

Исследование пожарной опасности текстильных материалов и изделий мягкой мебели для внутренней отделки пассажирских вагонов

Наталья Ивановна Константинова¹, Андрей Владимирович Зубань^{1✉},
Сергей Викторович Пузач²

¹ Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Московская обл., г. Балашиха, Россия

² Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Вопросы обеспечения пожарной безопасности перевозки пассажиров являются важными, в связи с этим изучение уровня пожарной нагрузки пассажирского салона железнодорожного транспорта и получение актуальных данных для моделирования развития пожара представляются актуальной задачей. Существующая система требований пожарной безопасности, предъявляемых к материалам внутренней отделки салонов пассажирских вагонов, в том числе к текстильным и изделиям мягкой мебели, требует существенного уточнения. Цель настоящих исследований заключается в изучении параметров пожарной опасности текстильных материалов и изделий мягкой мебели салонов пассажирских вагонов, разработке предложений по уточнению нормативных требований, регламентирующих их пожарную безопасность, и получению новых данных пожарной нагрузки при моделировании развития пожара.

Методы исследований. Использовались стандартные методы определения воспламеняемости декоративных тканей (ГОСТ Р 50810–95), показателя токсичности продуктов горения и дымообразующей способности (ГОСТ 12.1.044.18), методика оценки пожарной опасности конструкций диванов вагонов метрополитена (НПБ 109) и метод оценки концентраций токсичных газов на маломасштабной экспериментальной установке для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов.

Результаты исследований и их обсуждение. Проанализированы требования пожарной безопасности, предъявляемые к текстильным материалам и мягким изделиям внутренней отделки пассажирских вагонов. Получены экспериментальные данные оценки параметров пожарной опасности штор, обивочных материалов и мягких элементов мебели салонов пассажирских вагонов. Выявлена опасность высокотоксичных газов, выделяющихся при термическом разложении материалов мягкой мебели, для жизни и здоровья пассажиров и необходимость учета значений их концентраций при моделировании развития пожара.

Выводы. Разработаны предложения по уточнению нормативных требований пожарной безопасности текстильных материалов и изделий мягкой мебели салонов пассажирских вагонов. Представлены результаты исследований характеристик пожарной опасности материалов сидений, кресел, спальняных полоков, которые следует учитывать для исключения использования наиболее опасных из них в салонах вагонов.

Ключевые слова: пожарная нагрузка; воспламеняемость; удельная массовая скорость выгорания; токсичность продуктов термического разложения

Для цитирования: Константинова Н.И., Зубань А.В., Пузач С.В. Исследование пожарной опасности текстильных материалов и изделий мягкой мебели для внутренней отделки пассажирских вагонов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2025. Т. 34. № 3. С. 22–33. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.03.22-33

✉ Зубань Андрей Владимирович, e-mail: avzuban@mail.ru

Investigation of the fire hazard of textile materials and soft furniture products for interior decoration of passenger wagons

Nataliya I. Konstantinova¹, Andrej V. Zuban^{1✉}, Sergej V. Puzach²

¹ All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Balashikha, Moscow Region, Russian Federation

² State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defence, Emergencies and Elimination on Consequences of Natural Disasters, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The issues of ensuring the fire safety of passenger transportation are important, in this regard, studying the level of fire load in the passenger compartment of railway transport and obtaining up-to-date data for modelling the development of fire is an urgent task. The existing regulatory system of fire safety requirements for interior decoration materials for passenger wagons, including textiles and upholstered furniture, requires significant clarification.

The purpose of these studies is to study the fire hazard parameters of textile materials and upholstered furniture products of salons passenger wagons, to develop proposals for clarifying regulatory requirements governing their fire safety and to obtain new fire load data when modelling fire development.

Research methods. Standard methods were used to determine the flammability of decorative fabrics (GOST R 50810–95), the toxicity indicator of combustion products and smoke-forming capacity (GOST 12.1.044.18), the methodology for assessing the fire hazard of subway car sofas (NPB 109) and the method for assessing the concentration of toxic gases on a small-scale experimental installation to determine the fire hazard of condensed substances and materials.

Research results and their discussion. Regulatory fire safety requirements for textile materials and soft products of interior decoration of passenger wagons were analyzed. Experimental data of estimation of fire hazard parameters of curtains, upholstery materials and upholstered furniture elements of passenger car saloons are obtained. The danger of highly toxic gases emitted during thermal decomposition of upholstered furniture materials for the life and health of passengers and the need to take into account the values of their concentrations when modelling the development of a fire were revealed.

Conclusions. Proposals are developed to clarify the normative requirements for fire safety of textile materials and upholstered furniture products of passenger wagons saloons. There are presented the results of research of fire hazard characteristics of materials of seats, armchairs, sleeping shelves, which should be taken into account to exclude the use of the most dangerous ones in the saloons of wagons.

Keywords: fire load; flammability; specific mass burn up rate; toxicity of thermal decomposition products

For citation: Konstantinova N.I., Zuban A.V., Puzach S.V. Investigation of the fire hazard of textile materials and soft furniture products for interior decoration of passenger wagons. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2025; 34(3):22-33. DOI: 10.22227/0869-7493.2025.34.03.22-33 (rus).

✉ Andrej Vladimirovich Zuban', e-mail: avzuban@mail.ru

Введение

Обеспечение безопасности систем общественного транспорта остается важной актуальной проблемой во всем мире и включает в себя соблюдение требований соответствующих нормативных документов. Среди объектов транспортной структуры выделяются железные дороги и метрополитены своей протяженностью, высокой плотностью пассажирских перевозок и значительным ростом их развития.

Метрополитены расширяются одновременно с освоением новых городских территорий и приростом населения. Увеличение эксплуатационной длины железных дорог, в том числе, связано с необходимостью укрепления экономического суверенитета и снижения совокупных транспортных издержек экономики¹. При этом вопросы обеспечения пожарной безопасности перевозки пассажиров являются ключевыми в рамках общей системы «транспортная безопасность».

Внимание многих специалистов уделяется анализу причин пожаров, формулированию целей и задач системы управления пожарной безопасностью на железнодорожном транспорте, а также комплексным мерам по обеспечению безопасной перевозки пассажиров [1].

В частности, комплексные меры по обеспечению безопасности перевозки пассажиров включают в себя мероприятия по пассивной и активной защите транспортных средств (вагонов).

Пожарная опасность вагонов связана с величиной уровня пожарной нагрузки пассажирского салона, которая в некоторых случаях достигает 90 % и состоит, в том числе, из отделочных, облицовочных, теплоизоляционных материалов, а также текстильных изделий.

