их концентрации), и устройство потребляло много электроэнергии [Hori, 2003].

Также для обнаружения насыщения сорбента противогазных фильтров использовали датчики, состоявшие из пористых стеклянных оптических волокон. Достоинствами этих датчиков была их не-селективность, что позволяло обнаруживать разные вещества. Датчик, описанный в статье, реагировал на толуол при концентрации тысячи ppm. Хотя по практическим причинам такая чувствительность не является подходящей, (но) эксперименты дали многообещающие результаты. Можно увеличить чувствительность датчика путём изменения радиуса кривизны или процесса изготовления [Caron, 2004].

Также использование датчиков, реагирующих на проскок, может принести пользу не только при использовании противогазных фильтров респираторов, но и других СИЗ. Vojkovic et al изучали обнаружение проникания химических веществ через защитную одежду с помощью изменяющих цвет индикаторов. Их метод для обнаружения дибутилфталат сульфида, *a mustard stimulant*, основан на его реакции с нитропруссидом натрия в щелочной среде. Была показана удовлетворительная чувствительность, и отсутствие помех со стороны технологического процесса изготовления материала защитной одежды. Индикатор мог размещаться прямо на ткани, и это давало недорогой способ обнаружения проскока без использования сложного оборудования [Vojkovic, 1997]. Также другие специалисты с переменным успехом изучали флуоресцентные краски, (размещавшиеся на) защитной одежде [Roehl]. Duncan and Dickson проверяли химическую защитную одежду, которая закрывала всё тело. Они использовали пассивные дозиметры, которые закреплялись прямо на коже испытуемых [Duncan and Dickson, 2003]. Russell et al использовали полупроводниковые датчики n-типа для обнаружения дихлорметана под защитной одеждой. Авторы показали, что датчики необходимы потому, что защитные свойства этой одежды непостоянны и у разных людей, и при выполнении разной работы. Датчики были стабильны, а гистерезис-минимален. Калибровочные реакции (*calibration responses*) были отличными, но влажность влияла на реакцию при нулевой концентрации [Russell, 1999]

Патенты

В этом разделе описаны патенты, относящиеся к индикаторам окончания срока службы фильтров. Все технологии, описанные в упомянутых далее патентах, в дальнейшем нужно развивать и проверять.

Jones and Ayes изобрели визуальное средство индикации окончания срока службы фильтра. Индикатор менял цвет при воздействии газа. Кроме того, для улучшения работы индикатора дополнительно использовался катализатор [US Patent 4,154,586].

Цветовой индикатор также был разработан Leichnetz. Он находился в контейнере, через который проходил поток газа, и который устанавливался на заданной глубине в толще сорбента [US Patent 4,684,380].

Stetter изобрёл датчик, состоявший из материала, чувствительного к потоку газа, и средства наблюдения, по крайней мере, за одним свойством материала. Материал выбирали так, чтобы он поглощал газ - как и сорбент фильтра. В состав датчика, размещённого в фильтре, также входила сигнализация. В примерах, приведённых в патенте, упоминаются датчики SAW (использующие поверхностные акустические волны *Surface Acoustic Wave*) и химрезисторы [US Patent 4,847,594].

Vo-Dinh изобрёл устройство и метод для (обнаружения) проникания опасных или токсичных и опасных веществ через защитную одежду. (Его) метод использовал спектрохимическую модификацию метода для обнаружения снижения люминесценции (*luminescence quenching*) индикатора. Индикатор реагировал на химические вещества, проникавшие через защитную одежду [US Patent 5,376,554].

Debe et al изобрели индикатор - датчик, подававший сигналы тревоги, показывающие разные условия работы. Датчик реагировал на заданную концентрацию выбранного газа, и затем (в зависимости от концентрации) мог подать сигнал тревоги. Сигнализация могла срабатывать при достижении заранее заданной пороговой концентрации. Также она могла подавать сигнал в случае, когда устройство использовалось в условиях, на которое не было рассчитано [US Patent 5,666,949].

Klinger разработал устройство для обнаружения проникания вредных веществ через защитную одежду. При воздействии разных веществ менялся цвет индикатора [US Patent 5,976,881].

Castor изобрёл газоанализатор, который мог использоваться вместе с респиратором. Газоанализатор состоял из испытательной камеры, входного отверстия для отбора проб и парамагнитного датчика достаточной чувствительности, чтобы реагировать на движение газа. При использовании с СИЗОД устройство присоединялось к входной линии (вдоха) [US Patent 6,014,889].

Ammann et al изобрели устройство и способ индикации насыщения сорбента фильтра. Устройство состояло из измерителя концентрации газа, измерителя температуры и запоминающего устройства, в котором хранилась информация о разных (используемых) фильтрах, токсичных веществах и внешних условиях (например - влажность). Из запоминающего устройства выбирались заранее введённые значения, и с их помощью определялся срок службы [US Patent 6,040,777].

Noague изобрёл фильтр с запоминающим устройством, в котором хранилась информация о его использовании. Устройство располагалось в фильтре и было связано с конкретной фильтрующей системой.

Информация о использовании фильтра записывалась этим устройством и в том случае, когда фильтр использовался в различных (фильтрующих) системах. После того, как достигался заранее определённый момент окончания срока службы, система могла предупредить рабочего - визуально и/или акустически [US Patent 6,186,140 B1].

Bernard et al изобрели индикатор, в котором использовался пористый волновод. Индикатор состоял из оптоволоконна, источника света и детектора яркости. Когда интенсивность света, измеренная детектором, становилась меньше заданной, включалась сигнализация. При использовании фильтра пористое оптоволоконно поглощало газы так же, как и сорбент, и при этом его способность пропускать свет снижалась [US Patent 6,375,725 B11].

Curado and deMedeiros изобрели регулируемый поворотный фильтр с меняющим цвет индикатором на боковой стороне. Индикатор был связан с сорбентом и был виден через прозрачное окошко. Фильтр мог поворачиваться так, чтобы окошко попало в поле зрения [US Patent 6,497,756].

Watson et al изобрели индикатор остатка срока службы. При воздействии загрязнений индикатор изменял цвет. Он состоял из (водостойкой) твёрдой поверхностно-активной подложки, на которой находились концентрические круги. В центре находилась индикаторная краска. При воздействии газа пятно увеличивалось в диаметре. Это позволяло определить, какой остался срок службы [US Patent 6,701,864].

Steinthal et al изобрели группу датчиков, которые могли использоваться в портативных или носимых устройствах, и которые реагировали на разные вещества. Их устройство потребляло мало энергии, было недорогим и в этих отношениях соответствовало требованиям (к индикаторам). Оно состояло из группы полимерно-композиционных датчиков, которые при обнаружении вредных веществ подавали звуковой и не-звуковой сигналы [US Patent App. Pub. US 2004/0135684 A1].

Gerder et al изобрели шланг для присоединения фильтра к противогазу (маске), в котором обеспечивалась бесконтактная связь между датчиками и сигнализацией. Сигнал датчика преобразовывался в оптический, и он передавался через оптоволоконно (одно или несколько) завулканизированные в материал шланга, или присоединённые(е) к шлангу. (В системе мог) использоваться один или несколько датчиков. При установке нескольких датчиков они могли использоваться для определения температуры, влажности, расхода воздуха или концентрации газа [US Patent App. Pub. US 2004/0135684 A1].

Обсуждение результатов

Изготовители СИЗОД

Чтобы определить мнение изготовителей о необходимости индикаторов, провели опрос при проведении телеконференции: опрашивали представителей *Scott Health & Safety, Moldex, Survivair, Draeger* и *3M*. Также (мы) посетили *MSA*, и провели обсуждение. Каждая из этих компаний получила извещение (*NPPTL federal register notice*), и ответила на него. Там рассматривался вопрос о параметрах для разработки ESLI. Ссылки на извещение:

<http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/06jun20041800/edocket.access.gpo.gov/2004/04-18219.htm>

и <http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/06jun20041800/edocket.access.gpo.gov/2004/04-19931.htm>

Некоторые из изготовителей проводили научные разработки в этой области, а некоторые - не проводили. Все изготовители согласились, что идеальный индикатор был бы очень полезен, но они по-разному оценивали то, насколько достижимы (доступны) будут датчики в ближайшем будущем.

Выдача фильтров

- Как учитывается (компанией) изменение сорбционной ёмкости фильтра при оценке срока службы конкретного фильтра?
- Как влияет на срок службы фильтра его срок хранения при неоднократном использовании в промежутках между применением?
- Какие исследования проводятся для изменения физических размеров фильтра или свойств сорбента для увеличения срока службы и сорбционной ёмкости?

Индикаторы

- Какие имеются проблемы, относящиеся к датчикам, заглублённым в толщу сорбента?
 - Как влияют на работоспособность индикаторов такие параметры, как влажность воздуха, температура, расход воздуха?
 - Каково время реакции таких индикаторов?
- Применяются ли и изучаются ли какие-нибудь индикаторы кроме тех, которые есть в продаже (изменяющие цвет) ?
- Какие технологии могут подойти для использования в индикаторах ESLI?
 - Какие виды вредных веществ могут обнаружить такие индикаторы? Проводились ли какие-нибудь исследования для определения способности имеющихся сейчас индикаторов обнаруживать вредные газы?
- Какие сейчас имеются ограничения? Потребление энергии? Размеры?
- Какие индикаторы разработаны для обнаружения воздушных загрязнений - смеси паров органических соединений?

Выдача фильтров.

Все изготовители³ разработали математические модели, чтобы покупатели могли определить срок службы фильтров. Они рекомендуют потребителю определить условия использования фильтров, и учитывать погрешность, беря худший случай. Изготовители не ожидают, что фильтры будут использоваться неоднократно с большими перерывами. Они считали, что фильтры будут использоваться в течение одной смены непрерывно, а затем будут заменяться. Они не рекомендовали хранить фильтры после воздействия химических веществ. Все изготовители считали, что конструкция их фильтров - оптимальна.

