

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОГНЕЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

EVALUATING METHOD ANALYSIS OF FIRE-RESISTANT PROPERTIES OF TEXTILE MATERIALS

В.Г. СПИРИДОНОВА, О.Г. ЦИРКИНА

V.G. SPIRIDONOVA, O.G. TSIRKINA

(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России)

(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for
Civil Defense,

Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters)

E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru; ogt sirkina@mail.ru

Представленная работа посвящена анализу имеющихся стандартных методик и современных методов исследования пожароопасных свойств текстильных материалов различной природы, структуры и назначения. Охарактеризованы имеющиеся нормативные документы и оцениваемые в рамках их применения параметры, отмечен формат регистрируемых результатов. Показано, что применение дополнительных современных методов оценки пожарной опасности огнезащитных текстильных материалов позволяет получить набор характеристик в величинах, которые можно сравнить между собой, и выбрать наиболее эффективный огнезащитный состав.

The presented work is devoted to the analysis of the available standard techniques and modern methods of studying the fire hazardous properties of textile materials of various nature, structure and purpose. The existing normative documents and the parameters assessed within the framework of their application are characterized, the format of the registered results is noted. It is shown that the development of the regulatory framework in this direction was progressive. The first documents were adopted in the United States and a number of European countries. It is indicated that at present, the normative legal acts of the Russian Federation fix the indicators on the basis of which the classification of tissues is made - the flammability and the ability of flame propagation over the surface, and a list of normative documents with methods for studying these parameters. It is noted that the format of the recorded results does not allow for a comparison procedure and choosing the most fire-safe material. It is shown that the mentioned methods allow obtaining additional data on the fire-hazardous properties of textile materials, which can be compared with each other. It is considered that the majority of textile materials used in everyday life and industry are combustible, and they are subject to requirements for applying fire-resistant treatment. At the same time, the current regulatory documents either do not take into account the presence of fire protection, or assume special conditions only when preparing samples for testing. Among the national and interstate standards presented in the work, a document developed exclusively for fabrics with fire-resistant impregnation is highlighted. However, this standard allows testing only for cotton fabrics with phosphoric acid-based flame retardants. The normative documents de-

signed to assess the fire-hazardous properties of textile materials for special protective clothing, including firefighter combat clothing, are analyzed. It is highlighted that these documents suggest conducting tests for fire-resistant fabrics to obtain numerical indicators of the parameters being determined. This approach allows you to conduct a comparative analysis of the data obtained and choose a fire-resistant material in accordance with the requirements. The possibility of using modern research methods to determine the fire hazard indicators of textile materials and products made from them is noted. The parameters obtained as a result of the application of the developed express methods are indicated - the burnability of the sample, smoldering, visual changes when exposed to high temperature, resistance to flame propagation. The use of thermal studies is proposed to measure the dependence of the mass of a solid sample on the temperature of the medium in which it is placed, and the oxygen index characterizing the minimum oxygen content at which a flaming burning of a textile material is possible. It is shown that the use of additional modern methods for assessing the fire hazard of fire-resistant textile materials allows us to obtain a set of characteristics in quantities that can be compared with each other, and choose the most effective fire-resistant composition.

Ключевые слова: пожарная опасность, воспламеняемость, текстильный материал, термический анализ, огнестойкость, кислородный индекс, экспресс-методики, специальная одежда.

Keywords: fire hazard, flammability, textile material, thermal analysis, fire resistance, oxygen index, express methods, special clothing.

При определении возможности применения текстильного материала в какой-либо отрасли промышленности учитываются различные показатели – состав, прочность, гигиенические свойства, вид отделки. Вместе с тем, при использовании тканей и изделий из них на пожароопасных и взрывопожароопасных объектах, где возможно образование раскаленных искр, воздействие теплового потока и высоких температур, в качестве одного из основных критериев оценивается пожарная опасность материала.

Системный подход к вопросу оценки пожарной опасности текстильных материалов давно присутствует в США и ряде европейских стран. В 1954 г. в США были впервые опубликованы законодательные предписания по обращению с горючими текстильными материалами. Аналогичные документы были разработаны в Великобритании, Швейцарии и Германии. В 1977 г. подобные нормативные документы появились в таких странах, как Австралия, Австрия, Ирландия, Канада, Франция, Швеция, ЮАР и Япония [1].

В соответствии с приведенной в настоящее время в нормативных правовых актах Российской Федерации классификацией пожароопасные свойства текстильных материалов характеризуются воспламеняемостью и способностью к распространению пламени [2]. Для определения указанных показателей утвержден Перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований и измерений [3]. Методики проведения испытаний подразделяются в зависимости от назначения тканей и области их применения. При этом существует ряд национальных и межгосударственных стандартов, в которых приводятся методы и способы испытаний, позволяющие получить дополнительные данные, – огнестойкость, температуропроводность, устойчивость к мокрой обработке, разрывные характеристики.

