

РАЗРАБОТКА ФИЛЬТРУЮЩЕ-СОРБИРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ В ЦЕЛЯХ ФОРМИРОВАНИЯ АССОРТИМЕНТА СОВРЕМЕННЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПРОТИВОГАЗОВ И РЕСПИРАТОРОВ

М.В. Талипова¹✉, А.В. Лянг¹, Н.В. Щербак²

¹АО «Сорбент», 614042, Россия, Пермский край, г. Пермь, ул. Гальперина, д. 6

²ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, д. 17

talipova@sorbent.su

Рассмотрены особенности исследования фильтрующе-сорбирующих материалов (ФСМ) для разработки малогабаритных фильтров и формирования ассортимента современных фильтров для противогазов и респираторов. В малогабаритных фильтрах опробовано и оценено сочетание фильтрующего материала с активным углем, импрегнированным химическими добавками. Определены необходимые физико-химические и сорбционные параметры адсорбентов: активного угля и активного угля, импрегнированного химическими добавками, что позволяет обеспечивать дополнительную защиту от неорганических и кислых газов и паров, от аммиака. Выявлено, что сочетание фильтрующего материала и адсорбента с малой высотой слоя обладает аналогичными зависимостями в сравнении с используемыми в промышленности противогазовыми и комбинированными малогабаритными фильтрами для противогазов и респираторов, снаряженными адсорбентами с большой высотой слоя шихты. Систематизированы и изучены способы сочетания фильтрующих материалов и адсорбентов как предпосылка для создания нового класса облегченных противоаэрозольных средств индивидуальной защиты органов дыхания — противогазов и респираторов с дополнительной защитой от газов и паров с последующей стандартизацией требований к таким средствам защиты и малогабаритных фильтров к ним. Практическая ценность работы сводится к разработке облегченных, комбинированных малогабаритных фильтров с защитой от низких концентраций вредных газов и паров, что позволит работникам предприятий использовать наиболее эргономичные средства защиты органов дыхания на производственных участках с низкими концентрациями в воздухе вредных веществ. Статья может быть рекомендована научным сотрудникам, занимающимся исследованиями в области сорбции вредных газов и паров, а так же специалистам, занимающимся разработкой перспективных и современных средств защиты органов дыхания и специалистам, имеющим отношение к охране труда на производстве.

Ключевые слова: адсорбенты, активный уголь, противоаэрозольные фильтры, средства защиты органов дыхания, фильтрующе-сорбирующие материалы

Ссылка для цитирования: Талипова М.В., Лянг А.В., Щербак Н.В. Разработка фильтрующе-сорбирующих материалов в целях формирования ассортимента современных фильтров для противогазов и респираторов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 1. С. 121–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-121-133

Развитие техники и интенсивный рост промышленности способствуют значительному ухудшению экологии окружающей среды. В связи с этим ужесточаются требования к средствам защиты человека от воздействия вредных техногенных факторов, в том числе и к средствам индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) [1].

Объем рынка фильтровальных материалов будет все более увеличиваться, поскольку ожидается активный рост спроса на воздушные фильтры со стороны химической, оборонной и других отраслей промышленности [2].

Фильтры СИЗОД классифицируют на противогазовые, комбинированные [3] и противоаэрозольные [4]. При изготовлении противогазовых фильтров для формирования шихты используют углеродные сыпучие адсорбенты. Фильтры имеют

защиту от вредных газов и паров различных концентраций. Противоаэрозольные фильтры изготавливают из фильтровального материала, в том числе стекловолоконистого материала в гофрированном виде. Фильтры защищают от аэрозолей (пыли, дыма, тумана) [5]. Комбинированные фильтры представляют собой ступенчатую комбинацию углеродной шихты и фильтровальных материалов, защищают комплексно как от вредных газов и паров различных концентраций, так и от аэрозолей.

В качестве частиц адсорбента в противогазовых и комбинированных фильтрах, способных поглощать вредные газы и пары, используется микропористый активный уголь или поглотители на его основе [6].

Недостатками противогазовых и комбинированных фильтров признаны их большие габариты, большая масса и недостаточно низкое сопро-

тивление дыханию [7]. Для достижения низкого сопротивления дыханию необходим фильтр, не подверженный преждевременному засорению и требующий минимальных энергозатрат. Чем меньше сопротивление прохождению воздушного потока, тем легче дышать через фильтрующий материал и тем комфортнее СИЗОД.

Повышенное внимание к проблеме обеспечения персонала высокоэффективными и одновременно облегченными СИЗОД связано в первую очередь с улучшением условий труда на производственных предприятиях. Как показывает практика, отсутствие, в частности на судостроительных и металлургических предприятиях участков с высокой концентрацией вредных веществ, вызывает необходимость применения противоаэрозольных фильтров, что не всегда эффективно для защиты персонала по причине наличия в воздушной среде их рабочих зон низких концентраций вредных веществ, а также их кумулятивного воздействия на организм. Обеспечение работника неэргономичным СИЗОД (большого габарита, с высоким сопротивлением дыханию и защитой от вредных веществ с концентрациями, большими, чем на рассматриваемых участках некоторых предприятий) оказывает существенную дополнительную нагрузку на организм человека и снижает его работоспособность [8], ухудшает здоровье персонала.

Исходя из совокупности перечисленных факторов была поставлена задача разработки такого материала, который бы позволил создать СИЗОД, обладающие защитой как от аэрозолей, так и от вредных газов и паров низких концентраций.

Актуальность исследования подтверждает изучение сочетания противоаэрозольных материалов с адсорбентами, способного осуществлять фильтрацию аэрозолей и поглощать вредные газы и пары. Особый интерес представляет стекловолокнистый материал, подверженный гофрированию для увеличения большей площади фильтрации и заключенный в закрытый корпус фильтра в целях защиты от влаги и механических повреждений.

В работе [9] рассматривается разработка специальной одежды, обеспечивающей защиту кожных покровов людей от химических воздействий, образующихся в результате террористических актов и техногенных аварий на основе угленаполненной целлюлозы.

Цель работы

Цель работы — разработка малогабаритных легких фильтров (МЛФ) СИЗОД, обладающих низким сопротивлением дыханию, высоким уровнем защиты от аэрозолей, а также эффективной защитой от газов и паров при их невысокой концентрации [10].

Методология и результаты

Для достижения поставленной цели было изучено влияние сочетания адсорбента и волокнистого полуфабриката на свойства фильтрующе-сорбирующих материалов (ФСМ), определено оптимальное соотношение волокнистого полуфабриката и адсорбента, установлена степень влияния химических добавок, импрегнируемых на поверхность пор активного угля, на сорбционные свойства адсорбента.

Первостепенное значение при этом имели исследования, направленные непосредственно на определение оптимального способа нанесения адсорбента на волокнистый полуфабрикат — полимерные или стеклянные волокна.

Согласно нашим исследованиям [11], ФСМ могут быть изготовлены с помощью следующих способов:

- ламинирования расплава частиц активного угля и фильтрующего материала (ФМ) на основе стеклянных волокон;
- нанесения частиц адсорбента на подложку из ФМ на основе полипропиленовых волокон (ППВ);
- импрегнирования угля в массу ППВ методом раздува ультратонких волокон.

Способ ламинирования расплава частиц активного угля с ФМ осуществляется с помощью каландровых валов. Возможно ламинирование мелкодисперсной пыли с использованием расплава из синтетических волокон в качестве связующего и ламинирование более крупных частиц активного угля, в котором связующим между частицами активного угля и подложкой из ФМ выступает расплав клея. В случае ламинирования мелкодисперсной пыли частицы представляют собой смешанную массу мелкодисперсной пыли с волокнами вискозы или полиэстера. Под воздействием температуры происходят расплав синтетических волокон и фиксация угольной пыли на ФМ за счет термоскрепления. В случае ламинирования более крупных частиц активного угля угольная масса с клеем наносится на подложку ФМ из стеклянных волокон (СТВ) и накрывается верхним полотном. Рулонный материал перемещается к каландрам, в которых происходит окончательная фиксация верхнего и нижнего полотна с клеевой угольной массой.