Индикаторы окончания срока службы ESLI

Все изготовители выявили много вопросов, относящихся к индикаторам, устанавливаемым в толщу сорбента. Больше всего их волновали цена и срок хранения до начала использования. Стоимость датчиков и электроники не должна превышать 10% от стоимости маски с фильтрами. Стоимость датчиков для одного комплекта фильтров не должна превышать 1 доллар, а стоимость электроники для одной маски - 30-50 долларов. Ожидаемый срок хранения датчика до начала использования - до 3-5 лет. После начала использования датчика он должен сохранять работоспособность в течение 6-12 месяцев. Изготовителей также беспокоило повторное использование, размещение датчиков, удобство их использования, подача сигналов рабочему, влияние влажности, температуры и расхода воздуха. Также считали важными вопросами возможность изготовления и потребление энергии. Время реакции датчика не обсуждалось.

Сейчас (2005г) в продаже есть только (такие) индикаторы, которые изменяют цвет. Их недостатки: невозможность их использования теми людьми, которые плохо различают цвета; химические реактивы, используемые в таких индикаторах, обычно не универсальны. Также требуется, чтобы рабочий проверял изменение цвета, так как у них нет активной сигнализации.

Изучались другие технологии, которые могут использоваться в респираторах в будущем. Наиболее многообещающими являются нанотрубки, датчики SAW и MEMS. Ожидается, что в датчиках будет микрочип, следящий за изменениями, моделирующий условия работы, и компенсирующий погрешность.

Изготовители согласились, что индикаторы будут полезны для потребителей - особенно для тех, которые хотят использовать фильтры с перерывами. Наибольшая потребность в таких датчиках у спасателей, поскольку они действуют в неизвестных условиях, и никто не посоветует заменить им фильтры. При хранении (ранее использованных) фильтров некоторые вредные вещества могут перемещаться в фильтре, и использование индикаторов сделает повторное применение фильтров безопаснее.

Рассматривались другие применения индикаторов. Изготовители показали, что с точки зрения продаж есть "ниша", которую могут заполнить СИЗОД с индикаторами. Также изготовители считают, что эта ниша будет хорошо заполняться такими фильтрами. Пример: неорганические соединения большой токсичности, не имеющих запаха, вкуса, раздражающих свойств. Для защиты от таких газов нельзя использовать фильтрующие респираторы - приходится применять большие, дорогие и неудобные дыхательные аппараты. В таких условиях при наличии подходящих индикаторов можно было бы использовать фильтрующие СИЗОД, и таким образом значительно уменьшить затраты на респираторную защиту. Очень сильно нужны индикаторы для работы в сложных условиях, когда воздух загрязнен смесью газов, поведение которой трудно смоделировать.

Стр. 12-----

3 У 3M, MSA, Scott - он-лайн, у Survivair - скачивается. У Drager и Moldex - такие программы в интернет не обнаружены.

Вызывают беспокойство летучие растворители, так как они часто встречаются при повышенной концентрации, поскольку известно, что они быстро мигрируют через фильтры. При выполнении задания в таких условиях многим рабочим нужны фильтры с индикаторами, и ожидается, что они будут хорошо покупаться.

Некоторые изготовители проводили научные исследования для повышения чувствительности используемых сейчас индикаторов. Часть из них считает, что индикаторы будут плохо покупаться из-за дополнительных расходов. Они считали, что для прогресса в области разработки датчиков нужно, чтобы законодательство (конкретнее) обязывало использовать их. Они также беспокоились об очистке маски, на которой установлена электроника и сигнализация. Для некоторых респираторов нужно учитывать влияние ударов, вибраций и электромагнитных полей.

Сейчас использованию индикаторов мешает необходимость в электропитании, увеличение размеров и веса, (и недостаточная) надёжность, а также отсутствие эффективных и недорогих технологий. Некоторые изготовители накапливают опыт, изучают перспективные результаты, но изготавливать датчики, устанавливаемые в толще сорбента - не готовы. Они выявили ряд проблем. Одна - доведение до рабочего сигнала о срабатывании датчика. Другая связана с перемещением фронта вредных веществ в фильтре. В идеале, датчик должен находиться в центре фильтра. Чтобы избежать проблем при массопереносе, размер датчиков должен быть сравним с размерами частиц сорбента. Но предварительные результаты показали, что в правильно спроектированных фильтрах газы или пары движутся одинаково (в центре и у стенок), и можно размещать датчики на боковой стенке. Нужно провести больше исследований для определения эксплуатационных свойств датчиков и их размещения. Изготовители заметили, что любой датчик, размещённый в сорбенте, должен работать в любых условиях, и пользователь должен ожидать, что такой датчик обеспечит определённый (минимум) эксплуатационной работоспособности. Один изготовитель заметил, что нужно сделать требования законодательства к (индикаторам) конкретнее, так как требования не вполне понятны изготовителям. Требуется сформулировать требования к эксплуатационным свойствам датчиков.

Сейчас в продаже есть ограниченное количество фильтров с индикаторами. *North Safety Products* использует изменяющие цвет полоски для фильтров, используемых для защиты от нескольких веществ: толуолдиизоцианат, хлороводород HCl, фтороводород HF, диоксид серы SO₂, и сероводород H₂S (<http://www.northsafety.com/>). А при использовании фильтров для защиты от других газов North рекомендует использовать замену фильтров по расписанию. 3M изготавливает фильтры с индикаторами для защиты от паров ртути (*и MSA и Scott тоже*).

Идеальный датчик должен быть универсальным, очень дешёвым и очень маленьким. Он должен быть селективным в широком диапазоне, и чувствительным в заданном диапазоне концентраций всех вредных веществ. Он должен быть устойчивым в работе и не требовать калибровки. Индикатор должен обладать способностью храниться годами без ухудшения свойств, и затем безупречно работать столько, сколько требует обстановка. Все изготовители показали, что они хотят содействовать разработкам, проводимым NIOSH. Они сказали, что могут (сделать) прототипы фильтров с датчиками в толще сорбента.

Потребители

Представители потребителей показали, что индикаторы для респираторов очень нужны рабочим. Часто сами рабочие обеспечивают выполнение программы респираторной защиты, и принимают решение - когда менять фильтры. Индикаторы помогут им, и позволят или меньше зависеть от разработанной работодателем программы респираторной защиты. Рабочим нужны простые устройства с активной сигнализацией. Они хотят опробовать новые технологии, и дадут отзывы для улучшения конструкции изготовителями. Новые технологии хорошо воспринимаются молодыми рабочими. Для потребителей очень важна удобность.

Исследователи

Программа (разработки) индикаторов окончания срока службы противогазных фильтров, проводимая национальной лабораторией СИЗ (NPRTL)

Лаборатория СИЗ отвечает за предотвращение несчастных случаев и профзаболеваний за счёт разработки, сертификации и использования СИЗ и полностью интегрированной (защитной) спецодежды. Лаборатория сосредоточилась на исследованиях в 4 областях: (1) СИЗОД (2) Разработка датчиков и технологий (3) Работоспособность людей (4) Полностью интегрированная "умная" спецодежда. В настоящем документе рассматривается разработка СИЗОД и датчиков. В этой области лаборатория выполняет три проекта - (математическое) моделирование окончания срока службы; разработку и интегрирование химических датчиков для определения окончания срока службы фильтров; и меняющие цвет индикаторы проскока (химических веществ) под защитную одежду.

Лаборатория активно работает в области моделирования окончания срока службы фильтров [Wood, 2004] <http://www.cdc.gov/niosh/updates/upd-12-22-03.html>. При взаимодействии с Национальной лабораторией в Лос-Аламосе LANL была разработана математическая модель, учитывающая влияние влажности, и на её основе была сделана вычислительная компьютерная программа. Эта математическая модель и программа были положительно восприняты промышленностью и правительством. Сейчас вместе с заинтересованными сторонами и своими коллегами по исследованиям, лаборатория разрабатывает матмодель для определения срока службы фильтров, используемых для защиты от газов, которые вступают в химическую реакцию (*с поглотителем*). Также разрабатывается матмодель для определения срока службы при воздействии смеси паров органических соединений, в которой учитывается влияние влажности. Это сложная модель, и она учитывает взаимовлияние газов при их улавливании, вытеснение паров и воды, и кинетику адсорбции. В конечном итоге все матмодели будут объединены в одну широкодоступную (вычислительную) программу.

Лаборатория также активно разрабатывает индикаторы. Цель - разработать СИЗОД с датчиками в сорбенте для активной индикации воздействия на фильтры (Фиг. 1). Проводятся предварительные исследования с датчиками фирмы *Cyrano Sciences* (сейчас - *Smiths Detection*) Типовой датчик из 32 чувствительных элементов переделали, оставив 8 электропроводных полимерных композитных (элементов датчиков) на гибкой подложке (Фиг. 2). Этот датчик размещается в толще сорбента фильтра, используемого для защиты от органических соединений (Фиг. 3). Прототип готов к установке и испытаниям.

