

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2021, №4, Том 6 / 2021, No 4, Vol 6 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2021.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL421.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Морозова, И. И. Разработка технологии получения сорбционно-фильтрующего материала с высокими защитными свойствами / И. И. Морозова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Тимошина, Э. Ф. Вознесенский // Костюмология. — 2021. — Т. 6. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL421.pdf>

For citation:

Morozova I.I., Tikhonova N.V., Timoshina Yu.A., Voznesensky E.F. Development of technology for obtaining sorption-filtering material of pc with high protective properties. *Journal of Clothing Science*, 4(6): 04TLKL421. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/04TLKL421.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

Морозова Ирина Ивановна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Старший преподаватель, аспирант
E-mail: irinarou@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6009-4545>

Тихонова Наталья Васильевна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Доцент
Исполняющая обязанности заведующего кафедрой «Конструирования одежды и обуви»,
профессор кафедры «Конструирования одежды и обуви»
Доктор технических наук
E-mail: nata.tikhonova.81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

Тимошина Юлия Александровна

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Доцент
Кандидат технических наук
E-mail: ybuki@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4684-1510>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745370
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190019895>

Вознесенский Эмиль Фаатович

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия
Доцент
Заведующий кафедрой «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»,
профессор кафедры «Технология химических и натуральных волокон и изделий»,
профессор кафедры «Плазмохимических и нанотехнологий высокомолекулярных материалов»
Доктор технических наук
E-mail: howrip@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7493-1471>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177545
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193541362>

**Разработка технологии получения
сорбционно-фильтрующего материала с высокими
защитными свойствами**

Аннотация. Современные технологические процессы химической промышленности сопряжены с профессиональными рисками для здоровья работников, возникающими при работе с сильнодействующими ядовитыми веществами, а также при работе химико-технологических объектов. Важную роль в снижении воздействия вредных производственных факторов на работника играют СИЗ. Предотвращение и снижение воздействия вредных и опасных факторов в процессе трудовой деятельности на работников является обязательной профилактической задачей для предприятий. Среди материалов для решения данной задачи потенциально интересны материалы на основе углеродных сорбентов.

Результаты проведенных экспериментальных исследований продемонстрировали перспективность разработки. Полученный образец сорбционно-фильтрующего материала с применением частиц активированного угля марки «ФАС-Э» обладает высокими защитными свойствами от токсичных химических веществ кожно-резорбтивного действия, обеспечивает защиту от воздействия паровой, аэрозольной, газовой фазы производственных агрессивных сред.

Авторами статьи разработана технологическая схема промышленного выпуска материала. Разработанный сорбционно-фильтрующий материал, позволяет осуществлять выпуск современного материала из российских компонентов. В сравнении с представленными на российском рынке промышленными углеродсодержащими сорбционно-фильтрующими материалами, предложенная схема выпуска нового материала имеет простое техническое исполнение и экономически эффективна, экологична, это позволит в короткие сроки освоить и наладить выпуск производства.

Применение данного типа материалов для изготовления специальной защитной одежды позволит повысить эффективность СИЗ, что в свою очередь снизит риски профессиональных заболеваний; обеспечит комфорт в процессе эксплуатации, что позволит повысить удовлетворенность профессиональной деятельностью и увеличить производительность труда; исключит необходимость использования дополнительных специальных костюмов, что позволит оптимизировать расходы на обеспечение безопасности и охраны труда.

Ключевые слова: сорбционно-фильтрующие материалы; активированный уголь; низкотемпературная плазма пониженного давления; фильтрующая одежда

Введение

В комплексе мероприятий по разработке средств индивидуальной защиты (СИЗ) для персонала химической отрасли, особо важно стоит вопрос разработки высокоэффективных защитных материалов, обладающих рядом важных характеристик: универсальными защитными, повышенными физико-механическими и эргономическими свойствами, небольшой массой и низкой стоимостью.

