

Научная статья

УДК 677.017.653:687.157:622

EDN EACFSO

<https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>

**Антон Вячеславович Абрамов**<sup>1</sup>

**Владимир Владимирович Кургузов**<sup>2</sup>

**Маргарита Всеволодовна Родичева**<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Российский государственный университет им. А. Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

<sup>1,3</sup> Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия

<sup>1</sup> Ant-lin88@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7082-1344>

<sup>2</sup> forbeemo@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-0962-5386>

<sup>3</sup> rodicheva.unpk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1092-6141>

## ЧИСЛЕННАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕПРОНИЦАЕМОСТИ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ШАХТЕРСКОГО КОСТЮМА

**Аннотация:** Показано, что повышение безопасности шахтерских костюмов связано с развитием теоретических представлений о физических процессах в текстильных материалах. Современное понимание прохождения запыленного воздуха через текстильный материал не всегда позволяет обеспечить безопасность шахтерских костюмов. Установлено, что одним из путей решения этой задачи является построение и использование цифровых двойников процессов пылепроницаемости текстильных материалов. Проведен анализ механизмов прохождения запыленного воздуха через текстильный материал, предложена модель движения пыли в воздушном потоке в непосредственной близости и в структуре текстильного материала. Составлена математическая модель захвата частиц пыли структурными элементами ткани. На основе этих представлений составлена численная модель пылепроницаемости текстильного материала, получено ее решение на примере ткани, показан пример использования результатов моделирования при расчете пылепроницаемости и пылеемкости текстильных материалов.

**Ключевые слова:** шахтерский костюм, пылепроницаемость, пылеемкость, частицы пыли, численная модель, фракция пыли, механизмы захвата пыли материалом

**Для цитирования.** Абрамов А. В., Кургузов В. В., Родичева М. В. Численная модель процессов пылепроницаемости текстильных материалов шахтерского костюма // Технологии и качество. 2024. № 4(66). С. 21–27. <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>.

Original article

**Anton V. Abramov**<sup>1</sup>

**Vladimir V. Kurguzov**<sup>2</sup>

**Margarita V. Rodicheva**<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Kosygin Russian State University (Technologies. Design. Art), Moscow, Russia

<sup>1,3</sup> Orel State University named after I. S. Turgenev, Orel, Russia

## NUMERICAL MODEL OF DUST PERMEABILITY PROCESSES OF TEXTILE MATERIALS OF MINER'S SUIT

**Abstract:** It is shown that improving the safety of miner's suits is associated with the development of theoretical concepts of physical processes in textile materials. The current understanding of the passage of dusty air through a textile material does not always ensure the safety of miner's suits. It has been established that one of the ways to solve this problem is to build and use digital twins of the processes of dust permeability of textile materials. The mechanisms of dusty air passage through a textile material are analyzed, a model of dust movement in the air flow in the immediate vicinity and structure of the textile material is proposed. A mathematical model of dust particle capture by structural elements of the fabric is compiled. Based on these ideas, a numerical model of dust permeability of a textile material is compiled, its solution is obtained using the example of fabric, an example of using the modeling results in calculating the dust permeability and dust capacity of textile materials is shown.

© Абрамов А. В., Кургузов В. В., Родичева М. В., 2024

**Keywords:** *miner's suit, dust permeability, dust capacity, dust particles, numerical model, dust fraction, mechanisms of dust capture by material*

**For citation:** Abramov A. V., Kurguzov V. V., Rodicheva M. V. Numerical model of dust permeability processes of textile materials of miner's suit. *Technologies & Quality*. 2024. No 4(66). P. 21–27. (In Russ.). <https://doi.org/10.34216/2587-6147-2024-4-66-21-27>.

Одним из обязательных условий работы шахтера на глубине является эффективная защита от комплекса негативных факторов рабочей среды: повышенных температуры воздуха и концентрации пыли, механических воздействий. Также необходимо обеспечить защиту от воздействия поражающих факторов при аварийной ситуации (воспламенение, взрыв паров легко воспламеняющихся газов). Эту задачу решают за счет средств индивидуальной защиты в составе шахтерского костюма, каски, перчаток, защитных ботинок, фонарика и других приспособлений [1].