Фиг. 1. Схема прототипа респиратора с фильтрами, в которых в сорбенте установлены датчики, а на корпусе - индикаторы насыщения и есть контроллер

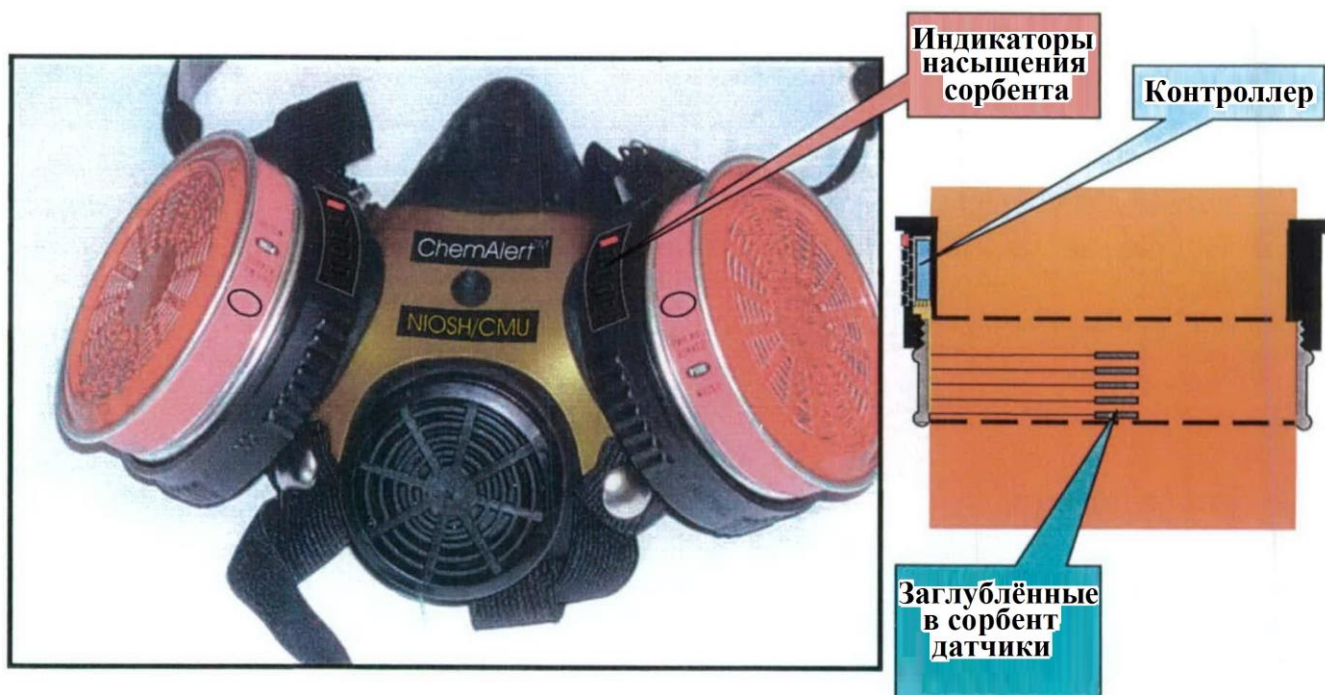


Figure 1. Diagram of conceptual respirator with filters that include saturation indicators, controller, and embedded sensors.

Фиг. 2. Гибкая подложка с элементами восьми электропроводных полимерных композиционных датчиков

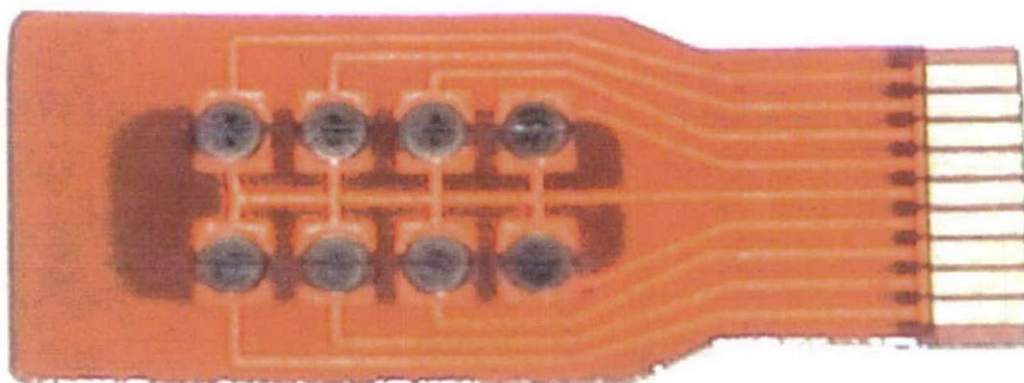


Figure 2. Flexible printed circuit with eight conductive polymer composite sensor elements.

Стр. 15 -----

Фиг. 3. Противогазный фильтр с группой датчиков (расположенных на гибкой подложке, конец которой с электрическими разъёмами выступает из фильтра). Датчики заглублены в сорбент в фильтре.



Fig. 3. The sensor array embedded into a filter cartridge.

Также лаборатория NPPTL с помощью университета Карнеги-Меллона проводит программу исследований для разработки недорогих многомодальных (*multi-modality*) датчиков. С помощью химически чувствительных наноструктурированных полимеров с помощью (complimentary) металлооксидной полупроводниковой технологии (CMOS) технологиями и с помощью микроэлектромеханических систем (MEMS) были разработаны химические датчики. Изучались новые методы (создания) покрытий. Спроектированные датчики обнаруживают изменение электропроводности, веса и напряжения в полимере при воздействии вредных газов [Fedder, 2004].

В ответ на извещение (*Federal Register Notice*, <http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/06jun20041800/edocket.access.gpo.gov/2004/04-19931.htm>) изготовители СИЗОД показали, что они хотят сотрудничать при проведении исследований (датчиков, размещаемых в сорбенте). Ожидается, что в этих исследованиях будет изучаться работоспособность таких датчиков при воздействии на фильтры растворителей, используемых в промышленности.

Военный противогаз (общего назначения)

(Joint Services General Purpose Mask JSJGPM)

Американская армия приняла на вооружение новый военный противогаз общего назначения с индикатором влажности сорбента в фильтре. Индикатор находится в фильтре и меняет цвет, а это изменение видно через окошко. Этот датчик должен предупреждать человека о том, что работоспособность фильтра снизилась из-за увлажнения. Армия довольна, что получила фильтр с такими индикаторами, так как они простые, недорогие, (могут) легко применяться в полевых условиях, и не увеличивают вес противогаза.

Стр. 16 -----

Хотя индикатор увлажнения сорбента - не та технология, которую надеялись получить военные, но это большое улучшение по сравнению с используемыми сейчас методами. При определении того, какой индикатор лучше всего подойдет новому военному противогазу, был сделан обзор имевшихся технологий. В итоге был сделан вывод, что из-за разнообразия ситуаций, в которых могут оказаться военные, слишком много неизвестных, чтобы разработать иной индикатор. Сейчас нет универсального индикатора для разных химических веществ, с которыми можно столкнуться. Кроме того, военным нужен лёгкий СИЗОД, они перемещаются, и у них могут быть проблемы со снабжением (в отличие от промышленности, где рабочие находятся в известных условиях 8 часов в день). Военные могут подвергаться или не подвергаться воздействию вредных веществ, и условия использования противогаза - неизвестны. Во многих случаях такие ситуации схожи с теми, в которые попадают спасатели, но у военных больше проблем с заменой запчастей и техобслуживанием.

Военные чувствуют, что эта технология - самая лучшая для тех противогазов, которые обычно применяют в армии. Ниже описано типичное использование (военного противогаза). Военному выдаётся противогаз. Когда ожидается вредное воздействие, он открывает фильтр и устанавливает его на маску. Воздействие может не произойти. Фильтр не выбрасывают до тех пор, пока он подвергается воздействию вредных веществ, или пока он не утратит защитные свойства из-за воздействия воздуха. Датчик увлажнения сорбента является первым индикатором реального воздействия воздуха. Ранее для этой цели использовали длительность (применения фильтра).

Программа армии США изучения индикатора окончания срока службы фильтра

В течение 20 лет армия проводила программу исследований индикаторов окончания сроков службы фильтров. Из-за разнообразия условий использования противогазов в армии идеальный датчик должен быть универсальным - для всех возможных химических веществ-загрязнителей воздуха, и он должен потреблять мало энергии. Военным нужен СИЗОД для защиты людей от химических вредных веществ, дыма, *obscurants*, продуктов горения, топлива и токсических промышленных веществ. После изучения разных методов и технологий учёные в Иглвудском химическом и биологическом центре (*Edgewood Chemical and Biological Center ECBC*) отказались от планов разработать универсальный датчик, и вместо этого сосредоточились на конкретных химических веществах. Они занимались и органическими, и неорганическими веществами.

Чтобы найти лучшую технологию для индикаторов, в октябре 2002г армия финансировала проведение семинара, и пригласила представителей исследователей из промышленности, из университетов, и из государственных организаций. В семинаре участвовало около 50-70 человек. Кроме того, в 2000г был сделан обзор технологий [Lawhon, 2000]. Но основное внимание уделялось тем методам, которые используют изменение цвета, так как их можно использовать без источника электроэнергии.

Военные исследователи изучали и активные, и пассивные индикаторы. Но они думают, что в ближайшем будущем большинство активных индикаторов не удастся использовать в военных противогазах из-за экстремальных условий использования СИЗОД в армии. Многие из перспективных технологий нельзя использовать из-за того, что условия использования в армии могут препятствовать своевременной замене требуемых частей из-за перебоев в снабжении. Ведущий исследователь Иглвудского центра мистер Гарднер (*a research engineer*) считает, что при разработке активного индикатора нужно последовательно решать проблемы: (1) Чувствительность (2) Стабильность в (разных) условиях окружающей среды (3) Размеры (4) Недостаток информации о реакции индикатора на разные боевые отравляющие вещества (5) Влияние (на выполнение работы и/или на функционирование СИЗОД) (6) Большинство условий применения (индикатор не может соответствовать всем условиям во всех случаях) (7) Срок хранения до начала использования.

Но военные исследователи продолжают следить за улучшением датчиков, и хотят использовать активные ESLI.

Сейчас они сосредоточились на технологии, использующей изменение цвета индикатора. Полоска индикатора устанавливается вдоль периметра сорбента в фильтре, и по мере перемещения фронта вредных веществ в фильтре она реагирует с ними. Индикатор можно увидеть через прозрачное окошко в корпусе фильтра. (Такой) индикатор выбрали из-за того, что его легко использовать благодаря (маленьким) размерам и стоимости, и из-за чувствительности. Проводилась проверка разных потенциально пригодных плёнок индикаторов для определения чувствительности при воздействии разных газов. Более перспективными кандидатами являются те, которые предназначены для обнаружения кислотных веществ, или продуктов их разложения (*acidic agents or acidic degradation byproducts*). Поскольку одна плёнка - индикатор ESLI не позволяет обнаруживать все вредные вещества, то для обнаружения большинства вредных веществ нужно использовать сочетание нескольких разных плёнок [Gardner, 2001].

