



Изучение процесса удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком и обоснование законов его протекания

П.Н. Колесников

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко» Министерства обороны Российской Федерации, 156015, Российская Федерация, г. Кострома, ул. Горького, 16
e-mail: varhhbz@mil.ru

Поступила 03.12.2023 г. Принята к публикации 27.12.2023 г.

Актуальность работы определяется научным противоречием между необходимостью повысить эффективность дегазирующих порошковых рецептур при обработке текстильных материалов, загрязненных каплями токсичных химических веществ, и отсутствием такой возможности, так как применить для этого современную теорию дегазации проблематично из-за отсутствия знаний о диффузионной стадии, определяющей переход жидкости из ткани в порошок. *Цель работы* – изучение процесса удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, и законов, по которому он протекает. *Материалы и методы*. Для обоснования экспериментов изучались публикации, доступные через базы данных Scopus, eLIBRARY, ГПНТБ России, ФИПС, Google Scholar и др. При осуществлении экспериментов использовали методы микрофотосъемки, измерения массы, разделения порошка на разные фракции, измерения диаметра частиц порошка и волокон ткани, статистической обработки экспериментальных данных. *Обсуждение результатов*. Разработана методика, позволяющая экспериментально изучать процесс удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала. В результате проведенных исследований впервые изучен процесс удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель. На основе теоретических исследований и экспериментальных данных впервые обоснованы несколько законов (закономерностей) удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала и требования к константам скорости удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала порошковыми рецептурами для обеспечения требуемой полноты дегазации боевой экипировки военнослужащих, загрязненных токсичными химическими веществами. *Выводы*: 1) доля удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей только время обработки порошковой рецептурой, и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой («капиллярный закон удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком»; 2) при изменении экспозиции загрязнения и времени обработки порошком он формулируется следующим образом: «Доля удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей время обработки порошковой рецептурой и экспозицию загрязнения, и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой, а также обратно пропорциональна корню квадратному времени загрязнения».

Ключевые слова: дегазирующая рецептура; мелкие капли; отравляющие вещества; полнота дегазации; порошковая рецептура; текстильный материал; теория дегазации; удаление капель.

Для цитирования: Колесников П.Н. Изучение процесса удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком и обоснование законов его протекания. Вестник войск РХБ защиты. 2023;7(4):319–337. EDN:ofpwnng.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-4-319-337>

A Study of the Process of Removing Liquid Organic Substance from Textile Material by Powder and the Substantiation of the Laws of Its Flow

P.N. Kolesnikov

The Federal State Official Military Educational Establishment of Higher Education «Military Academy of Radiological, Chemical and Biological Defence named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko», Gorky Street 16, Kostroma 156013, Russian Federation
e-mail: varhhbz@mail.ru

Received December 3, 2023. Accepted December 27, 2023

The relevance of this research is determined by the scientific contradiction between the need to increase the efficiency of degassing powder formulations when processing textile materials contaminated with drops of toxic chemicals, and the lack of such an opportunity, since the application of modern theories of degassing is difficult here due to the lack of knowledge about the diffusion stage that determines the transition of liquid from tissue into powder. *The purpose of this article* is to study the process of removing a liquid organic substance from a textile material by powder, on which it is applied discretely in the form of small drops, and the laws according to which this process flows. *Materials and methods.* To substantiate the experiments, publications available through the databases Scopus, eLIBRARY, SRussian National Public Library for Science and Technology, Federal Institute of Industrial Property, Google Scholar, etc. were studied. When carrying out the experiments, the relevant methods of microphotography, mass measurement, separation of powder into different fractions, measurement of the diameter of powder particles and fabric fibers, and statistical processing of experimental data were used. *The discussion of the results.* A technique has been developed that makes it possible to experimentally study the process of removing liquid organic matter from textile material by powder. As a result of the research, the process of removing a liquid organic substance from a textile material by powder, onto which it is applied discretely in the form of small drops, was studied for the first time. Based on theoretical studies and experimental data, several laws (regularities) for the removal of the liquid phase of organic matter from textile material and the requirements for rate constants for the removal of the liquid phase of organic matter from textile material using powder formulations were substantiated for the first time to ensure the required completeness of the decontamination of combat equipment of military personnel contaminated with toxic chemicals. *The conclusion.* 1) the proportion of the removed liquid phase of organic matter from a textile material is directly proportional to the rate constant for the removal of the liquid phase of organic matter by powder, which takes into account only the processing time of the powder formulation, and the square root of the processing time of the powder formulation («capillary law of removal of liquid organic matter from textile material by powder»); 2) when changing the exposure to contamination and the time of powder treatment, it is formulated as follows: «The proportion of the removed liquid phase of organic matter from a textile material is directly proportional to the rate constant for the removal of the liquid phase of organic matter by the powder, taking into account the time of treatment with the powder formulation and the exposure to contamination, and the square root of the time of treatment with the powder formulation, and is also inversely proportional to the square root of the time of contamination.»

Keywords: degassing formulation; small drops; poisonous substances; the completeness of degassing; powder formulation; textile material; degassing theory; removing of drops.

For citation: Kolesnikov P.N. A Study of the Process of Removing Liquid Organic Substance from Textile Material by Powder and the Substantiation of the Laws of Its Flow. *Journal of NBC Protection Corps.* 2023;7(4):319–337. EDN:ofpwnng.
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-4-319-337>

Для достижения целей научных исследований, направленных на управление исследуемых процессов и получение требуемых практических результатов, необходимо опираться на законы (закономерности), по которым они протекают [1–3]. В соответствии с общепри-

знанными терминами и определениями закон – это теоретически обоснованные объективно существующие причинно-следственные связи [2–5]. Закономерность – те же причинно-следственные связи, часто встречающиеся на практике, но не имеющие строго доказательства или

обоснования¹ [5]. Закономерностью называют часто наблюдаемое, типичное свойство (связь или зависимость), присущее объектам и процессам, которое устанавливается опытом без теоретического обоснования [3–5].

Исследование процесса удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, имеет фундаментальное значение. Эти знания наиболее значимы в области теории дегазации порошками текстильных материалов, загрязненных каплями химических веществ с высокой токсичностью, например пестицидами и др. [6, 7]. В этой области гетерогенная гетерофазная химическая реакция протекает между жидкой фазой органического вещества и твердой фазой порошка. Эту реакцию классически описывают с позиции макрокинетики. Макрокинетика подразумевает диффузионную и химическую составляющие. Если их скорости одинаковы, то реакция протекает максимально быстро. При этом в реальных условиях скорость одной составляющей может быть значительно меньше по сравнению с другой. В этих условиях она будет ограничивать общую скорость реакции или являться лимитирующей стадией [6, 7]. Химическую составляющую можно оценить экспериментально, определив константу скорости химической реакции между порошком и жидкостью. Диффузионная составляющая определяется переходом жидкости из текстильного материала в порошковую рецептуру. Однако в литературе не удалось найти описание этой составляющей рассматриваемой реакции, ни способов проведения экспериментальных исследований в этой области и тем более законов (закономерностей или математического описания) его протекания [6, 7].

Оптимизация рассматриваемых процессов имеет важное практическое значение. Их применение в новых образцах позволит повысить эффективность порошковых рецептур, предназначенных для дегазации текстильных материалов [7, 8]. Эти исследования являются одним из приоритетных направлений² [7, 8].

Актуальность работы определяется научным противоречием между необходимостью повысить эффективность дегазирующих порошковых рецептур при обработке текстильных материалов, загрязненных каплями токсичных химических веществ, и отсутствием такой возможности, так как применить для этого современную теорию дегазации пробле-

матично из-за отсутствия знаний о диффузионной стадии, определяющей переход жидкости из ткани в порошок.

Цель работы – изучение процесса удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, и законов (закономерностей), по которому он протекает.

Для ее решения были определены следующие задачи:

1. Провести теоретические исследования в смежных областях знаний для определения возможности описания исследуемого процесса.

2. Доказать протекание исследуемого процесса экспериментально с применением микрочетотсъемки.

3. Разработать экспериментальную методику изучения процесса удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель.

4. Определить границы протекания процесса и приемлемое соотношение среднего диаметра частиц к среднему диаметру волокон для выявления закономерностей удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель.

5. Провести теоретическое обоснование взаимосвязи доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой на примере алюмосиликатного катализатора (АСК), для фиксированного времени загрязнения и с учетом изменения этого параметра.

6. Провести экспериментальные исследования по определению доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой АСК. Провести статистическую обработку экспериментальных данных с учетом теоретических исследований.

7. На основании изучения процесса удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком сформулировать закон его протекания, с учетом его ограничений, для условий удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой на примере АСК.

8. Провести экспериментальные исследования по определению доли удаленной жидкой

¹ Wikipedia is a free encyclopedia. <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 29.12.2022).

Economic theory. <http://teoriaekonomiki.ru> (дата обращения: 29.12.2022).

² Указ Президента России от 5 февраля 2010 года № 146 «О Военной доктрине Российской Федерации». Российская газета. № 146, 10 февраля 2010 г. (дата обращения: 29.12.2022).

фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой АСК для разного времени загрязнения. Провести статистическую обработку экспериментальных данных с учетом теоретических исследований.

9. На основании изучения процесса удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком сформулировать закон его протекания, с учетом его ограничений, для условий удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой на примере АСК для разного времени загрязнения.

Материалы и методы

Предметом анализа является процесс удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, и законы, по которым он протекает. *Источниковая и информационная база исследования.* В настоящей работе изучались публикации, доступные через базы данных Scopus, eLIBRARY, ГПНТБ России, ФИПС, Google Scholar, Microsoft Academic, MedLine, PubMed, BASE, American Chemical Society, disserCat. Глубина выборки составила более 5 лет.