Разработка подобных материалов особо актуальна в проектировании принципиально новой защитной одежды, сочетающей в себе высокие защитные свойства и возможность максимально длительного комфортного ношения в течение всей рабочей смены. Данный тип одежды относится к фильтрующему типу.

Фильтрующая защитная одежда (ФЗО), предназначенную для защиты кожных покровов работника от воздействия паров, газов токсичных веществ кожно-резорбтивного действия —

это «одежда-противогаз» где пары и газы токсичных химических веществ сорбируются сорбционно-фильтрующим слоем, тем самым предотвращая их доступ к коже работника¹.

Сорбционно-фильтрующий слой — ткань с сорбентом, которая препятствует проникновению паров и газов токсичных химических веществ в подкостюмное пространство за счет процессов физической, химической сорбции.

Для сохранения гигиенических и эксплуатационных свойств СИЗ, сорбционно-фильтрующий слой должен быть паропроницаемым и обеспечивать высокую скорость отвода водяных паров при потоотделении, свободно пропускать воздух и при этом обеспечивать защиту от воздействия производственных агрессивных сред [1].

Постановка задачи

Среди материалов для решения данной задачи потенциально интересны материалы на основе углеродных сорбентов. СИЗ, разработанные на основе углеродсодержащих материалов, обладают комплексной химической защитой, высоким временем защитного действия, воздухопроницаемостью.

Основным методом получения сорбционно-фильтрующих материалов является модификация волокон. При этом для каждой конкретной области применения используются специальные виды модификации, которые придают волокнам специализированные свойства.

Выделяют шесть основных групп волокнистых сорбционно-фильтрующих материалов, которые отличаются типом исходного сырья и методом его модификации [2]. Способы получения представлены на рисунке 1.



Рисунок 1. Способы получения сорбционно-фильтрующих текстильных материалов

На российском рынке представлены текстильные углеродсодержащие сорбционно-фильтрующие материалы, полученные при введении адсорбента непосредственно в процессе формирования волокон и полученные в процессе формирования волокон из полимерных растворов, содержащих адсорбент. АО «ВНИИСВ» является разработчиком волокнистого угленаполненного материала (ВУМ) [3]. ООО НПФ «Фабитекс» является разработчиком

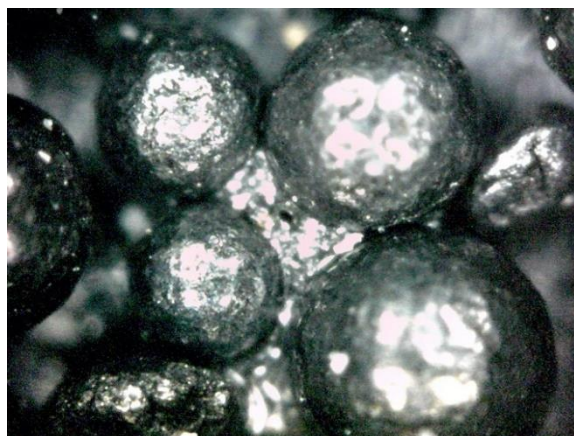
¹ ГОСТ 12.4.287-2015 Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Фильтрующая защитная одежда от паров, газов токсичных веществ.

сорбционно-активной ткани, в которой активированный уголь (АУ) размещен внутри полимерного связующего, которое в виде покрытия размещено с одной, либо с обеих сторон материала как сплошной, так и дискретной форме². В АО «КаХимНИИ» разработана технология производства химзащитного материала на основе угленаполненной крепированной бумаги³. К недостаткам данных технологий получения таких материалов относят сложность введения АУ в массу полимера, многостадийность процесса синтеза, применение дорогостоящих химических компонентов и технологического оборудования, а также необходимость дополнительных затрат для решения проблем, связанных с очисткой сточных вод.