(Использование) химических датчиков для определения срока службы противогазных фильтров

В течение 8 лет Эндрю МакГилл (*Dr. R. Andrew McGill*) в лаборатории ВМФ (*Naval Research Laboratory*) изучает использование химических датчиков для определения срока службы фильтров. Изучались разные технологии, и несколько из них показались перспективными для (использования в) средствах коллективной защиты. Были получены положительные результаты для датчиков SAW, химрезисторов, и фотоионизационных датчиков [McGill, 2001 и Gardner, 2001]. Несколько технологий применимы для больших воздушных фильтров, устанавливаемых на кораблях, наземных транспортных средствах, и коллективных средствах защиты, так как в этих случаях размеры и потребление энергии имеют меньшее значение. Целью является разработка интерфейса/связи со всеми доступными датчиками, сделанными с помощью разных технологий.

Также Эндрю МакГилл проводит активную программу исследований новых датчиков. Его последние исследования сосредоточились на изучении нанотрубок и микрокронштейнов (*microcantilevers*) [Pinnaduwege, 2004]. Это многообещающие датчики, они очень маленькие и требуют крайне мало энергии. Сейчас эти датчики не готовы для использования в качестве ESLI. Исследование нанотрубок находится на начальном этапе. Влажность оказывает на микрокронштейны такое же действие, как и на SAW и химрезисторы.

Датчики, которые есть в продаже

В таблице 3 ниже показаны несколько разных типов датчиков, которые есть в продаже. Информация, размещённая в таблице, найдена в интернет, и при обзоре (соответствующих) публикаций. Для использования в качестве ESLI перспективными технологиями являются: SAW, химрезисторы, датчики с оксидами металлов MOS, оптические ИК-датчики, нанотрубки, электрохимические датчики и MEMS, включая микрокронштейны (*microcantilevers*). Но датчики этих основных типов - в рамках одного типа - могут сильно отличаться друг от друга. Например, химрезисторы могут быть сделаны в виде полимеров, покрытых графитом; полупроводниковых покрытий; и нанокластерных слоёв металл-изолятор-металл (MIME). У них разные свойства, и они показывают возможность их использования в качестве ESLI.

Таблица 3. Датчики, имеющиеся в продаже

Оптоволоконные датчики (<i>Fiber Optics</i>)	
Уровень развития	Проведены исследования применения таких датчиков в качестве ESLI
Чувствительность	При воздействии толуола реагируют на него при концентрациях до тысяч ppm. Эксперименты показали, что чувствительность может быть повышена
Селективность	Не селективны
Размер	Относительно маленькие
Дополнительные особенности	Нужен источник света и электропитание. Это новейшее (2005г) применение датчиков (<i>такого типа</i>) как ESLI
Изготавливаются:	<i>Ion Optics</i>
Датчики, использующие поверхностные акустические волны (<i>SAW</i>)	
Уровень развития	Есть в продаже, используются в портативных измерительных системах.
Чувствительность	Высокая чувствительность - до концентраций ppb (1 ppb = 1 объёмная часть на миллиард)
Селективность	Могут различать разные химические вещества
Размер	Маленький
Дополнительные особенности	Маленькое потребление энергии. Автоматическая индикация с помощью светодиодной сигнализации. Быстрая стабилизация после начала работы
Изготавливаются:	<i>Microsensor Systems, Inc.; Cyrano Sciences (Smiths Detection)</i>
(Пассивные) индикаторы, изменяющие цвет (<i>Colorimetric Detection</i>)	
Уровень развития	Имеются в продаже для некоторых СИЗОД. Проводится работа по созданию таких индикаторов для противогазных фильтров, используемых для защиты от ядерных/химических/биологических загрязнений
Чувствительность	От хорошей до удовлетворительной (диапазон ppm - ppb)
Селективность	Могут различать некоторые вредные вещества и классы веществ
Размер	Для удобства использования размер должен быть достаточно большим
Доп. особенности	Не требуется источник энергии. Низкая стоимость.
Изготавливаются:	<i>North, 3M (a tenerъ и Scott и MSA)</i>
Полупроводниковые датчики металл-оксид (<i>MOS Metal Oxide Semiconductor Sensors</i>)	
Уровень развития	Продаются и используются в портативных измерительных системах
Чувствительность	Ограничена (ppm)
Селективность	Селективность ограничена
Размер	Маленькие
Дополнительные особенности	Широкий диапазон температур для тонкой плёнки металлооксидного полупроводника. Относительно недорогие. Чувствительны к влажности.
Изготавливаются:	<i>Figaro, MircoSensor Systems, Inc.; Kamina</i>
Датчики с микроэлектромеханическими системами (<i>MEMS</i>)	
Уровень развития	Есть в продаже, получено несколько интересных отчётов о их исследовании
Чувствительность	По результатам лабораторных исследований : ppm - ppb
Селективность	Адсорбирующее покрытие, несколько режимов для измеряемых сигналов (<i>Several modes for measurable signals</i>)
Размер	Очень маленькие
Дополнительные особенности	Можно использовать нескольких способов обнаружения. Могут использоваться для обнаружения химических веществ и биологических объектов.
Изготавливаются:	<i>Protiveris</i>
Углеродные нанотрубки (<i>Carbon Nanotubes</i>)	

Уровень развития	Несколько компаний сосредоточились на применении нанотехнологий
Чувствительность	От менее ppb до ppt
Селективность	Достижима высокая селективность
Размер	Малогабаритные
Дополнительные особенности	<i>Manufacturability of commercial sensors - технологичность датчиков ?</i>
Изготавливаются:	<i>Integrated Nanosystems, Inc. (INI); Nanosys Inc.</i>

Уровень техники в области датчиков

В этом разделе описываются некоторые недавно проводившиеся разработки технологий таких датчиков, которые могут использоваться как ESLI. В некоторых случаях датчики, которые используются уже много лет, можно улучшить при внедрении изобретений. Кроме того, могут быть улучшены показатели эксплуатационной работоспособности путём улучшения обработки их сигналов и изменения архитектуры датчиков. Но большинство исследований сосредоточилось на нанотехнологиях. Использование нанотехнологий описано в следующем разделе "*Nanotech-Enabled Sensors and Sensor Systems*".

Park and Akbar подробно рассмотрели керамические датчики. Использование в качестве датчиков керамических оксидов привлекательно из-за их низкой стоимости и широкого диапазона (областей) применения. Ожидается, что в будущем датчики на основе керамических оксидов станут важным чувствительным элементом - из-за разработки новых материалов, улучшения технологии изготовления датчиков и применения более современных методов обработки сигналов. Успешное использование датчиков ожидается также потому, что усилия сосредоточились на конкретных областях их применения [Park and Akbar, 2003]. Comini et al показали, что (при) изменении методов изготовления датчиков из оксидов металлов улучшаются их характеристики. Они смогли сделать датчики в виде монокристаллических нанолент из оксида олова. У них прямоугольное поперечное сечение. У таких датчиков большое отношение площадь/объём, что делает их очень перспективными [Comini, 2002].

Wilson привела интересные методы для оптимизации группы датчиков при воздействии одного или нескольких газов. Она сделала вывод, что лучше использовать небольшие группы датчиков. При увеличении числа датчиков чувствительность (группы) датчиков снижается [Wilson, 2002]. Wilson and Roppel показали архитектуру системы химических датчиков, которая улучшает их эксплуатационные показатели. Для компенсации нестабильности датчиков, смещение базовых показателей, влажности и других последствий внешних воздействий, использовалась группа из одинаковых датчиков, а для улучшения способности различать разные газы использовались датчики разных типов. Для получения разных выходных сигналов используют методы агрегации, что позволяет получать более устойчивые сведения о концентрации и химическом составе воздушных загрязнений [Wilson and Roppel, 1999].

Функциональные свойства защитной одежды значительно изменятся. Проводятся исследования для разработки улучшенных тканей, которые будут лучше защищать людей. Эти исследования включают в себя разработку химической и биологической защитной одежды. Изучаются датчики в одежде, которые смогут обнаруживать и распознавать вредные вещества [Schreuder-Gibson and Realff, 2003]. В армии выполняется проект "Солдат будущего" (*Future Force Warrior (FFW)*) <http://www.natick.army.mil/soldier/WSIT/>). Одна из самых важных целей проекта - разработать прочную и гибкую броню для тела. Исследователи надеются разработать броню, которая была бы одновременно и гибкой, и обладала защитными свойствами, и для этого намерены воссоздать "конструкцию" полимеров паутины и экзоскелетов насекомых. Помимо прочной, лёгкой и гибкой брони, одежда солдат будет снабжаться датчиками для обнаружения опасных химических и биологических загрязнений. Некоторые исследователи предложили создать для такой одежды адаптивные нанопоры (*responsive nanopores*), которые будут закрываться, когда обнаружатся опасные биологические загрязнения [Roncone, 2004].