В процессе оценки пожароопасных свойств ткани учитывается не только сфера применения готового изделия, но и вид отделки. В целях обеспечения пожарной безопасности огнезащитной обработке подлежат: декоративные драпировки, обивка ме-

бели и сидений общественного транспорта, гардины, занавеси, обои, ковровые покрытия, специальная защитная одежда, технические ткани и нетканые материалы (изолирующие, кошмы, тенты, брезент) [4]. Вме-

сте с тем, применяемые к данным материалам и изделиям методики проведения испытаний и оценки полученных результатов не всегда учитывают наличие огнезащитных составов (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Нормативный документ	Определяемый параметр	Вид текстильного материала	Учет наличия огнезащиты	Общий вид получаемых результатов
Декоративные, бельевые и обивочные текстильные материалы				
ГОСТ Р 50810-95 "Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Методы испытания на воспламеняемость и классификация"	воспламеняемость	горючие декоративные текстильные материалы	+	легковоспламеняемый трудновоспламеняемый
ГОСТ 32088-2013 "Материалы текстильные. Покрытия и изделия ковровые напольные. Воспламеняемость. Метод определения и классификация"	воспламеняемость	текстильные ковровые изделия и покрытия	-	легковоспламеняемый трудновоспламеняемый
ГОСТ Р 53294-2009 "Материалы текстильные. Постельные принадлежности. Мягкие элементы мебели. Шторы. Занавеси. Методы испытаний на воспламеняемость"	воспламеняемость	постельные принадлежности, шторы, занавеси, элементы мягкой мебели	+	легковоспламеняемый трудновоспламеняемый
ГОСТ 12.1.044-89 "ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения"	способность распространения пламени по поверхности	твердые вещества и материалы	+	не распространяющий пламя, медленно распространяющий пламя, быстро распространяющий пламя по поверхности
ГОСТ 15898-70 "Ткани льняные и полульняные. Метод определения огнестойкости"	огнестойкость	льняные и полульняные ткани огнезащитной обработкой	+	продолжительность остаточного горения и тления, с
ГОСТ Р ИСО 6940-2011 "Материалы текстильные. Характеристики горения. Метод определения воспламеняемости вертикально ориентированных образцов"	воспламеняемость	текстильные изделия, состоящие из одной или нескольких тканей	-	среднее время воспламенения, с
ГОСТ 19297-2003 "Ткани хлопчатобумажные с огнезащитной отделкой. Технические условия"	сохранность огнезащитных свойств	х/б ткани с огнезащитной отделкой	+	стойкость огнезащитных свойств при эксплуатации (отсутствие горения и тления)
Текстильные материалы для специальной защитной одежды				
ГОСТ Р ИСО 6942-2007 "ССБТ. Одежда для защиты от тепла и огня. Методы оценки материалов и пакетов материалов, подвергаемых воздействию источника теплового излучения"	защитные свойства материалов при воздействии теплового излучения	однослойные или многослойные материалы, используемые в защитной одежде	+	изменение внешнего вида образца, плотность пропущенного теплового потока, кВт/м ²

ГОСТ Р ИСО 9151-2007 "ССБТ. Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Метод определения теплопередачи при воздействии пламени"	теплопередача	материалы или пакеты материалов защитной одежды	+	показатель передачи тепла, с
ГОСТ ИСО 15025-2019 "ССБТ. Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Метод испытаний на ограниченное распространение пламени"	распространение пламени на вертикально ориентированных материалах	гибкие материалы из одного или нескольких компонентов	+	время остаточного горения и тления, с длина повреждения, мм
ГОСТ 11209-2014 "Ткани хлопчатобумажные и смешанные защитные для спецодежды. Технические условия"	огнестойкость	х/б материалы для спецодежды (кроме одежды для пожарных)	-	огнестойкая ткань не огнестойкая ткань
ГОСТ 12.4.049-78 "Ткани хлопчатобумажные и смешанные для спецодежды. Метод определения устойчивости к мокрой обработке"	устойчивость к мокрой обработке	х/б и смешанные ткани для спецодежды с пропиткой и без пропитки	+	разность величин, характеризующих защитные свойства тканей до и после мокрой обработки
ГОСТ Р ИСО 6941-99 "ССБТ. Материалы текстильные для средств индивидуальной защиты. Метод определения способности распространения пламени на вертикально ориентированных пробах"	распространение пламени на вертикально ориентированных образцах в строго контролируемых условиях	ткани из одного или нескольких компонентов для изготовления средств защиты (кроме одежды пожарных)	+	время распространения пламени на расстояние между маркировочными нитями, с