В работе использовали: дибутилфталат, соответствующий техническим условиям, указанным в ГОСТ 8728-88³ (по квалификации ч., чистота 98 %, фирмы «Рошальский завод пластификаторов», Россия); текстильный материал с торговой маркой «Крон» вид А, изготовлен в научно-производственном объединении Фабитекс⁴ (ТУ 8318-011-10725218-96, НПО Фабитекс, Россия), алюмосиликатный катализатор, соответствующий техническим условиям, указанным в ГОСТ 217713⁵ (фирмы Партнер, Россия), из которого получали порошок с тре-

буемыми в условиях экспериментов диаметрами частиц.

В работе использовали методы микрофото съемки, измерения массы, разделения порошка на разные фракции, измерения диаметра частиц порошка и волокон ткани, статистической обработки экспериментальных данных.

Микроскопические исследования и микрофото съемку проводили с помощью микроскопа Микмед-1 вариант 2 (ЛОМО, Россия), оснащенного цифровой камерой SONY DSC – WX570 (SONY, Япония) или портативного цифрового USB микроскопа Supereyes B008 500X с программой Supereyes 3.53 (Supereyes, Китай).

Измерения диаметра частиц порошка и волокон ткани проводили с помощью программы Supereyes 3.54 (Supereyes, Китай), окуляра 10x/18 с измерительной шкалой или микрометра МОВ-1-16x (ЛОМО, Россия) для микроскопа Микромед-1 (вариант 2). Для пересчета пикселей или делений измерительной шкалы в микрометры использовали объект-микрометр проходящего света⁶ ОМП ГОСТ 7513-55 производства ОАО «ЛОМО» (ЛОМО, Россия).

Измерение массы проводили на весах «ГН-202»⁷ (фирмы «AND», Япония), с точностью до 0,01 мг, согласно разделу 6 «Взвешивание» документа «Весы не автоматического действия ГН. Руководство по эксплуатации».

Разделение частиц порошка проводили ситовым методом и в потоке воздуха. Ситовой метод подразумевает использование сит «Сита лабораторные С-20»⁸ (Компания ВИБРОТЕХНИК, Россия) и вибропривода «Вибропривод ВП 30Т»⁹ (Компания ВИБРОТЕХНИК, Россия). Далее разделяли частицы порошка в потоке воздуха. Для этого использовали уменьшенную копию комплекса «Динаселектор-8000М»¹⁰ (Техприбор, Россия). Он предназначен для сухого разделения сыпучих материалов по крупности, плотности или форме

³ ГОСТ 8728-88. Пластификаторы. Технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1988 (дата обращения: 29.12.2022).

⁴ ТУ 8318-011-10725218-96. Материал Винилискожа-Т с дискретным покрытием. Технические условия. Иваново: Фабитекс, 1999. НПО «Неорганика» (дата обращения: 29.12.2022).

⁵ ГОСТ 217713. Алюмосиликатный катализатор молотый. Технические условия. М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1971 (дата обращения: 29.12.2022).

⁶ Объект-микрометр. Технические условия. ГОСТ 7513-55 М.; 1976. 10 с.

⁷ Электронные весы серии ГН. Руководство по эксплуатации. Технический паспорт. AND Япония. 74 с. <https://www.mirvesov.ru/docs/guide/10092.pdf> (дата обращения: 29.12.2022).

⁸ Сита лабораторные. Руководство по эксплуатации. Компания ВИБРОТЕХНИК, г. Санкт-Петербург, 2020. – 18 с. <https://vt.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2020/12/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-na-sita.pdf> (дата обращения: 29.12.2022).

⁹ Вибропривод ВП 30Т Руководство по эксплуатации ВТ-247.00.000 РЭ Компания ВИБРОТЕХНИК, г. Санкт-Петербург, 2019. – 14 с. <https://vt.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2020/12/rukovodstvo-po-ekspluatatsii-na-vibroprivod-vp-30t.pdf> (дата обращения: 29.12.2022).

¹⁰ Комплекс воздушной классификации порошков «ДИНАСЕЛЕКТОР- 8000 М» Руководство по эксплуатации г. Щекино, Тульская область, 2013. – 29 с. (дата обращения: 29.12.2022).

частиц с целью получения дисперсных продуктов узкого зернового состава.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили в программном обеспечении MS Excel 2010¹¹. В нем подключали пакет «анализ данных». На основе алгоритмов, изложенных в источниках [9–12], писали программу для обработки исходных экспериментальных данных, выбора вида уравнения и значений его коэффициентов. Рассчитывали критерий Стьюдента для этих коэффициентов и его критериальное значение на основе полученных экспериментальных данных. При их сравнении делали вывод о значимости этих коэффициентов и возможности учитывать их в уравнении. Для доказательства существования линейной связи между функцией и аргументами уравнения рассчитали значения критериев Фишера и его критериальное значение, с учетом полученных экспериментальных данных. Ее наличие подтверждается выполнением условия: «значение критерия Фишера должно быть больше, чем его критериальное значение». Рассчитали силу линейной связи между функцией и аргументами уравнения по коэффициенту корреляции для рассматриваемого интервала. По его значению судили о наличии сильной и прямой связи. Определяли значимость коэффициента корреляции. Для этого рассчитали значение наблюдаемого коэффициента критерия Стьюдента и сравнивали его с рассчитанным ранее критериальным значением. Рассчитанное значение должно быть больше, чем его критериальное значение. При выполнении этого условия коэффициент корреляции считается значимым с вероятностью 95 %. Это говорило о том, что изменчивость функции на 95 % объясняется вариациями аргумента. Только 5 % приходится на другие факторы, не учтенные в данной модели. Рассчитали среднюю ошибку аппроксимации.

Если она ниже значения критерия, равного 7 %, то делали вывод о высоком качестве подгонки модели [9–12].

Результаты и обсуждение

Для решения первой задачи были проведены теоретические исследования в смежных областях знаний для определения возможности описания исследуемого процесса. В результате показано, что процесс удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на которое оно нанесено дискретно в виде мелких капель, наиболее близок к области текстильной промышленности. Однако он ранее не исследовался. Причиной этого явилось применение более простых способов. Например, обработка ткани в объеме жидкости ультразвуком или при ее кипячении, экстракции, механической стирке, покраске или какой-либо модификации¹² [13–15]. Для удаления большого объема жидкости из текстильного материала широкое распространение получили такие способы, как центрифугирование, сушка горячим воздухом. В некоторых технологических процессах для этого используются сверхвысокочастотное (СВЧ) или инфракрасное (ИК) излучения, вакуум¹³. Имеются сведения об использовании суспензии для очищения тканей [16]. Перечисленные способы значительно отличаются от исследуемого процесса удаления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, и законов, по которому он протекает.

Наиболее близким к нему является изучение пористости и распределения пор по размерам в текстильном материале. Для этого применяется простой способ. Ткань определенного размера подвешивают в цилиндре. Часть материала погружают в жидкость. По

¹¹ Statistics online. https://math.semester.ru/group/group_manual.php (дата обращения: 29.12.2022).

Econometrics online. https://math.semestr.ru/corel/corel_manual.php (дата обращения: 29.12.2022).

Использование MS Excel для анализа статистических данных: учеб. пособие. Барз ВР, Пегашкин ВФ; М-во образования и науки РФ; ФГАОУ ВПО «УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина», Нижнетагил. техн. ин-т (филиал). 2-е изд., перераб. и доп. Нижний Тагил: НТИ (филиал) УрФУ, 2014. 181 с. (дата обращения: 29.12.2022).

¹² Сидоров ОВ. Лабораторная установка для исследования ультразвуковых колебаний при обработке конструкционных материалов ультразвуком: теоретические основы метода, технология моделирования и конструирования комплектующих изделий установки, применение установки в лабораторном практикуме. Электронное учебное пособие. Ишим: Тюменский государственный университет, Ишимский педагогический институт им. П.П. Ершова (филиал); 2022. 93 с. EDN:LNKUZW.

¹³ Ларина ЛВ. Методология исследования и разработки процессов и оборудования для обработки натуральных кож гидротермическим воздействием на их микроструктуру в условиях вакуума. Дис. ... д-ра техн. наук. Шахты: Донской государственный технический университет. Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал); 2014. 315 с

Циркина ОГ. Теоретическое и экспериментальное обоснование повышения эффективности технологий отделки текстиля с использованием поля токов высокой частоты. Дис. ... д-ра техн. наук. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет; 2015. 418 с.

высоте подъема жидкости рассчитывают распределение пор по размерам в ткани [17, 18]. При этом отличиями от исследуемого процесса является использование большого количества жидкости, применение только текстильного материала и отсутствие в исследуемой системе порошка.

В геологии и почвоведении рассмотрены вопросы впитывания воды в различные виды почв и подъема грунтовых вод [19]. Перечисленные вопросы изучаются длительное время. Протекающие при этом процессы значительно отличаются от исследуемого процесса. Эти отличия определяются использованием большого объема жидкости и твердых пород. Последние содержат очень большой объем не только порошка, но и более крупных элементов породы. При этом в исследуемых системах текстильного материала нет. Твердые сорбенты применяют для ликвидации последствий техногенных чрезвычайных ситуаций. Ими засыпают разливы нефтепродуктов, аварийных химически-опасных веществ и др. [20]. Применение в системе большого количества жидкости, порошка и гранул, а также отсутствие текстильного материала являются отличительными особенностями от исследуемого нами процесса.

Известны методы определения смачиваемости порошков [21]. Они достаточно близки к исследуемому нами процессу. Однако для них характерны недостатки, указанные ранее.