Нано-датчики и системы датчиков

Использование наноматериалов и нанотехнологий может коренным образом улучшить свойства датчиков и систем датчиков. Датчики, в которых применяются нанотехнологии, используют уникальные физические и химические свойства, которыми они появляются из-за маленького размера. Грамотное использование таких материалов позволит спроектировать лёгкие, малогабаритные, экономичные и очень чувствительные измерительные системы. Даже при использовании старых методов обнаружения применение наноматериалов позволит получать лучшие результаты. Датчики новых конструкций будут использовать уникальные физические и химические свойства, присущие наноматериалам, например - сконструированным зонным структурам (*engineered band structures*): электропроводность, механический резонанс, квантовые эффекты, оптические свойства, большое отношение площади поверхности к объёму, и небольшой вес. Например, из-за большого отношения площади к объёму у наночастиц возникает сильное изменение электропроводности или механического резонанса (у изделия) при поглощении вредных веществ поверхностью в очень маленьком количестве. Способность изменять размеры частиц и - что особенно важно - их поверхностные химические свойства, даёт возможность конструировать (изделия) наилучшим образом подходящие для выполнения специфических задач. Эти свойства делают датчики, использующие нанотехнологии, особенно подходящими для применения в составе групп датчиков-химрезисторов и др., что улучшит чувствительность и способность различать разные вещества при сложном составе воздушных загрязнений. Эти свойства наводят на мысль, что когда исследования позволят подобрать определённые покрытия для подходящих химрезисторов и подходящую архитектуру измерительных систем, то подобные датчики будут обладать повышенной гибкостью и способностью настраиваться на выполнение определённых задач. Подобные датчики могут быть разных конструкций - одна частица (углеродная нанотрубка), покрытия из многих частиц (металлическая подложка, покрытая слоем органических соединений). Датчики других типов используют свойства наноразмеров в меньшей степени, но преимущества нанотехнологий сохраняются (например - меньшее потребление электроэнергии).

Для датчиков разработаны новые чувствительные материалы, позволяющие делать их чувствительными и недорогими, и использовать новые способы измерений. Так как новые материалы обладают необычными и полезными свойствами, изучались оптические датчики, и электронные датчики с нанокристаллами. У углеродных нанотрубок имеются необычные электронные, тепловые и конструктивные свойства. Они зависят от особенности конструкции трубки, и небольшие физические и химические изменения могут сильно повлиять на их свойства, что позволяет обнаруживать газы разными способами.

Нанотехнология позволяет создавать новые чувствительные устройства. Микродатчики с кронштейнами (*micromachined cantilevers-based sensors*) имеют значительные преимущества в отношении максимальной достигаемой чувствительности. Новые способы (создания) покрытий делают такие датчики более устойчивыми, и дающими более воспроизводимый результат. Ожидается, что эта область будет быстро развиваться, что позволит получить новые уникальные способы обнаружения многих химических веществ и биологических объектов.

Недавно опубликованные статьи о таких датчиках

Можно улучшить чувствительность полупроводниковых газовых датчиков, регулируя размер их мезо и нано-пор. Также для их улучшения можно изменить условия изготовления "наноструктурированных полупроводниковых оксидов" [Shimizu, 2004].

Разработан датчик - одиночный нейрон, который даёт разные сигналы при воздействии разных веществ. При попадании газов на чувствительные элементы изменения "внеклеточного мембранного потенциала" ("*extracellular membrane potential*") преобразуются в сигналы, которые у разных газов различны. Также изучали датчики при каскадном/последовательном воздействии химических веществ (*chemical agents studied in cascaded states...*), что позволило точно выявлять разные химические вещества. Использование *каскадной схемы* (?) повышает возможности (*Cascaded sensing improves ...*) отдельных нейронов использоваться в случаях, когда требуется реакция в реальном масштабе времени. Кроме того, характеры сигналов, которые были получены при каскадной схеме, близкие к порогам чувствительности, показывают что датчики могут "восстанавливать" (свои свойства), и потом использоваться повторно. Эти датчики обладают небольшим временем реакции, и их чувствительность доходит до "фемто-молярных концентраций" [Prasad, 2004].

Snow et al разработали новую технологию получения датчиков: нанокластеры металл-изолятор-металл (MIME). Датчик состоит из частиц золота наноразмера, находящихся в мономолекулярном слое алкантиолового поверхностно-активного вещества (*alkanethiol surfactant*). Это приводит к сильному изменению электропроводности плёнки. Ток между частицами золота, возникающий из-за туннельного эффекта, очень чувствителен к небольшим изменениям набухания покрытия, и к изменению диэлектрических свойств из-за поглощения газов. Для различения разных газов использовали изменение химических свойств и конечной конструкции покрытия, или замену самой алкантиоловой конструкции [Snow, 2002]. В приложении С приводится таблица, составленная Dr. Snow, в которой сравниваются датчики MIME с датчиками других конструкций.

Недавно Zellers et al изучали беспроводную микроаналитическую систему, используемую МВД. Там применялись хроматографические разделяющие каналы, полученные с помощью технологии микрообработки (*micromachining technology*) (MEMS). Рассматривали несколько таких технологий, включая массивы химрезисторов с нанокластерами золото-тиолат (*Au - thiolate*). Эти новые датчики выглядят очень многообещающе, и их чувствительность порой на два порядка выше, чем у датчиков SAW [Zellers, 2002].

Изготовлен датчик для изготовления паров химических веществ и биообъектов, использующий волны изгиба миниатюрной пластины (FPW, *miniature flexural plate wave*). Этот датчик может работать в газообразной среде или жидком геле, и у него наиболее высокая чувствительность при меньшей частоте использования (*operating frequencies*), чем у других сравнимых устройств. С помощью анализа сигналов от группы датчиков FPW можно обнаружить пары веществ нервно-паралитического действия, и инфекционные (биологические) объекты. Для обнаружения используется наблюдение за изменением частоты и демпфирования резонанса при воздействии на датчик (загрязнённой окружающей среды) [Cunningham, 2001].

В мае 2002г проводились семинары "Изобретения в области нанотехнологий для выявления и защиты от вредных химических, радиологических и радиологических воздействий и для выявления взрывоопасных условий" (*Grand Challenge Workshop Series "Nanotechnology Innovation for Chemical, Biological, Radiological, and Explosive Detection and Protection"*). Сообщали, что нанотехнологии позволяют увеличить чувствительность, селективность, снизить время реагирования и повысить доступность - на порядки. Сообщали, что микроконсольные датчики (*microcantilevers*) должны иметь очень большую чувствительность, селективность и широкий динамический диапазон. Также как многообещающие датчики упоминались нано-структурированные плёнки [Nanotechnology-Workshop Report, 2002].

Недавно в качестве химических датчиков стали использовать углеродные нанотрубки. Li et al изготовили газовый датчик, просто разместив одностеночную углеродную нанотрубку на поверхности штыревого электрода (*casting of single-wall carbon nanotubes on an interdigitated electrode*). При объёмных концентрациях диоксида азота и нитротолуола от < 1 части на млн (ppm) до сотен ppm сигнал датчика был линейно пропорционален концентрации, а чувствительность позволяла обнаруживать газы при концентрации до ppb (1 часть на миллиард); время реакции - секунды. За счёт эффекта межтрубной модуляции датчики могли использоваться для обнаружения паров органических соединений [Li, 2003]. Для обнаружения вредных веществ, действующих на нервную систему, Novak et al использовали сеть из одностеночных нанотрубок (*networks of singlewalled nanotubes*). Как имитатор зарина (нервно-паралитический газ) использовали вещество диметил метилфосфонат, и оно было обнаружено при концентрации до 1 часть на миллиард (ppb). Для различения химических веществ использовали фильтры, покрытые химически-селективными полимерными плёнками. Изготавливались каналы для прокачивания воздуха (??) с тонкоплёночными транзисторами и химрезисторами (*thin-film transistors and chemiresistor flow cells*) [Novak, 2003].

Рекомендации по проведению исследований и разработок

Для улучшения защиты рабочих нужны датчики окончания срока службы противогазных фильтров. Некоторые работодатели не могут своевременно заменять фильтры по расписанию, как это требует OSHA. Часто замену фильтров оставляют на усмотрение самих рабочих, а у них часто недостаточно хорошая подготовка для того, чтобы заменять их своевременно. Хотя за последнее время математические модели, позволяющие вычислять срок службы фильтра, значительно улучшились, но во многих случаях моделировать условия работы невозможно, и (даже) добросовестный работодатель не в состоянии проводить своевременную замену фильтров по расписанию. Индикаторы, изменяющие цвет, медленно находят место на рынке. Для ряда газов и паров были найдены подходящие химрезисторы, но эту технологию сложно использовать в сложных производственных условиях, так как у разных газов разные свойства. В некоторых случаях армия США использует индикаторы, которые изменяют цвет. Хотя эта технология не идеальна, и далека от требуемой, но это - шаг вперёд по сравнению с отсутствием индикатора, и соответствует разнообразию условий использования военных противогазов. Военных очень интересуют активные индикаторы, и они следят о информации о их разработке.

За последнее десятилетие было проведено много "предварительных" исследований активных индикаторов, но они показали лишь то, что применение таких индикаторов - перспективно. Таких серьёзных и глубоких исследований индикаторов, которые бы дали подробную информацию, позволяющую улучшить состояние дел в области разработки и применения ESLI - нет. Нужно ответить на много вопросов до того, как активные индикаторы станут использоваться на практике. Пока окончательно не решили, какой датчик наилучший, и чтобы активные индикаторы появились в продаже, нужно ответить на много вопросов, а сейчас удовлетворительные ответы получены только на часть из них. Все изготовители, потребители и исследователи согласны с тем, что используемые в индикаторе датчики должны быть маленькие, недорогие, и потреблять мало энергии. Использование датчиков не должно снижать работоспособность сотрудников. Кроме того, чтобы такие технологии были эффективными и нашли применение, они должны быть несложными [для (удобного) изготовления и обслуживания датчиков], хотя у разных газов разные ПДК. Датчики должны различать разные газы, и быть достаточно чувствительными для обнаружения разных газов при концентрациях, равных их ПДК. Такие требования трудно выполнить, и в США в продаже нет датчиков, соответствующих этим требованиям.