Согласно ГОСТ Р 12.4.299–2017, шахтерский костюм представляет собой комплект специальной одежды, состоящий из взаимодополняющих предметов одежды – куртки, брюк или полукombineзона, которые позволяют защитить пользователя и имеют общее функциональное назначение [2].

Для обеспечения безопасности работника шахтерский костюм изготавливается из текстильных материалов, которые обладают заданным уровнем: антистатических свойств; огнестойкости; пылепроницаемости и пылеемкости; водонепроницаемости и маслоотталкиваемости [3]. Уровень этих свойств текстильных материалов, обеспечивающий безопасность и качество шахтерского костюма, регламентируется ТР ТС 019/2011, ГОСТ Р 12.4.299–2017 и другими нормативными документами [2, 4].

Проводятся многочисленные исследования этих свойств материалов для одежды, в том числе шахтерских костюмов [5–7]. В то же время темпы научных работ по развитию методов оценки пылепроницаемости текстильных материалов остаются низкими. Стандартный метод предусматривает ряд критичных допущений, снижающих точность испытания [8]. Анализ патентной литературы позволил выявить всего два устройства для испытания пылепроницаемости и пылеемкости материалов [9, 10]. Точные методы прогнозирования безопасности комплектов шахтерской одежды при анализе научной литературы не выявлены.

В результате уровень профессиональных заболеваний работников угледобывающих предприятий остается достаточно высоким, в его структуре представлены: болезни опорно-двигательного аппарата (48 %), нейросенсорная туго-

ухость (22,2 %), пневмокониозы (7 %), дерматоконтиозы (5 %) [11, 12]. В числе основных инструментов профилактики профессиональной заболеваемости – использование комплектов эффективных средств индивидуальной защиты. Безопасные и качественные шахтерские костюмы позволяют снижать риск заболевания дерматоконтиозами и общий уровень травматизма.

Для повышения безопасности и качества шахтерских костюмов необходимо дальнейшее развитие теоретических представлений о процессах прохождения запыленного воздуха через текстильные материалы. Результаты таких исследований позволят уточнить требования при проектировании новых текстильных материалов, а также более обосновано подбирать существующие материалы при проектировании шахтерской одежды. Одним из наиболее эффективных инструментов получения новых теоретических представлений является метод численного моделирования.

Для построения компьютерных моделей процессов прохождения запыленного воздуха через текстильные материалы нами разработана схема процесса прохождения пыли через текстильный материал (рис. 1). Сама ткань 1 представлена проекцией нитей системы основы или утка, диаметр которых соответствует диаметру нитей ( $d_n$ , мм), а расстояние между ними – расстоянию между нитями ( $l_n$ , мм) в ткани. В зависимости от фазы ее строения центры кругов 2 могут располагаться на одной вертикальной линии, как показано на схеме, либо смещаться друг относительно друга на величины  $0,5 d_n$  или  $d_n$ .

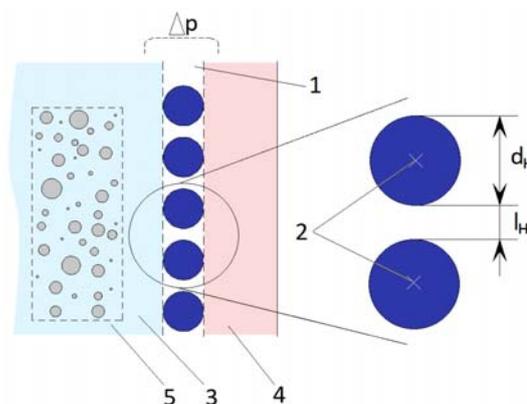


Рис. 1. Схема моделирования процессов пылепроницаемости текстильных материалов

Ткань разделяет пространство модели на внешнее 3, в котором присутствует пыль 5, и внутреннее 4, которое соответствует пододежному. Частицы пыли представлены кругами различного диаметра.

Между пододежным пространством и окружающей средой задается разность давлений воздуха ( $\Delta p$ , Па), в соответствии с реальными условиями эксплуатации, под действием которой запыленный воздух проходит из окружающей среды в пододежное пространство сквозь текстильный материал.