Представленный анализ нормативных документов показывает, что методы испытаний, включенные в Перечень [3], не всегда учитывают наличие огнезащитной обработки текстильного материала. В большинстве случаев отличается лишь процесс подготовки огнезащитных образцов к испытаниям, а именно ткани с нанесенными антипиренами должны быть подвергнуты ускоренному гидролизу, проводимому в водопроводной воде [5]. Однако методика проведения испытаний и анализ полученных результатов идентичен варианту для материалов без обработки.

Вместе с тем, в Перечне указан ряд нормативных документов, разработанных исключительно для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, прошедших огнезащитную обработку. В качестве определяемого параметра выбирается огнестойкость – способность изделия, конструкции сопротивляться воздействию пожара и препятствовать распространению

опасных факторов пожара [6]. Стоит отметить, что в действующих нормативных правовых актах понятие "огнестойкость" не фигурирует в качестве показателя пожарной опасности текстильных материалов. Данное понятие применяется только для строительных конструкций (ст. 58) [2].

Исходя из вышесказанного следует, что классификационные показатели пожароопасных свойств текстильных материалов декоративного и технического назначения, указанные в нормативных документах, не всегда соответствуют классификациям, представленным в нормативных правовых актах. В п. 15 ст. 13 [2] приводится ссылка на Перечень национальных стандартов, необходимых для применения и исполнения Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [3], однако методы определения огнестойкости, содержащиеся в данном Перечне, даже не упоминаются среди требований указанной статьи.

В рамках методов исследования пожарной опасности текстильных материалов, содержащихся в нормативных документах, в которых указана возможность проведения испытаний для огнезащитных образцов, в качестве результата может быть дана лишь оценка по следующим характеристикам: легковоспламеняемый или трудновоспламеняемый, не распространяющий, медленно или быстро распространяющий пламя по поверхности. Однако для материалов с нанесенными огнезащитными составами такие результаты не позволяют провести сравнение и выбрать наиболее эффективный антипирен. Стоит отметить, что в нормативных документах, используемых исключительно для тканей с огнезащитой, результаты представляются в численных значениях (продолжительность остаточного горения и тления, с).

Перечень показателей, оцениваемых на основании приведенного списка стандартов, может быть расширен за счет использования методики оценки кислородного индекса (КИ) – минимального содержания кислорода в кислородно-азотной смеси, при котором возможно свечеобразное горение материала [7]. Определено, что величина кислородного индекса для необработанной хлопковой ткани составляет 17,2%, для полиэфирной ткани – 22,5%, для смешанной хлопкополиэфирной ткани – 19,6% [8]. Если для необработанных тканей значение КИ близко к 21%, что свидетельствует о возможности горения в условиях кислорода воздуха, то для огнестойких материалов величина кислородного индекса может достигать 50% [9] и выступать в качестве показателя сравнения.

В иностранной литературе приводятся и другие показатели, измеряемые на основе методики определения кислородного индекса. Встречается такое понятие, как предельный кислородный индекс (ПКИ). В рамках измерения кислородного индекса, при котором скорость горения равна нулю, определяется кислородный индекс затухания (КИЗ). Для необработанных легковоспламеняющихся тканей, таких как хлопок, нейлон и полиэстер, соответствующие зна-

чения КИЗ уменьшаются вместе со снижением времени воздействия источника зажигания, а метод экстраполяции позволяет определить значения КИЗ в нулевое время. Для хлопчатобумажной ткани величина $КИЗ_0$ составляет 13,5% [10].

Вторая часть табл.1 посвящена нормативным документам в области оценки пожароопасных свойств текстильных материалов, применяемых для изготовления специальной защитной одежды, в том числе боевой одежды пожарного. Большинство национальных и межгосударственных стандартов предполагает наличие огнезащитной и иных обработок на поверхности материала. Проведенный анализ показывает, что практически все методики оценки пожарной опасности тканей для спецодежды позволяют представить результаты испытаний в виде численных показателей, характеризующих анализируемое свойство. Такой подход позволяет провести оценку как необработанного текстильного материала, так и образцов с нанесенными пропитками, и выбрать подходящий вариант для применения в заданных условиях с наиболее эффективными огнезащитными свойствами [11].