В военной области порошки для дегазации обмундирования и средств индивидуальной защиты кожи фильтрующего типа (текстильных материалов) применяют уже несколько десятилетий [7, 8, 22–24]. В Российской Федерации и за рубежом на разных временных отрезках они входили в состав табельных дегазирующих пакетов. В Российской Федерации это дегазирующие пакеты ДПС, ДПС-1, ДПП, ДПП-М, ДПП-М1 [7, 8]. В США это индивидуальные дегазационные комплекты ABC M-13, M-291, M-295, M-2, комплект дегазации индивидуального имущества M-280, сорбционная система M-100. Во Франции это дегазационная рукавица F-1. В Великобритании это индивидуальные дегазационные комплекты № 1 Mark 1 и № 2 Mark 1. В Польше это дегазирующий комплект. В Канаде это дегазационная рукавица. Кроме того, имеются сведения о нетабельных дегазирующих пакетах, патентах на изобретение дегазирующих порошковых рецептур [7, 8, 25–28].

При разработке дегазирующих пакетов особое внимание уделяли процессу адсорбции и хемосорбции паров органических веществ с текстильных материалов [7, 8]. Процесс уда-

ления порошком жидкого органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, не попадал в поле зрения исследователей по ряду причин. Ранее дегазирующие порошковые рецептуры имели диаметр частиц около 100 мкм. При таких размерах частиц доля перехода жидкой фазы органического вещества из текстильного материала (ТМ) в порошок по сравнению с нанесенным количеством незначительна [29–31]. Локальные участки загрязнения на ткани от капель сильнодействующих ядовитых веществ или токсичных химикатов и после обработки порошками имеют небольшой размер. Чтобы их рассмотреть, необходимо использовать микроскоп (рисунок 1) [30].

В качестве текстильного материала использовался верхний слой общевоинского защитного комплекта фильтрующего (рисунок 1). На нем обозначен буквами «А» – текстильный материал (ТУ 8318-011-10725218-96), загрязненный каплей органического вещества, «Б» – локальный участок загрязнения, «В» – текстильный материал, загрязненный каплей органического вещества и обработанный порошком. На фотографиях видно, что на текстильный материал (1) нанесена капля органического вещества. В результате образовался локальный участок загрязнения. При этом межниточное пространство локального участка загрязнения не заполнено жидкостью (2). В области локального участка загрязнения межволоконные поры нити заполнены органической жидкостью (3).

В нашем эксперименте исследуемый образец от начала нанесения на него каплей выдерживали определенное время. Далее оно называется экспозицией загрязнения. Загрязненный образец обрабатывали порошком с необходимой нормой расхода [7, 8]. На фотографии видно (рисунок 1В), что микрочастицы прилипают к нитям (рисунок 1, «4»). Кроме того, на рисунке 1В видно, что некоторые микрочастицы впитали органическую жидкость из межволоконного пространства нитей на локальном участке загрязнения (рисунок 1, «5»).

Процесс удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала можно наблюдать под микроскопом. Однако его количественные характеристики определить этим методом затруднительно. В этой связи были проведены теоретические исследования, направленные на выявление закономерности протекания процесса удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала. Этот процесс

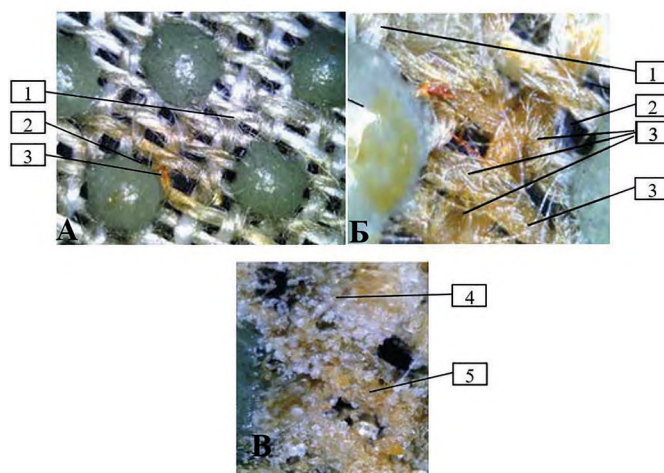


Рисунок 1 – Фотография текстильного материала (ТУ 8318-011-10725218-96), загрязненного каплей органического вещества и обработанного порошком алюмосиликатного катализатора (фотография автора)
(А – текстильный материал, загрязненный каплей органического вещества, увеличение в 20 раз, вид сверху; Б – локальный участок загрязнения, увеличение в 50 раз, вид сверху; В – текстильный материал, загрязненный каплей органического вещества и обработанный порошком, увеличение в 50 раз, вид сверху; 1 – текстильный материал; 2 – межниточное пространство локального участка загрязнения без органической жидкости; 3 – межволоконные поры нити заполнены жидкой фазой органического вещества; 4 – микрочастицы порошка прилипли к нитям; 5 – микрочастицы порошка впитали органическую жидкость из межниточного пространства локального участка загрязнения) (URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_36479176_46523721.pdf; дата обращения: 11.12.2022)

сложнее, чем течение жидкости в одном цилиндрическом капилляре. Он описывается законом Пуайзеля (уравнение (1)) [32].

$$\frac{dl}{dt} = \frac{\Delta P_k \cdot r_k^2}{8 \cdot \eta \cdot l_k} = \frac{\sigma \cdot r_k \cdot \cos Q}{4 \cdot \eta \cdot l_k} = K_{k0} \cdot \frac{r_k}{l_k}, \quad (1)$$

где: dl – изменение длины цилиндрического капилляра, в который впиталась жидкость за время dt ;

ΔP_k – капиллярное давление, действующее на жидкость в цилиндрическом капилляре;

r_k – радиус цилиндрического капилляра;

η – вязкость жидкости;

l_k – длина цилиндрического капилляра;

σ – поверхностное натяжение жидкости;

$\cos Q$ – косинус краевого угла смачивания твердой поверхности жидкостью;

K_{k0} – коэффициент, учитывающий свойство жидкости (σ , η), особенности ее взаимодействия с материалом цилиндрического капилляра ($\cos Q, 1/4$).

Проинтегрировав уравнение (1) от 0 до t получили уравнение (2):

$$l_k = \sqrt{2 \cdot K_{k0} \cdot t \cdot r_k}, \quad (2)$$

где: t – время впитывания жидкости в цилиндрический капилляр длиной l_k , с;

Используя выражение (2) можно рассчитать количество жидкости, впитавшееся в единственный капилляр за время t :

$$Q_{уд1} = V_{уд1} \cdot \rho = \pi \cdot r_k^2 \cdot \rho \cdot l_k = K_{k1} \cdot \rho \cdot \sqrt{t}, \quad (3)$$

где: $Q_{уд1}$ – количество удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком для 1 капилляра, мг/м²;

$V_{уд1}$ – объем удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком для 1 капилляра, мл;

ρ – плотность жидкости, мг/мл;

K_{k1} – коэффициент, учитывающий свойство жидкости (σ , η), особенности ее взаимодействия с материалом одного капилляра, который сформирован частицами порошка ($\cos Q, 1/4$).

Тогда для множества (n) капилляров справедливо уравнение (4):

$$Q_{удn} = V_{удn} \cdot \rho \cdot n = n \cdot \pi \cdot r_k^2 \cdot \rho \cdot \sqrt{2 \cdot K_{k0} \cdot t \cdot r_k} = K_{kn} \cdot \rho \cdot \sqrt{t}, \quad (4)$$

где: $Q_{удn}$ – количество удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком для множества (n) капилляров, мг/м²;

$V_{удn}$ – объем удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком для n капилляров, мл;

n – количество капилляров на 1 м^2 ткани;
 K_{kn} – коэффициент, учитывающий свойства жидкости (такие параметры, как σ , η) и особенности ее взаимодействия с твердым телом (такой параметр, как $\cos Q$).

Начальное количество жидкого органического вещества, нанесенного на ткань в виде капель, определяется по формуле (5):

$$Q_0 = V_0 * \rho, \quad (5)$$

где: Q_0 – количество нанесенного органического вещества на ткань в виде капель, $\text{мг}/\text{м}^2$;

V_0 – объем органического вещества, нанесенного на ткань в виде капель, мл .

Доля удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала ($Q_{удл}/Q_0$) определяется по формуле (6):

$$\frac{Q_{удл}}{Q_0} = \frac{K_{kn} * \rho * \sqrt{t}}{V_0 * \rho} = \frac{K_{kn} * \sqrt{t}}{V_0} = K_{knV_0} * \sqrt{t}, \quad (6)$$

где K_{knV_0} – коэффициент, учитывающий объем органического вещества, нанесенного на ткань в виде капель, свойства жидкости (такие параметры, как σ , η) и особенности ее взаимодействия с твердым телом (такой параметр, как $\cos Q$).

Анализ формулы (6) показывает, что доля удаленной порошком жидкой фазы органического вещества в текстильном материале ($Q_{удл}/Q_0$) определяется корнем квадратным от времени протекания процесса ($t^{1/2}$) и коэффициентом, учитывающим комплекс постоянных значений протекающего процесса (K_{knV_0}). Тогда доля оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в текстильном материале ($Q_{ост}/Q_0$) определяется по формуле (7):

$$\frac{Q_{ост}}{Q_0} = 1 - \frac{Q_{удл}}{Q_0} = 1 - K_{knV_0} * \sqrt{t}, \quad (7)$$

Анализ формулы (7) показывает, что доля оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в текстильном материале ($Q_{ост}/Q_0$) определяется корнем квадратным от времени протекания процесса ($t^{1/2}$) и коэффициентом, учитывающим комплекс постоянных значений протекающего процесса (K_{knV_0}).