Способ нанесения частиц адсорбента на подложку из фильтрующего ППВ осуществляется при пропускании материала через валы каландра. Масса активного угля наносится на подложку ФМ и накрывается верхним аналогичным полотном. Рулонный материал перемещается к каландрам, в которых в процессе термоскрепления происходит окончательная фиксация верхнего и нижнего полотна с угольной массой за счет расплавленных ППВ.

Способ импрегнирования активного угля в волокнистую массу полипропилена осуществляется методом раздува ультратонких ППВ, способных фиксировать активный уголь в полотно благодаря переплетению волокон. Этот способ позволяет получать объемные ФСМ.

Каждый вид ФСМ, полученный одним из способов, оценен с точки зрения времени защитного действия (ВЗД) на органические вещества по методике МИ 137-05795731-2003 [12].

О расширении спектра действия сорбционной способности активированных углей вследствие импрегнирования химических добавок стало известно из некоторых источников. В частности, в 1984 г. авторы работы [13] Хартмут Кинле и Эрих Бадер писали: «В целях пропитки активированных углей используются обычно гидроксид и карбонат калия в количестве 0,1...5,0 %. Кроме них можно в малых количествах применять гидроксид натрия, соли щелочных и щелочноземельных металлов, а также хлориды, сульфиды, ацетаты, карбонаты, сульфиты и многие кислоты. Эти вещества можно добавлять в растворы или при непосредственном, смешивании с тонкодисперсным материалом. При исследовании каталитического действия карбоната калия установлено, что калий внедряется между плоскостями кристаллической углеродной решетки и увеличивает расстояние между плоскостями решетки графита от 0,34 до 0,38 нм. «Вскрытые» углеродные слои в таком случае становятся доступными для дальнейшего газового активирования» [13, с. 41].

При получении углей для противогазов и других углей специального назначения, которые должны обладать высокими прочностными свойствами и большим объемом тонких пор, используется скорлупа кокосового ореха [13].

Микропоры (тонкие поры) — наиболее мелкая разновидность пор адсорбентов (менее 0,6...0,7 нм), по своим линейным размерам они соизмеримы с размерами адсорбируемых молекул. Вследствие наложения адсорбционных потенциалов противоположных стенок энергия адсорбции в микропорах существенно повышена по сравнению с непористым адсорбентом одинаковой химической природы. При адсорбции газов и паров происходит объемное заполнение микропор [14].

На основании анализа особенностей пористой структуры и природы поверхности активного угля показано, что угли — носители импрегнирующих, в том числе каталитических, добавок и должны обладать определенным объемом сорбирующих пор и распределять их по размерам в сочетании с наличием поверхностных групп, обуславливающих высокую поглощающую способность угля по воде в области низких концентраций (до 0,5 P/Ps). Наиболее эффективная угольная основа химических поглотителей — активный уголь

из химически обработанной скорлупы ореха. Она обладает необходимым объемом адсорбирующих пор и требуемой поглощающей способностью по органическим парам и воде, а также имеет щелочной характер поверхности [15].

Именно активный уголь с подобными сорбционными характеристиками был использован нами при получении ФСМ.

По данным работы [16] и согласно имеющемуся опыту разработки угольной шихты в противогазовых фильтрах с защитой от различных газов и паров вредных веществ в высоких концентрациях [17–19], представлялась возможность разработки ФСМ с дополнительной защитой от газов и паров вредных веществ низких концентраций.

Таким образом, был разработан и внедрен адсорбент на основе активного угля, имеющий дополнительную химическую добавку в виде карбоната калия [17], который был включен в современные комбинированные фильтры большого габарита, соответствующие требованиям ГОСТ 12.4.235–2019 и ГОСТ 12.4.122–2020 [4, 20].

Наиболее оптимальное содержание карбоната калия на поверхности пор активного угля для противогазовых фильтров было достигнуто нами и составило от 9 до 17 % (массовая доля) [21].

На основании материалов работы [16] и перечисленных выше изобретений нами разработаны ФСМ с импрегнированием поглотителя в волокнистую массу ППВ. На некоторые образцы активного угля нанесены химические добавки, позволяющие получать материал как с комплексной защитой от различных газов и паров вредных веществ, так и с дифференцированной защитой от определенных газов и паров.

Использование карбоната калия в ФСМ для облегченных фильтрующих полумасок было опробовано нами в 2002 г. и подтверждено патентом [22]. Поглотитель для облегченных респираторов содержит активированную углеродную ткань, импрегнированную карбонатом калия и/или карбонатом натрия в количестве 1...10 % (массовая доля), обладает высокой динамической активностью по отношению к органическим парам и кислотным газам и парам при невысокой их концентрации в воздухе — до 5 норм предельно-допустимых концентраций (ПДК).

Дифференцированную защиту ФСМ от аммиака и его органических соединений (защита АК) получали посредством пропитки микропористого активного угля раствором хлорида никеля аналогично получению шихты противогазовой коробки (фильтра) СИЗОД для защиты от аммиака [23] до содержания 18...25 % (массовая доля), как в поглотителе ХПА-Н [16], предназначенном для снаряжения противогазовых коробок (фильтров) СИЗОД.

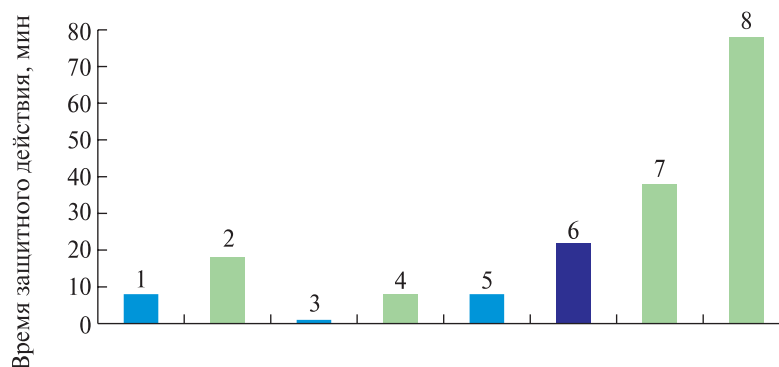


Рис. 1. Время защитного действия фильтрующе-сорбирующих материалов: 1 — АЕ на подложке ств; 2 — АЕ в объеме пп; 3 — АВЕК на подложке ств; 4 — АВЕК в объеме пп; 5 — уголь 40:80 на подложке ств; 6 — уголь 40:80 на подложке пп; 7 — уголь 40:80 в объеме пп; 8 — уголь 30:70 в объеме пп

Fig. 1. Time of the protective action of filtering-sorbing materials: 1 — AE on the STV substrate; 2 — AE; 3 — AVEK on the STV substrate; 4 — AVEK; 5 — coal 40:80 on a STV substrate; 6 — coal 40:80 on a pp substrate; 7 — coal 40:80; 8 — coal 30:70

Учитывая достигнутый эффект совместного применения соединений меди и хлорида никеля в различных частях адсорбента на основе активного угля [18] в шихте противогазовой коробки [19], а также последовательность нанесения на поры активного угля при изготовлении катализатора-поглотителя К-ПА (ТУ 2165-030-05795731-00) [24] сначала соединений меди 4,5...7,5 % (массовая доля) в пересчете на медь и хрома 1,2...2,2 % (массовая доля), затем хлорида никеля 7,0...15,0 % по данным работы [16], было принято решение при создании ФСМ для защиты от неорганических и кислых газов и паров, от аммиака (защита марки АВЕК) импрегнировать микропористый активный уголь вначале соединениями меди, затем — хлоридом никеля.