Существует сорбционно-фильтрующий материал с АУ сферической формы, закрепленным на поверхности ткани «в точке»⁴. Фиксация сорбента на материалах-носителях для обеспечения необходимых эксплуатационных свойств защитной одежды осуществляется за счет использования клеевых систем, микрофотографии представлены на рисунке 2. Лидером в производстве данных материалов является фирма «BlücherGmbH» (Германия). В нашей стране подобная технология создания сорбционно-фильтрующего материала отсутствует.



материал Saratoga®, увеличение x60



материал Saratoga®, увеличение x250

Рисунок 2. Сорбционно-фильтрующий материал с АУ сферической формы, закрепленным на поверхности ткани «в точке»

В связи с вышеизложенным для импортозамещения и повышения конкурентоспособности отечественных СИЗ актуальна разработка технологий получения сорбционно-фильтрующего материалов с высокими защитными свойствами и устойчиво закрепленным сферическим АУ на поверхности материалов.

² Патент РФ № 2706317С1 Фильтрующий химзащитный материал / Журко А.В., Долговязов В.В., Комарова Н.Р., Кузнецов А.К., Чернова Н.Л.; заявитель и патентообладатель ООО НПФ «Фабитекс» №2019101039, заявл. 10.01.2019, опубл. 15.11.2019, Бюл. № 32. — 11 с.

³ Патент РФ заявка № 2001102678/12, 29.01.2001 Химзащитный материал для защитной одежды Иванова В.С. // Патент России № 2200603.2003.

Патент РФ заявка № 2008140235/15, 09.10.2008 Химзащитный термоклеевой композиционный материал для изготовления химзащитной одежды / Фатхутдинов Р.Х. // Патент № 2388511. 2010.

⁴ Патент DE № 10354623A1. Protective clothing fabric, especially against atomic, biological or chemical attack, comprises multi-layer structure with active carbon adsorbent layer and barrier layer with membrane which can breathe / Н.В. Bluecher; заявитель и патентообладатель BLÜCHER GMBH. № 20031054623; заявл. 22.11.2003; опубл. 25.05.2005.

Объекты и методы исследования

По методикам, описанным в работах [4] разработан сорбционно-фильтрующий материал с применением активированного угля, для изготовления средств индивидуальной защиты. Микрофотографии разработанного сорбционно-фильтрующего материала представлены на рисунке 3.

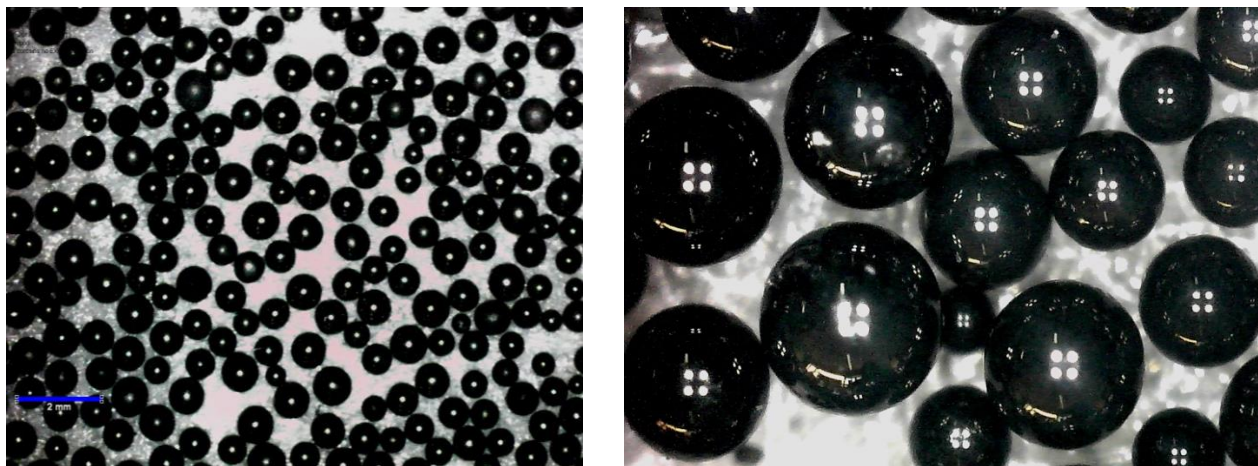


Рисунок 3. Микрофотографии разработанного сорбционно-фильтрующего материала с АУ

В разработке образцов использовали основные компоненты, характеристики которых представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика основных объектов исследования