Количественно процесс удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, используя результаты представленных теоретических исследований (формулы (6) и (7)), описать затруднительно. При этом экспериментального определения количественного показателя этого процесса ранее не существовало. В этой связи нами впервые был разработан способ

исследования процесса удаления жидкости из текстильных материалов порошком [33–35]. Он включал последовательное нанесение на текстильные материалы капель органических веществ и порошков. В эксперименте использовался материал (ТУ 8318-011-10725218-96). Массу образцов определяли на аналитических весах AND GH-202 с точностью до $0,00001 \text{ г}$. Далее на них наносили капли органической жидкости с заданной массой и плотностью загрязнения. В качестве модельной органической жидкости использовался малолетучий дибутилфталат, который соответствовал ГОСТ 8728-88. Для создания требуемой плотности загрязнения на ткань наносилось необходимое количество капель. Массу образцов определяли до ($m_{т.0}$) и после загрязнения ($m_{т.з}$). Количество нанесенной жидкой фазы на образец ($m_{жф.0}$) рассчитывали по уравнению (8) [34, 35]:

$$m_{жф.0} = m_{т.з} - m_{т.0}, \quad (8)$$

где $m_{жф.0}$ – масса нанесенного органического вещества на ткань в виде капель, мг ;

$m_{т.з}$ – масса ткани после загрязнения каплями органического вещества, мг ;

$m_{т.0}$ – масса ткани до загрязнения каплями органического вещества, мг .

В ходе эксперимента соблюдали заданную экспозицию загрязнения (время загрязнения $t_з$). Она менялась от 1 до 30 мин. Далее наносили порошок на загрязненную ткань. Его распределяли равномерно по всей поверхности образца. В качестве модельного порошка использовали алюмосиликатный катализатор (АСК), соответствующий ГОСТ 217713 [7, 8]. Выдерживали заданное в ходе эксперимента время, в течение которого происходило удаление жидкой фазы органического вещества из ткани. Оно менялось от 1 до 60 мин. Порошковую рецептуру удаляли с поверхности ткани путем резких встряхиваний и с применением щетки. Затем определяли массу образцов. Удаление порошка прекращали после того, как масса образца уже не менялась. Затем контролировали удаление порошка под микроскопом. Если частиц порошка не было видно на ткани под микроскопом, то фиксировали значение массы образца. Если порошок оставался на ткани, то процедуру его удаления с ткани и контроль под микроскопом повторяли требуемое количество раз. При механическом воздействии на исследуемые образцы возможно удаление нитей с ткани. Это нарушает условия эксперимента. Поэтому нами этот фактор был исключен [34, 36]. Массу удерживаемой (далее оставшейся)

жидкой фазы органического вещества в ткани после обработки ее порошком рассчитывали по уравнению (9) [30]:

$$m_{\text{жф.ост}} = m_{\text{т.з}} - m_{\text{т.ужфп}}, \quad (9)$$

где $m_{\text{жф.ост}}$ – масса оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в ткани после обработки ее порошком, мг;

$m_{\text{т.з}}$ – масса ткани после загрязнения каплями органического вещества, мг;

$m_{\text{т.ужфп}}$ – масса ткани, после удаления из нее жидкой фазы органического вещества порошком, мг.

Массу удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком ($m_{\text{жф.уд}}$) рассчитывали по уравнению (10) [7, 29, 35]:

$$m_{\text{жф.уд}} = m_{\text{жф.0}} - m_{\text{жф.ост}}, \quad (10)$$

где $m_{\text{жф.уд}}$ – масса удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком, мг;

$m_{\text{жф.ост}}$ – масса оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в ткани после обработки ее порошком, мг;

$m_{\text{жф.0}}$ – масса нанесенного органического вещества на ткань в виде капель, мг.

Далее было необходимо определить граничные условия, при которых протекает процесс, либо обосновать, что за их пределами его исследовать нецелесообразно. В рамках граничных условий, при которых протекает исследуемый процесс, необходимо было подобрать такие условия, которые бы позволили выявить закономерности его протекания с минимальными затратами и имеющимися техническими возможностями. Для этого провели исследования с применением описанного выше способа. Экспериментальные значения $m_{\text{жф.0}}$ (массу нанесенного органического вещества на ткань в виде капель в миллиграммах), $m_{\text{жф.ост}}$ (массу оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в ткани, после обработки ее порошком в миллиграммах), $m_{\text{жф.уд}}$ (массу удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком, миллиграмм) пересчитали на единицу площади поверхности ткани, а именно 1 м^2 . При этом получили соответствующие значения Q_0 (количество нанесенного органического вещества на ткань в виде капель, мг/м^2), $Q_{\text{ост}}$ (количество оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в ткани, после обработки ее порошком, мг/м^2), $Q_{\text{уд}}$ (количество уда-

ленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком, мг/м^2).

При исследовании процесса основным критерием его эффективности является такой показатель, как доля оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в текстильном материале ($Q_{\text{ост}}/Q_0$). Чем меньше показатель $Q_{\text{ост}}/Q_0$, тем лучшего эффекта можно добиться. На этот показатель влияет отношение среднего диаметра частиц порошка ($D_{\text{чс}}$) к среднему диаметру волокон ($D_{\text{вс}}$) ткани. Полученные результаты на примере порошковой рецептуры АСК представлены на рисунке 2.

Полученные экспериментальные данные, представленные на рисунке 2, обрабатывали в соответствии с алгоритмом, указанным в «Материалах и методах» [9–12]. Для этого экспериментальные данные вносились в написанную программу ЭВМ, с помощью которой проводили анализ данных, их статистическую обработку. На основе полученных результатов определяли вид уравнения, значений его коэффициентов, качество подгонки модели. На рисунке 2 видно, что значения имеют две периода. Каждый из них можно описать линейной моделью. В интервале от 0 до 1 $D_{\text{чс}}/D_{\text{вс}}$ она описывается уравнением $y=0,486 \times x$. В интервале от 1 до 6 $D_{\text{чс}}/D_{\text{вс}}$ модель вида $y=a+b \times x$ имеет значения коэффициентов a и b соответственно 0,446 и 0,103. Написанная программа ЭВМ дала высокое качество подгонки моделей.

Анализ данных, представленных на рисунке 2, позволяет сделать вывод о том, что доля оставшейся (удерживаемой) жидкой фазы органического вещества в текстильном

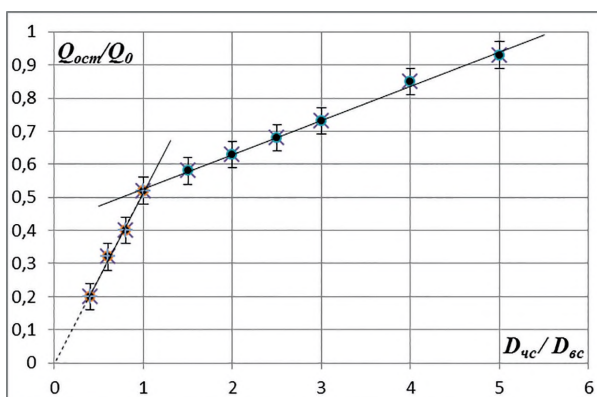


Рисунок 2 – Изменение доли оставшейся жидкой фазы органического вещества в текстильном материале после обработки порошком АСК от отношения среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон (экспозиция загрязнения 15 мин, время обработки порошком 15 мин) (данные автора)

материале ($Q_{\text{ост}}/Q_0$) после обработки порошком уменьшается линейно при переходе от более крупных частиц порошка до размеров волокон, применяемых в исследуемом текстильном материале. При отношении среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон, равном 1, наблюдается «перелом». Далее происходит линейное, но более быстрое уменьшение исследуемого показателя. При «переломе», наблюдаемом на рисунке 2, происходят изменения в механизме протекания исследуемого процесса. Оно объясняется изменением капиллярности порошка. Выявленный факт может быть объяснен разработанными моделями (схемами), представленными на рисунке 3.

На рисунке 3 представлена схема контакта частиц порошка с нитью, заполненной органической жидкостью и ее перераспределение в системе пор.

На нем видно, что для частиц (позиция 1) с диаметром 100 мкм (позиция А), 50 мкм (позиция Б), 20 мкм (позиция В) и 10 мкм (позиция Г) осуществляется контакт частицы с нитью (позиция 4). При этом осуществляется контакт частицы как с волокнами нити (позиция 5), так и с органической жидкостью в нити между волокнами (позиция 6). Далее происходит удаление органической жидкости из нити (позиция 6, 7) в поры частицы (позиция 2). Удаление жидкости из нити прекращается за счет заполнения ею объема пор частиц порошка или разрыва контакта между частицей порошка и жидкостью. Уменьшение диаметра частиц порошка обеспечивает более

полный контакт с органической жидкостью, находящейся в межволоконном пространстве нити. В результате из нити перетекает органической жидкости больше на частицы с меньшим диаметром, чем на частицы той же структуры, но большего диаметра.

На рисунке 3 видно, что при равных диаметрах волокон и частиц порошка на процесс удаления органической жидкости из нитей накладывается новый эффект. Это добавление объема пор, образуемого между частицами, к уже рассмотренному объему пор в самих частицах (позиция 3). Для повышения эффективности удаления органической жидкости из нитей необходимо уменьшить диаметр частиц.

Как показано на рисунке 3, для частиц с диаметром 10 мкм (позиция Г) может наблюдаться проникновение частиц в межволоконное пространство. Это приводит к более полному контакту частиц порошка с органической жидкостью в нити и ее удалению.