ФСМ со следующими наименованиями представлены на рис. 1:

1 — АЕ на подложке ств — активный уголь фракционного состава 40:80 mesh, импрегнированный химической добавкой (по [21]) в целях получения дополнительной защиты от неорганических и кислых газов и паров, получен методом ламинирования поглотителя и фильтрующего материала на основе стеклянных волокон;

2 — АЕ в объеме пп — активный уголь фракционного состава 40:80 mesh, импрегнированный химической добавкой (по [21]) в целях получения дополнительной защиты от неорганических и кислых газов и паров, получен методом раздува ультратонких ППВ с импрегнированием поглотителя в волокнистую массу;

3 — АВЕК на подложке ств — активный уголь фракционного состава 40:80 mesh, импрегнированный специальными химическими добавками в целях получения дополнительной защиты от

неорганических и кислых газов и паров, аммиака, получен методом ламинирования поглотителя и фильтрующего материала на основе стеклянных волокон;

4 — АВЕК в объеме пп — активный уголь фракционного состава 40:80 mesh, импрегнированный специальными химическими добавками в целях получения дополнительной защиты от неорганических и кислых газов и паров, аммиака, получен методом раздува ультратонких ППВ с импрегнированием поглотителя в волокнистую массу;

5 — уголь 40:80 на подложке ств — получен ламинированием частиц угля и фильтрующего материала на основе стекловолкна;

6 — уголь 40:80 на подложке пп — на фильтрующий материал на основе ППВ нанесен активный уголь с фракционным составом 40:80 mesh;

7 — уголь 40:80 в объеме пп — получен методом раздува ультратонких ППВ с импрегнированием частиц активного угля с фракционным составом 40:80 mesh;

8 — уголь 30:70 в объеме пп — получен методом раздува ультратонких ППВ с импрегнированием частиц активного угля с фракционным составом 30:70 mesh.

Исследования ФСМ проходили при одинаковом удельном потоке паровоздушной смеси — 0,15 дм³/мин, смоделированном для планируемых фильтров, площади испытываемых образцов 50 см² и одинаковой концентрации заданного тест-вещества (циклогексан — 0,2 мг/дм³).

На рис. 1 видно, что защиту от органических газов и паров имеют все ФСМ. Наиболее высокое ВЗД наблюдается у ФСМ, полученных методом раздува ультратонких ППВ (объемные ФСМ).

Данный факт можно объяснить тем, что в объемных ФСМ, имеющих большую высоту слоя по сравнению с остальными ФСМ, действуют принципы, аналогичные противогазовым фильтрам — это повышение ВЗД с увеличением высоты слоя. В то же время в ФСМ образуется турбулентность потока, увеличивающая интенсивность массообмена с частицами адсорбента. Также можно предположить, что положительно на увеличение ВЗД сказывается отсутствие клея на поверхности частиц адсорбента.

Нанесение химических ингредиентов на поверхность пор активного угля, вероятно, препятствует подходу органического вещества, в частности циклогексана, к сорбирующим порам. Вследствие этого ВЗД по органическим веществам ФСМ с импрегнированным активным углем значительно ниже, чем с неимпрегнированным.

По результатам анализа ФСМ установлено, что преимуществом ламинирования является отсутствие осыпания частиц адсорбента, а также его низкая увлажняемость вследствие защиты полимерной или клеевой пленкой, недостатком — снижение защитных свойств вследствие обволакивания активного угля пленкой и необходимость подбора оптимального температурного режима и скорости вращения валов для сохранения прочности ФМ и обеспечения оптимального нагрева для расплава синтетических волокон или клея при сохранении сорбционных свойств активного угля.

Нанесение частиц активного угля на подложку из ФМ, по-нашему мнению, напротив, способствует более высоким значениям защитных показателей, но ведет к возможности осыпания частиц.

Способ импрегнирования адсорбента в ультратонкие ППВ позволяет достигать достаточно высоких показателей по ВЗД предположительно благодаря объемной структуре ФСМ, а именно созданию локальных воздушных зон высокой турбулентности вокруг частиц активного угля. Использование поглотителей в ФСМ позволяет обеспечивать дополнительную защиту от неорганических и кислых газов и паров, аммиака и способствует формированию линейки современных фильтров. Недостатком данного способа является высокая степень осыпания частиц, что при производстве фильтров требует применения дополнительного слоя ФМ, способного удерживать осыпавшиеся частицы активного угля [10].

Наиболее лучшие результаты по ВЗД объемных ФСМ позволили решить одновременно несколько поставленных ранее задач путем исследования объемных ФСМ.

Испытаниям подверглись следующие образцы ФСМ:

– уголь 30:70 — с импрегнированием ППВ частицами активного угля фракционного состава 30:70 mesh;

– уголь 40:80 и уголь 40:80/2 — с импрегнированием ППВ частицами активного угля фракционного состава 40:80 mesh;

– АЕ и АЕ/2 — с импрегнированием ППВ поглотителем, с дополнительной защитой от неорганических и кислых газов и паров;

– АВЕК и АВЕК/2 — с импрегнированием ППВ поглотителем с дополнительной защитой от неорганических и кислых газов и паров, аммиака;

– АК — с импрегнированием ППВ поглотителем с дополнительной защитой от аммиака.

В образцах уголь 40:80/2, АЕ/2, АВЕК/2 в ППВ добавлен активный уголь или поглотитель, меньше по количеству в 2 раза, чем в образцах уголь 40:80, АЕ и АВЕК соответственно.

На основании результатов, полученных при испытании ФСМ на ВЗД по парам органических веществ, кислым газам и парам, неорганическим газам и парам, аммиаку оценивали ФСМ. В качестве тест-вещества использовали следующие вещества (МИ 137-05795731–2003, ГОСТ 12.4.159–90) [12, 25]:

– по парам органических веществ — циклогексан в концентрации 0,2 мг/дм³ и 0,4 мг/дм³;

– по кислым газам и парам — диоксид серы с концентрацией 0,2 мг/дм³;

– по неорганическим газам и парам — сероводород с концентрацией 0,2 мг/дм³;

– по аммиаку — аммиак с концентрацией 0,2 мг/дм³.

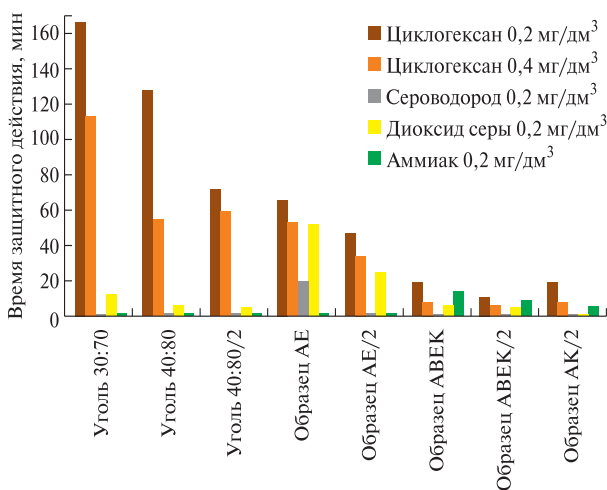


Рис. 2. Время защитного действия фильтрующе-сорбирующих материалов на основе полипропиленовых волокон

Fig. 2. Time of protective action of filter-sorbing materials based on polypropylene fibers

Исследования ФСМ (рис. 2), проходили при одинаковом удельном потоке паровоздушной смеси — 0,1 дм³/мин, смоделированном для планируемых фильтров, при площади испытываемых образцов 50 см² и одинаковой концентрации заданного тест-вещества.