Наименование материалов	Государственный или отраслевой стандарт, технические условия	Показатели по стандарту, обязательные для проверки	Регламентируемые показатели
1. Полотно нетканое клеевое из полиэфирных волокон 100 %, арт. С1.100.080.08. АО «Комитекс», г. Сыктывкар	ТУ 8390-080-05283280-2013	Ширина, мм Поверхностная плотность, г/м ²	1000±3 80
2. Сферический углеродный адсорбент «ФАС-Э», АО «ЭНПО «Неорганика», г. Электросталь	ТУ 6-1601-817-8	Насыпная плотность, г/дм ³ , не более Диаметр частиц, мкм, не более	550 250–500
3. Водная дисперсия сополимера эфиров акриловой и метакриловой кислот «Акрилан 421», ООО «Акрилан», г. Владимир	ТУ 2241-425-54631116-2018	Внешний вид Содержание твердого вещества, %	Жидкость белого цвета без видимого расслоения 57±1

Наиболее перспективным методом улучшения свойств материалов различной структуры является высокочастотная плазменная обработка. Для повышения защитных свойств сорбционно-фильтрующего материала, сорбент обрабатывали ВЧЕ-плазмой пониженного давления в экспериментальной плазменной установке [5] в режиме: мощность разряда $W_p = 1,5$ кВт; рабочее давление в разрядной камере $P = 20$ Па; расход плазмообразующего газа (воздух) $G = 0,06$ г/с; время обработки материала $\tau = 25$ мин. Повышение сорбционных свойств АУ происходит за счет, изменения структуры поверхности и окисления кислородом плазмообразующего воздуха.

Полученный сорбционно-фильтрующий материал оценивали по показателю времени защитного действия (ВЗД) при воздействии газообразного аммиака⁵. Воздействие производилось при концентрации аммиака — 236 мг/л⁶. Газообразный аммиак получен в лабораторных условиях АО «КазХимНИИ» [6].

В качестве промышленного аналога разрабатываемого материала использовали ВУМ, производства АО «ВНИИСВ». Значения показателей ВЗД при воздействии газообразного аммиака для полученного образца сорбционно-фильтрующего материала и промышленного аналога представлены в таблице 2.

Таблица 2

Результаты показателя времени защитного действия исследуемых образцов

Показатель	Аналоговый образец (отечественный)	Контрольный образец	Опытный образец
		волокнистый угленаполненный материал (ВУМ)	нетканый полиэфирный материал + клеевая композиция + сферический АУ
Время защитного действия (ВЗД)	19 мин.	9 мин.	19 мин.

На основе полученных экспериментальных данных разработаны технологические рекомендации для производства сорбционно-фильтрующего материала с устойчиво закрепленным сферическим АУ на поверхности.

Обсуждение результатов

Материал изготавливается в два этапа: на первом этапе создается материал со слоем постоянной липкости, затем создается сорбционно-фильтрующий слой.