Проведя анализ пожаров в пассажирских вагонах железнодорожного транспорта, можно выделить специфические особенности распространения опасных факторов пожара (ОФП) [2]:

- во-первых, пожар быстро распространяется по внутренней отделке, вентиляционным системам вагона и электрооборудованию, охватывая один вагон за другим. Скорость развития пожара в коридоре достигает 5 м/мин, в купе — 2,5 м/мин;
- во-вторых, угроза пассажирам может исходить из того, что в силу своих конструктивных особенностей в течение 7–10 мин вагон выгорает полностью. Стоит отметить, что температура в горящем вагоне составляет порядка 900–1000 °С;
- в-третьих, концентрация токсичных продуктов горения быстро возрастает, а пути эвакуации блокируются дымом.

По проведенным обзорам пожаров в пассажирских составах наиболее частыми причинами

¹ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года : утв. распоряжением правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р.

являются нарушения правил эксплуатации электрооборудования, техническая неисправность оборудования, неосторожное обращение с огнем [3].

Существующие требования нормативных документов, регламентирующие пожарную безопасность материалов внутренней отделки салонов вагонов, ограничивают применение горючих материалов по уровням показателя токсичности продуктов горения (HCL_{50}), индекса распространения пламени по поверхности (ИПП) и коэффициента дымообразования (Д). Однако методы и критерии оценки параметров пожарной опасности в ряде случаев носят несогласованный характер и требуют существенного уточнения.

Обеспечение пожарной безопасности железнодорожных пассажирских вагонов также затрагивает вопросы прогнозирования развития пожара, моделируются показатели динамики распространения опасных факторов пожара, определяемые для расчета необходимого времени эвакуации людей из вагонов до момента блокирования эвакуационных путей [4, 5]. Исследователями проводится анализ рисков, связанных с возникновением пожаров и эвакуацией людей в железнодорожной транспортной сети [6–8].

Наиболее пожароопасными материалами внутренней отделки вагонов являются текстильные материалы и изделия из них, поэтому проводятся мероприятия по их огнезащите.

Таким образом, вопросы, связанные с исследованием параметров пожарной опасности материалов внутренней отделки салонов вагонов и получением объективных данных для расчета пожарной нагрузки, в том числе штор, портьер, кресел, диванов, спальных полок, занимающих в их пространстве достаточно большой объем, остаются весьма актуальными.

Цель настоящих исследований заключается в изучении параметров пожарной опасности текстильных материалов и изделий мягкой мебели салона вагонов, влияющих на уровень ОФП, и разработке предложений по уточнению нормативных требований, регламентирующих их пожарную безопасность, и данных пожарной нагрузки при моделировании развития пожара.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- провести анализ основных нормативных документов по требованиям и методам испытаний пожарной опасности материалов внутренней отделки для вагонов железных дорог и метрополитена в Российской Федерации и за рубежом;
- получить сравнительные экспериментальные данные по оценке комплекса параметров пожар-

ной опасности штор, обивочных материалов и мягких элементов мебели салонов пассажирских вагонов;

- разработать предложения по уточнению нормативных требований, регламентирующих пожарную безопасность текстильных материалов и мягких элементов мебели для пассажирских вагонов.

Методы исследований

Для определения показателей пожарной опасности штор и мягких элементов мебели использовалось следующее экспериментальное оборудование:

- стандартный прибор для определения воспламеняемости тканей по ГОСТ Р 50810–95²;
- стандартная установка для экспериментального определения показателя токсичности продуктов горения твердых веществ и материалов по ГОСТ 12.1.044–2018 (раздел 13)³;
- стандартная установка для экспериментального определения коэффициента дымообразования твердых веществ и материалов по ГОСТ 12.1.044–2018 (раздел 11)³;
- стенд и оборудование для испытаний по методике А — оценки пожарной опасности конструкций диванов вагонов метрополитена согласно Приложению 2⁴;
- установка для определения пожарной опасности конденсированных веществ и материалов⁵.

Результаты исследований и их обсуждение

В табл. 1 представлена информация о требованиях пожарной безопасности к материалам штор и мягких изделий внутренней отделки пассажирских вагонов, изложенная в основных действующих Российских и межгосударственных нормативных документах.

Как следует из данных табл. 1, в основных действующих нормативных документах отсутствуют единые требования по параметрам и критериям оценки, а также методологии проведения испытаний на пожарную опасность материалов штор, диванов, кресел, спальных полок пассажирских вагонов.

² ГОСТ Р 50810–95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация.

³ ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

⁴ НПБ 109. Вагоны метрополитена. Требования пожарной безопасности.

⁵ Патент РФ на полезную модель № 174688. Установка для определения пожарной опасности конденсированных материалов при их термическом разложении / Сулейкин Е.В., Акперов Р.Г., Пузач С.В.; заяв. 20.04.2017; рег. 26.10.2017. Бюл. № 30–2017.

Таблица 1. Основные нормативные требования пожарной безопасности, предъявляемые к текстильным материалам и мягким изделиям внутренней отделки пассажирских вагонов

Table 1. Basic regulatory fire safety requirements shown for textile materials and soft furniture products of interior finishing of passenger wagons

Нормативный документ Regulatory document	Требование Requirement	Нормативный документ, содержащий методы испытаний A regulatory document containing test methods
ГОСТ 34013–2016. Кресло пассажирское моторвагонного подвижного состава и пассажирских вагонов локомотивной тяги. Общие технические условия GOST 34013–2016. Passenger seat of railcar rolling stock and passenger cars with locomotive traction. General specifications	<p>Все используемые в конструкции и отделке кресла не-металлические материалы и материалы съемных чехлов (при их наличии) должны соответствовать требованиям пожаровзрывобезопасности по ГОСТ 12.1.044³, иметь показатель токсичности продуктов горения более 40 г/м³ (при времени экспозиции 30 мин). Показатели пожарной безопасности пассажирских кресел должны удовлетворять следующим требованиям:</p> <ul style="list-style-type: none"> • время самостоятельного горения — не более 10 мин; • отсутствие падения капель горящего расплава <p>All non-metallic materials and removable covers used in the construction and decoration of the chair (if any) must comply with the fire and explosion safety requirements according to GOST 12.1.044³ and have a toxicity indicator of combustion products exceeding 40 g/m³ (with an exposure time of 30 minutes). The fire safety indicators of passenger chairs must meet the following requirements:</p> <ul style="list-style-type: none"> • time of independent combustion — no more than 10 min; • absence of drops of burning melt falling 	ГОСТ 12.1.044 ³ . ГОСТ 34013 (Приложение Л) GOST 12.1.044 ³ . GOST 34013 (Application L)
ГОСТ 34394–2018. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав. Требования пожарной безопасности GOST 34394–2018. Locomotive and motor rolling stock. Requirements of fire safety	<p>Каркас сидений ТПС, включая кресло машиниста, должен быть из материалов группы НГ по ГОСТ 12.1.044³, обивка сидений ТПС, включая кресло машиниста, должна быть из трудновоспламеняемых материалов, слабо распространяющих пламя, в соответствии с требованиями национальных нормативных документов</p> <p>The frame of the TPS seats, including the driver's seat, must be made of materials from the NG group according to GOST 12.1.044³, TPS seat upholstery, including the driver's seat, should be made of hardly flammable materials that weakly spread the flame, in accordance with the requirements of national regulatory documents</p>	ГОСТ 12.1.044 ³ . ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные метод испытания на распространение пламени GOST 12.1.044 ³ . GOST R 51032–97. Materials of construction flame spread test method
ГОСТ Р 55183–2012. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности GOST R 55183–2012. Passenger cars on locomotive traction. Fire safety requirements	<p>Для занавесей, штор, обивки спальных полок, диванов и кресел. Показатели пожарной опасности материала:</p> <ul style="list-style-type: none"> • трудновоспламеняемый (для плавящихся материалов характеризуется параметром воспламеняемости и определяется по ГОСТ Р 50810², для неплавящихся тканей характеризуется индексом распространения пламени); • ИРП ≤ 20; • D ≤ 1500 м²/кг; • HCL₅₀ ≥ 40 г/м³ <p>For curtains, upholstery of sleeping shelves, sofas and arm-chairs. Fire hazard indicators of the material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hardly flammable (for melting materials it is characterized by the flammability parameter and is determined according to GOST R 50810², for non-melting fabrics is characterized by a flame propagation index); • IRP ≤ 20; • D ≤ 1,500 m²/kg; • HCL₅₀ ≥ 40 g/m³ 	ГОСТ 12.1.044 ³ . ГОСТ Р 50810 ² . GOST 12.1.044 ³ . GOST R 50810 ²

Нормативный документ Regulatory document	Требование Requirement	Нормативный документ, содержащий методы испытаний A regulatory document containing test methods
ГОСТ 34805–2021. Вагоны пассажирские локомотивной тяги Требования пожарной безопасности. Методы испытаний по оценке пожароопас- ных свойств неметал- лических материалов GOST 34805–2021. Passenger cars on locomotive traction. Fire safety requirements. Test methods for evaluation of fire- hazardous properties of non-metallic materials	<p>Для занавесей, штор, обивки спальных полок, диванов и кресел.</p> <p>Показатели пожарной опасности материала:</p> <ul style="list-style-type: none"> • трудновоспламеняемый; • $ИРП \leq 20$; • $D \leq 1200 \text{ м}^2/\text{кг}$; • $HCL_{50} \geq 40 \text{ г/м}^3$ (при экспозиции 30 мин). <p>Оценка пожарной опасности спальных полок пассажирских вагонов определяется в соответствии с методом, изложенным в приложении В, кресел — по ГОСТ 34013</p> <p>For curtains, upholstery of sleeping shelves, sofas and armchairs.</p> <p>Fire hazard indicators of the material:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Hardly flammable; • $IRP \leq 20$; • $D \leq 1,200 \text{ м}^2/\text{кг}$; • $HCL_{50} \geq 40 \text{ г/м}^3$ (with an exposure time of 30 minutes). <p>The fire hazard assessment of the sleeping shelves of passenger cars is determined in accordance with the method set out in Application V, the seats — according to GOST 34013</p>	<p>ГОСТ Р 50810². ГОСТ 12.1.044³. ГОСТ 34805 (Приложение В). ГОСТ 34013.</p> <p>Индекс распространения пламени по поверхности материалов для тканей допускается определять в соответствии с методом, изложенным в приложении А. Индекс распространения пламени по поверхности материалов для напольных покрытий, в том числе ковровых, допускается определять в соответствии с методом, изложенным в приложении Б</p> <p>GOST R 50810². GOST 12.1.044³. GOST 34805 (Application V). GOST 34013.</p> <p>The flame propagation index over the surface of fabric materials may be determined in accordance with the method described in application A. The flame propagation index on the surface of flooring materials, including carpets, may be determined in accordance with the method described in application B</p>
НПБ–109 ⁴ NPB–109 ⁴	<p>Облицовка стен, покрытия полов, обивки сидений и спинок диванов должны быть выполнены из материалов, не распространяющих или медленно распространяющих пламя. При этом их показатели токсичности не должны быть менее 40 г/м^3, а коэффициент дымообразования не более $1000 \text{ м}^2/\text{кг}$. Конструкция диванов не должна распространять горение при испытаниях по методике, приведенной в Приложении 2 настоящих норм</p> <p>Wall cladding, floor covering, seat upholstery and sofa backs shall be made of materials that do not spread or slowly spread flame. At the same time, their toxicity indicators should not be less than 40 г/м^3, and the smoke generation coefficient is not more than $1,000 \text{ м}^2/\text{кг}$.</p> <p>The design of sofas should not spread combustion during tests according to the method given in Application 2 of this standard</p>	<p>ГОСТ 12.1.044³. НПБ–109⁴ (Приложение 2) GOST 12.1.044³. NPB–109⁴ (Application 2)</p>

Указанное обстоятельство вызывает не только затруднения при разработке указанных изделий и проведении работ по подтверждению соответствия требованиям пожарной безопасности, но и получе-

нию данных по пожарной нагрузке, используемых в качестве исходных величин для расчета динамики опасных факторов пожара. В частности, классификация обивочного материала по распространению

пламени — «слабораспространяющий» (ГОСТ 34394–2018⁶) проводится по результатам испытаний согласно методу ГОСТ Р 51032⁷, предназначенному для горючих строительных материалов (материалы поверхностных слоев конструкций полов и кровель). Также непонятна причина отсутствия ограничения у набивочных материалов по показателю токсичности продуктов горения и дымообразующей способности, учитывая, что в креслах, диванах и спальнях полках в том числе используется вспененный эластичный полиуретан (ЭППУ), ряд рецептур которого относится к материалам повышенной пожарной опасности. Остается не ясным вопрос о причине, по которой различаются между собой нормативные значения коэффициента дымообразования обивочных материалов одних и тех же изделий мягкой мебели в пассажирских вагонах. Кроме того, предлагаемая оценка «плавающих» и «неплавающих» обивочных материалов различными методами по назначению, условиям проведения испытаний, определяемым параметрам и критериям не дает объективного определения их горючести.

Не обосновано, почему для материалов стен и потолка ИРП оценивается по ГОСТ 12.1.044³ (раздел 9) — при максимальном значении плотности теплового потока $32,0 \pm 3,0$ кВт/м². Для тканей ИРП, согласно ГОСТ 34805⁸ (приложение А), оценивается при максимальном значении плотности теплового потока $27,5 \pm 5,7$ кВт/м², а для напольных покрытий ИРП, согласно ГОСТ 34805⁸ (приложение Б), оценивается при максимальном значении плотности теплового потока $13,5 \pm 5,7$ кВт/м². Указанные методы испытаний различаются численными значениями плотности падающего на образец теплового потока, его ориентацией относительно теплового источника, но при этом установлена одинаковая классификация материалов по ИРП.

В европейской нормативной практике материалы, используемые в железнодорожном транспорте, должны соответствовать стандарту EN 45545-2⁹ для обеспечения максимального уровня безопасной эвакуации людей в случае пожара. По международным стандартам материалы разделяют по степени пожарной опасности в зависимости от классификации железнодорожного транспорта, учитывающей многообразие факторов: конструкцию вагона, усло-

вия эксплуатации, протяженность пути в тоннелях, является ли он автоматическим, двухэтажным или со спальным местом на борту и др. Нормативные параметры пожарной безопасности материалов устанавливаются по распространению пламени, воспламеняемости, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения. При этом для оценки токсичности продуктов горения применяется обобщенный интегральный показатель, характеризующий токсикологическое действие продуктов термического разложения и процесса горения, в том числе материалов кресел, для чего используется метод (ISO 5659-2¹⁰), основанный на исследовании результатов количественного анализа достаточно широкого спектра газов.

Учитывая, что в случае возникновения пожара в салоне вагона при горении мягких элементов могут образовываться токсичные химические соединения, количественный и качественный состав которых зависит от материалов, участвующих в процессе газификации, следует оценивать их уровень для решения комплекса вопросов безопасной эвакуации пассажиров.

Для обивки мягкой мебели вагонов в основном применяются ткани из огнезащищенных полиэфирных волокон и рулонные материалы на основе поливинилхлорида (ПВХ) — винилискожа.

Известно, что наиболее эффективными замедлителями горения при химическом модифицировании полиэфирных волокон являются фосфорорганические функциональные соединения, которые снижают процесс термоокислительной деструкции как в газовой, так и в конденсированной фазах [9–11]. Огнезащищенные таким способом ткани из ПЭ волокон находят широкое использование за рубежом, в том числе в качестве обивки мягкой мебели для транспортных средств [12].

Развитие различных технологий изготовления материалов из винилискожи пониженной пожарной опасности позволило применять указанный материал для обивки полок и сидений пассажирских железнодорожных вагонов и вагонов метро. Практический опыт показал некоторые преимущества использования данного материала по сравнению с применяемыми на транспорте тканями для обивки кресел по таким эксплуатационным характеристикам, как прочность, износостойчивость, влагостойкость, антивандальные свойства и др.

Решение вопросов эффективной огнезащиты ПВХ-материалов сводится к выбору комплексных огнезамедлительных систем, повышающих термостойкость и снижающих окисление, а вместе с тем

⁶ ГОСТ 34394–2018. Локомотивы и моторвагонный подвижной состав. Требования пожарной безопасности.

⁷ ГОСТ Р 51032–97. Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени.

⁸ ГОСТ 34805–2021. Вагоны пассажирские локомотивной тяги. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний по оценке пожароопасных свойств неметаллических материалов.

⁹ EN 45545-2. Пожарная безопасность железнодорожного транспорта.

¹⁰ ISO 5659-2:2017. Plastics — Smoke generation. Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.

дымообразование и токсичность продуктов горения [13–15].

Проводимые исследования в данной области направлены на повышение совместимости ОЗ с матрицей ПВХ и оптимизации технологического процесса изготовления для снижения их горючести [16–18].

В настоящей работе были проведены сравнительные экспериментальные исследования по оценке комплекса показателей пожарной опасности как материалов, так и макетов пассажирских сидений (кресел). В качестве образцов штор и обивочных материалов для испытаний были выбраны наиболее применяемые — ткани из 100 % огнезащищенных полиэфирных волокон, винилискожа пониженной пожарной опасности (винилискожа ТВ), прокладочный материал из термостойких волокон (ТМ), а также наполнители — ЭППУ системы. Диапазон значений основных показателей пожарной опасности исследованных материалов представлен в табл. 2.

Как следует из данных таблицы, исследованные образцы материалов по показателю токсичности могут относиться к различным группам опасности

(Т2, Т3 или Т4). При этом максимальные уровни выхода СО и СО₂ зафиксированы у образцов наполнителя из ППУ, материалов из термостойких волокон, а также композиций ткани из 100 % ПЭ огнезащищенных волокон и винилискожи (ТВ) с наполнителем из ЭППУ. Это обстоятельство свидетельствует, что в случае теплового воздействия на мягкие элементы внутреннего обустройства вагонов, даже в случае использования обивочного материала пониженной пожарной опасности при термическом разложении такого сочетания материалов, количественный выход основных токсикантов СО и СО₂ будет сопоставим с их численными значениями ЭППУ, опасными для токсикологической среды.

Результаты экспериментальной оценки сопротивляться возгоранию образца дивана вагона при воздействии теплового импульса нормированной мощности («подушки» из газетной бумаги, расположенной на поверхности сиденья), согласно методике приложения 2 НПБ-109⁴, показали следующее.

Образец кресла (размерами: сиденья 495 × 420 мм, спинки 495 × 420 мм), представляющий компози-

Таблица 2. Результаты исследований свойств пожарной опасности материалов для пассажирских кресел вагонов метро и железной дороги

Table 2. Results of studies of fire hazard properties of materials for passenger chairs of metro and railway cars

Обивочный материал, состав, поверхностная/объемная плотность (p) Upholstery material, composition, surface/volume density (p)	ГОСТ 12.1.044 ³ GOST 12.1.044 ³			
	Параметры токсичности продуктов горения Combustion products toxicity parameters			Коэффициент дымообразования $D_{ср}$, м ² /кг Smoke generation coefficient D_{av} , m ² /kg
	Выход СО, мг/г Output CO, mg/g	Выход СО ₂ , мг/г Output CO ₂ , mg/g	Показатель токсичности, HCL ₅₀ Toxicity indicator HCL ₅₀	
Ткани (ТВ) 100 % мод. ПЭ, $p = 330\text{--}600$ г/см ² Fabric (FR) 100 % mod. PE, $p = 330\text{--}600$ g/sm ²	145–165	1220–1240	27–40	900–1250
Винилискожа (ТВ), $p = 520\text{--}750$ г/см ² Vinyl artificial leather (FR), $p = 520\text{--}750$ g/sm ²	–	–	45–52	1100–1420
ППУ, $p = 35\text{--}50$ г/см ³ PPU, $p = 35\text{--}50$ g/sm ³	174–214	1054–1350	13–23	750–1050
Ткань 100 % мод. ПЭ ($p = 600$ г/см ²) + ЭППУ ($p = 35$ г/см ³) Fabric 100 % mod. PE ($p = 600$ g/sm ²) + EPPU ($p = 35$ g/sm ³)	170	1245	–	–
Винилискожа (ТВ), ($p = 750 \pm 75$ г/см ²) + ЭППУ ($p = 35$ г/см ³) Vinyl artificial leather (FR), ($p = 750 \pm 75$ g/sm ²) + EPPU ($p = 35$ g/sm ³)	180	1320	–	–
Материал на основе термостойких волокон, $p = 180$ г/см ² Fabric based on heat resistant fibres, $p = 180$ g/sm ²	175	1028	17	–

цию из «Винилискожи-Т», толщиной 0,5 мм слоем ЭППУ «Молитан» 15 мм и трудногорючей фанеры «ФСМ-ТМ» толщиной 6 мм с каркасом из стеклопластика на основе ПЭ трудногорючей смолы «F 805 TF» выдержал испытания согласно НПБ-109⁴ (Приложение 2) на способность сопротивляться возгоранию при воздействии теплового импульса нормированной мощности. Однако основные зафиксированные через каждые 30 с опыта наблюдения за процессом горения, а именно: горение обивки сиденья под источником зажигания (90 с), пробежка пламени по обивке спинки, горение обивки сиденья и ЭППУ (120 с), горение ЭППУ, обивки сиденья и спинки (180 с), прогорание ЭППУ и обивки сиденья в зоне расположения источника зажигания, обильное дымовыделение (210 с), очаги горения фанеры, обильное дымовыделение (270 с) — свидетельствуют о наличии в течение воздействия теплового источника (320 с) процесса горения композиции кресла, а значит выделения опасных газобразных токсичных продуктов.

Полученные результаты коррелируют с проведенными авторами экспериментальными исследованиями на установке для определения пожарной

опасности конденсированных материалов при их термическом разложении, позволившими получить данные по удельной массовой скорости выгорания и численным значениям удельных коэффициентов образования монооксида углерода (CO) и циановодорода (HCN) для элементов кресел (обивочная трудновоспламеняемая винилискожа, термостойкая ткань (ТМ) — в качестве прокладки и ЭППУ в качестве набивочного материала), токсикологическое воздействие которых опасно для организма человека.

Образцы элементов кресел (винилискожа ТВ + ТМ + ЭППУ) размерами 10 × 10 см исследовались на экспериментальной установке в двух режимах терморазложения с плотностями падающих на поверхность образцов теплового потока $q = 15 \text{ кВт/м}^2$ и $q = 35 \text{ кВт/м}^2$.

Зависимости от времени с начала проведения эксперимента парциальных плотностей и удельных коэффициентов образования основных токсикантов (монооксида углерода и циановодорода) образцов композиции сиденья представлены на рис. 1–4.

Графические зависимости, представленные на рис. 1–4, свидетельствуют, что значения парциальной плотности монооксида углерода композиции

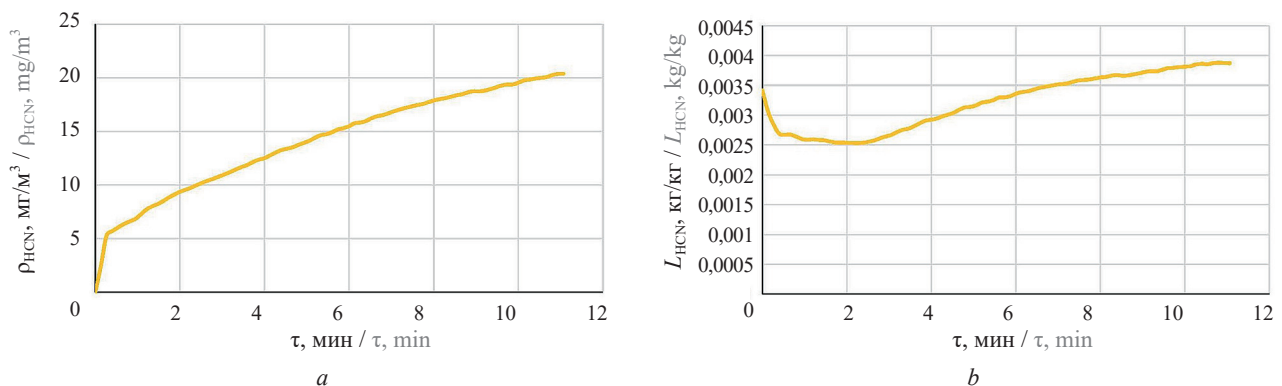


Рис. 1. Зависимости от времени парциальной плотности (a) и удельного коэффициента образования циановодорода (b) при $q = 35 \text{ кВт/м}^2$

Fig. 1. Time dependence of partial density (a) and specific coefficient of hydrogen cyanide formation (b) at $q = 35 \text{ kW/m}^2$

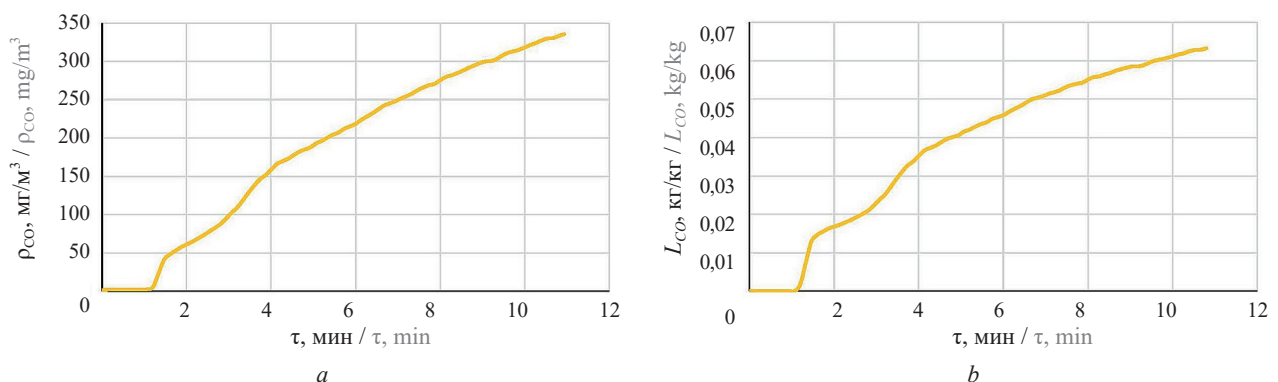


Рис. 2. Зависимости от времени парциальной плотности (a) и удельного коэффициента образования монооксида углерода (b) при $q = 35 \text{ кВт/м}^2$

Fig. 2. Time dependence of partial density (a) and specific coefficient of carbon monoxide formation (b) at $q = 35 \text{ kW/m}^2$

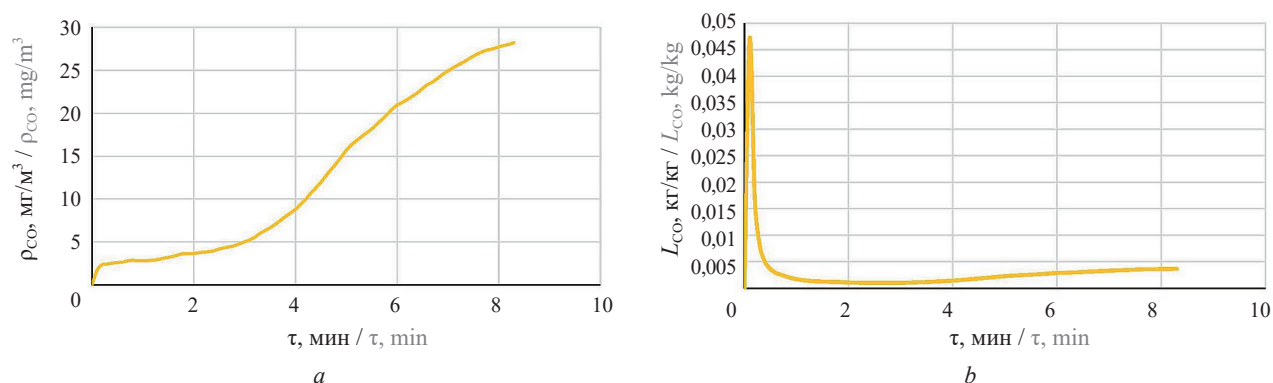


Рис. 3. Зависимости от времени парциальной плотности (а) и удельного коэффициента образования циановодорода (b) при $q = 15 \text{ кВт/м}^2$

Fig. 3. Time dependence of partial density (a) and specific coefficient of hydrogen cyanide formation (b) at $q = 15 \text{ kW/m}^2$

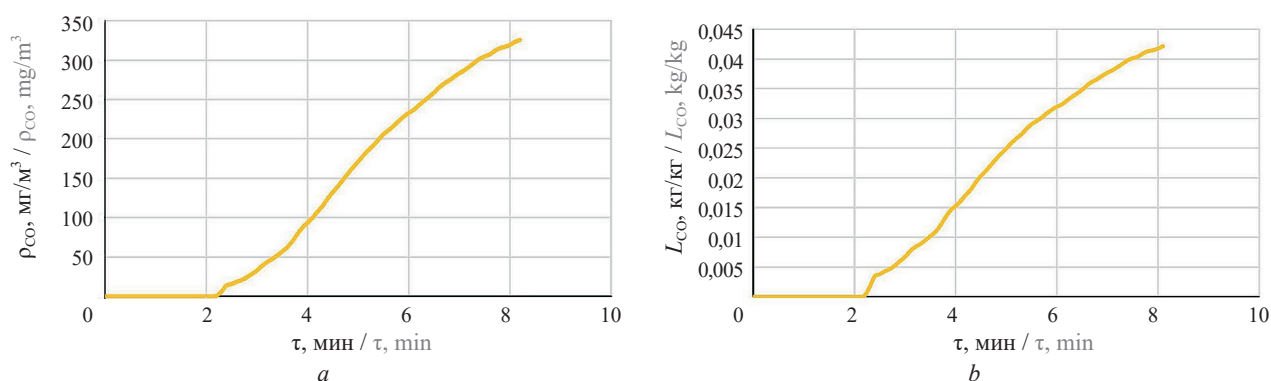


Рис. 4. Зависимости от времени парциальной плотности (а) и удельного коэффициента образования монооксида углерода (b) при $q = 15 \text{ кВт/м}^2$

Fig. 4. Time dependence of partial density (a) and specific coefficient of carbon monoxide formation (b) at $q = 15 \text{ kW/m}^2$

Винилискожа ТВ + ТМ + ЭППУ не превышают критическую концентрацию — $0,00116 \text{ кг/м}^3$.

При этом значения парциальной плотности циановодорода (наиболее опасного газообразного компонента по токсичности) композиции Винилискожа ТВ + ТМ + ЭППУ не достигают критической концентрации — 10^{-4} кг/м^3 , приведенной в учебном пособии [19].

Однако парциальная плотность циановодорода уже на первых минутах эксперимента больше уточненной критической концентрации $10\text{--}5 \text{ кг/м}^3$, определенной авторами в работе [20], что коррелирует с ранее полученными экспериментальными данными [21].

Таким образом, существующая система нормативной оценки пожарной опасности текстильных материалов и изделий внутренней отделки пассажирских вагонов требует существенного уточнения, в том числе для разработки обоснованных рекомендаций по обеспечению безопасной эвакуации людей при пожаре.

Выводы

Анализ отечественных нормативных документов, регламентирующих пожаробезопасность мате-

риалов внутреннего обустройства вагонов пассажирского транспорта, показал необходимость ее совершенствования. Так, вывод о воспламеняемости изделий мягкой мебели должен основываться на результатах испытаний композиции в целом, а не отдельных ее элементов (обивочных материалах).

Для материалов штор и занавесей наряду с оценкой дымообразования и токсичности продуктов горения необходимой и достаточной будет являться оценка воспламеняемости согласно ГОСТ Р 50810².

Для материалов мягких элементов мебели следует определять токсичность продуктов горения и термического разложения, а также дымообразующую способность для ограничения использования из них наиболее опасных.

Для повышения достоверности моделирования распространения ОФП при пожаре необходима актуальная информация о комплексе параметров образования летучих токсичных продуктов горения материалов внутреннего обустройства пассажирских вагонов, позволяющая более точно оценить время безопасной эвакуации пассажиров в случае возникновения пожара.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Магомедов М.Р., Чуйков Д.А., Сметанкина Г.И. Система управления пожарной безопасностью на железнодорожном транспорте // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2019. № 1 (10). С. 235–238. EDN NUUXFC.
2. Елисеев И.Б. Методика оценки и способы снижения пожарной опасности пассажирских вагонов железнодорожного подвижного состава : дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2019. 122 с. EDN SNOUCN.
3. Алисултанов М.А. Анализ особенностей развития и последствий пожаров в железнодорожных пассажирских вагонах // Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности : сб. тр. конф. Волгоград, 2023. С. 111–113. EDN LVJMOV.
4. Елисеев И.Б., Фомин А.В. Показатели динамики распространения опасных факторов пожара двухэтажных пассажирских вагонов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2018. № 2. С. 110–120. EDN VKHKRP.
5. Малыгин И.Г., Таранцев А.А., Иванов С.А., Наумушкина К.А., Столярова А.А. Об обеспечении пожарной безопасности двухэтажных вагонов // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2017. № 26 (7). С. 28–38. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.28-38
6. Camillo A., Guillaume E., Rogaume T., Allard A., Didieux F. Risk analysis of fire and evacuation events in the European railway transport network // Fire Safety Journal. 2013. No. 60. Pp. 25–36. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.04.004
7. Abdel Gawad A.F., Radhwi M.N. Simulation of movement of fire smoke and evacuation for suburban trains: Part I, Smoke movement // Twelfth International Conference of Fluid Dynamics (ICFD 12), 2016, Cairo, Egypt. URL: https://www.researchgate.net/publication/312128535_Simulation_of_Movement_of_Fire_Smoke_and_Evacuation_for_Suburban_Trains_Part_I_Smoke_Movement
8. Radhwi M.N., AbdelGawad A.F. Simulation of movement of fire smoke and evacuation for suburban trains: Part II, Evacuation // Twelfth International Conference of Fluid Dynamics (ICFD 12), 2016, Cairo, Egypt. URL: https://www.researchgate.net/publication/312128446_Simulation_of_Movement_of_Fire_Smoke_and_Evacuation_for_Suburban_Trains_Part_II_Evacuation
9. Liangyuan Qi, Liang Chen, Wei Cai, Chuanshen Wang, Bangyu Wang, Yuan Hu et al. Intelligent polyester fabric with fire safety for personal temperature management // Chemical Engineering Journal. 2023. No. 475. Pp. 146–272. DOI: 10.1016/j.cej.2023.146272
10. Malucelli G. Textile finishing with biomacromolecules: A low environmental impact approach in flame retardancy. The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology // Woodhead Publishing. 2019. Pp. 251–279. DOI: 10.1016/B978-0-08-102491-1.00009-5
11. Chen J., Dul S., Lehner S., Jovic M., Gaan S., Heuberger M. et al. Mechanical recycling of PET containing mixtures of phosphorus flame retardants // Journal of Materials Science & Technology. 2024. No. 194. Pp. 167–179. DOI: 10.1016/j.jmst.2024.01.035
12. Коновал И.А. Совершенствование систем жизнеобеспечения пассажирских вагонов для создания комфортных и безопасных условий проезда : дис. ... канд. техн. наук. М., 2022. 228 с. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_012355256
13. Sharma V., Agarwal Sh., Mathur A., Singhal Sh., Wadhwa Sh. Advancements in nanomaterial based flame-retardants for polymers : a comprehensive overview // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2024. No. 133. Pp. 38–52. DOI: 10.1016/j.jiec.2023.12.010
14. Галигузов А.А., Яшин Н.В., Авдеев В.В. Термостойкость огнезащитных материалов на основе ПВХ-пластиков различного состава // Пластические массы. 2023. № 11–12. С. 21–25. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-11-12-21-25
15. Cheng Zh., Liao D., Hu X., Li W., Xie Ch., Zhang H. et al. Synergistic fire-retardant effect between expandable graphite and ferrocene-based non-phosphorus polymer on polypropylene // Polymer Degradation and Stability. 2020. No. 178. Pp. 109–201. DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2020.109201
16. Liang S., Liu J., Guo Y., Luo J., Liu H., Peng S. Role of expandable graphite on flame retardancy, smoke suppression, and acid resistance of polypropylene/magnesium hydroxide composites // Polymer Engineering and Science. 2022. No. 62 (10). Pp. 3168–3179. DOI: 10.1002/pen.26093
17. Pang X., Zhang W., Meng Y., Ma M., Xu J. Effect of expansion temperature on the properties of expanded graphite and modified linear low density polyethylene // International Polymer Processing. 2022. No. 37 (3). Pp. 271–286. DOI: 10.1515/ipp-2022-0003
18. Середина М.А. Снижение пожарной опасности полимерных материалов различной химической природы // Технология текстильной промышленности. 2021. № 5 (395). С. 126–132. DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_126. EDN TYRDKS.
19. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. М. : Академия ГПС МВД России, 2000. 118 с.

20. Пузач С.В., Константинова Н.И., Акперов Р.Г., Овчинников А.О. Исследование параметров токсичности продуктов горения мягких элементов мебели // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2024. № 33 (1). С. 51–59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59
21. Пузач С.В., Болдрушкиев О.Б. Определение удельного коэффициента образования и критической парциальной плотности циановодорода и монооксида углерода при пожаре в помещении // Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety. 2019. № 28 (5). С. 19–26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26

REFERENCES

1. Magomedov M.R., Chuykov D.A., Smetankina G.I. Fire safety management system by railway transport. *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy/Fire safety: problems and prospects*. 2019; 1(10):235-238. EDN NUUXFC. (rus).
2. Eliseev I.B. Methodology for assessing and reducing fire hazard in passenger cars of railway rolling stock. *Dissertation of the candidate of technical sciences*. St. Petersburg, 2019; 122. EDN SNOUCN. (rus).
3. Alisultanov M.A. *Analysis of the development features and consequences of fires in railway passenger cars : materials of Conference*. Volgograd, 2023; 111-113. EDN LVJMOB. (rus).
4. Eliseev I.B., Fomin A.V. Indicators of dynamics of distribution of hazardous factors of fire of two-storage passenger wagons. *Bulletin of Saint-Petersburg University of State fire Service of EMERCOM of Russia*. 2018; 2:110-120. EDN SNOUCN. (rus).
5. Malygin I.G., Tarantsev A.A., Ivanov S.A., Naumushkina K.A., Stolyarova A.A. On en-suring the fire safety of double-decker railway cars. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(7):28-38. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.07.28-38 (rus).
6. Camillo A., Guillaume E., Rogaume T., Allard A., Didieux F. Risk analysis of fire and evacuation events in the European railway transport network. *Fire Safety Journal*. 2013; 60:25-36. DOI: 10.1016/j.firesaf.2013.04.004
7. Abdel Gawad A.F., Radhwi M.N. Simulation of movement of fire smoke and evacuation for suburban trains: Part I, Smoke movement. *Twelfth International Conference of Fluid Dynamics (ICFD 12), 2016, Cairo, Egypt*. URL: https://www.researchgate.net/publication/312128535_Simulation_of_Movement_of_Fire_Smoke_and_Evacuation_for_Suburban_Trains_Part_I_Smoke_Movement
8. Radhwi M.N., AbdelGawad A.F. Simulation of movement of fire smoke and evacuation for suburban trains: Part II, Evacuation. *Twelfth International Conference of Fluid Dynamics (ICFD 12), 2016, Cairo, Egypt*. URL: https://www.researchgate.net/publication/312128446_Simulation_of_Movement_of_Fire_Smoke_and_Evacuation_for_Suburban_Trains_Part_II_Evacuation
9. Liangyuan Qi, Liang Chen, Wei Cai, Chuanshen Wang, Bangyu Wang, Yuan Hu et al. Intelligent polyester fabric with fire safety for personal temperature management. *Chemical Engineering Journal*. 2023; 475:146-272. DOI: 10.1016/j.cej.2023.146272
10. Malucelli G. Textile finishing with biomacromolecules: A low environmental impact approach in flame retardancy. The Impact and Prospects of Green Chemistry for Textile Technology. *Woodhead Publishing*. 2019; 251-279. DOI: 10.1016/B978-0-08-102491-1.00009-5
11. Chen J., Dul S., Lehner S., Jovic M., Gaan S., Heuberger M. et al. Mechanical recycling of PET containing mixtures of phosphorus flame retardants. *Journal of Materials Science & Technology*. 2024; 194:167-179. DOI: 10.1016/j.jmst.2024.01.035
12. Konoval I.A. *Improvement of life support systems of passenger cars to create comfortable and safe travel conditions : Dissertation of the candidate of technical sciences*. Moscow, 2022; 228. URL: https://rusneb.ru/catalog/000199_000009_012355256 (rus).
13. Sharma V., Agarwal Sh., Mathur A., Singhal Sh., Wadhwa Sh. Advancements in nanomaterial based flame-retardants for polymers : a comprehensive overview. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2024; 133:38-52. DOI: 10.1016/j.jiec.2023.12.010
14. Galiguzov A.A., Yashin N.V., Avdeev V.V. Thermal stability of fire-retardant materials based on PVC compounds of various compositions. *Plasticheskie massy*. 2023; 11-12:21-25. DOI: 10.35164/0554-2901-2023-11-12-21-25 (rus).
15. Cheng Zh., Liao D., Hu X., Li W., Xie Ch., Zhang H. et al. Synergistic fire-retardant effect between expandable graphite and ferrocene-based non-phosphorus polymer on polypropylene. *Polymer Degradation and Stability*. 2020; 178:109-201. DOI: 10.1016/j.polyimdeggradstab.2020.109201
16. Liang S., Liu J., Guo Y., Luo J., Liu H., Peng S. Role of expandable graphite on flame retardancy, smoke suppression, and acid resistance of polypropylene/magnesium hydroxide composites. *Polymer Engineering and Science*. 2022; 62(10):3168-3179. DOI: 10.1002/pen.26093
17. Pang X., Zhang W., Meng Y., Ma M., Xu J. Effect of expansion temperature on the properties of expanded graphite and modified linear low density polyethylene. *International Polymer Processing*. 2022; 37(3):271-286. DOI: 10.1515/ipp-2022-0003

18. Seredina M.A. Reducing the fire hazard of polymeric materials of various chemical nature. *Technology of textile industry*. 2021; 5(395):126-132. DOI: 10.47367/0021-3497_2021_5_126. EDN TYRDKS. (rus).
19. Koshmarov Yu.A. *Forecasting dangerous factors of fire in premises*. Moscow, Academy of GPS of the Ministry of Internal Affairs of Russia, 2000; 118. (rus).
20. Puzach S.V., Konstantinova N.I., Akperov R.G., Ovchinnikov A.O. Investigation of toxicity parameters of combustion products of upholstered furniture elements. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2024; 33(1):51-59. DOI: 10.22227/0869-7493.2024.33.01.51-59 (rus).
21. Puzach S.V., Boldrushkiev O.B. Defining the specific formation coefficient and the critical partial density of hydrogen cyanide and carbon monoxide at the fire indoors. *Pozharovzryvbezopasnost/Fire and Explosion Safety*. 2019; 28(5):19-26. DOI: 10.18322/PVB.2019.28.05.19-26 (rus).

Поступила 05.03.2025, после доработки 15.05.2025;

принята к публикации 21.05.2025

Received March 5, 2025; Received in revised form May 15, 2025;

Accepted May 21, 2025

Информация об авторах

КОНСТАНТИНОВА Наталия Ивановна, д.т.н., профессор, главный научный сотрудник, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; РИНЦ ID: 774306; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

ЗУБАНЬ Андрей Владимирович, к.т.н., начальник отдела, Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 143903, Московская обл., г. Балашиха, мкр. ВНИИПО, 12; ResearcherID: AAB-9575-2019; Scopus AuthorID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

ПУЗАЧ Сергей Викторович, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, начальник кафедры инженерной теплофизики и гидравлики, Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Россия, 129366, г. Москва, ул. Бориса Галущкина, 4; ResearcherID: U-2907-2019; AuthorID: 7003537835; ORCID: 0000-0001-7234-1339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Вклад авторов:

Константинова Н.И. — научное руководство; концепция исследования; развитие методологии; написание исходного текста; итоговые выводы.

Зубань А.В. — концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Пузач С.В. — концепция исследования; развитие методологии; доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors

Nataliya I. KONSTANTINOVA, Dr. Sci. (Eng.), Professor, principle researcher, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ID RSCI: 57195464313; ORCID: 0000-0003-0778-0698; e-mail: konstantinova_n@inbox.ru

Andrey V. ZUBAN, Cand. Sci. (Eng.), head of department, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, VNIPO, 12, Balashikha, Moscow Region, 143903, Russian Federation; ResearcherID: AAB-9575-2019; Scopus AuthorID: 55847911600; ORCID: 0000-0002-7799-2058; e-mail: avzuban@mail.ru

Sergey V. PUZACH, Dr. Sci. (Eng.), Professor, the Honored Scientist of the Russian Federation, Head of Thermal Physics and Hydraulic Department, the State Fire Academy of the Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Boris Galushkina St., 4, Moscow, 129366, Russian Federation; ResearcherID: U-2907-2019, AuthorID: 7003537835, ORCID: 0000000172341339; e-mail: puzachsv@mail.ru

Contribution of the authors:

Konstantinova N.I. — scientific management; research concept; methodology development; participation in development of curricula and their implementation; writing the draft; final conclusions.

Zuban A.V. — research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

Puzach S.V. — research concept; methodology development; follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.