Характеристики фильтрующе-сорбирующих материалов

Characteristics of filter-sorbing materials

Параметр	Образец АЕ	Образец АЕ/2	Образец АВЕК	Образец АВЕК/2	Уголь 30:70	Уголь 40:80	Уголь 40:80/2	Образец АК/2
Толщина, мм	1,28; 1,40	0,77; 0,92	1,37; 1,45	0,77; 0,93	1,44; 1,62	1,47; 1,59	0,69; 0,80	0,75; 0,96
Массовая доля влаги, %	4,7	4,9	3,8	5,0	1,4	1,1	1,5	5,9
Предельный объем сорбционного пространства по парам бензола, см ³ /г	0,37	0,33	0,24	0,30	0,55	0,41	0,43	0,29
Сопrotивление постоянному потоку воздуха при 15,0 дм ³ /мин, мм вод. ст.	1,8	1,5	2,2	1,5	1,5	1,8	0,9	1,4
Сопrotивление постоянному потоку воздуха при 47,5 дм ³ /мин, мм вод. ст.	2,7	2,6	3,1	2,6	2,6	2,7	1,8	2,7
Поверхностная плотность, г/м ²	336	176	360	187	323	325	142	182

Пропитка активного угля специальными добавками позволяет обеспечивать дополнительную защиту от неорганических и кислых газов и паров, от аммиака (см. рис. 2). Пропитка активного угля в целях защиты от неорганических и кислых газов и паров осуществлялась карбонатом калия, по данным работы [21]. В ходе предварительных экспериментов с адсорбентами установлено, что содержание карбоната калия в поглотителе на основе активного угля из химически обработанной скорлупы ореха более 17,0 % (массовая доля) приводит к снижению динамической активности поглотителя по диоксиду серы, а при содержании карбоната калия 23,0 и 25,0 % (массовая доля) динамическая активность поглотителя по диоксиду серы снижается более чем в 2 раза. Очевидно, этот факт связан с блокированием большим содержанием карбоната калия адсорбирующих пор в поглотителе, что, вероятно, препятствует доступу диоксида серы в реакционное пространство поглотителя [16].

Пропитка активным углем в целях защиты от неорганических и кислых газов и паров, аммиака основывалась на предварительных результатах, приведенных в работах [18, 19, 21], и на принятом решении последовательного импрегнирования активного угля соединениями меди и хлоридом никеля для защиты образца АВЕК, и только хлоридом никеля для защиты образца АК.

Все образцы ФСМ обладают способностью поглощать пары органических веществ (тест-вещество — циклогексан в концентрации 0,2 мг/дм³ и 0,4 мг/дм³). Это так же, как и в предыдущих экспериментах (см. рис. 1), объясняется нами тем, что все поглотители выполнены на основе микропористого активного угля. При этом нане-

сение химических ингредиентов на поверхность пор активного угля препятствует подходу органического вещества, в частности циклогексана, к сорбирующим порам. Вследствие этого ВЗД по циклогексану ФСМ с поглотителями значительно ниже, чем время защитного действия ФСМ, изготовленных из чистого активного угля.

В табл. 1 представлены результаты испытаний по показателям, на которые также оказывают влияние химические добавки, импрегнируемые на поверхность пор активного угля, на сорбционные свойства поглотителей ГОСТ 29104.1–91, ГОСТ 27015–6, ТУ ВУ 40001289.108–2009, ГОСТ 12.4.235–2019 [4, 26–29]:

- поверхностная плотность, г/м²;
- толщина, мм;
- массовая доля влаги, %;
- предельный объем сорбционного пространства по парам бензола, см³/г;
- сопротивление постоянному потоку воздуха ФСМ при объемном расходе воздушного потока 15,0 л/мин;
- сопротивление постоянному потоку воздуха ФСМ при объемном расходе воздушного потока 47,5 л/мин.

Как видно из табл. 1, образец уголь 40:80/2 имеет наиболее низкое значение поверхностной плотности и невысокое сопротивление воздушному потоку. Поверхностная плотность образцов с меньшим количеством адсорбента (110 + 10) г/м² значительно ниже поверхностной плотности образца уголь 40:80 с количеством адсорбента (220 + 10) г/м². Результаты по сопротивлению ФСМ с одним и тем же адсорбентом при разных потоках расхода воздуха (15,0 и 47,5 дм³/мин) коррелируют между собой.

Фильтрующе-сорбирующий материал, изготовленный импрегнированием активного угля 30:70 в ППВ имеет наиболее высокие значения ВЗД от органических веществ и защиты от кислых газов и паров в течение 12 мин (см. рис. 2), при этом обладает невысокой защитой от сероводорода в концентрации 0,2 мг/дм³. Испытания по защите от аммиака на данном образце не проводились. Необходимо отметить, что образец ФСМ отличается от других свойствами используемого активного угля. Данный образец уголь 30:70 наиболее микропористый, имеет самый высокий предельный объем сорбционного пространства (см. табл. 1) и обладает статической активностью по четыреххлористому углероду в динамических условиях (сорбционной емкостью (СТС)) более 100 %, что проявляется в самых высоких результатах по ВЗД от органических веществ. Уголь 40:80 обладает активностью по четыреххлористому углероду СТС 85 %.

Образцы уголь 30:70, уголь 40:80, уголь 40:80/2 изготовлены из скорлупы кокосового ореха и имеют щелочной характер (соединения карбоната калия и гидроксида калия), за счет чего способны в определенной степени к хемосорбции кислых газов и паров. Поэтому они могут иметь ВЗД по диоксиду серы при 0,2 мг/дм³ по химической реакции образования сульфата калия. Что касается поглощения сероводорода, то очевидно, что имеющегося количества щелочной добавки недостаточно для концентрации сероводорода 0,2 мг/дм³.

Предположительно, поглощающая способность адсорбентов в ФСМ по сероводороду зависит от объема мезопор в активном угле. Мезопоры — более крупные поры, для которых характерно послойное заполнение поверхности адсорбируемыми молекулами, завершающееся при более высоких равновесных относительных давлениях адсорбата их объемным заполнением по механизму капиллярной конденсации. Удельная поверхность мезопор может достигать 100...200 м²/г [14].

Объем мезопор в активном угле 40×80, меньше, чем объем микро- и макропор, см³/г:

- микропоры — 0,502;
- мезопоры — 0,098;
- макропоры — 0,2.

Судя по сравнительно небольшому объему мезопор, значительно заполненных в большом количестве химическими добавками, можно предположить, что для проведения химических процессов с сероводородом недостаточно времени и пространства для прохождения реакции.

Привлекает внимание в аспекте проблематики нашего исследования работы высота слоя ФСМ, что наглядно проиллюстрировано на рис. 3. На рис. 3 представлено ВЗД у образцов АЕ и

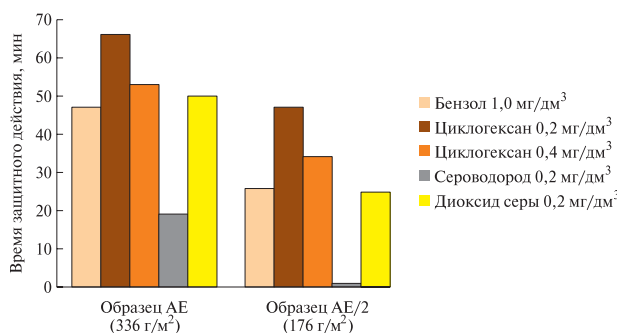


Рис. 3. Время защитного действия фильтрующе-сорбирующих материалов АЕ и АЕ/2 в зависимости от высоты слоя в ФСМ

Fig. 3. The time of the protective action of the filter-sorbing materials АЕ and АЕ/2 depending on the height of the layer in the FSM

АЕ/2, отличающихся между собой количеством добавленного поглотителя в ППВ в 2 раза.