Пожароопасные характеристики текстильных материалов и изделий из них могут изменяться в процессе хранения и эксплуатации. Среди нормативных документов выделяются два стандарта, в которых содержатся методы и способы оценки изменения огнезащитных свойств, – ГОСТ 19297–2003 "Ткани хлопчатобумажные с огнезащитной отделкой. Технические условия" и ГОСТ 12.4.049–78 "Ткани хлопчатобумажные и смешанные для спецодежды. Метод определения устойчивости к мокрой обработке". При этом ГОСТ 19297–2003 распространяется только на хлопчатобумажные ткани с огнезащитной отделкой на основе дициандиамида и фосфорной кислоты [12]. Следовательно, провести оценку стойкости огнезащитных свойств при эксплуатации для текстильных материалов из других натуральных или синтетических волокон с иными видами антипиренов не представляется возможным.

Для предварительной оценки наличия на текстильном материале огнезащитной отделки применяются экспресс-методики, в рамках которых оцениваются прожигаемость образца, горение, тление, визуальные изменения при воздействии высокой температуры, устойчивость к распространению пламени [13].

С целью расширения перечня оцениваемых характеристик при определении пожароопасных свойств текстильных материалов с учетом особенностей эксплуатации и возможности применения огнезащиты требуется проведение дополнительных испытаний с использованием современных методов. К таким методам относится термогравиметрический анализ.

Практическое применение методов термического анализа почти не ограничено. Немногие методы инструментального анализа можно так многосторонне применять в научно-исследовательской работе и в промышленности, как термический анализ. Термогравиметрический анализ (ТГА) заключается в измерении зависимости массы твердого образца от температуры среды, в которую он помещен. Кривая потери массы от температуры (кривая ТГ) имеет вид плато, участок горизонтального типа свидетельствует об отсутствии химических превращений в полимере и его устойчивости; вертикальный уступ на кривой говорит о том, что в материале происходит химическое разложение. Кривая ТГ позволяет определить, какую массу теряет исследуемый образец при нагревании (Δm) [14]. ТГА для текстильных материалов позволяет оценить влияние природы, состава и поверхностной плотности испытываемого образца на скорость термической деструкции и процент общей потери массы [15]. Таким образом, термогравиметрические исследования позволяют провести количественный анализ, в результате которого получаются численные величины, которые можно сопоставить между собой.

ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ имеющихся нормативных документов в области оценки по-

жарной опасности текстильных материалов различного состава и назначения. Установлено, что ряд методик не позволяют учесть наличие огнезащитной обработки и получить данные, подлежащие сравнению. Отмечено, что в рамках стандартных методик можно получить значения пожароопасных характеристик, не имеющих привязки к классификационным показателям, установленным нормативными правовыми актами.

2. Указано, что для комплексной оценки наличия и изменения огнезащитных свойств текстильных материалов в процессе эксплуатации могут быть применены дополнительные современные методы, результаты которых выражаются в величинах, которые можно сравнить между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самохвалов Е. Вопросы огнезащиты текстильных материалов // Независимый украинский журнал "F+S: технологии безопасности и противопожарной защиты", 2013 [Электронный ресурс]. URL: http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=1626.

2. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (ред. от 30.04.2021).

3. Распоряжение Правительства РФ от 10.03.2009 N 304-р (ред. от 11.06.2015) "Об утверждении перечня национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" и осуществления оценки соответствия".

4. Способы и средства огнезащиты текстильных материалов. Руководство МЧС России. – Введ. 2004-01-21. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004.

5. ГОСТ Р 50810–95 "Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация" (утв. постановлением Госстандарта РФ от 29 августа 1995 г. №454).

6. Российская энциклопедия по охране труда: в 3-х т. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство "ЭНАС", 2008.

7. ГОСТ 12.1.044–89 (ИСО 4589-84) "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения" (утв. постановлением Государственного комитета СССР по управлению качеством продукции и стандартам от 12 декабря 1989 г. №3683).

8. Никифоров А.Л., Циркина О.Г., Ульева С.Н., Спиридонова В.Г. Новые подходы к оценке пожаро-

опасных свойств текстильных материалов // Сетевое издание "Пожарная и аварийная безопасность", 2019, № 4 (15). С. 11...18 [Электронный ресурс]. URL: <http://pab.edufire37.ru/>.

9. Терминологический словарь одежды: ок. 2000 слов / Л.В. Орленко. – М.: Легпромбытиздат, 1996.

10. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. – 2013, №98. P. 2813...2824.

11. Сорокин Д.В., Никифоров А.Л., Петров А.В., Циркина О.Г., Шарабанова И.Ю., Румянцева В.Е. Исследование влияния огнезащитной обработки на термическое разложение ткани // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2018, № 6. С. 101...104.