Полученные результаты (рисунок 2) позволяют определить границы протекания исследуемого процесса. При отношении диаметра частиц к диаметру волокон более 6 процесс исследовать не имеет смысла, так как органическая жидкость из ткани практически не удаляется (рисунки 2, 3).

При отношении диаметра частиц к диаметру волокон менее 1 процесс протекает интенсивно. Однако исследования в этой области не целесообразно. Причиной этому является возникающие технические трудности в получении требуемого количества порошка с задан-

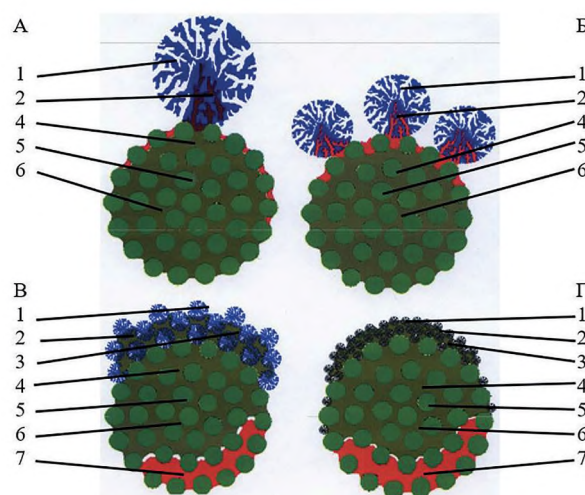


Рисунок 3 – Схема контакта частиц порошка с нитью, заполненной органической жидкостью и ее перераспределение в системе пор (схема автора). А – частица 100 мкм; Б – частицы 50 мкм; В – частицы 20 мкм; Г – частицы 10 мкм; 1 – пористая частица; 2 – в поры частицы впиталась органическая жидкость из нити; 3 – в поры между частицами впиталась органическая жидкость из нити; 4 – нить; 5 – волокна нити; 6 – органическая жидкость в нити между волокнами; 7 – объем органической жидкости между волокнами в поровом пространстве в нити, который удален порошком

ными значениями узкого диапазона диаметров частиц для всего комплекса исследований.

В этой связи определены условия, позволяющие выявить закономерности его протекания с минимальными затратами и имеющимися техническими возможностями. Они определяются соотношением среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон, которое равно 1. При таких условиях процесс протекает интенсивно. Такие условия достаточны для выявления закономерностей указанного процесса.

Далее проводили исследования по выявлению функции удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, на который оно нанесено дискретно в виде мелких капель, в зависимости от времени обработки. Полученные результаты представлены на рисунке 4.

Полученные экспериментальные данные, представленные на рисунке 4, обрабатывали в соответствии с алгоритмом, указанным в «Материалах и методах» [9–12]. Для этого экспериментальные данные вносились в написанную программу ЭВМ, с помощью которой проводили анализ данных, их статистическую обработку. На основе полученных результатов определяли вид уравнения, значений его коэффициентов, качество подгонки модели. На рисунке 4 видно, что значения имеют два периода. Каждый из них можно описать линейной моделью. В интервале от 0 до 40 $t_{\text{ОПР}}^{1/2}$ она описывается уравнением $y=0,014x$. В интервале от 40 до 60 $t_{\text{ОПР}}^{1/2}$ модель вида $y=a+b \times x$ имеет значения коэффициентов a и b соответственно

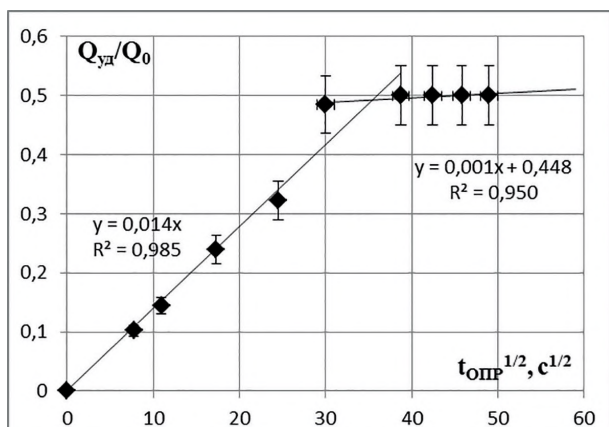


Рисунок 4 – Изменение доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени его обработки порошковой рецептурой АСК. Избыток рецептуры, соотношение среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон равно 1, экспозиция загрязнения 15 мин (данные автора)

0,448 и 0,001. Написанная программа ЭВМ дала высокое качество подгонки моделей.

Анализ данных, представленных на рисунке 4, позволяет сделать вывод о том, что доля удаленной жидкой фазы органического вещества в текстильном материале ($Q_{\text{уд}}/Q_0$) увеличивается при увеличении времени обработки порошком ($t_{\text{ОПР}}^{1/2}$). Эти значения в координатах $Q_{\text{уд}}/Q_0 - t_{\text{ОПР}}^{1/2}$ описываются прямыми. Это подтверждает адекватность использования уравнения, полученного в результате теоретических исследований (уравнение (11)).

$$\frac{Q_{\text{уд}}}{Q_0} = k_{\text{ОПР}} \sqrt{t_{\text{ОПР}}}, \quad (11)$$

$Q_{\text{уд}}$ – количество удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком;

Q_0 – количество жидкой фазы органического вещества нанесенной на ткань, мг/м²;

$t_{\text{ОПР}}$ – время обработки порошковой рецептурой исследуемой ткани, с;

$k_{\text{ОПР}}$ – константа скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающая время обработки порошковой рецептурой, с^{-1/2}.

Из уравнения (11) видно, что доля удаленной жидкой фазы органической жидкости из текстильного материала ($Q_{\text{уд}}/Q_0$) прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающей время обработки порошковой рецептурой ($k_{\text{ОПР}}$), и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой исследуемой ткани ($t_{\text{ОПР}}^{1/2}$).

Анализ данных, представленных на рисунке 4, позволяет разделить процесс удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала порошком на две стадии. На первой стадии скорость процесса удаления велика. Далее процесс практически останавливается. Полученные результаты определяются заполнением объема пор в частицах порошка и между ними (рисунок 3, позиции 2 и 3). Кроме того, при взаимодействии капли органического вещества с текстильным материалом происходит ее перераспределение в объеме нити в течение времени и уменьшение доли свободной жидкой фазы [30, 36]. Уменьшение доли свободной жидкой фазы будет существенно влиять на исследуемый процесс [7, 34].

В этой связи проведены исследования влияния времени загрязнения на процесс удаления жидкой фазы органических веществ из текстильного материала порошком. Исследования проводили по вышеуказанной методике. Полученные результаты представлены на рисунке 5.

Полученные экспериментальные данные, представленные на рисунке 5, обрабатывали

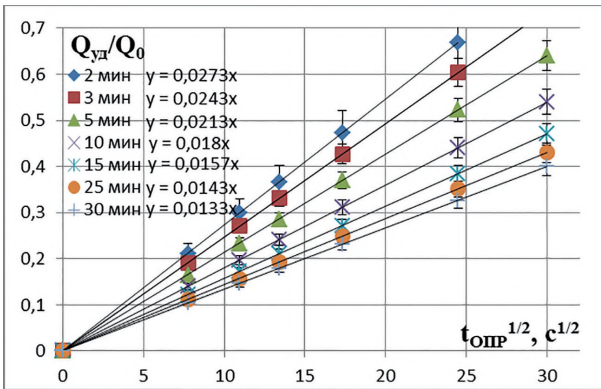


Рисунок 5 – Изменение доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой АСК для разного времени загрязнения. Соотношение среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон равно 1, масса капли 0,2 мг, время загрязнения: 2, 3, 5, 10, 15, 25, 30 мин (данные автора)

в соответствии с алгоритмом, указанным в «Материалах и методах» [9–12]. Для этого экспериментальные данные вносились в написанную программу ЭВМ, с помощью которой проводили анализ данных, их статистическую обработку.

На основе полученных результатов определяли вид уравнения, значений его коэффициентов, качество подгонки модели. На рисунке 5 представлены функции изменения доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой АСК для времени загрязнения 2, 3, 5, 10, 15, 25, 30 мин. Каждую из функций можно описать линейной моделью. В интервале от 0 до 30 $t_{\text{ОПР}}^{1/2}$ их можно описать уравнением $y = b \times x$. Значения коэффициентов $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ и b_7 равны соответственно 0,0273, 0,0247, 0,0213, 0,0180, 0,0157, 0,0143 и 0,0133 для времени загрязнения 2, 3, 5, 10, 15, 25, 30 мин. Написанная программа ЭВМ выдала высокое качество подгонки моделей.

Как видно из рисунка 5 получено семь прямых, тангенс наклона которых представляет собой $k_{\text{ОПР}}$ для каждой экспозиции (времени) загрязнения. На рисунке 5 видно, что эти величины уменьшаются при увеличении времени загрязнения. Полученные результаты подтверждают ранее проведенные исследования влияния этого показателя на полноту дегазации [7, 29]. Уменьшение доли удаляемой жидкой фазы при увеличении времени загрязнения определяется изменением состояния жидкости в материале. При увеличении времени загрязнения уменьшается доля свободной жидкой фазы органического вещества в нитях ткани. Это происходит за счет капиллярного

и пленочного течения жидкости. В результате этого уменьшается возможность удаления жидкости [30].

Полученные результаты обрабатывали и получили функции изменения константы скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающей время обработки порошковой рецептурой в зависимости от времени загрязнения. Полученные результаты представлены на рисунке 6.