Из рис. 3 видно, что образцы АЕ и АЕ/2 имеют достаточно высокое ВЗД не только по кислым газам и парам (диоксид серы), но и по неорганическим соединениям (сероводород). При этом следует отметить, что показатель ВЗД по сероводороду для образца с меньшим количеством поглотителя и поверхностной плотностью 176 г/м² существенно снизился.

При аналогичных массовой доле влаги и предельном объеме сорбционного пространства адсорбентов (см. табл. 1) со снижением количества поглотителя в ФСМ в 2 раза наблюдается снижение ВЗД также примерно в 2 раза, что сопоставимо с линейной зависимостью ВЗД фильтров противогазов по диоксиду серы от высоты слоя поглотителя.

С увеличением высоты слоя в ФСМ время защитного действия возрастает в связи с увеличением количества активного угля и, соответственно, его мезопор, что приводит к увеличению пространства и времени протекания химических процессов. Увеличение высоты слоя при расположении частиц активного угля в хаотичном порядке на расстоянии друг от друга, как мы уже предполагали, ведет к возникновению еще большего количества зон локальной турбулентности вокруг частиц активного угля, что также должно, по нашему мнению, приводить к увеличению ВЗД.

Основной целью данной работы была разработка малогабаритных фильтров с защитой от вредных газов и паров низких концентраций. Такие фильтрующе-сорбирующие материалы, как уголь 40:80, уголь 40:80/2, образцы АЕ/2, АВЕК/2 и АК/2 опробованы в фильтрах. Получены положительные результаты.

На рис. 4 представлено сопоставление результатов по ВЗД каркасных трапецидальных малогабаритных фильтров (МЛФ), исследованных нами ранее (см. табл. 1) и время защитного

действия ФСМ по парам органических веществ (тест-вещество — циклогексан в концентрации 0,4 мг/дм³). Расход потока паровоздушной смеси у МЛФ 15 дм³/мин, у ФСМ — 4,90 дм³/мин при площади образца 50 см².

Из рис. 4 видно, что результаты исследования ФСМ уголь 40:80 и образцов АВЕК/2, АЕ/2 и АК/2 находятся на сопоставимом уровне с МЛФ, изготовленными из этих ФСМ, что говорит о правильности поставленных экспериментов и проведенных испытаний по ВЗД.

В табл. 2 представлены результаты испытаний МЛФ, изготовленных из образцов исследуемых ФСМ, которые характеризуют их фильтрующие свойства [4]:

- сопротивление постоянному потоку воздуха при расходе воздуха 15 дм³/(мин·см²), мм вод. ст. [4];
- сопротивление постоянному потоку воздуха при расходе воздуха 47,5 дм³/(мин·см²), мм вод. ст.;
- проницаемость по парафиновому маслу при расходе воздуха 47,5 дм³/(мин·см²), мм вод. ст. [4];
- масса, г.

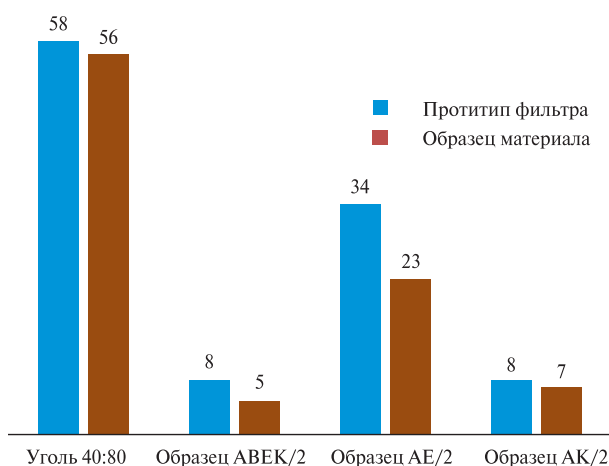


Рис. 4. Сопоставление результатов по времени защитного действия образцов фильтрующе-сорбирующих материалов и прототипа трапецидалных малогабаритных фильтров с дополнительной защитой, мин

Fig. 4. Comparison of the results in terms of the time of the protective action of samples of filter-sorbing materials and the prototype of trapezoidal small-sized filters with additional protection, min.

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний малогабаритных фильтров, изготовленных на основе исследуемых ФСМ

Test results of small-sized filters made on the basis of the studied FSM

Параметр	Образец АВЕК/2	Уголь 40:80	Уголь 40:80/2	Образец АЕ/2	Образец АК/2
Проницаемость фильтра по парафиновому маслу при объемном расходе 47,5 дм ³ /мин, %, не более	0,001; 0,002	0,001; 0,004	0,001; 0,004	0,001; 0,002	0,001; 0,003
Сопротивление постоянному потоку воздуха при 15 дм ³ /мин, мм вод. ст.	4,0; 4,2	4,0; 4,2	3,6; 3,8	4,0; 4,2	4,4; 4,6
Сопротивление постоянному потоку воздуха при объемном расходе 47,5 дм ³ /мин, мм вод. ст.	10,3; 11,2	10,7; 11,4	9,6; 11,0	11,6; 12,0	12,2; 12,4
Масса, г	17	19	15	16	16
Время защитного действия по сероводороду при концентрации 0,2 мг/дм ³ , мин, не менее	1	–	1	2	–
Время защитного действия по диоксиду серы при концентрации 0,2 мг/дм ³ , мин, не менее	6	–	7	13	–
Время защитного действия по аммиаку при концентрации 0,2 мг/дм ³ , мин, не менее	6	–	–	–	13

Из представленных в табл. 2 данных следует, что проницаемость МЛФ находится на одном уровне (0,001...0,004 %) и соответствует классу Р3 [4], сопротивление МЛФ находится также на одном уровне — 4,0...4,2 мм вод. ст., сопротивление образцов МЛФ, выполненных из ФСМ уголь 40:80, с наиболее высоким значением поверхностной плотности, находится на уровне выполненных из ФСМ образцов — АВЕК/2, АЕ/2, АК/2, которые изготовлены с использованием поглотителя, в количестве меньше, чем в 2 раза. Возможно, это связано с измельчением поглотителей при их производстве (вследствие трения при пересыпании).

Малогабаритные фильтры испытаны на ВЗД по органическим, неорганическим, кислым газам и парам, а также по аммиаку.

От паров органических веществ (тест-вещество — циклогексан в концентрации 0,4 мг/дм³) защищают все исследуемые МЛФ. Отметим, что МЛФ из ФСМ уголь 40:80, имеет по ВЗД по циклогексану лучшие значения, чем МЛФ из таких ФСМ, как уголь 40:80/2, образцы АЕ/2, АК/2 и АВЕК/2.

От неорганических газов и паров защищают МЛФ из ФСМ образец АЕ/2 — ВЗД 2 мин (тест-вещество сероводород), т. е. невысоко.

От кислых газов и паров (тест-вещество — диоксид серы) защищают МЛФ из ФСМ образец

АВЕК/2, уголь 0:80/2, ВЗД на одном уровне — 6 и 7 мин. Образец АЕ/2 поглощает диоксид серы в течение 13 мин. Следует констатировать, что образец МЛФ из ФСМ уголь 40:80/2 задерживает кислые газы и пары, что подтверждают предыдущие установленные закономерности.

От аммиака защищают МЛФ из ФСМ образец АВЕК/2 и образец АК/2. Малогабаритные фильтры АК/2 имеет наиболее высокое ВЗД по аммиаку.

Таким образом, на МЛФ подтверждаются все зависимости, полученные и объясненные на образцах ФСМ, из которых изготовлены МЛФ.