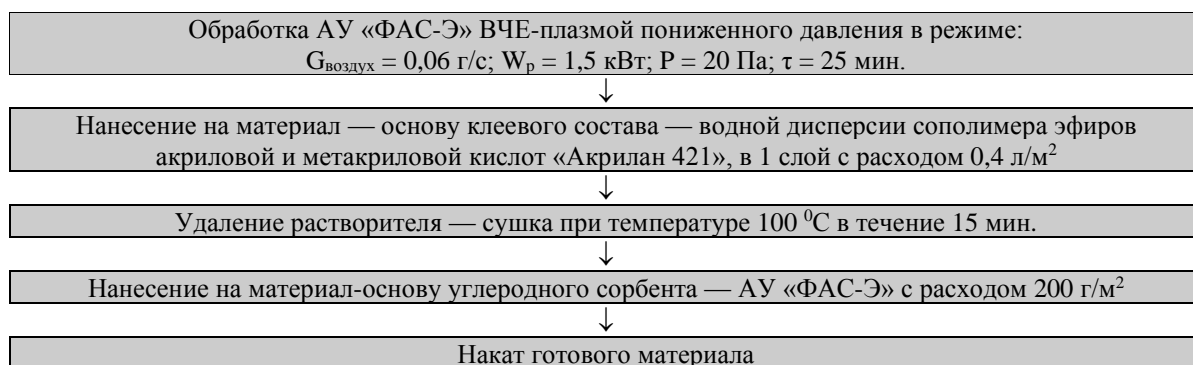


Рисунок 4. Блок-схема технологического процесса изготовления сорбционно-фильтрующего текстильного материала с использованием модифицированного углеродного сорбента «ФАС-Э» и водной дисперсии сополимера эфиров акриловой и метакриловой кислот «Акрилан 421»

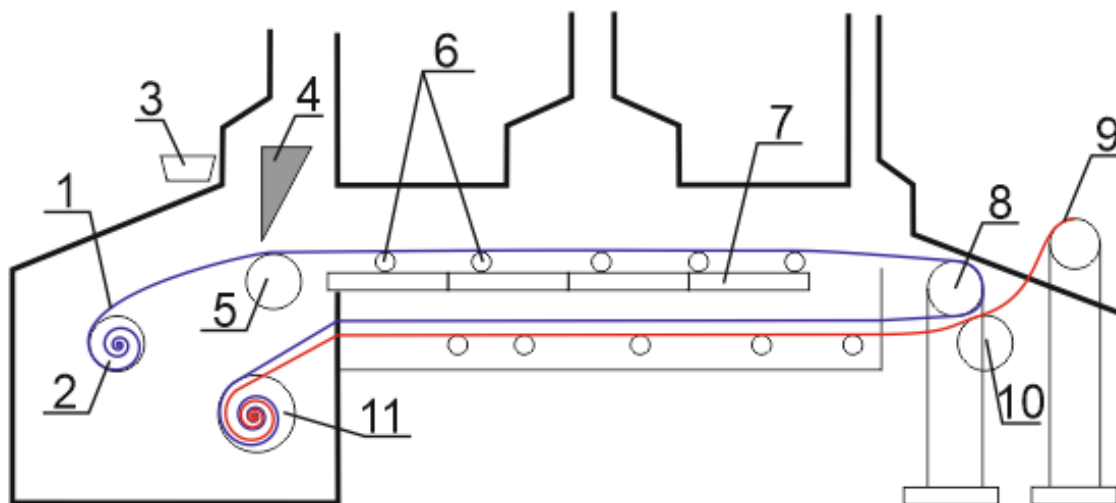
⁵ ГОСТ Р 12.4.286-2017. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от газообразных и жидких химических веществ. Метод определения защитных свойств материалов при воздействии хлора и аммиака. — Введ. 2018-07-01. — М.: Стандартинформ, 2019. — 8 с.

⁶ Методика определения защитного действия СИЗ при воздействии паров химически опасных агрессивных веществ ОА «КазХимНИИ», приложения к ней № 1, 2, 3, 4, 5.

ГОСТ Р 51712-2001 Трубки индикаторные. Общие технические условия. — Введ. 2002-01-01. — М.: Стандартинформ, 2006. — 11 с.

Блок-схема технологического процесса изготовления сорбционно-фильтрующего текстильного материала с использованием ВЧЕ-плазменной обработки АУ представлена на рисунке 4.