Полученные экспериментальные данные, представленные на рисунке 6, обрабатывали в соответствии с алгоритмом, указанным в «Материалах и методах» [9–12]. Для этого экспериментальные данные вносились в написанную программу ЭВМ, с помощью которой проводили анализ данных, их статистическую обработку. На основе полученных результатов определяли вид уравнения, значений его коэффициентов, качество подгонки модели. На рисунке 6 видно, что значения описаны двумя функциями. Каждую из них можно описать линейной моделью. Одна описывается уравнением $y = a + b \times x$. Значения коэффициентов a и b равны соответственно 0,005 и 0,270. Написанная программа ЭВМ выдала высокое качество подгонки модели. Другая функция имеет вид $y = b \times x$. Коэффициент b равен 0,354. Написанная программа ЭВМ выдала хорошее качество подгонки модели.

Анализ данных, представленных на рисунке 6, позволил выявить изменения константы скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающий время обработки по-

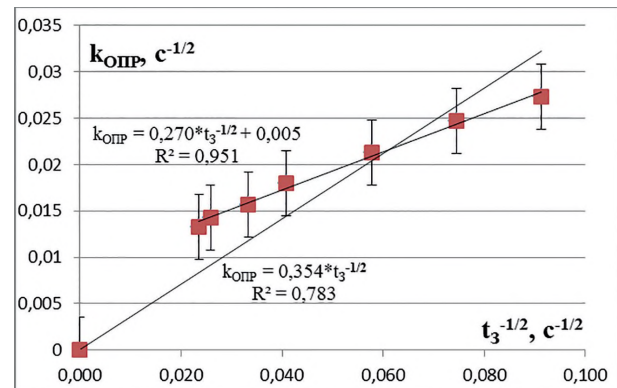


Рисунок 6 – Изменение константы скорости удаления порошком АСК жидкого органического вещества из текстильного материала в зависимости от экспозиции загрязнения. Соотношение среднего диаметра частиц порошка к среднему диаметру волокон равно 1, масса капли 0,2 мг (данные автора)

рошковой рецептурой исследуемой ткани от времени загрязнения. Она описывается уравнением (12) при высоком качестве подгонки модели.

$$k_{\text{ОПР}} = \frac{k_{3-\text{ОПР}}}{\sqrt{t_3}} + A = \frac{0,207}{\sqrt{t_3}} + 0,009, \quad (12)$$

где: $k_{\text{ОПР}}$ – константа скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающая время обработки порошковой рецептурой, $\text{с}^{-1/2}$;
 t_3 – экспозиция (время) загрязнения исследуемой ткани, с ;

$k_{3-\text{ОПР}}$ – константа скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающая время обработки порошковой рецептурой и экспозицию загрязнения, б/р ;

A – коэффициент, позволяющий повысить точность модели, $\text{с}^{-1/2}$.

Для модели с хорошим качеством подгонки модели уравнение примет вид:

$$k_{\text{ОПР}} = \frac{k_{3-\text{ОПР}}}{\sqrt{t_3}} = \frac{0,3536}{\sqrt{t_3}}, \quad (13)$$

Анализ представленных исследований показывает, что линейная модель вида $y=a+b \times x$ более точная. Однако она требует введения дополнительного коэффициента « A », который учитывает особенности взаимодействия в рассматриваемой системе. Его наличие усложняет дальнейшие расчеты в исследуемой области, требует дополнительных экспериментальных исследований для его определения. В этой связи можно использовать линейную модель вида $y=b \times x$ с хорошим качеством подгонки модели (уравнение (13)). Она менее точная по сравнению с ранее указанной моделью. Но ее удобно использовать в дальнейших исследованиях.

Из уравнения (13) следует, что константа скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающая время обработки порошковой рецептурой ($k_{\text{ОПР}}$), прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества из текстильного материала, учитывающей время обработки порошковой рецептурой и экспозицию загрязнения ($k_{3-\text{ОПР}}$), и обратно пропорциональна корню квадратному времени загрязнения ($t_3^{1/2}$).

Математические выражения изменения доли удаленной жидкой фазы органического вещества из структуры текстильного материала в зависимости от времени обработки порошком и экспозиции загрязнения представ-

лены в уравнении (14) для более точной модели и (15) для простой модели.

$$\frac{Q_{\text{уд}}}{Q_0} = \frac{k_{3-\text{ОПР}} \cdot \sqrt{t_{\text{ОПР}}}}{\sqrt{t_3}} + A \cdot \sqrt{t_{\text{ОПР}}}, \quad (14)$$

$$\frac{Q_{\text{уд}}}{Q_0} = \frac{k_{3-\text{ОПР}} \cdot \sqrt{t_{\text{ОПР}}}}{\sqrt{t_3}}, \quad (15)$$

На основе проведенных теоретических исследований и результатов экспериментальных данных указанного ранее процесса впервые обоснован «капиллярный закон удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком». При фиксированной экспозиции загрязнения и изменяемом времени обработки порошком он формулируется следующим образом. «Доля удаленной жидкой фазы органической вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей только время обработки порошковой рецептурой и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой» (формула (11)). При изменении экспозиции загрязнения и времени обработки порошком он формулируется следующим образом. «Доля удаленной жидкой фазы органической вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей время обработки порошковой рецептурой и экспозицию загрязнения, и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой, а также обратно пропорциональна корню квадратному времени загрязнения» (формула (15)). При этом «капиллярный закон удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком» имеет ограничения. Время загрязнения текстильных материалов каплями органической жидкости не должно превышать 30 мин. Время обработки загрязненных текстильных материалов порошком не должно превышать 60 мин. Диаметр частиц порошка не должен превышать диаметр волокон в 6 раз. При выходе за границы указанных параметров исследуемый процесс практически останавливается.

Выводы

1. Впервые разработан способ, позволяющий экспериментально определить количество удаленного жидкого органического вещества из текстильного материала порошком. Он включает загрязнение текстильного материала каплями органических веществ, обработку его порошком, удаление порошка с впитавшейся в него жидкостью из ткани. При выполнении

всех операций определяли массу образцов на аналитических весах с точностью до 0,01 мг. Количество нанесенной жидкой фазы на образец рассчитывали по разнице масс ткани до и после ее загрязнения каплями органических веществ. Далее обрабатывали порошком загрязненную ткань заданное в ходе эксперимента время. В течение этого времени жидкость из текстильного материала впитывалась в порошок. Затем порошковую рецептуру удаляли с ткани. Массу удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани порошком рассчитывали как разницу масс образца ткани перед обработкой его порошком и после его удаления с текстильного материала вместе с впитавшейся в нее жидкостью. Экспериментальное изучение процесса проводили при соотношении среднего диаметра частиц порошка, равного среднему диаметру волокон ткани. Это значение составило около 20 мкм. При таких условиях процесс протекает интенсивно. Имеющиеся технические возможности позволяли определять разницу в массах образцов при проведении исследований с применением разработанного способа. Полученные значения явились исходными данными для расчета доли удаленной жидкой фазы органического вещества из ткани после обработки ее порошком. На основе проведенного теоретического исследования и статистической обработки экспериментальных данных обоснована взаимосвязь доли удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой и времени загрязнения. Время загрязнения ткани – это время от нанесения капель на ткань до нанесения порошка. Оно определяет особенности перераспределения жидкости в текстильном материале во времени. Время обработки загрязненной ткани порошком – это время нахождения порошка на ткани от его нанесения порошка на ткань, загрязненной каплями органического вещества, до удаления порошка с впитавшейся в него жидкостью.

2. На основе проведенных теоретических исследований и полученных экспериментальных данных впервые обоснован «Капиллярный закон удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком». При фиксированной экспозиции загрязнения и изменяемом времени обработки порошком он формулируется следующим образом. «Доля удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей только время

обработки порошковой рецептурой, и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой» (уравнение (11)). При изменении экспозиции загрязнения и времени обработки порошком он формулируется следующим образом. «Доля удаленной жидкой фазы органического вещества из текстильного материала прямо пропорциональна константе скорости удаления порошком жидкой фазы органического вещества, учитывающей время обработки порошковой рецептурой и экспозицию загрязнения, и корню квадратному времени обработки порошковой рецептурой, а также обратно пропорциональна корню квадратному времени загрязнения» (уравнение (15)). При этом «капиллярный закон удаления жидкого органического вещества из текстильного материала порошком» имеет ограничения. Время загрязнения текстильных материалов каплями органической жидкости не должно превышать 30 мин. Время обработки загрязненных текстильных материалов порошком не должно превышать 60 мин. Диаметр частиц порошка не должен превышать диаметр волокон в 6 раз. При выходе за границы указанных параметров исследуемый процесс практически останавливается.

3. Полученные результаты позволяют обосновать требования к константам скорости удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала порошковых рецептур для обеспечения требуемой полноты дегазации боевой экипировки военнослужащих, загрязненных токсичными химическими веществами. Кроме того, полученные результаты позволяют обосновать требования к свойствам порошковых рецептур. При определении соответствия порошка требуемым параметрам необходимо на основе экспериментальных данных и уравнений (11) или (15) рассчитать константы скорости удаления жидкой фазы органического вещества из текстильного материала от времени обработки порошковой рецептурой для разного времени загрязнения и сравнить их с требуемыми значениями. Если константа скорости соответствует требованиям, то порошковая рецептура будет удалять требуемое количество органического вещества из текстильного материала, тем самым обеспечивая требуемую полноту дегазации боевой экипировки военнослужащих, которая загрязнена токсичными химическими веществами.

4. Полученные результаты планируется применить при разработке новых дегазирующих порошковых рецептур. Это позволит не только значительно повысить их дегазирующую мощность по отношению к токсичным

органическим жидкостям, определенным нормативными документами, но и расширить перечень этих жидкостей, по сравнению с табель-

ными рецептурами. Разработанные рецептуры планируется применять из новых дегазирующих порошковых пакетов.