У исследуемых образцов МЛФ также определялась масса. В самом легком МЛФ — уголь 40:80/2 отмечается наименьшее значение поверхностной плотности, а самый относительно тяжелый МЛФ — из ФСМ уголь 40:80, так как его материал из всех рассматриваемых МЛФ имеет наибольшее значение поверхностной плотности.

Наряду с описанными исследованиями следует отметить существенный недостаток ФСМ — при их получении проблематично (пока это не достигнуто) наносить электрический заряд на волокна полипропилена, что может привести к повышению эффективной защиты материала от аэрозолей.

Известно, что ФМ, наполненный активным углем, применяется в МЛФ в плоском или гофрированном виде. Объемные ФСМ на основе ППВ применимы только в плоских МЛФ и только в сочетании с противоаэрозольным материалом.

Выводы

Проведенные исследования позволяют определить физико-химические и сорбционные параметры адсорбентов, а так же выявить закономерности и сорбционные процессы, происходящие в ФСМ.

Разработка ФСМ, полученных разными способами, с нанесенными химическими ингредиентами на поверхность пор активного угля позволит расширить ассортимент облегченных СИЗОД с улучшенными эргономическими свойствами.

На основании проведенных исследований является возможность создания новой линейки облегченных малогабаритных фильтров, которые приведут к защите органов дыхания от низких концентраций вредных веществ в совокупности комбинаций или дифференцированно от различного ряда вредных веществ до универсальной защиты АВЕК.

Разработка линейки малогабаритных фильтров обеспечит персоналу промышленных предприятий, работающему на участках с высокими концентрациями аэрозолей и низкими концентрациями вредных химических веществ в воздухе сохранять здоровье и жизнь.

Список литературы

- [1] Жолобова Л.В. Технология фильтровальных видов бумаги и картона для защиты органов дыхания: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Волжск, 1999. 170 с.
- [2] Коваленко В.В. Совершенствование технологии получения бумагоподобных материалов фильтровального назначения на основе стеклянных волокон: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2014. 123 с.
- [3] ГОСТ 12.4.246–2016. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противоаэрозольные. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2017. 25 с.
- [4] ГОСТ 12.4.235–2019. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противогазовые и комбинированные. Общие технические требования. Методы испытаний. Маркировка. М.: Стандартинформ, 2019. 26 с.
- [5] Грин Г.Л. Аэрозоли — пыли, дымы и туманы: пер. с англ. Х. Грин, В. Лейн / под ред. Н.А. Фукса. Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1969. 426 с.
- [6] Справочник химика / под ред. Б.П. Никольского. Л.; М.: Госхимиздат, 1951–1952. Т. 3. 211 с.
- [7] Талипова М.В., Лянг А.В. Разработка фильтрующе-сорбирующих материалов для формирования ассортимента современных фильтров для противогазов и респираторов // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: Материалы VI Междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти профессора В.И. Комарова. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова». 2021, Архангельск, 09–11 сентября 2021 г. Архангельск: Изд-во Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 2021. 426 с.
- [8] Петрянов И.В., Кошечев В.С., Басманов П.И. Лепесток (Легкие респираторы). М.: Наука, 1984. 216 с.
- [9] Семочкин Н.В. Фильтрующие угленасыщенные материалы для специальной одежды, защищающие от воздействия высокотоксичных и химически опасных веществ: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.01. Казань, 2008. 140 с.
- [10] Талипова М.В., Лянг А.В., Щербак Н.В. Сравнительный анализ фильтровальных бумаг высокой эффективности очистки воздуха для средств индивидуальной защиты органов дыхания // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. № 239. С. 248–263.
- [11] Талипова М.В., Лянг А.В. Перспективные способы сочетания фильтрующих и сорбирующих материалов с целью формирования ассортимента современных фильтров для противогазов и респираторов: Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире // Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием молодых ученых и специалистов, Казань, 18–19 марта 2021 г. Казань: Изд-во Казанского национального исследовательского технологического университета, 2021. С. 666–669.
- [12] МИ137-05795731–2003 Методика определения времени защитного действия противогазовых и комбинированных фильтров по циклогексану. Пермь: ОАО «Сорбент», 2004. 5 с.
- [13] Кинле Х., Бадер Э. Противогазовая защита // Активные угли и их промышленное применение / под ред. Т.Г. Плаченова, С.Д. Колосенцева. Л.: Химия, Ленингр. отделение, 1984. 215 с.

- [14] Мухин В.М., Чебыкин В.В., Галкин Е.А., Васильев Н.П., Медяник В.С., Тамамьян А.Н. Активные угли. Эластичные сорбенты. Катализаторы, Осушители и химические поглотители на их основе: каталог / под общей редакцией В.М. Мухина. М.: Издательский дом «Руда и металл», 2003. 280 с.
- [15] Талипова М.В., Лянг А.В. Практика применения адсорбентов для формирования ассортимента современных фильтров для противогазов и респираторов. Сообщение 3 // Физико-химические проблемы адсорбции, структуры и химии поверхности нанопористых материалов: сб. тез. докл. Всерос. конф. с междунар. участием, посвященной 120-летию со дня рождения М.М. Дубинина, Москва, 18–22 октября 2021 г. М.: Изд-во Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 2021. С. 288–291.
- [16] Лянг А.В. Разработка новых химических поглотителей и фильтров СИЗОД на их основе для использования в чрезвычайных ситуациях: дис. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2007. 277 с.
- [17] Романов Ю.А., Кузьмина Н.С., Лянг А.В., Кутумина Г.А. Адсорбент для средств защиты органов дыхания. Пат. 2154525 Российская Федерация, МПК В01J 20/20(2006.01), А62D 9/00(2006.01), В01J 20/02; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сорбент-Центр Внедрение». № 99118475/12; заявл. 25.08.1999; опубл. 20.08.2000.
- [18] Романов Ю.А., Лянг А.В., Кузьмина Н.С., Кутумина Г.А. Адсорбент для средств защиты. Пат. 2223817 2154525 Российская Федерация, МПК В01J 20/20(2006.01), А62В 23/00(2006.01), В01J 20/02; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сорбент-Центр Внедрение», ОАО «Сорбент». № 2003106341/15; заявл. 03.05.2003; опубл. 20.02.2004.
- [19] Романов Ю.А., Лянг А.В., Кузьмина Н.С., Кутумина Г.А. Противогазовая коробка. Пат. 2228211 Российская Федерация, МПК А62В23/02; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сорбент-Центр Внедрение», № 2003111061/12; заявл. 17.04.2003; опубл. 10.05.2004.
- [20] ГОСТ 12.4.122–2020. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Фильтры противогазовые и комбинированные большого габарита. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 10 с.
- [21] Романов Ю.А., Лянг А.В. Адсорбент для средств индивидуальной защиты органов. Пат. 22245592 Российская Федерация, МПК В01J 20/20(2006.01), В01J 20/02; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сорбент-Центр Внедрение». № 2002131029/15; заявл. 18.11.2002; опубл. 27.02.2004.
- [22] Романов Н.Ю., Лянг А.В., Фарберова Е.А., Кузьмина Н.С., Кутумина Г.А. Поглотитель для облегченных респираторов. Пат. 2230610 Российская Федерация, МПК В01J20/20, В01J20/02, А62В23/02; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сорбент-Центр Внедрение». № 2002133829/15; заявл. 15.12.2002; опубл. 20.06.2004.
- [23] Олонцев В.Ф. «Российские активные угли». Пермь: Аист, 1996. 90 с.
- [24] ТУ 2165-030-05795731–00. Катализатор-поглотитель К-ПА. Пермь: ЗАО «Сорбент — Центр Внедрение», 2000. 10 с.
- [25] ГОСТ 12.4.159–90 Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Методы определения времени защитного действия фильтрующе-поглощающих коробок по газообразным вредным веществам. М.: Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1990. 22 с.
- [26] ГОСТ 29104.1–91. Ткани технические. Методы определения линейных размеров, линейной и поверхностной плотностей. М.: ИПК Издательство Стандартов, 2004. 7 с.
- [27] ГОСТ 27015–86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. М.: Государственный комитет по стандартам, 2002. 4 с.
- [28] ГОСТ 12597–67 Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе. М.: ИПК Издательство Стандартов, 1988. 4 с.
- [29] ТУ ВУ 400031289.108–2009. Материалы угольно-лопастные сорбционно фильтрующие БУСОФИТ. Технические условия. Светлогорск: Республиканское унитарное предприятие «Светлогорское производственное объединение «Химволокно», 2009. 16 с.