Пылинки, являясь частью этого потока, движутся по своим траекториям, которые определяются комплексом сил (рис. 2, а), включая:

- силу инерции, которая стремится разогнать частицу пыли до скорости самого воздушного потока ( $F_{пот}$ , Н);
- силу трения, которая стремится затормозить частицу пыли ( $F_{тр}$ , Н);
- силу тяжести, которая пытается опустить частицу пыли ( $F_T$ , Н);
- силу, которая удерживает частицу пыли на занимаемой высоте. В зависимости от вида движения потока в этом качестве может выступать сила трения или выталкивающая сила восходящих воздушных струй ( $F_{е.к}$ , Н).

Система уравнений, описывающая движение частицы пыли в воздушном потоке с учетом комплекса сил, принимает следующий вид:

$$\begin{cases} \rho_a \frac{\partial v_a}{\partial \tau} + \rho_a (v_a \cdot \nabla) v_a = \\ = \nabla \left[ -pI + \mu(\nabla v_a + (\nabla v_a)^T) - \frac{2}{3}\mu(\nabla \cdot v_a) \right] + F_s, \\ \frac{\partial v_a}{\partial \tau} + \nabla \cdot (\rho_a v_a) = 0, \\ \rho_s \frac{\partial^2 v_s}{\partial \tau^2} - \nabla \cdot \sigma = F_s, \end{cases} \quad (1)$$

- где  $\rho_a$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $v_a$  – скорость движения воздуха, м/с;  
 $\tau$  – время, с;  
 $\nabla$  – векторный дифференциальный оператор набла;  
 $p$  – давление воздуха, Па;  
 $I$  – единичный нормальный вектор;  
 $T$  – температура воздуха, К;  
 $\mu$  – динамическая вязкость воздуха, Н·с/м<sup>2</sup>;  
 $F_s$  – сила, побуждающая движение пылинки в воздухе;  
 $v_s$  – скорость движения пылинки, м/с;  
 $\sigma$  – одноосное нормальное напряжение на границе пылинки – воздух, Н.

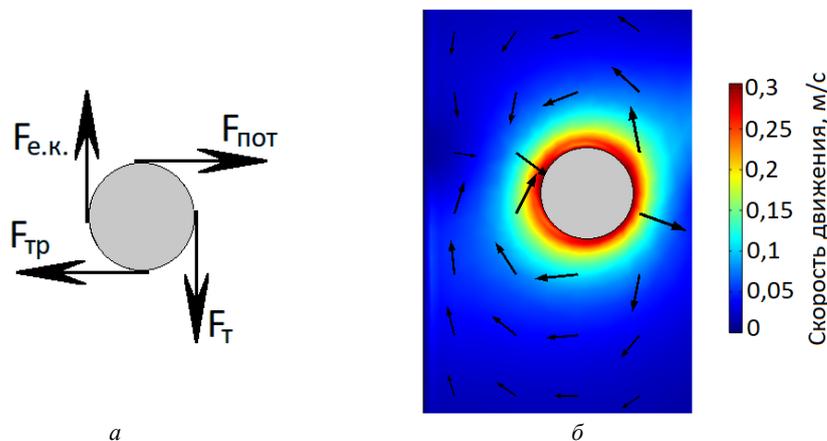


Рис. 2. Движение частицы пыли в воздушном потоке:  
 а – комплекс сил, действующих на частицу пыли;

б – распределение механических сил, действующих на частицу пыли в воздушном потоке

В результате решения системы (1) можно получить поле скорости частицы пыли и комплекс действующих на нее механических сил (например, на рис. 2, б). При прохождении запыленного воздуха сквозь текстильный материал пыль частично захватывается нитями за счет следующих процессов (рис. 3).

- Столкновения (поз. 1): если размеры и масса частицы пыли достаточно велики, она не может изменить траекторию движения вме-

сте с воздушным потоком и врезается в нить, полностью теряя свою кинетическую энергию. В дальнейшем силы трения удерживают частицу пыли на поверхности нити.

Математическая модель этого явления строится на основе баланса сил: силы воздушного потока, действующие на частицу пыли по ее границам ( $T_i$ ) и силы ( $\mu T_n$ ), с которой частица пыли действует на нить по нормали к ней. Если  $T_i$  будет больше, чем

$\mu T_{\text{п}}$ , то частица пыли вновь будет вовлечена в воздушный поток, если  $\mu T_{\text{п}}$  окажется больше  $T_t$ , то частица пыли будет удерживаться на поверхности нити. Таким образом, условие захвата принимает следующий вид:

$$T_t \leq \min(\mu T_{\text{п}}). \quad (2)$$

- *Касания* (поз. 2): при перемещении вдоль нити частица может коснуться ее поверхности, при торможении силами трения частица пыли оседает на нити. Этот процесс также описывается уравнением (2).