Список источников/References

1. Новиков АМ, Новиков ДА. *Методология*. М.: Синтег; 2007. 668 с.
Novikov AM, Novikov DA. *Methodology*. M.: Sinteg; 2007. 668 p.
ISBN 978-5-89638-100-6. EDN:pfgvjn (in Russian).
2. Новиков АМ, Новиков ДА. *Методология научного исследования*. М.: Librokom; 2013. 270 с.
Novikov AM, Novikov DA. *Methodology of scientific research*. M.: Librokom, 2013. 270 p.
ISBN 978-5-397-03714-3. EDN:xqhhqw (in Russian).
3. Новиков АМ, Новиков ДА. *Методология: словарь системы основных понятий*. М.: Librokom; 2013. 208 с.
Novikov AM, Novikov DA. *Methodology: Dictionary of the system of basic concepts*. M.: Librokom; 2013. 208 p.
ISBN 978-5-397-03756-3. EDN:ztgkbd (in Russian).
4. Новиков ДА. Законы, закономерности и принципы управления. *Инновации в менеджменте*. 2016;1(7):44–53.
Novikov DA. *Laws, laws and principles of management. Innovations in Management*. 2016;1(7):44–53 (in Russian).
5. Дьяченко АН, Шагалов ВВ. *Химическая кинетика гетерогенных процессов: учебное пособие*. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2014. 99 с.
Dyachenko AN, Shagalov VV. *Chemical kinetics of heterogeneous processes: tutorial*. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University, 2014. 99 p.
EDN:vwwqnz (in Russian).
6. Степановских ЕИ, Алексеева ТА, Брусницына ЛА. *Определение свойств гетерогенных и гомогенных систем*. Екатеринбург: Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2022. 143 с.
Stepanovskikh EI, Alekseeva TA, Brusnitsyna LA. *Determination of the properties of heterogeneous and homogeneous systems*. Yekaterinburg: Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 2022. 143 p.
ISBN 978-5-7996-3420-9. EDN:gbexfn (in Russian).
7. Колесников ПН, Хантов ВП, Мигачев ЮС, Соснин НИ. Полидисперсная порошковая рецептура с наночастицами для дегазации текстильных материалов. *Наука и военная безопасность*. 2016;4(7):101–4.
Kolesnikov PN, Khantov VP, Migachev YuS, Sosnin NI. *Polydisperse powder formulation with nanoparticles for degassing of textile materials*. *Science and military security*. 2016; (7):101–4.
EDN:xxbglz (in Russian).
8. Карпов ВП, Казимиров ОВ, Капканец КС. Научно-технический анализ основных направлений исследований при создании новых образцов технических средств и рецептур специальной обработки. *Вестник войск РХБ защиты*. 2017;1(1):42–52.
Karpov VP, Kazimirov OV, Kapkanets KS. *Scientific and Technical Analysis of the Main Trends in Research during the Development of New Decontaminants and Decontaminating Equipment*. *Journal of NBC Protection Corps*. 2017;1(1): 42–52.
EDN:yoiibv (in Russian).
9. Мхитарян ВС, Шишов ВФ, Козлов АЮ. *Анализ данных в MS EXEL. Учебное пособие*. Москва: ИНФРА-М; 2021. 320 с.
Mkhitaryan VS, Shishov VF, Kozlov AYU. *Analysis of data in MS EXEL. Textbook*. Moscow: INFRA-M; 2021. 320 p.
<https://doi.org/10.12737/2842>. ISBN 978-5-16-004579-5 (in Russian).
10. Гатедюк ОВ, Манюкова НВ. *Практикум по теории вероятностей и математической статистике. Учебное пособие*. Санкт-Петербург: Издательство «Лань»; 2022. 132 с.
Gatedyuk OV, Manyukova NV. *Workshop on probability theory and mathematical statistics. textbook*. St. Petersburg: Publishing House «Lan»; 2022. 132 p.
ISBN 978-5-8114-9842-0 (in Russian).
11. Мунтян ЕР, Балабаева ИЮ, Ельчанова НБ. *Лабораторный практикум по курсу основы информационно-коммуникационных технологий: учебно-методическое пособие*. Ростов-на-Дону Таганрог: Издательство Южный федеральный университет (Ростов-на-Дону); 2022. 180 с.

Muntyan ER, Balabaeva IYu, Yelchanova NB. *Laboratory workshop on the course on the basis of information and communication technologies: educational and methodological manual*. Rostov-on-Don Taganrog: Publishing house Southern Federal University (Rostov-on-Don); 2022. 180 p. (in Russian).

12. Гмурман ВЕ. *Теория вероятностей и математическая статистика: учебник для среднего профессионального образования*. 12-е изд. Москва: Издательство Юрайт, 2020. 479 с.

Gmurman VE. *Probability theory and mathematical statistics: a textbook for secondary vocational education*. 12th ed. Moscow: Yurite Publishiftg House; 2020. 479 p.

ISBN 978-5 534-00859-3 (in Russian).

13. Кошелева МК, Голых РН, Новикова ТА. Экспериментальное исследование кинетики процесса сушки тканей с использованием ультразвукового поля для энергосбережения. *Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Повышение энергоресурсоэффективности и экологической безопасности процессов и аппаратов химической и смежных отраслей промышленности», посвященного 110-летию А.Н. Плановского (ISTS «EESTE-2021»): Т. 2. М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина»; 2021. С. 46–9.*

Kosheleva MK, Golykh RN, Novikova TA. Experimental study of kinetics of tissue drying process using ultrasonic field for energy saving. *Collection of scientific works of the International Scientific and Technical Symposium «Improving Energy Efficiency and Environmental Safety of Processes and Apparatuses of Chemical and Related Industries», dedicated to the 110th anniversary of A.N. Planovsky (ISTS «EESTE-2021»): V. 2. М.: FSBEI HE «RSU named after A.N. Kosygin»; 2021. P. 46–9.*

ISBN 978-5-00181-166-4 (in Russian).

14. Желтов АЯ, Перевалов ВП. *Химия и технология органических красителей. Цветность соединений. Учеб. пособие для бакалавриата и магистратуры*. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт; 2017. 347 с.

Zheltoy AY, Perevalov VP. *Chemistry and organic dye technology. Color of compounds. Textbook for bachelor's and master's degree 2nd ed., Rev. and additional*. М.: Publishing House Yuryt; 2017. 347 p.

ISBN 978-5-534-05067-7 (in Russian).

15. Пейсахович АА, Павутницкий ВВ. Парофазный способ крашения синтетических швейных ниток и пряжи. *Текстильная промышленность*. 2010;(4):34–6.

Peisakhovich AA, Pavutnitsky VV. Vapor-phase method of dyeing synthetic sewing threads and yarns. *Textile industry magazine*. 2010;(4):34–6. EDN:mvsxzx (in Russian).

16. Mcgarvey DJ, Creasy WR, Morrissey KM, Hendrickson DM, Durst HD. A Decontamination system for chemical weapons agents using a liquid solution on a solid sorbent Israel Institute for Biological Research, PO Box 19, Ness-Ziona, Israel R and T Directorate, Edgewood Chemical and Biological Center (ECBC), Aberdeen Proving Ground-Edgewood Area, United States SAIC, Gunpowder Branch, P.O. Box 68, Aberdeen Proving Ground, MD 21010, United States, 2009. P. 1114–21.

<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.083>

17. Волков ВА, Агеев АА. Кинетический метод определения капиллярных свойств текстильных материалов. *Sciences of Europe*. 2016;(6-2(6)):15–9.

Volkov VA, Ageev AA. Kinetic method for determining the capillary properties of textile materials. *Sciences of Europe*. 2016;(6-2(6)):15–9.

EDN:xljpgf (in Russian).

18. Шустов ЮС, Кирюхин СМ, Давыдов АФ, Буланов ЯИ, Горшкова СС. *Текстильное материаловедение. Лабораторный практикум*. Изд. 4-е, испр. и доп.: Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2021. 357 с.

Shustov YuS, Kiryukhin SM, Davydov AF, Bulanov YaI, Gorshkova SS. *Textile material science. Laboratory workshop*. Ed. 4th, revised and additional: Limited Liability Company «Scientific and Publishing Center INFRA-M», 2021. 357 p. ISBN 978-5-16-016514-1.

<https://doi.org/10.12737/1172012>. EDN:ggtmnc (in Russian).

19. Петрова ЛВ, Хуснутдинова РР, Бабицкая КИ. *Физические основы подземной гидромеханики. Учебное пособие*. Уфа: Изд-во УГНТУ; 2021. 123 с.

Petrova LV, Khusnutdinova RR, Babitskaya KI. *Physical basics of underground hydromechanics. Tutorial*. Ufa: Publishing House of UGNTU; 2021. 123 p. (in Russian).

20. Зайцев АН, Исмаилов ШН. Технологии ведения работ по локализации и ликвидации источников химического заражения при авариях с выбросами аварийно химически опасных веществ в чрезвычайных ситуациях различного типа. *Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций*. 2015;(1-1(4)):220–4.

Zaitsev AN, Ismailov ShN. Technologies for the localization and elimination of sources of chemical contamination in accidents with releases of emergency chemically hazardous substances in emergencies of various types. *Safety problems in emergency response*. 2015;(1-1(4)):220–4.

EDN:vlcrun (in Russian).

21. Кривонос ОК, Ильющенко АФ, Петюшик ЕЕ, Бородейко АИ, Микулич ДА. Способы измерения смачиваемости поверхности частиц твердофазных компонентов энергонасыщенного гетерогенного композиционного материала. Новые материалы и технологии: порошковая металлургия, композиционные материалы, защитные покрытия, сварка. *Материалы 14-й Международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию порошковой металлургии Беларуси, Минск, 09–11 сентября 2020 года*. Минск: Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Белорусская наука»; 2020. С. 369–73.