Сведения об авторах

Талипова Марина Валерьевна✉ — инженер-технолог, АО «Сорбент», talipova@sorbent.su

Лянг Андрей Владимирович — канд. техн. наук, руководитель научно-технической службы средств индивидуальной защиты (НТС СИЗ), АО «Сорбент», avl@sorbent.su

Щербак Наталья Владимировна — канд. техн. наук, зав. кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» (САФУ), n.sisoeva@narfu.ru

Поступила в редакцию 20.10.2022.

Одобрено после рецензирования 18.11.2022.

Принята к публикации 01.12.2022.

DEVELOPMENT OF FILTER-SORBING MATERIALS FOR MODERN GAS MASKS AND RESPIRATORS

M.V. Talipova¹✉, A.V. Lyang¹, N.V. Shcherbak²

¹JSC «Sorbent», 6, Galperina st., 614042, Perm Krai, Perm, Russia

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 163002, Arkhangelsk, Russia

talipova@sorbent.su

The article focuses on the study of filter-sorbing materials (FSM) for the development of small-sized filters and the formation of a modern filters range for gas masks and respirators. There are various kinds of filters, namely particle filters, consisting of a filter material (FM) with protection from aerosols; gas filters, consisting of coal charge with protection from various concentrations of dangerous gases and vapors and combined filters, including anti-aerosol and gas protection. But in industry, due to the improvement of working conditions at enterprises, personal respiratory protection equipment is needed both from aerosols and from low concentrations of dangerous gases and vapors in the air of the working area. The creation of a new small-sized filter with a single filter-sorbing element with low resistance to air flow during breathing is an actual task. In order to form an assortment of modern filters for gas masks and respirators, we studied FSM in the form of polymer or glass fibers sprayed with carbon particles. An experimental series of studies based on the use of FSMs with adsorbents has been carried out, activated carbon (AC) and various absorbers were obtained by impregnation of AC. It is determined that the impregnation of AC with special additives allows for additional protection from inorganic and acid gases and vapors, from ammonia. Comparative tests of the FSMs were carried out with the analysis of the research results. Optimal FSMs have been determined. The fractional composition of coal particles is determined depending on the method of their application. The sorption properties of the obtained FSMs are determined. In this work, for the first time, the combination of a filter material with AC impregnated with chemical additives in particle filters was tested and evaluated. The effect of a combination of AC and a fibrous semi-finished product on the properties of FSM has been studied.

Keywords: adsorbents, activated carbon, filters, respiratory organs, filter-sorbing materials

Suggested citation: Talipova M.V., Lyang A.V., Shcherbak N.V. *Razrabotka fil'truyushche-sorbiruyushchikh materialov v tselyakh formirovaniya assortimenta sovremennykh fil'trov dlya protivogazov i respiratorov* [Development of filter-sorbing materials for modern gas masks and respirators]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 1, pp. 121–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-1-121-133

References

- [1] Zholobova L.V. *Tekhnologiya fil'troval'nykh vidov bumagi i kartona dlya zashchity organov dykhaniya* [Technology of filtering types of paper and cardboard for respiratory protection]. Dis. Cand. Sci. (Tech.), 05.21.03. Volzhsk, 1999, 170 p.
- [2] Kovalenko V.V. *Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya bumagopodobnykh materialov fil'troval'nogo naznacheniya na osnove steklyannykh volokon* [Improving the technology for obtaining paper-like materials for filtering purposes based on glass fibers]. Dis. Cand. Sci. (Tech.). Arkhangelsk, 2014, 123 p.
- [3] GOST 12.4.246–2016 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya. Fil'try protivogazov i kombinirovannyye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [System of labor safety standards. Personal respiratory protection. Antiaerosol filters. General technical requirements]. Moscow: Standartinform, 2017, 25 p.
- [4] GOST 12.4.235–2019 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya. Fil'try protivogazovye i kombinirovannyye. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya. Metody ispytaniy. Markirovka* [System of labor safety standards. Personal respiratory protection. Anti-gas and combined filters. General technical requirements. Test methods. Marking]. Moscow: Standartinform, 2019, 26 p.
- [5] Green G.L. *Aerologii — pyli, dymy i tumany* [Aerosols — dusts, smokes and fogs]. Leningrad: Chemistry. Leningrad department, 1969, 426 p.
- [6] *Spravochnik khimika* [Handbook of a chemist]. Ed. B.P. Nikolsky. Leningrad; Moscow: Goshimizdat, 1951–1952, v. 3, 211 p.
- [7] Talipova M.V., Lyang A.V. *Razrabotka fil'truyushche-sorbiruyushchikh materialov dlya formirovaniya assortimenta sovremennykh fil'trov dlya protivogazov i respiratorov* [Development of filtering-sorbing materials for the formation of an assortment of modern filters for gas masks and respirators]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: mater. VI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova*. Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya i Rossiyskoy Federatsii, Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Severnoy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet imeni M.V. Lomonosova» [Problems of mechanics of pulp and paper materials: mater. VI International scientific and technical conference dedicated to the memory of Professor V.I. Komarov. Ministry of Science and Higher Education and the Russian Federation, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education «Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov»], 2021, Arkhangelsk, September 09–11, 2021 Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 2021, 426 p.
- [8] Petryanov I.V., Koshcheev B.C., Basmanov P.I. *Lepestok (Legkie respiratory)* [Petal (Light respirators)]. Moscow: Nauka, 1984, 216 p.
- [9] Semochkin N.V. *Fil'truyushchie uglenapolnennyye materialy dlya spetsial'noy odezhdy, zashchishchayushchie ot vozdeystviya vysokotoksichnykh i khimicheskikh opasnykh veshchestv* [Filtering carbon-filled materials for special clothing, protecting against the effects of highly toxic and chemically hazardous substances]. Dis. Cand. Sci. (Tech.), 05.19.01. Kazan', 2008, 140 p.