Для успешной разработки датчиков для активных индикаторов имеют большое значение усилия государственных и промышленных исследователей. Сейчас лаборатория СИЗ в NIOSH (NPPTL) выполняет три проекта, которые должны улучшить ситуацию в отношении использования ESLI. Разработка математической модели для вычисления срока службы противогазных фильтров имеет большое значение для удовлетворения существующих сейчас потребностей. Кроме того, вероятно что подобные исследования помогут определить те параметры, которые необходимо изучать при оценки ESLI. Также полезна работа, проводимая фирмой *Cyrano Sciences* по разработке маленькой группы датчиков (на гибкой подложке), так как это позволяет получить технологию для оценки требований к размеру, селективности, чувствительности, времени реакции, и к положению датчиков. Наконец, исследования в университете Карнеги-Мелона направлены на изучение самых передовых технологий датчиков. Нужно продолжить проведение исследований и НИОКР. Сейчас благоприятный момент для этого из-за интереса к таким датчикам со стороны МВД и достижений в области нанотехнологий. Прежде чем применение активных индикаторов станет возможным и произойдет на практике, нужно проделать много работы.

Изготовители заявили, что им нужно, чтобы законодательство (регулирующее требования к индикатору фильтров респираторов при сертификации; и требования к выбору и организации применения респираторов при их применении) стало точнее, конкретнее. Параллельно NIOSH должен приложить усилия для конкретизации стандартов (по сертификации СИЗОД) и вопросов политики (в области охраны труда). Если изготовители будут знать, как лучше использовать сигналы датчиков, то более вероятно, что они будут разрабатывать индикаторы при проведении научных исследований. Прежде чем они возьмут на себя риск, связанный с разработкой индикаторов, (им) нужно знать требования к эксплуатационным свойствам этих датчиков.

Рекомендуется проведение активных исследований датчиков для индикаторов - государством. Для их улучшения нужно сконцентрировать усилия. Сначала их нужно сосредоточить на двух областях: противогазные фильтры для защиты от паров органических соединений, и *niche markets* (конкретные специализированные области применения с особыми условиями). Эти области рекомендуются из-за того, что похоже, что это в наибольшей степени позволит успешно применять новые технологии на практике. Чаще всего использование фильтрующих респираторов происходит тогда, когда нужна защита от газов и паров, и от окрасочных растворителей (41.8% и 32.3% соответственно). Сотрудники, работающие в небольших фирмах ("*Mom and Pop*" shops) используют много противогазных фильтров "органические соединения". Это - большая доля рынка, а при работе на таких предприятиях трудно определить условия работы, что не всегда позволяет заменять фильтры своевременно по расписанию. Кроме того, подходящей областью для применения новых технологий являются специализированные конкретные области с особыми условиями. Они включают: защиту спасателей; ряд канцерогенных газов и паров; и другие вещества, для защиты от которых сейчас нельзя использовать фильтрующие респираторы, например - гидразин. Использование датчиков, находящихся в фильтре в толще сорбента, позволит сотрудникам применять фильтрующие респираторы вместо более дорогих изолирующих. Также нужно заметить, что у респираторов с принудительной подачей воздуха (из-за большей стоимости их фильтров) применение активных индикаторов может позволить ускорить начало применения ESLI на практике. Все технологии, разработанные для фильтрующих СИЗОД, можно (сразу) использовать в фильтрующих респираторах с принудительной подачей воздуха.

Направления исследований и НИОКР на кратковременный период: 3-5 лет

В настоящее время трудно определить, какие датчики наилучшие, так как неизвестно слишком много параметров. Нужно проводить исследования, чтобы определить некоторые особенности конструкции у активных индикаторов. Для определения некоторых параметров рекомендуется использовать имеющихся сейчас в продаже датчики - даже если эти датчики в настоящее время недостаточно (хороши) для того, чтобы соответствовать всем предъявляемым к ним требованиям. Установка датчиков в сорбент фильтров тем способом, который должен применяться, позволит получить больше информации, и поможет спланировать дальнейшую работу. До тех пор, пока не будет решен ряд ключевых вопросов, (переход к) использованию респираторов с индикаторами не сдвинется с места.

Стр. 25 -----

Прекрасным примером датчиков, которые должны использоваться при проведении начальных исследованиях индикаторов, являются группы (разных) датчиков, размещённых на гибкой подложке, изучавшиеся в NPRTL (*лаборатория СИЗ в NIOSH*). У химрезисторов небольшой размер, (подходящий) диапазон чувствительности и низкое потребление энергии, поэтому они лучше всего подходят для решения поставленной задачи (по сравнению с другими датчиками, которые есть в продаже сейчас). Для выявления химического состава воздушных загрязнений используют группы (разных) датчиков. Рекомендуется в первую очередь использовать химрезисторы и другие датчики, у которых маленькое потребление электроэнергии, например - MIMЕ. Для размещения датчиков в фильтрах в сорбенте нужно объединить усилия с изготовителями противогазных фильтров. Для определения технических характеристик нужно провести исследования прототипов систем. Рекомендуется проведение экспериментов для изучения конструкции датчиков и их размещения, и использование результатов исследований прототипов (для разработки требований к параметрам) "идеальных" индикаторов. При проведении таких исследований нужно изучать:

В первую очередь:

- a) Какая точность требуется для конкретных типичных областей применения.
- b) Требуемая чувствительность датчиков.
- c) Требуемое время реакции.
- d) Подходящее положение датчиков в сорбенте или на маске.

Во вторую очередь:

- e) Диапазон подходящих размеров датчиков.

В третью очередь:

- f) Требования к изготовлению.
- g) Связь с потребителем (*User interface preferences*)

Направления а-е требуют сосредоточиться на изучении процесса перемещения вредных газов в сорбенте. Предварительные исследования показали, что в хорошо спроектированных фильтрах перемещение фронта газов происходит однородно и предсказуемо. Нужно провести эксперименты, устанавливая датчики в разных местах фильтра (по толщине сорбента). Затем эти фильтры нужно подвергнуть воздействию газов и паров в контролируемых условиях, и установить взаимосвязь между сигналами датчиков и концентрациями газов в очищенном воздухе. Результаты этих экспериментов помогут определить требования к чувствительности и к времени реакции, подходящее время установки и требуемую способность различать газы. Нужно выявить те области применения, где такие датчики могут успешно использоваться в ближайшем будущем, например - защита от паров органических соединений при окраске.

Направления исследований и НИОКР на долговременный период: 3-10 лет

Применение датчиков может быть полезно во многих ситуациях, и поэтому (имеется) удобная возможность проведения исследований датчиков для МВД и медицины. Нужно сосредоточить усилия на нанотехнологиях, так как такие датчики могут быть самыми маленькими и энергоэкономичными. Наиболее многообещающими выглядят датчики MIMЕ; MEMS; и датчики, сделанные из наноструктурируемых материалов. Кроме того, требуется проведение исследований в области анализа многопараметрических данных, и новых методов обработки сигналов. Нужно провести исследования для улучшения стабильности датчиков, их устойчивости к внешнему воздействию, и для калибровки одних датчиков с помощью других.

Наконец, нужны новые источники энергии. Проводятся исследования для получения, хранения и использования энергии с помощью лёгких устройств с большим сроком службы. Изучаются:

- (1) Литий-ионные микробатареи для следующего поколения микроэлектронных устройств, сделанные с помощью лазера
- (2) Батареи, которые получают энергию с помощью (фотоэлементов)
- (3) Обладающие большой энергоёмкостью нано-структурированные аэрогели с большой площадью поверхности
- (4) новые устройства, использующие наноматериалы для увеличения энергоёмкости и плотности накопленной (в единице объёма) энергии. Часть усилий нужно направить на изучение новых источников энергии и конструкций электронных частей систем (*circuit designs*).

Стр. 26 -----

Для улучшения датчиков, используемых в индикаторах, нужно сосредоточить усилия на изучении всей системы (датчики + фильтры). Проведение такой работы необходимо из-за того, что по данным опроса 2001г NIOSH/BLS (<http://www.cdc.gov/niosh/docs/respsurv/>) в США более 200 000 коммерческих организаций использует фильтрующие респираторы. Также при проведении опроса около 20% предприятий сообщили, что у них замена противогазных фильтров на новые проводится самими рабочими. Из-за потенциально не своевременной замены фильтров такие рабочие подвергаются наибольшему риску вредного воздействия. Индикаторы ESLI могут снизить риск чрезмерного воздействия на таких рабочих и обеспечить безопасные условия труда.

Приложение А Обзор публикаций

Патенты

1. **Ammann K.; B  ther W.** Device and Process for Indicating the Exhaustion of a Filter; *United States Patent 6040777* 2000.
2. **Bernard P.; Caron S.;** St-Pierre M.; Lara J. End-of-Service Indicator Including Porous Waveguide for Respirator Cartridge; *United States Patent 63 75725* 2002.
3. **Castor R.** Gas Analyzer; *United States Patent 6014889* 2000.
4. **Curado L.; deMedeiros E.M.** Service Life Indicator for Respirator Cartridge; *United States Patent 6497756* 2002.
5. **Debe M.K.; Miller L.R.** Parsonage E.E.; Poirier R.J.; Yuschak G. Exposure Indicator with Continuous Alarm Signal Indicating Multiple Conditions; *United States Patent 5666949t* 1997.
6. **Debe M.K.; Yuschak G.;** Parsonage E.E.; Poirier R.J.; Miller L.R. Exposure Indicating Apparatus; *United States Patent 5659296* 1997.
7. **Gerder H.; Krause A.; Kullik G.** Breathing Gas Tube for a Respirator; *United States Patent Application Publication US 2004/0182392* 2004
8. **Hoague M.P.** Respiratory Filter Element Having a Storage Device for Keeping Track of Filter Usage and a System for use Therewith; *United States Patent 6186140* 2001.
9. **Klingner T.D.** Device and Method for Detecting Chemical Breakthrough of Protective Clothing; *United States Patent 5976881* 1999
10. **Leichnetz K.** Colorimetric Indicator for the Indication of the Exhaustion of Gas Filters; *United States Patent 4684380* 1987.
11. **Steinthal G.; Sunshine S.;** Burch T.; Plotkin N.; Hsiung C.M. Non-Specific Sensor Array Detectors; *United States Patent Application Publication US 2004/0135684* 2004.
12. **Stetter J.R.** Sensor for Detecting the Exhaustion of an Adsorbent Bed; *United States Patent 4847594* 1989.
13. **Vo-Dinh.** Apparatus and Methods for Detecting Chemical Permeation; *United States Patent 5376554* 1994.
14. **Watson Jr. et al.** Residual Life Indicator; *United States Patent 6701864* 2004.