Krivosnos OK, Ilyushchenko AF, Petyushik EE, Borodeyko AI, Mikulich DA. Methods of measuring the wettability of the surface of particles of solid-phase components of energy-saturated heterogeneous composite material. New materials and technologies: powder metallurgy, composites, protective coatings, welding. *Materials of the 14th International Scientific and Technical Conference dedicated to the 60th anniversary of powder metallurgy in Belarus, Minsk, September 09–11, 2020*. Minsk: Republican unitary enterprise «Publishing House «Belarusian Science»; 2020. P. 369–73.

EDN:ZSMOSS. ISBN 978-985-08-2628-2. (in Russian).

22. Маркитанова ЛИ. Защита населения в случае химического заражения. Учебно-методическое пособие. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики; 2015. 33 с.

Markitanova LI. *Protection of the population in case of chemical infection. Educational and methodological manual*. St. Petersburg: St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics; 2015. 33 p.

EDN:zuymdf (in Russian).

23. Антонов НС. Специальная обработка в Сухопутных войсках США. *Зарубежное военное обозрение*. 1990;(5):21–7.

Antonov NS. Special treatment in the US Ground Forces. *Foreign Military Review*. 1990;(5):21–7 (in Russian).

24. Fitch JP, Raber E, Imbro DR. Technology challenges in responding to biological or chemical attacks in the civilian sector. *Science*. 2003;302(5649):1350–4.

25. Tomas C, Krykorkova J. *Study of Decomposition of Chemical Warfare Agents using Solid Decontamination Substances*. Ministry of Interior–General Directorate of the Fire Rescue Service CR, Population Protection Institute, Czech Republic. *Toxics*. 2019;7(4):63.

<https://doi.org/10.3390/toxics7040063>

26. Половинкина ОН, Кириллова НВ, Михайленко ВС. Специальная обработка на современном этапе развития. *Вестник МАНЭБ*. 2023;28(2):44–9.

Polovinkina ON, Kirillov NV, Mikhailenko VS. Special processing at the modern stage of development. *Bulletin of MANEB*. 2023;28(2):44–9.

EDN:lvzabc (in Russian).

27. Tuorinsky SD, Lenhart MK. *Medical aspects of Chemical Warfare*. Washington: Walter Reed Army Medical Center; 2008. 843 p.

ISBN 978-0-16-081532-4.

28. Тимошевский АА, Сапожников АВ. Военная токсикология, радиология и медицинская защита. Материалы для самоподготовки к занятиям на учебном сборе по дисциплине. М.: Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова Министерства здравоохранения Российской Федерации (Сеченовский Университет); 2018. 89 с.

Timoshevsky AA, Sapozhnikov AV. *Military toxicology, radiology and medical protection. Materials for self-preparation for classes at the training camp in the discipline*. Moscow: First Sechenov Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation (Sechenov University); 2018. 89 p.

EDN:izgmvs (in Russian).

29. Колесников ПН, Бакин АН, Иванов АН, Синькелев АП, Болотов АМ. Полидисперсная порошковая рецептура с наночастицами для дегазации текстильных материалов. Пат. 2585028 РФ. Заявитель и патентообладатель ВАРХБЗ. заяв. № 2014150268/05 от 11.12.2014; опубл. 27.05.2016, Бюл. № 15.

Kolesnikov PN, Bakin AN, Ivanov AN, Sinkelev AP, Bolotov AM. *Polydisperse powder formulation with nanoparticles for degassing of textile materials*. Pat. 2585028 Russian Federation. Applicant and patent holder VARHBZ. dec. No. 2014150268/05 12/11/2014; publ. May 27, 2016, Bull. No. 15.

EDN:wawclz (in Russian).

30. Колесников ПН, Хантов ВП. Разработка порошковой рецептуры для эффективного удаления токсических химикатов из текстильного материала. *Вестник войск РХБ защиты*. 2017;1(4):41–9.

Kolesnikov PN, Khantov VP. Development of a powder formulation for the effective removal of toxic chemicals from textile material. *Journal of NBC Protection Corps*. 2017;1(4):41–9.

EDN:yoqcfv (in Russian).

31. Колесников ПН, Киселев АМ. Организационные вопросы по применению нанопорошков для снижения зараженности материалов одежды и специальных средств защиты, зараженных жидкими сильно-

действующими ядовитыми веществами в результате аварии на химически-опасном объекте. *ГосРег: государственное регулирование общественных отношений*. 2015;(1(11)):20.

Kolesnikov PN, Kiselev AM. Organizational issues on the use of nanopowders to reduce the contamination of clothing materials and special protective equipment contaminated with liquid potent poisonous substances as a result of an accident at a chemically hazardous facility. *State Reg: State Regulation of Public Relations*. 2015;(1(11)):20. EDN:udllhr (in Russian).

32. Чефранов СГ. Энергетически оптимальные нестационарные режимы течения вязкой несжимаемой жидкости. *Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа*. 2017;(2):36–49.

Chefranov SG. Energetically optimal non-stationary flow modes of viscous incompressible fluid. *Izvestia of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics*. 2017;(2):36–49. <https://doi.org/10.7868/S0568528117020074>. EDN:ykulut (in Russian).

33. Колесников ПН, Хантов ВП, Мигачев ЮС, Гладин РА. Изучение удаления порошковыми рецептурами имитатора токсичного химиката О-изобутил-S-2-(N,N-диэтиламино)-этилметилфосфоната с поверхности текстильных материалов. *Наука и военная безопасность*. 2017;(3(10)):72–7.

Kolesnikov PN, Khantov VP, Migachev YuS, Gladin RA. Study of the removal of the toxic chemical simulant O-isobutyl-S-2-(N,N-diethylamino)-ethylmethylphosphonate from the surface of textile materials by powder formulations. *Science and military security*. 2017;(3(10)):72–7. EDN:ziavxh (in Russian).

34. Колесников ПН, Бакин АН, Иванов АН, Синькелев АП, Болотов АМ. Имитатор О-изобутил-S-2-(N,N-диэтиламино) этилметилфосфоната для изучения удаления его каплей из текстильных материалов порошковыми рецептурами. Пат. 2585027 РФ. Заявитель и патентообладатель ВАРХБЗ. Заяв. № 2014150267/05 от 11.12.2014; опублик. 27.05.2016, Бюл. № 15.

Kolesnikov PN, Bakin AN, Ivanov AN, Sinkelev AP, Bolotov AM. Applicant and patent holder MA NBC Protection. Pat. 2585027 Russian Federation. Applicant and patent holder VARHBZ. dec. No. 2014150267/05 12/11/2014; publ. May 27, 2016, Bull. No. 15. EDN:qasyyh (in Russian).

35. Колесников ПН, Киселев АМ. Имитатор заражения текстильных материалов О-изобутил-S-2-(N,N-диэтиламино) этилметилфосфонатом и его удаления порошковыми рецептурами. *Вестник Технологического университета*. 2016;19(3):82–5.

Kolesnikov PN, Kiselev AM. Simulator of infection of textile materials with O-isobutyl-S-2-(N,N-diethylamino) ethylmethylphosphonate and its removal by powder formulations. *Bulletin of the Technological University*. 2016;19(3):82–5. EDN:vntyxj (in Russian).

36. Колесников ПН, Иванов АН. Применение нанопорошков для снижения опасности текстильных материалов одежды и специальных средств защиты, зараженных жидкими сильнодействующими ядовитыми веществами в результате аварии на химически-опасном объекте. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2015;(5(358)):211–4.

Kolesnikov PN, Ivanov AN. The use of nanopowders to reduce the risk of textile materials of clothing and special protective equipment contaminated with liquid potent poisonous substances as a result of an accident at a chemically hazardous facility. *News of higher educational institutions. Technology of the textile industry*. 2015;(5(358)):211–4. EDN:vaykiv (in Russian).

Вклад авторов / Authors Contribution

Автор подтверждает соответствие своего авторства критериям ICMJE. Разработка концепции статьи; сбор, анализ и систематизация научной литературы; написание статьи / The author confirms that he meets the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for authorship. Elaboration of the concept of the paper; collection, analysis, and systematization of scientific literature; writing and edition of the article.

Информация о конфликте интересов / Conflict of interest statement

Автор заявляет, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов / The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest

Сведения о рецензировании / Peer review information

Статья прошла двустороннее анонимное «слепое» рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе / The article has been double-blind peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

Финансирование / Funding

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко» Министерства обороны Российской Федерации / The Federal State Official Military Educational Establishment of Higher Education «Military Academy of Radiological, Chemical and Biological Defence named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko».

Об авторе / Author

Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия радиационной, химической и биологической защиты имени Маршала Советского Союза С.К. Тимошенко» Министерства обороны Российской Федерации, 156015, Российская Федерация, г. Кострома, ул. Горького, д. 16.

Колесников Павел Николаевич. Старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории оценки физиологически-активных веществ. Канд. хим. наук, ст. науч. сотр.

Контактная информация автора: Колесников Павел Николаевич; varhbbz@mil.ru

The Federal State Official Military Educational Establishment of Higher Education «Military Academy of Radiological, Chemical and Biological Defence named after Marshal of the Soviet Union S.K. Timoshenko», Gorky Street 16, Kostroma 156013, Russian Federation.

Pavel N. Kolesnikov. Senior researcher at the scientific research laboratory for the assessment of physiologically active substances. Cand. Sci. (Chem.).

Contact information for author: Pavel N. Kolesnikov; varhbbz@mil.ru