1 этап. Создание материала, имеющего слой с постоянной липкостью основано на процессе нанесения клеевого состава из водной дисперсии сополимера эфиров акриловой и метакриловой кислот «Акрилан 421» в 1 слой с расходом $0,4 \text{ л/м}^2$ с последующим удалением растворителя в процессе сушки при температуре 100°C . Качество липкого слоя определяется степенью сушки липкого состава, т. е. степенью удаления растворителя, осуществляемого в сушильной камере. Технологический процесс представлен на рисунке 5.



1 — материал-основа; 2 — вал раскатной; 3 — устройство для нанесения клея; 4 — нож намазочный; 5 — вал передний; 6 — транспортирующие ролики; 7 — сушильная плита; 8 — вал задний; 9 — задний вал раскатной; 10 — вал прижимной; 11 — закаточный вал с готовым материалом

Рисунок 5. Нанесение клеевого связующего на материал-основу, 1 этап

Технологический процесс осуществляется в несколько стадий:

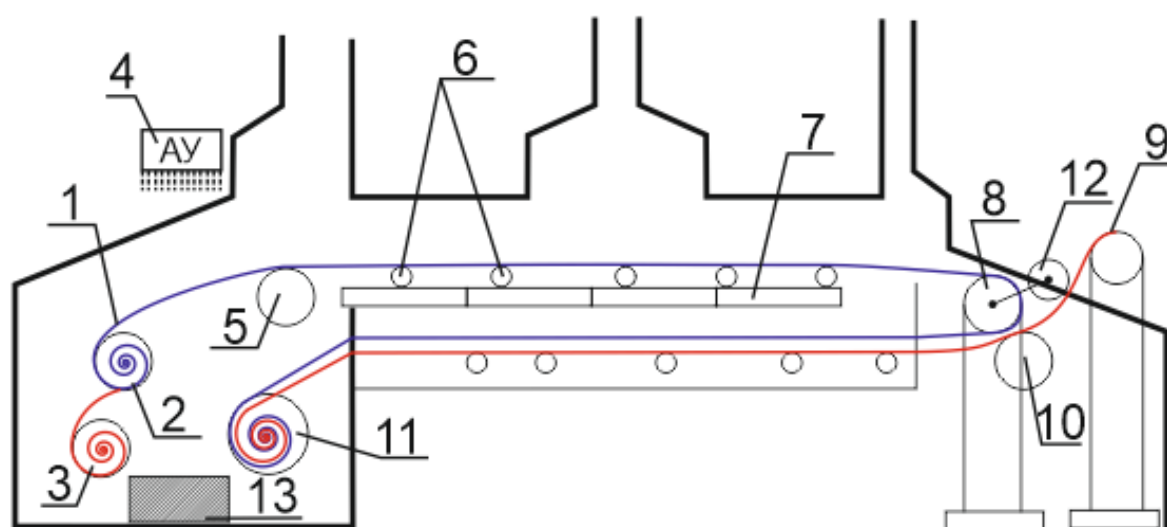
- **Стадия А — заправка материалов в клеепромазочную машину:**
 - рулон с материалом (1) надевают на раскатной вал (2);
 - заправочный конец рулона с материалом с раскатного вала (2), через передний вал (5) вручную пропускают через зазор между поднятым намазочным ножом (4), далее протягивают над обогреваемыми плитами (7), огибая задний вал (8), затем — под плитами и закрепляют на закаточный вал (11).
- **Стадия В — клеепромазка клеевым составом из водной дисперсии сополимера эфиров акриловой и метакриловой кислот «Акрилан 421»:**
 - клеевой состав наносят из узла — устройство для нанесения клея (3), с помощью шпателя (лопаточки) распределяют равномерно под намазочный нож (4); с целью контроля толщины клеевого слоя, проводят замер зазора между намазочным ножом и рабочим передним валом (5);
- **Стадия С — удаление растворителя и сушка:**
 - материал со слоем липкого состава с помощью транспортирующих роликов (6) перемещается над сушильными плитами (7) со скоростью $0,15\text{--}0,2 \text{ м/мин.}$;

- процесс удаления растворителя происходит под действием температуры окружающего воздуха над плитами при температуре не менее 100 °С. Для этого доводят температуру обогревательных паровых плит (7) до 110–120 °С.