Статьи в журналах

1. **Anstice P.J.C.; Alder J.F.** Towards the prediction of the Remaining Lifetime of a Carbon filter Bed on Hydrogen Cyanide Challenge Using in-bed Sensors and a Neural Network: Preliminary Findings; *Adsorption Science and Technology* 1999, 17(9), 771.
2. **Caron S.; Bernard P.;** Vernon M.; Lara J. Porous Glass Optical Fiber Sensor as an End-of-Service-Life indicator for Respirator Cartridges; *Sensors and Actuators* 2004, B 102, 198.
3. **Comini E.; Faglia G.;** Sberveglieri G.; Pan Z.; Wang Z.L. Stable and Highly Sensitive Gas Sensors Based on Semiconducting Oxide Nanobelts; *Applied Physics Letters* 2002 81, 1869.
4. **Cunningham B.; Weinberg M.;** Pepper J.; Chris C.; Bousquet R.; Hugh B. et al. Design, Fabrication and Vapor Characterization of a Microfabricated Flexural Plate Resonator Sensor and Application to Integrated Sensor Arrays; *Sensors and Actuators* 2001, 73, 112.

5. **Dharmarajan V.; Cummings B.; Lingg R.D.** Evaluation of Organic-Vapor Respirator Cartridge Efficiency for Toluene Diisocyanate Vapor in the Presence of Methylenechloride or Acetone Solvent; *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2003, 18, 620.
6. **Dharmarajan V.; Lingg R.D.; 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* 2001, 16 (3), 397.
7. **Dominguez D.D.; Chung R.** Carbon Filter test Bed Monitoring: Part 1. Evaluation of a SAW Chemical Sensor; NRL/MR/6170-98-8149, 1998.
8. **Dominguez D.D.; McGill R.A.; Chung R.; Nguyen V.** Performance of an Embedded SAW Sensor for Filter Bed Monitor and the Development of a Wireless Monitoring Prototype System; *IEEE International Frequency Control Symposium* 1998.
9. **Duncan E.J.S.; Dickson E.F.G.** A New Whole-Body Vapor Exposure Chamber for Protection Performance on Chemical Protective Ensembles; *AIHA Journal* 2003, 64, 212.
10. **Fang M.; Vetelino K.; Rothery M.; Hines J.; Frye G.C.** Detection of Organic Chemicals by SAW sensor array; *Sensors and Actuators* 1999, 56, 155.
11. **Gardner P.; McGill R.A.; Lawhon S.; Weir D.W.; Greenblatt J.; Chung R. et al.** End-of-Service-Life Indicators for NBC Protective Filters; *Proceedings* 2001.
12. **Giardino N.; England E.; Doddridge J.; Greebon K.; Carlton G.** Application of Cohen and Garrison's Respirator Cartridge Service Life Prediction Model to 1,6-Hexamethylene Diisocyanate (HDI) Monomer; *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2000, 15(3), 245.
13. **Groves W.A.; Zellers E.T.** Prototype Instrument Employing a Microsensor Array for the Analysis of Organic Vapors in Exhaled Breath; *AIHA Journal* 1996, 57, 1103.
14. **Hori H.; Ishidao T.; Ishimatsu S.** Development of a New Respirator for Organic Vapors with a Breakthrough Detector Using a Semiconductor Gas Sensor; *Applied Occupational and Environmental Hygiene* 2003, 18(2), 90.
15. **Kannan G.K.; Nimal A.T.; Mittal U.; Yadava R.D.S.; Kapoor J.C.** Adsorption Studies of Carbowax Coated Surface Acoustic Wave (SAW) Sensor for 2,4-Dinitro Toluene (DNT) Vapour Detection; *Sensors and Actuators B* 2004, 101, 328-334.
16. **Lawhon S.J.; Hofacre K.C.; Wang A.; Lawhon W.T.** End-of-Service-Life Indicaor Concept Analysis: Concept Identification; *Final Report* 2000.
17. **Li J.; Lu Y.; Ye Q.; Cinke M.; Han J.; Meyyappan M.** Carbon NanotubeSensors for Gas and Organic Vapor Detection; *Nano Letters* 2003, 3(7), 929-933.
18. **Linders M.J.G.; Mallens E.P.J.; Van Bokhoven J.J.G.M.; Kapteijn F.; Moulijn J.A.** Breakthrough of Shallow Activated Carbon Beds Under Constant and Pulsating Flow; *AIHA Journal* 2003, 64, 173.

19. **Maclay G.J.; Yue C.; Findlay M.W.; Stetter J.R.** A Prototype Active End-of-Service-Life Indicator for Respirator Cartridges; *AppL. Occup. Environ. Hyg.* 1991, 6, 677.
20. **Mansdorf S.Z.; Henry N.; Anderson D.; Strong M.; Rossi D.** The Permeation of Substituted Chlorosilanes Through Selected Protective Clothing; *AIHA Journal* 1997, 58, 110.
21. **McGill R.A.; Weir D.W.; Greenblatt J.; Chung R.; Nguyen V.; Houser E.J.** Evaluation of Chemical Sensor Technologies for Air Filter Lifetime and Performance Monitoring; *Proceedings* 2001.
22. **Moyer E.S.; Berardinelli S.P.** Penetration of MIC through Organic Vapor and Acid Gas Respirator Cartridges; *AIHAJ* 1987, 48(4), 315.
23. **Moyer E.S.; Findlay M.W.; Maclay G.J.; Stetter J.R.** Preliminary Evaluation of an Active End-Of-Service-Life Indicator for Organic Vapor Cartridge Respirators; *AJHAJ* 1993, 54, 417-425.
24. **Nath N.; Chilkoti A.** Label Free Colorimetric Biosensing Using Nanoparticles; *Journal of Fluorescence* 2004, 14(4), 377.
25. **Novak J.P.; Snow E.S.; Houser E.J.; Park D.; Stepnowski J.L.; McGill R.A.** Nerve Agent Detection Using Networks of Single-Walled Carbon Nanotubes; *Applied Physics Letters* 2003, 83, 4026.
26. **Osmond N.M.; Phillips P.L.** Pressure Drop and Service Life Predictions for Respirator Canisters; *AIHA Journal* 2001, 62, 288.
27. **Park C.O.; Akbar S.A.** Ceramics for Chemical Sensing; *Journal of Materials Science* 2003, 38, 4611-4637.
28. **Park J.; Plese M.R.; Puskar M.A.** Evaluation of a Personal Monitor Employing an Electrochemical Sensor for Assessing Exposure to Hydrogen Peroxide in the Workplace; *AIHA Journal* 2003, 64, 360.
29. **Park J.; Zellers E.** Determination of Solvents Permeating Through Chemical Protective Clothing with a Microsensor Array. *JEM* 2002, 2, 300-306.
30. **Park J.; Zhang G.Z.; Zellers E.T.** Personal Monitoring Instrument for Selective Measurement of Multiple Organic Vapors; *AIHAJ* 2000, 61, 192.
31. **Pinnaduwege L.A.; Thundat T.; Hawk J.E.; Hedden D.L.; Britt P.F.; Houser E.J.; Stepnowski S.; McGill R.A.; Bubb D.** Detection of 2,4-dinitrotoluene using microcantilever sensors. *Sensors and actuators, B* 2004, 99, 223-229.
32. **Prasad S.; Zhang X.; Yang M.; Ozkan C.S.; Ozkan M.** Neurons as Sensors: Individual and Cascaded Chemical Sensing; *Biosensors and Bioelectronics* 2004, 19, 1599-1610.
33. **Rembeza S.; Rembeza E.; Svistova T.; Kalach A.; Loginov, V.** Application of Metaloxide Sensors and Chemometric Methods for Organic Substances Vapor Detection; *Sensors and Transducers* 2004, 44(6), 273-277.
34. **Roehl J.E.; Caraher T.W.; Kalmes K.A.; Isley E.A.** Residual Life Indicators-Point Chemical Detectors used to Measure the Capacity of Activated Carbon in Protective Garments, Gas Mask Filers, and Collective Protection Filters; Available at <http://www.scentczar.com>
35. **Ronccone K.** Nanotechnology: What Next-Generation Warriors Will Wear; *JOM* 2004.