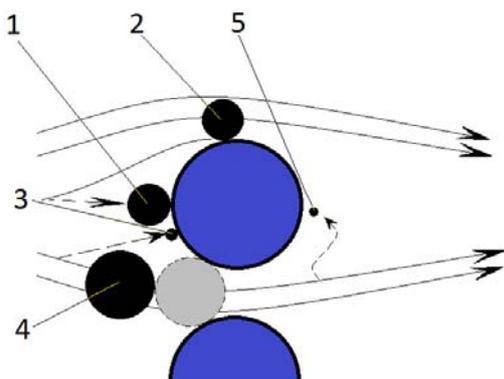


Рис. 3. Механизмы захвата пылевых частиц элементами текстильного материала

- *Электростатического осаждения* (поз. 3): если заряды частицы пыли и нити будут разными, они притягиваются друг к другу. Частица пыли сепарируется из воздушного потока и прилипает к поверхности нити. Этот процесс описывается уравнением Гаусса – Остроградского:

$$\nabla \cdot D = \varepsilon_0 \nabla \cdot \varepsilon E = \rho, \quad (3)$$

где  $D$  – поток вектора электрической индукции;

$\varepsilon_0$  – электрическая постоянная вакуума ( $8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м);

$\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды, м/Гн;

$E$  – вектор напряженности электростатического поля, В/м;

$\rho$  – объемная плотность свободного заряда на поверхности нити (частицы пыли), Кл/м<sup>3</sup>.

- *Ситового эффекта* (поз. 4): размеры крупных частиц пыли нередко превышают расстояние между нитями. В этом случае частица пыли частично или полностью перекрывает поле просвета, задерживаясь в ткани. По мере накопления пыли в ткани размеры свободных участков полей просвета уменьша-

ются и ситовый эффект становится более выраженным. Математическая модель этого процесса имеет следующий вид:

$$F_L v_s = -F_s v_{\text{п}} - \rho_s d^2 v_s \frac{\partial(v_{\text{п}} - v_s)}{\partial \tau}, \quad (4)$$

где  $F_L$  – давление частицы пыли на нить, Н;

$F_s$  – давление нити на частицу пыли, Н;

$v_{\text{п}}$  – текущая скорость движения частицы пыли, м/с;

$v_s$  – начальная скорость движения частицы пыли (в потоке), м/с;

$\rho_s$  – объемная плотность материала частицы пыли, мг/м<sup>3</sup>;

$d$  – диаметр частицы пыли, м;

$\tau$  – время численного эксперимента, с.

- *Диффузии* (поз. 5): частицы пыли фракций от 0 до 63 мкм движутся в потоке воздуха хаотично. Случайные флуктуации могут подвести частицу к нити, в результате чего она осаждается, например, за счет электростатических сил. Математическая модель диффузионных процессов частицы пыли составлена исходя из уравнения Ланжевена:

$$m a_s = \Phi(x, y) - \gamma v_s + \eta(\tau), \quad (5)$$

где  $\Phi(x, y)$  – силы, возникающие при взаимодействии частицы пыли с воздухом на молекулярном уровне, Н;

$\gamma$  – динамическая вязкость воздуха, Па·с;

$\eta(\tau)$  – случайные флуктуации, вносящие вклад в процесс движения частицы пыли, Н.

Случайные флуктуации движения нами не учитывались, в результате чего последнее слагаемое уравнения (5) принималось равным нулю.

Рассмотрим пример моделирования процессов прохождения запыленного воздуха через ткань толщиной 0,5 мм и поверхностной плотностью 260 г/м<sup>2</sup>. В результате анализа структурных характеристик установлено, что в сечении нитей основы диаметр кругов модели должен составлять 0,5 мм, а расстояние между ними – 0,16 мм, а в сечении нитей утка – соответственно 0,42 и 0,18 мм.

Ограничим внешнее пространство модели 15,0 мм<sup>3</sup>, а внутреннее – 12,0 мм<sup>3</sup>, за счет чего расчетная схема принимает следующий вид (рис. 4).