- *Стадия D — накат готового материала:*

- материал со слоем постоянной липкости с помощью транспортирующих роликов (6) поступает на закаточный вал (11). С целью предотвращения слипания с обратной стороной материала и разрушения клеевого покрытия, прокладывают бумагой, пропитанной воском, парафином и т. п. Бумага подается с заднего раскаточного вала (9), прижимается к материалу с помощью прижимного вала (8).

2 этап. Создание сорбционно-фильтрующего слоя основано на процессе нанесения углеродного сорбента — АУ «ФАС-Э» с расходом 200 г/м² на материал со слоем постоянной липкости. Технологический процесс представлен на рисунке 6.



1 — материал-основа; 2 — вал раскатной; 3 — вал для сбора бумаги; 4 — виброрито; 5 — вал передний; 6 — транспортирующие ролики; 7 — сушильная плита; 8 — вал задний; 9 — задний вал раскатной; 10 — вал прижимной; 11 — закаточный вал с готовым материалом; 12 — прикатной вал; 13 — емкость для улавливания угля

Рисунок 6. Нанесение углеродного сорбента для формирования сорбционно-фильтрующего слоя, 2 этап

Технологический процесс осуществляется в несколько стадий:

- *стадия А — перезарядка рулона материала с закаточного на раскаточный вал:*
 - рулон сматериалом надевают на раскатной вал (1);
 - прокладочная бумага наматывается на вал для сборки бумаги (3);
 - заправочный конец рулона с материалом с раскатного вала (2), через передний вал (5) вручную протягивают над плитами (7), огибая задний вал (8), затем — под плитами и закрепляют на закаточный вал (11).
- *стадия В — нанесение углеродного адсорбента:*
 - частицы углеродного сорбента на материал-основу наносят посыпным методом с использованием вибрационного просеивающего элемента (4);

- излишки углеродного сорбента ссыпаются в емкости для улавливания излишков (13);
- материал с сорбционно-фильтрующим слоем с помощью транспортирующих роликов (6) перемещается над сушильными плитами (7) со скоростью 0,2–0,3 м/мин.;
- прикатка углеродного сорбента к материалу-основе осуществляется с помощью прижимного вала (12).
- стадия С — накат готового сорбционно-фильтрующего материала:
 - готовый материал с сорбционно-фильтрующим слоем с помощью транспортирующих роликов (6) поступает на закаточный вал (11). С целью предотвращения слипания слоев и разрушения сорбционно-фильтрующего слоя, материал прокладывают бумагой, пропитанной воском, парафином и т. п. Бумага подается с заднего раскаточного вала (9), прижимается к материалу-основе с помощью прижимного вала (8).

Описанная технология позволяет получить сорбционно-фильтрующий материал следующего строения, представленный на рисунке 7.

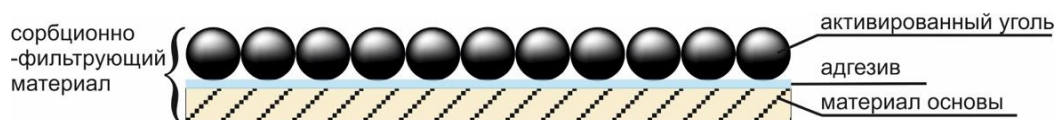


Рисунок 7. Структура сорбционно-фильтрующего слоя

Выводы

Таким образом, результаты проведенных экспериментальных исследований продемонстрировали перспективы разработки отечественного сорбционно-фильтрующего текстильного материала на нетканой ПЭФ основе с закрепленным на полимерном связующем монослоем гранулированного АУ. Обработка сферических гранул АУ ВЧЕ-плазмой пониженного давления позволяет получить адсорбент, характеризующийся повышенными сорбционными свойствами за счет, изменения структуры поверхности и окисления кислородом плазмообразующего воздуха. Полученный экспериментальный образец материала с АУ закрепленным на поверхности, обладает защитными свойствами аналогичный российскому аналогу, производимому промышленно.