12. ГОСТ 19297–2003 "Ткани хлопчатобумажные с огнезащитной отделкой. Технические условия" (пр. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 23 от 22.05.2003 г.)).

13. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Никифоров А.Л., Ульяева С.Н. Применение разработанных экспресс-методик оценки огнезащитных свойств текстильных материалов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020, № 1(34). С. 77...84.

14. Шаталова Т. Б., Шляхтин О. А., Веряева Е. Методы термического анализа: методическая разработка. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011.

15. Спиридонова В.Г., Циркина О.Г., Петров А.В., Никифоров А.Л., Ульяева С.Н. Использование методов термического анализа для оценки пожароопасных свойств текстильных материалов из целлюлозных волокон // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 2020, № 5. С. 92...97.

REFERENCES

1. Samokhvalov E. Voprosy ognezashchity tekstil'nykh materialov // Nezavisimyy ukrainskiy zhurnal "F+S: tekhnologii bezopasnosti i protivopozharnoy zashchity", 2013 [Elektronnyy resurs]. URL: http://security-info.com.ua/articles/?ELEMENT_ID=1626.

2. Federal'nyy zakon ot 22.07.2008 №123-FZ "Tekhnicheskiiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti" (red. ot 30.04.2021).

3. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 10.03.2009 N 304-r (red. ot 11.06.2015) "Ob utverzhdenii perechnya natsional'nykh standartov, sodержashchikh pravila i metody issledovaniy (ispytaniy) i izmereniy, v tom chisle pravila otbora obraztsov, neobkhodimye dlya primeneniya i ispolneniya Federal'nogo zakona "Tekhnicheskiiy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti" i osushchestvleniya otsenki sootvetstviya".

4. Sposoby i sredstva ognezashchity tekstil'nykh materialov. Rukovodstvo MChS Rossii. – Vved. 2004-01-21. – М.: FGU VNIPO MChS Rossii, 2004.

5. GOST R 50810–95 "Pozharnaya bezopasnost' tekstil'nykh materialov. Tkani dekorativnye. Metod ispytaniya na vosplamenyayemost' i klassifikatsiya" (utv. postanovleniem Gosstandarta RF ot 29 avgusta 1995 g. №454).

6. Rossiyskaya entsiklopediya po okhrane truda: v 3-kh t. 2-e izd., pererab. i dop. – М.: Izdatel'stvo "ENAS", 2008.

7. GOST 12.1.044–89 (ISO 4589-84) "Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya" (utv. postanovleniem Gosudarstvennogo komiteta SSSR po upravleniyu kachestvom produktsii i standartam ot 12 dekabrya 1989 g. №3683).

8. Nikiforov A.L., Tsirkina O.G., Ul'eva S.N., Spiridonova V.G. Novye podkhody k otsenke pozharoopasnykh svoystv tekstil'nykh materialov // Setevoe izdanie "Pozharnaya i avariynaya bezopasnost'", 2019, № 4 (15). С. 11...18 [Elektronnyy resurs]. URL: <http://pab.edufire37.ru/>.

9. Terminologicheskiiy slovar' odezhd: ok. 2000 slov / L.V. Orlenko. – М.: Legprombytizdat, 1996.

10. Horrocks A.R. Textile flammability research since 1980 – Personal challenges and partial solutions // Polymer Degradation and Stability. – 2013, №98. P.2813...2824.

11. Sorokin D.V., Nikiforov A.L., Petrov A.V., Tsirkina O.G., Sharabanova I.Yu., Rummyantseva V.E. Issledovanie vliyaniya ognezashchitnoy obrabotki na termicheskoe razlozhenie tkani // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2018, № 6. S.101...104.

12. GOST 19297–2003 "Ткани хлопчатобумажные с огнезащитной отделкой. Технические условия" (пр. Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 23 от 22.05.2003 г.)).

13. Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Nikiforov A.L., Ul'eva S.N. Primenenie razrabotannykh ekspress-metodik otsenki ognezashchitnykh svoystv tekstil'nykh materialov // Sovremennyye problemy grazhdanskoy zashchity. – 2020, № 1(34). С. 77...84.

14. Shatalova T. B., Shlyakhtin O. A., Veryaeva E. Metody termicheskogo analiza: metodicheskaya razrabotka. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011.

15. Spiridonova V.G., Tsirkina O.G., Petrov A.V., Nikiforov A.L., Ul'eva S.N. Ispol'zovanie metodov termicheskogo analiza dlya otsenki pozharoopasnykh svoystv tekstil'nykh materialov iz tsellyuloznykh volokon // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti. – 2020, № 5. S. 92...97.

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты. Поступила 13.07.21.