В качестве дисперсной фазы в составе воздуха принята пыль каменного угля Ворогошорского месторождения, основные характеристики которой хорошо изучены (табл. 1).

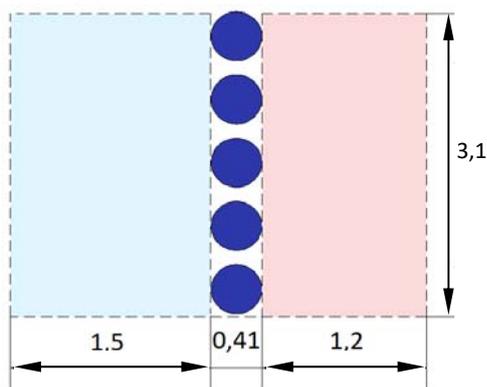


Рис. 4. Уточненная геометрическая схема модели

При проведении моделирования концентрация пыли в воздухе принята равной среднему значению между нижним ( $0,7 \text{ г/м}^3$ ) и верхним ( $20 \text{ г/м}^3$ ) значением концентрации, наблюдаемой в шахте при добыче каменного угля, т. е.  $C_{п-р} = 10 \text{ г/м}^3$ . Для этой концентрации было рассчитано количество частиц пыли различной фракции (табл. 2).

Эти частицы были внесены в зону, соответствующую внешнему пространству модели (рис. 5, а). Между внешней и внутренней областями модели задана разность давления воздуха  $\Delta p = 50 \text{ Па}$ , которая, согласно ГОСТ 12088–77, наблюдается между пододежным пространством и окружающей средой [13].

За счет этого воздух движется в горизонтальном направлении сквозь материал. Для численного моделирования этого движения относительно каждой частицы пыли решалась система уравнений (1). Для всех пар границ «пыль – нить» решались уравнения взаимодействия: Гаусса – Остроградского, Ланжевена, трения, давления при контакте. В случае преобладания комплекса сил взаимодействия над кинетической энергией потока частица сепарировалась из воздушного потока и оседала на нити.

Результаты решения модели по времени приведены на рисунке 5. Для удобства восприятия поле скоростей воздуха было выключено при отображении результатов решения, что позволяет наблюдать движение каждой частицы пыли.

Т а б л и ц а 1

Свойства пыли каменного угля Ворогошорского месторождения

Дисперсность (фракционный состав), мкм	0...45	46...63	64...94	95...125	125...140	141...200
Выход фракции, %	3,78	18,56	32,77	14,58	9,74	20,55
Объемная плотность фракции, $\text{г/см}^3$	0,42	0,43...0,55	0,56...0,62	0,63...0,67	0,68...0,7	0,71...0,8

Т а б л и ц а 2

Количество частиц пыли в воздушном объеме рассматриваемой модели

Дисперсность (фракционный состав), мкм	0...45	46...63	64...94	95...125	125...140	141...200
Выход фракции, %	3,78	18,56	32,77	14,58	9,74	20,55
Количество частиц пыли по фракциям	1	4	8	4	3	5
Общее количество частиц пыли в рассматриваемом воздушном объеме	23					

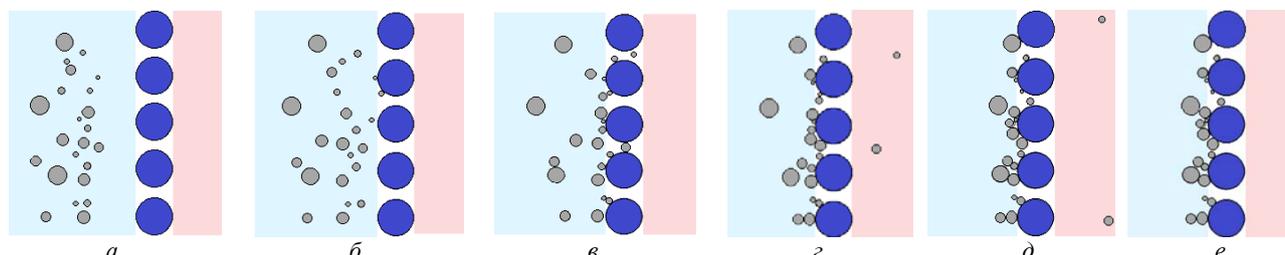


Рис. 5. Результаты численного моделирования движения запыленного воздуха через текстильный материал:

- а – исходное положение пылевых частиц во внешнем воздушном пространстве;
- б – положение пылевых частиц спустя 0,5 с с численного эксперимента;
- в – положение пылевых частиц спустя 1,0 с с численного эксперимента;
- г – положение пылевых частиц спустя 1,5 с с численного эксперимента;
- д – положение пылевых частиц спустя 2,0 с с численного эксперимента;
- е – положение пылевых частиц спустя 2,5 с с численного эксперимента

Как видно, спустя 0,5 с после приложения  $\Delta p$ , частицы пыли малых фракций разгоняются в воздушном потоке, а средних и больших фракций почти не изменяют своего положения (см. рис. 5, б). Спустя 1,0 с некоторые из малых частиц достигают нитей и вступают с ними во взаимодействие. Средние и большие частицы начинают движение и на временной отсечке 1,5 с взаимодействуют с материалом (см. рис. 5, з). Их большая часть оседает на нитях.

Спустя 2,0 с после приложения  $\Delta p$  все частицы малых и средних фракций успевают войти в контакт с текстильным материалом (см. рис. 5, з). В результате 21 частица из 23 оседает на поверхности нитей под действием одного из рассматриваемых механизмов взаимодействия, а в пододежное пространство проходят всего две: диаметром 54 мкм (мелкая фракция 46–63 мкм) и диаметром 79 мкм (средняя фракция от 64 до 94 мкм).

Крупные частицы достигают материала позже мелких (см. рис. 5, е). К этому моменту расстояние между нитями уже успевает заполниться пылевыми частицами средних и мелких фракций, что уменьшает свободное пространство полей просвета и дополнительно затрудняет возможность прохождения пыли сквозь тек-

стильный материал. В результате крупные пылевые частицы также задерживаются в ткани.

## ВЫВОДЫ

Учитывая размер и объемную плотность пылевых частиц, через структуру рассматриваемой ткани прошло 10,8 % от общей массы пыли. Таким образом, 89,2 % всей пыли осело на поверхности ткани. На основе этого можно рассчитать пылеемкость и пылепроницаемость тканей.

Вместе с тем известно, что точность численных моделей необходимо верифицировать опытными данными. Для этого в настоящий момент авторами разрабатывается конструкция экспериментальной установки. После проверки численную модель можно будет рассматривать в качестве цифрового двойника процессов прохождения запыленного воздуха через образцы текстильных материалов и процессов осаждения пылевых частиц на элементах этого образца. Использование цифрового двойника позволит уточнить требования при проектировании новых текстильных материалов и более обоснованно подбирать текстильные материалы при проектировании шахтерской одежды, за счет чего повысится безопасность и качество готовых комплектов.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Deliang C. Involved in the protective clothing acid-base classes of chemical protective clothing drafting national standards introduced // Chinese standardization. 2010. Vol. 10(9). P. 67–72.
2. ГОСТ Р 12.4.299–2017. Система стандартов безопасности труда. Костюмы шахтерские для защиты от механических воздействий и общих производственных загрязнений. Общие технические требования. Введ. 01.07.2018. М. : Изд-во стандартов, 2014. 24 с.
3. Hu F., Xing J. General requirements of the protective clothing introduction // Journal of Chinese individual protective equipment. 2008. Vol. 8(1). P. 76–79.
4. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты : утв. Решением Комиссии Таможенного Союза № 878 от 9.12.2011. М., 2020. 108 с.
5. Панкевич Д. К., Буркин А. Н. Методология оценки свойств материалов для водонепроницаемой одежды // Технологии и качество. 2022. № 2(56). С. 5–10.
6. Петухов А. Н., Давыдов А. Ф. Влияние стирок на теплофизические свойства текстильного материала при воздействии теплового потока открытого пламени и нагревательного элемента // Технологии и качество. 2021. № 4(54). С. 10–15.
7. Jian Y., Dongmei T. Study on special protective clothing of coal mine // 2nd international symposium of mine safety science and engineering. Beijing, 2013. P. 551–555.
8. ГОСТ 17804–2020. Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная. Метод определения пылепроницаемости тканей и соединительных швов : Введ. 01.10.2021. М. : Стандартинформ, 2021. 9 с.
9. Пат. РФ № 12861 G01N 15/08. Устройство для определения пылеемкости текстильных материалов / Метелева О. В., Цапалов Б. М., Веселов В. В., Дэлгэрсурэн Балдан-Осар, Носова М. В., Немихина М. В., Припеченкова Н. С. Заявл. 12.07.1999 ; опубл. 10.02.2000. Бюл. 4. 6 с.
10. Пат. SU № 1 205 014. Устройство для определения пылеемкости текстильных материалов / Маглаперидзе З. И., Кобляков А. И., Ратиани Н. И., Кучава Н. Г. Заявл. 20.07.1984 ; опубл. 15.01.1986. 3 с.
11. Мартынова Н. А., Кислицин В. В. Профессиональная заболеваемость шахтеров (обзор литературы) // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2017. № 5. С. 46–52.