На основании полученных данных, предложена двух этапная технологическая схема для опытно-промышленного производства с использованием горизонтальной клеепромазочной машины. Производственные мощности клеепромазочной машины позволяют осуществлять выпуск 5 тыс. пог. м материала в год.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rahman Bhuiyan, M.A. Advances and applications of chemical protective clothing system / M.A. Rahman Bhuiyan, L. Wang, A. Shaid, R.A. Shanks and J. Ding // Journal of Industrial Textiles. — 2019. — Vol. 49(1). — P. 97–138.
2. Генис, А.В. Перспективные разработки в производстве волокнистых полимерных сорбентов / А.В. Генис, А.В. Кузнецов // Российский химический журнал. — 2019 — № 1(63) — С. 27–45.

3. Генис, А.В. Новые виды волокнистых фильтрующе-сорбирующих композиционных материалов для создания современных средств индивидуальной защиты / А.В. Генис, А.В. Кузнецов // Полимерные материалы. — 2017. — № 4. — С. 48–52.
4. Морозова, И.И. Разработка методики получения фильтрующе-сорбирующего текстильного материала / И.И. Морозова, Н.В. Тихонова, Ю.А. Тимошина, Э.Ф. Вознесенский // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности, 2020. — Т. 50 — № 4 — С. 68–71.
5. Абдуллин, И.Ш. Высокочастотная плазменно-струйная обработка материалов при пониженных давлениях. Теория и практика применения / И.Ш. Абдуллин, В.С. Желтухин, Н.Ф. Кашапов. — Казань: Изд: Каз. у-та, 2000. — 348 с.
6. Карякин, Ю.В. Чистые химические вещества: Руководство по приготовлению неорганических реактивов и препаратов в лабораторных условиях / Ю.В. Карякин, И.И. Ангелов — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Химия, 1978. — 408 с.

Morozova Irina Ivanovna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: irinarou@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6009-4545>

Tikhonova Natalya Vasilievna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: nata.tikhonova.81@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

Timoshina Yulia Alexandrovna

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: ybuki@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4684-1510>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=745370
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190019895>

Voznesensky Emil Faatovich

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia
E-mail: howrip@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7493-1471>
RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=177545
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193541362>

Development of technology for obtaining sorption-filtering material of pc with high protective properties

Abstract. Modern technological processes in the chemical industry are associated with occupational health risks for workers arising from work with potent toxic substances, as well as from the operation of chemical technological facilities. PPE plays an important role in reducing the impact of harmful production factors on the worker. Preventing and reducing the impact of harmful and dangerous factors in the process of labor activity on workers is a mandatory preventive task for enterprises. Among the materials for solving this problem, materials based on carbon sorbents are potentially interesting.

The results of the experimental studies have demonstrated the prospects of the development. The obtained sample of sorption-filtering material with the use of activated carbon particles has high protective properties against toxic chemicals of skin-resorptive action, provides protection against the effects of vapor, aerosol, gas phase of industrial corrosive environments.

The authors of the article have developed a technological scheme for the industrial production of the material. The developed sorption-filtering material allows the production of modern material from Russian components. In comparison with the industrial carbon-containing sorption-filtering materials presented on the Russian market, the proposed scheme for the production of a new material has a simple technical design and is economically effective, environmentally friendly, this will allow to master and set up production in a short time.

The use of this type of materials for the manufacture of special protective clothing will increase the efficiency of PPE and, in turn, reduce the risks of occupational diseases; will provide comfort during operation, which will increase satisfaction with professional activities and increase labor productivity; eliminates the need to use additional special suits, which will optimize the cost of ensuring labor safety and protection.

Keywords: sorption-filtering materials; activated carbon; Low-temperature atmospheric-pressure plasma; filtering clothes