- 36. Russell D.A.; Duncan E.S.;** Hunt S.; Dickson E.F.G.; Weagle G. Evaluation of Sensors for use Inside Chemical Protective Suits; *SPIE Conference on Air Monitoring and Detection of Chemical and Biological Agents* 1999.
- 37. Scahill J.; Wolfrum E.J.;** Michener W.E.; Bergmann M.; Blake D.M.; Watt A.S. A New Method for the Rapid Determination of Volatile Organic Compound Breakthrough Times for a Sorbent at Concentrations Relevant to Indoor Air Quality; *Journal of the Air and Waste Management Association* 2004, 54, 105.
- 38. Schreuder-Gibson H.L.; Realff M.L.** Advanced Fabrics; *MRS Bulletin* 2003. 39. Shimizu, Y.; Hyodo, T.; Egashira. Mesoporous Semiconducting Oxides for Gas Sensor Application; *Journal of European Ceramic Society* 2004, 24, 1389-1398.
- 40. Snow A.W.; Wohltjen H.; Jarvis N.L.** MIME Chemical Vapor Microsensors; *NRL Review* 2002.
- 41. Tanaka S.; Tanaka M.;** Kimura K.; Nozaki K.; Seki Y. Breakthrough Time of a Respirator Cartridge for Carbon Tetrachloride Vapor Flow of Workers' Respiratory Patterns; *Industrial Health* 1996, 34, 227-236.
- 42. Tanaka S.; Tsuda Y.;** Kitamura S.; Shimada M.; Arito H.; Seki Y. A Simple Method for Detecting Breakthroughs in Used Chemical Cartridges; *AIHAJ* 2001, 62, 168-171.
- 43. Vahdat N.** Theoretical Study of the Performance of Activated Carbon in the Presence of Binary Vapor Mixtures; *Carbon* 1997, 35, 1545.
- 44. Vincent J.** Estimating Cartridge Service Life; *Occupational Health and Safety* 2001, 70, 122.
- 45. Vincent J.B.** Real-time End-of-Service-Life Indicators Will Increase Reliability of Determining Cartridge Service Life; *Industrial Hygiene News*, 2002.
- 46. Vincent J.** Suffocating with Burdensome Cartridge Change Schedules? Take a Breather with new ESLI Technology; *Industrial Safety & Hygiene News* 2003.
- 47. Vincent J.B.; deMedeiros E.** Change is "Indicated" for End Users; *Occupational Health and Safety* 2002, 71, 44.
- 48. Vo E.** A New Technique to Determine Organic and Inorganic Acid Contamination; *The Analyst* 2001, 127, 178.
- 49. Vo E.; Nicholson J.;** Gao P.; Zhuang Z.; Berardinelli S.P. The Thermo-Hand Method: Evaluation of a New Indicator Pad for Acid Permeation of Chemical Protective Gloves; *AIHA Journal* 2003, 64, 771.
- 50. Vojković V.; Allegretti Žičeć V.;** Tamhina B.; Škare D. A New Simple Method for Monitoring Permeation Through Clothing Materials of DibutylSulphide, A Chemical Warfare Agent; *Journal of Hazardous Materials* 1997, 56, 307-314.
- 51. Wilson D.M.** Optimization of Composite Polymer Gas Sensor Arrays for Single-Analyte Multiple-Interferent Applications; *Proceedings of SPIE* 2002, 4576, 207
- 52. Wilson D.M.; Roppel T.A.** Hardware Architectures for Chemical Sensing Electronics; *SPIE* 1999, 3856, 171.
- 53. Wood G.O.; Lodewyckx P.** An Extended Equation for Rate Coefficients for Adsorption of Organic Vapors and Gases on Activated Carbons in Air-Purifying Respirator Cartridges; *AIHA Journal* 2003, 64, 646.

54. **Wood G.O.**, "Estimating Service Lives of Organic Vapor Cartridges II: A Single Vapor at All Humidities," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene* 2004, 1,472.
55. **Yoon Y.H.; Nelson J.H.; Lara J.** Respirator Cartridge Service-Life: Exposure to Mixtures; *AIHA Journal* 1996, 57, 809.
56. **Zellers E.** et al. Determination of Complex Vapor Mixtures in Ambient Air with a Wireless Microanalytical System: Vision, Progress, and Homeland Security Applications; *Technical Digest of the IEEE Conference on Technologies for Homeland Security* 2002.

Разные (источники информации)

57. **Advanced Materials** and Manufacturing-Army. Residual Life Indicator (RLI) for Sorptive Beds; Available at <http://www.dtic.mil/dust/focusfvy01/army/natick0106.htm>
58. **Army.** Bioluminescent/ Integrated Circuits; Proposal Submittal 2001.
59. **Army.** Breathable Clothing Material for Chemical Agent Protection for the Soldier; Proposal Submittal 2001.
60. **Army.** Nanofibers for Chemical Protective Clothing Systems 2001.
61. **Blosser F.** New Computer Program Advances Guidance on Predicting Air-Purifying Respirator Filter Cartridge Service Life; NIOSH 2003.
62. **Carnegie Mellon** Media Relations: Carnegie Mellon Researchers Create Monitors to Reduce Maintenance Cost of Respirator Masks; Available at http://www.cmu.edu/PRJreleases02/021112_respirator.html
63. **Chemical-Biological-Radiological** Explosive (CBRE) Detection and Protection: The Application of Nanotechnology to Homeland Defense; *National Technology Initiative*; Available at http://www.nano.gov/html/res/fy04-pdf/fy04%20-%20small%20parts/NNI_FY04_N_mode2_part4.pdf
64. **Deininger D.** SBIR On-Board Diagnostic Sensor for Respirator Breakthrough; Available at <http://www2a.cdc.gov/nora/ShowPJT.asp?PjtID=131&PitType=EXG&ck=no&bFlag=3>
65. **Fedder G.K.** Integration in Monolithic CMAS technologies: Low-Cost Chemical Monitoring Using Nanostructured Polymer Microelectomechanical Sensors. Annual Report for Funding Document NIH - Centers for Disease Control and Prevention, Award #200-2002-00528.
66. **Future Force Warrior (FFW)**, <http://www.natick.army.mil/soldier/WSIT/>.
67. **Gardner P.D.**, Development of ESLI for NBC Mask Filters; Available at <http://www.asc2004.com/23rdASC/summaries/g/GP-20.pdf>
68. **Huffer A.** Sensors Getting Out of Hand, Into Clothing; Available at <http://www2.okstate.edu/pio/brancharm.html> 2004
69. **Kirollos K.S.** Colorimetric End-of-Service Life Indicator for Mask Filters; Available at <http://www.cdc.gov/niosh/npptl/>
70. **MEMS Monitors** Would Reduce the Cost of Maintaining Respirator Masks; *Ascribe Newswire*. http://www.smalltimes.com/document_display.cfm?document_id=5054&keyword=carnegie&summgr=1&startum=1

- 71. MEMS Precision Technology, Inc.** MEMS Sensor Platform; Available at http://www.crti.drdc-rddc.gc.ca/projects/crti_0004ta_e.html
- 72. Miller A.E.S.** Colorimetric Sensors for End-of-Service-Life Indicators for Mask Filters; Available at <http://www.chemmotif.com/products/htm>
- 73. Myojo T.; Kanno S.;** Takano T.; Matsunobu K.; Shono K. An End-of-Service-Life Indicator for Small Gas Cartridges Using Window of Detecting Reagent; ISRP Japan Conference 2004 - Abstracts. Available at http://www.isrp.com.au/asia/japan_2004/abstracts/mvojo1.htm
- 74. Nakata Y.; Kurano N.; Inai M.** Gas Desorption from Chemical Cartridges; ISRP Japan Conference 2004- Abstracts. Available at http://www.isrp.com.au/asia/japan_2004/abstracts/nakata.htm
- 75. Nanotechnology Innovation** for Chemical, Biological, Radiological, and Explosive (CBRE): Detection and Protection; Final Workshop Report 2002
- 76. Nelson and Janssen,** Developing Cartridge Change Schedules: What are the Options?; 3M JobHealth Highlights 1999, 17 (1).
- 77. Richardson G.S.; Winskill J.; Mcleod A.** The Development of Instrumentation and Analysis Tools to Assess Respirator Performance in the Field; Japan Conference 2004- Abstracts. Available at http://www.isrp.com.au/asia/japan_2004/abstracts/richardson1.htm

Приложение В Участники обсуждения

(Изготовители)

MSA

3M

Survivair

Draeger

Moldex

Scott Health & Safety

Center to Protect Workers' Rights

AFL-CIO, Occupational Safety and Health

Paul Gardner Respiratory Protection Team; Research & Technology Directorate, Edgewood
Chemical Biological Center; 410-436-6692 / FAX 410-436.3141, paul.gardner2@us.army.mil

Ira Harkness Naval Surface Warfare Center Panama City, Chemical / Biological Individual
Protection Branch; 850-235-5480, DSN 436-5480 / FAX 850-234-4671

R. Andrew McGill, Ph.D. Naval Research Laboratory; Section Head, Code 6375; 4555 Overlook Ave., S.W.
Washington, D.C. 20375-5345; 202-767-0063 / FAX 202-767-5301, mcgill@nrl.navy.mil

Приложение С.
Сравнение датчиков,
сделанных с помощью разных технологий
(разработано *Dr. Arthur Snow, Naval Research Laboratory, Code 6123*)

	Е-CHEM	MOS	SAW	Электропроводные полимеры	MIME
Вредные газы	Маленькая молярная масса, Основные электроактивные газы	Горючесть	Большая молярная масса, нейтральные и полярные органические соединения	Газы с электронной донорно-акцепторной (связью)	Большая молярная масса, нейтральные и полярные органические соединения
Принцип обнаружения	Амперометрическое измерение редокса	Изменение электропроводности нагретого полупроводника	Изменение массы плёнки сорбента	Изменение электропроводности полимера	Изменение электропроводности нанокластеров
Диапазон чувствительности*	0.1 ppmv ÷ 10%	0.01 ppmv ÷ 10%	0.01 ppmv ÷ 95%	0.1 ppmv ÷ 10%	0.01 ppmv ÷ 95%
Размер (объём, см ³)	5	< 1	< 0.5	< 0.1	< 0.1
Электропотребление	< 10 мВт	< 250 мВт	< 100 мВт	< 10 мВт	< 10 мВт
Линейность (выходного сигнала)	Линейная	Не линейная	Достаточно (<i>fair</i>) линейная	Не линейная	Линейная
Стабильность	Хорошая	Хорошая (<i>fair</i>)	Очень хорошая	Хорошая (<i>fair</i>)	Очень хороша
Время реагирования	1-100 сек	10-1000 сек	0.1-100 сек	10-1000 сек	0.01-10 сек
Срок хранения	2 года +	5 лет +	10 лет +	2 года +	Большой
Относительная оценка	5	2.5	0.5	0.1	0.01

* - Доля объёма, занимаемого вредным газом в проверяемом воздухе, при которой датчик реагирует на вещество [1 ppmv (*parts per million by volume*) = 0.0001%].