12. Hodgson G. Skin hazards of coal mining with particular reference to dermatitis // *British Journal of Dermatology*. 2006. Vol. 67(12). P. 426–433.
13. ГОСТ 12088–77. Материалы текстильные и изделия из них. Метод определения воздухопроницаемости. Введ. 01.01.1979. М. : Изд-во стандартов, 2015. 11 с.

## REFERENCES

1. Deliang C. Involved in the protective clothing acid-base classes of chemical protective clothing drafting national standards introduced. *Chinese standardization*. 2010;10(9);67–72.
2. *GOST R 12.4.299–2017. Sistema standartov bezopasnosti truda. Kostuymy shakhterskie dlya zashchity ot mekhanisheskih vozdeystvij i obshchih proizvodstvennykh zagryaznenij. Obshchie tekhnicheskie trebovaniya* [State Standart 12.4.299–2017. Occupational safety standards system. Miners' suits for protection against mechanical impacts and general industrial pollution. General technical requirements]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 2014. 24 p. (In Russ.)
3. Hu F., Xing J. General requirements of the protective clothing introduction. *Journal of Chinese individual protective equipment*. 2008;8(1);76–79.
4. *TR TS 019/2011. O bezopasnosti sredstv individualnoy zashchity* [Technical Reglament Customs Union 019/2011 On the safety of personal protective equipment]. Commissions of the Customs Union. Moscow, 2020. 108 p. (In Russ.)
5. Pankevich D. K., Burkin A. N. Methodology for assessing the properties of materials for waterproof cloth. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2022;2(56):5–10. (In Russ.)
6. Petukhov A. N., Davydov A. F. The influence of washing on the thermophysical properties of textile material when exposed to heat flow of an open flame and a heating element. *Tekhnologii i kachestvo* [Technologies and Quality]. 2021; 4(54):10–15. (In Russ.)
7. Jian Y., Dongmei T. Study on special protective clothing of coal mine. 2nd international symposium of mine safety science and engineering. Beijing, 2013. P. 551–555.
8. *GOST 17804–2020. Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda spetsialnaya. Metod opredeleniya pylpronsaemosti tkaney i soyedenitelny khshvov* [State Stadart 17804–2020. Occupational safety standards system. Special clothing. Method for determining the dust permeability of fabrics and connecting seams]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 9 p. (In Russ.)
9. Metelyova O. V., Tsapalov B. M., Veselov V. V., Delgersuren Baldan-Osar, Nosova M. V., Nemikhina M. V., Pripechenkova N. S. Device for determining the dust capacity of textile materials Pat. RF No. 12861, 12.07.1999. (In Russ.)
10. Maglaperidze Z. I., Koblyakov A. I., Ratiani N. I., Kuchava N. G. Device for determining the dust capacity of textile materials. Pat. SU No. 1205014, 20.07.1984. (In Russ.)
11. Martynova N. A., Kislitsyn V. V. Occupational morbidity of miners (literature review). *Zdorovye. Meditsinskaya ekologiya. Nauka* [Health. Medical Ecology. Science]. 2017;5:46–52. (In Russ.)
12. Hodgson G. Skin hazards of coal mining with particular reference to dermatitis. *British Journal of Dermatology*. 2006;67(12):426–433.
13. *GOST 12088–77. Materialy tekstilnye i izdeliaiznih. Metod opredeleniya vozduhopronitsaemosti* [State Standart 12088–77. Textile materials and products made from them. Method for determining air permeability]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1979. 11 p. (In Russ.)

Статья поступила в редакцию 2.10.2024  
Принята к публикации 30.10.2024