- [10] Talipova M.V., Lyang A.V., Shcherbak N.V. *Sravnitel'nyy analiz fil'troval'nykh bumag vysokoy effektivnosti ochistki vozdukh dlya sredstv individual'noy zashchity organov dykhaniya* [Comparative analysis of high-efficiency filter papers for air purification for personal respiratory protection]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy], 2022, no. 239, pp. 248–263.
- [11] Talipova M.V., Lyang A.V. *Perspektivnye sposoby sochetaniya fil'truyushchikh i sorbiruyushchikh materialov s tsel'yu formirovaniya assortimenta sovremennykh fil'trov dlya protivogazov i respiratorov* [Promising ways to combine filtering and sorbing materials in order to form an assortment of modern filters for gas masks and respirators]. *Innovatsionnye tekhnologii zashchity okruzhayushchey sredy v sovremennom mire: mater. Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem molodykh uchenykh i spetsialistov* [Innovative technologies for environmental protection in the modern world: mater. All-Russian Scientific Conference with international participation of young scientists and specialists], Kazan', March 18–19, 2021. Kazan': Kazan National Research Technological University, 2021, pp. 666–669.
- [12] MI 137-05795731–2003 *Metodika opredeleniya vremeni zashchitnogo deystviya protivogazovykh i kombinirovannykh fil'trov po tsiklogeksanu* [Method for determining the protective action time of anti-gas and combined filters by cyclohexane]. Perm': JSC «Sorbent», 2004, 5 p.
- [13] Kinle H., Bader E. *Protivogazovaya zashchita* [Gas protection]. *Aktivnye ugli i ikh promyshlennoe primeneniye* [Active coals and their industrial application]. Ed. T.G. Plachenova, S.D. Kolosentsev. Leningrad: Chemistry. Leningrad Department, 1984, 215 p.
- [14] Mukhin V.M., Chebykin V.V., Galkin E.A., Vasil'ev H.P., Medyanik B.C., Tamam'yan A.N. *Aktivnye ugli. Elastichnyye sorbenty. Katalizatory, Osushiteli i khimicheskie poglotiteli na ikh osnove: katalog* [Active coals. Elastic sorbents. Catalysts, Dryers and Chemical Absorbers Based on Them: Catalog]. Ed. V.M. Mukhin. Moscow: Publishing House «Ore and Metals», 2003, 280 p.
- [15] Talipova M.V., Lyang A.V. *Praktika primeneniya adsorbentov dlya formirovaniya assortimenta sovremennykh fil'trov dlya protivogazov i respiratorov. soobshchenie 3* [The practice of using adsorbents to form an assortment of modern filters for gas masks and respirators. message 3]. *Fiziko-khimicheskie problemy adsorbtsii, struktury i khimii poverkhnosti nanoporistykh materialov: sb. tezisev dokladov Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, posvyashchennoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya M.M. Dubinina* [Physical and chemical problems of adsorption, structure and chemistry of the surface of nanoporous materials: Sat. abstracts of the All-Russian Conference with international participation, dedicated to the 120th anniversary of the birth of M.M. Dubinina], Moscow, October 18–22, 2021. Moscow: Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry named after V.I. A.N. Frumkin RAN, 2021, pp. 288–291.
- [16] Lyang A.V. *Razrabotka novykh khimicheskikh poglotiteley i fil'trov SIZOD na ikh osnove dlya ispol'zovaniya v chrezvychaynykh situatsiyakh* [Development of new chemical absorbers and RPE based on them for use in emergency situations]. *Dis. Cand. Sci. [Tech.]*. St. Petersburg, 2007, 277 p.
- [17] Romanov Yu.A., Kuz'mina N.S., Lyang A.V., Kutumina G.A. *Adsorbent dlya sredstv zashchity organov dykhaniya* [Adsorbent for means of protection of respiratory organs]. Pat. 2154525 RF, IPC B01J 20/20(2006.01), A62D 9/00(2006.01), B01J 20/02; applicant and patent holder CJSC «Sorbent-Center Implementation». No. 99118475/12; dec. 25.08.1999; publ. 20.08.2000.
- [18] Romanov Yu.A., Lyang A.V., Kuz'mina N.S., Kutumina G.A. *Adsorbent dlya sredstv zashchity* [Adsorbent for protective equipment]. Pat. 2223817 RF, IPC B01J 20/20(2006.01), A62B 23/00(2006.01), B01J 20/02; applicant and patent holder ZAO Sorbent-Center Implementation, OAO Sorbent. No. 2003106341/15; dec. 3 May 2003; publ. 20.02.2004.
- [19] Romanov Yu.A., Lyang A.V., Kuz'mina N.S., Kutumina G.A. *Protivogazovaya korobka* [Anti-gas box]. Pat. 2228211 Russian Federation, IPC A62B23/02; applicant and patent holder CJSC «Sorbent Center Implementation», No. 2003111061/12; dec. 17.04.2003; publ. 10.05.2004.
- [20] GOST 12.4.122–2020 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya. Fil'try protivogazovyye i kombinirovannyye bol'shogo gabarita. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [System of labor safety standards. Personal respiratory protection. Anti-gas and combined filters of large dimensions. General specifications]. Moscow: Standartinform, 2020, 10 p.
- [21] Romanov Yu.A., Lyang A.V. *Adsorbent dlya sredstv individual'noy zashchity organov* [Adsorbent for means of individual protection of organs]. Pat. 22245592 Russian Federation, IPC B01J 20/20(2006.01), B01J 20/02; applicant and patent holder CJSC «Sorbent-Center Implementation». No. 2002131029/15; dec. 18.11.2002; publ.27.02.2004.
- [22] Romanov N.Yu., Lyang A.V., Farberova E.A., Kuz'mina N.S., Kutumina G.A. *Poglotitel' dlya oblegchennykh respiratorov* [Absorber for lightweight respirators]. Pat. 2230610 Russian Federation, IPC B01J20/20, B01J20/02, A62B23/02; applicant and patent holder CJSC «Sorbent-Center Implementation». No. 2002133829/15; dec. 15.12.2002; publ. 20.06.2004.
- [23] Olontsev V.F. *Rossiyskie aktivnye ugli* [Russian active coals]. Perm': Aist, 1996, 90 p.
- [24] TU 2165-030-05795731–00 *Katalizator-poglotitel' K-PA* [Catalyst-absorber K-PA]. Perm': CJSC «Sorbent — Center Implementation», 2000, 10 p.
- [25] GOST 12.4.159–90 *Sistema standartov bezopasnosti truda. Sredstva individual'noy zashchity organov dykhaniya fil'truyushchie. Metody opredeleniya vremeni zashchitnogo deystviya fil'truyushche-pogloshchayushchikh korobok po gazoobraznym vrednym veshchestvam* [Occupational safety standards system. Means of individual protection of respiratory organs filtering. Methods for determining the time of the protective action of filter-absorbing boxes for gaseous harmful substances]. Moscow: USSR State Committee for Product Quality Management and Standards, 1990, 22 p.
- [26] GOST 29104.1–91 *Tkani tekhnicheskie. Metody opredeleniya lineynykh razmerov, lineynoy i poverkhnostnoy plotnostey* [Technical fabrics. Methods for determining linear dimensions, linear and surface densities]. Moscow: IPK Standards Publishing House, 2004, 7 p.
- [27] GOST 27015–86 *Bumaga i karton. Metody opredeleniya tolshchiny, plotnosti i udel'nogo ob'ema* [Paper and cardboard. Methods for determining thickness, density and specific volume]. Moscow: State Committee for Standards, 2002, 4 p.

- [28] GOST 12597–67 *Sorbenty. Metod opredeleniya massovoy doli vody v aktivnykh uglyakh i katalizatorakh na ikh osnove* [Sorbents. Method for determining the mass fraction of water in activated carbons and catalysts based on them]. Moscow: ИПК Standards Publishing House, 1988, 4 p.
- [28] TU BY 400031289.108–2009 *Materialy ugol'novoloknistye sorbtsionno fil'truyushchie BUSOFIT. Tekhnicheskie usloviya* [Carbon fiber sorption filtering materials BUSOFIT. Specifications]. Svetlogorsk: Republican Unitary Enterprise Svetlogorsk Production Association «Khimvolokno», 2009, 16 p.

Authors' information

Talipova Marina Valer'evna ✉ — Process Engineer, JSC «Sorbent», talipova@sorbent.su

Lyang Andrey Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Scientific and Technical Service of Personal Protective Equipment (NTS PPE), JSC «Sorbent», avl@sorbent.su

Shcherbak Natal'ya Vladimirovna — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of Pulp and Paper and Wood Chemical Industries, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, n.sisoeva@narfu.ru

Received 20.10.2022.

Approved after review 18.11.2022.

Accepted for publication 01.12.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest