

Научная статья  
УДК 691.175

## МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПОЛИМЕРНЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Александр Александрович Баев<sup>1</sup>, Алексей Евгеньевич Шкуро<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Уральский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup> Уральский государственный лесотехнический университет, Екатеринбург, Россия

<sup>1</sup> pancho.99@inbox.ru

<sup>2</sup> shkuroae@m.usfeu.ru

**Аннотация.** Широчайшее распространение полимеров во всех отраслях человеческой деятельности, в том числе в области конструкционных и строительных материалов, приводит к необходимости снижения их горючести. Для объективной оценки снижения горючести материалов необходимо располагать как можно более совершенными методами оценки пожарной опасности материалов. Настоящая работа посвящена систематизации и оценке существующих методов определения показателей горючести и пожарной безопасности полимерных и композиционных материалов. Рассмотрены основные отечественные и иностранные стандарты.

**Ключевые слова:** огнестойкость, горючесть, полимерные материалы, композиционные материалы, методы, стандарты

**Для цитирования:** Баев А. А., Шкуро А. Е. Методы оценки огнестойкости полимерных и композиционных материалов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 394–401.

Original article

## METHODS FOR ASSESSING FIRE RESISTANCE OF POLYMERIC AND COMPOSITE MATERIALS

**Alexander A. Baev<sup>1</sup>, Aleksey E. Shkuro<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Ekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

<sup>1</sup> pancho.99@inbox.ru

<sup>2</sup> shkuroae@m.usfeu.ru

**Abstract.** The widest distribution of polymers in all areas of human activity, including in the field of structural and building materials, leads to the need to reduce their flammability. For an objective assessment of the reduction of flammability of materials, it is necessary to have the most advanced methods for assessing the fire hazard of materials. This work is devoted to the systematization and assessment of existing methods for determining the flammability and fire safety indicators of polymer and composite materials. The main domestic and foreign standards are considered.

**Keywords:** fire resistance, flammability, polymeric materials, composite materials, methods, standards

**For citation:** Baev A. A., Shkuro A. E. (2025) Metody otsenki ognestojkosti polimernyh i kompozitsionnyh materialov [Methods for assessing fire resistance of polymeric and composite materials]. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 394–401. (In Russ).

Объем производства и широта применения полимерных материалов невероятно высоки. Такое положение полимеров вызвано рядом уникальных свойств, не характерных для других видов материалов. Например, сочетание ударной прочности, коррозионной стойкости и низкой плотности делают полимеры перспективной заменой множества сплавов. Тем не менее у полимерных материалов и композитов на их основе имеется и ряд существенных недостатков. Для большинства органических полимеров в ряду этих недостатков одно из первых мест занимает высокая горючесть. Научно-техническим сообществом регулярно предпринимаются попытки получать новые огнезащищенные полимерные материалы и повышать негорючесть уже существующих. В ряде случаев эти попытки можно признать весьма успешными [1–4]. При этом для объективной оценки успешности названного процесса необходимо располагать как можно более совершенными методами оценки пожарной опасности материалов. Настоящая работа предпринята с целью обобщения и систематизации подходов к определению огнестойкости полимерных и композиционных материалов.

На сегодняшний день существует множество способов оценки огнестойкости и горючести полимеров и полимерных композиционных материалов. Многообразие методов делает сравнение полученных в разное время и в разных лабораториях результатов нетривиальной задачей. Кроме того, результаты экспериментов часто характеризуются высокими погрешностями, вследствие чего одни и те же полимерные материалы могут быть отнесены как к негорючим, так и к самозатухающим или даже горючим.

В Советском Союзе для оценки огнестойкости полимеров преимущественно применялись калориметрический метод, позволяющий определять

показатель возгораемости материала [5], методы определения кислородных индексов воспламеняемости (т. е. содержания кислорода в воздушной смеси, при котором образец поддерживает самопроизвольное горение без затухания).

Сегодня, существует ряд методов приблизительной оценки огнестойкости полимеров. Чтобы определить, к какому типу горючести относится полимер, используются следующие показатели:

- время самостоятельного горения образца;
- потеря массы образцом в процессе горения;
- скорость распространения пламени.

Первые два показателя определяются с помощью общепринятого экспресс-метода, известного как «огневая труба». В этом методе образец полимера располагается вертикально в металлической или керамической трубе и подвергается воздействию пламени с фиксированными параметрами (высота пламени горелки, температура воздуха в верхней части трубы). Схема установки типа «огневая труба» представлена на рисунке. Полимерные материалы считаются горючими, если потеря массы при испытании превышает 20 %, а время самостоятельного горения составляет 60 с. Скорость распространения пламени определяется длиной сгоревшей части образца, который располагается горизонтально и поджигается с одного конца. Из группы горючих материалов, испытываемых по этому методу, выделяются легковоспламеняющиеся материалы, у которых горение распространяется по всей длине образца, то есть на 300 мм.

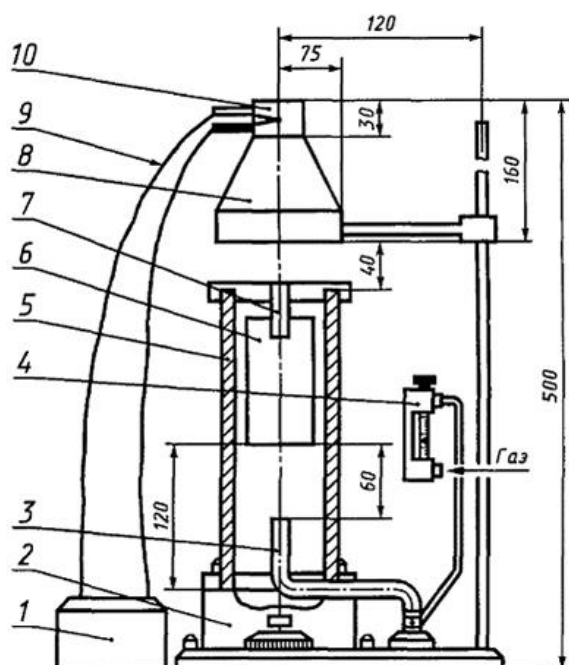


Схема установки  
«Огненная труба»

- 1 – измеритель температуры;
- 2 – подставка для крепления короба;
- 3 – газовая горелка;
- 4 – ротаметр;
- 5 – камера;
- 6 – держатель;
- 7 – зонт;
- 8 – термоэлектрический преобразователь типа ТХА

За рубежом, огнестойкость полимеров оценивают преимущественно по скорости и времени самостоятельного горения образца после поджигания. Некоторые существующие методы подразумевают использование образцов

большого размера. Например, при применении метода ASTM E84-61 для оценки огнестойкости строительных материалов и конструкций требуется использование образцов размерами 24 дюйма (примерно 0,52 метра) в ширину и 24 дюйма в длину. Испытания предполагают определения индексов распространения пламени (FSI) и дымообразования (SDI).

Для полной характеристики возгораемости полимерного материала необходимо определить:

- температуру воспламенения;
- температуру тления;
- температуру самовозгорания;
- температуру самонагревания;
- способность к дымовыделению;
- способность к образованию раскаленного плава;
- токсичность продуктов разложения.

Результаты сравнительного анализа существующих отечественных и зарубежных методов оценки огнестойкости полимерных и композиционных материалов приведены в таблице.

**Методы оценки огнестойкости полимерных  
и композиционных материалов**

№	Стандарт	Наименование	Сущность метода	Достоинства метода	Недостатки метода
1	ГОСТ Р ИСО 5660-1–2020	Испытания по определению реакции на огонь	Оценка скорости тепловыделения образцов, подвергаемых воздействию излучения в присутствии внешнего источника зажигания	Возможность точно определить скорость тепловыделения, регистрация задымления в течение испытания, предсказание поведения материала при пожаре в реальном масштабе	Непригодность некоторых образцов для испытаний, взрывоопасность, необходимость модификации материалов для проведения испытаний
2	ГОСТ Р 56206–2014	Композиты полимерные. Методы оценки пожарной опасности и пределов огнестойкости	Стандарт ссылается на известные методы оценки огнестойкости полимерных материалов	Систематизация методов, упрощение процедур сертификации и контроля	Расхождения в классификации характеристик, трудность прогнозирования результатов

*Продолжение таблицы*

№	Стандарт	Наименование	Сущность метода	Достоинства метода	Недостатки метода
3	ГОСТ 30247	Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость	Определение времени от начала теплового воздействия на конструкцию до наступления одного или последовательно нескольких предельных состояний по огнестойкости с учетом функционального назначения конструкции	Унифицированный подход, использование стендового оборудования	Область применения результатов должна быть ограничена
4	ISO 13927:2001	Пластмассы. Простое испытание для определения выделения тепла с применением конического излучающего нагревателя и термобатареяного детектора	Оценка скорости выделения тепла образцами, подвергающимися контролируемым уровням нагрева (лучевого) внешним воспламенителем. Скорость выделения тепла определяется с помощью термобатареяного детектора	Возможность измерения времени до возгорания образца, возможность измерения потери массы	Не дает представление о поведении материала в условиях пожара
5	ISO 15791-1:2014	Plastics – Development and use of intermediate-scale fire tests for plastics products	Определение типичных областей применения пластиковых изделий и возможных сценариев пожара, которые могут возникнуть при их использовании	Учёт конечного использования продукта, применимость к разным видам пластмассовых изделий	–
6	ISO 21367:2007	Plastics – Reaction to fire – Test method for flame spread and combustion product release from vertically oriented specimens	Определение скорости выделения тепла, воспламеняемости, распространения пламени по поверхности образца, падения капель/частиц и образования дыма в условиях, которые имитируют раннюю стадию развития пожара	Применим к образцам с высокой скоростью выделения тепла, может использоваться как скрининговый тест для испытаний в крупных масштабах, позволяет сравнивать различные типы материалов по большому количеству показателей	Невозможность прогнозировать физические характеристики композитов, невозможность адекватно оценить более сложные строительные конструкции с помощью маломасштабных испытаний, невозможность точно имитировать все условия пожара

*Продолжение таблицы*

№	Стандарт	Наименование	Сущность метода	Достоинства метода	Недостатки метода
7	ASTM E84	Стандартный метод испытаний характеристик горения поверхности строительных материалов	Образец материала помещается в тоннель Штайнера и сжигается с помощью двух горелок в токе воздуха. Определяется поведение материала при горении, а также индексом распространения пламени (FSI) и дымообразованием (SDI).	Надежность; возможность сравнительного анализа реакции разных материалов на огонь	Большие размеры стандартных образцов для испытаний, необязательная связь между индексами распространения пламени и образования дыма, невозможность классификации материалов как горючих
8	ГОСТ–53292	Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на ее основе	Оценка соответствия огнезащитного состава установленной группе огнезащитной эффективности проводится по величине потери массы образца после его сжигания в установке «Огненная труба»	Определение нормируемых показателей пожарной опасности, контроль сохранения огнезащитных свойств покрытия при определении срока службы огнезащитной обработки, возможность определить совместимость огнезащитных составов с различными типами поверхностей	Недопустимость колебаний влажности испытуемых материалов, необходимость в большом количестве повторных испытаний
9	ГОСТ–28157–2018	Пластмассы. Методы определения стойкости к горению	Определение скорости распространения пламени по образцу, времени горения и тления	Даёт возможность отнести образцы к определённым категориям стойкости к горению, позволяет определять категории стойкости пластмасс к горению	Стандарт не распространяется на пластмассы, которые коробятся или подвергаются усадке при воздействии пламени, высокие требования к качеству поверхности образцов
10	ГОСТ–57924	Композиты полимерные. Методы определения горючести материалов для авиационной техники	Определение скорости распространения пламени, наличия сквозного прогорания образца, способности к самостоятельному затуханию после вынесения из пламени	Возможность определения различных степеней горючести материалов и их способности к самостоятельному затуханию	–

Окончание таблицы

№	Стандарт	Наименование	Сущность метода	Достоинства метода	Недостатки метода
11	ГОСТ 21793–76	Пластмассы. Метод определения кислородного индекса	Определение минимальной концентрации кислорода в потоке смеси кислорода с азотом, движущемся со скоростью $(4 \pm 1)$ см/с, которая поддерживает горение образца в течение $(180 \pm 3)$ с или на длину 50 мм, в зависимости от того, какое условие будет выполнено раньше	Позволяет сравнительно оценить горючесть пластмасс в определенных контролируемых условиях. Допускается применять метод для испытаний ячеистых пластмасс	Не применим для оценки пожарной опасности пластмасс, может быть использован только как один из элементов такой оценки
12	ГОСТ Р МЭК 60695–2–10–2011	Основные методы испытаний, раскаленной проволокой. Установка испытания раскаленной проволокой и общие процедуры испытаний	Раскалённая проволока в форме петли разогревается электрическим током до установленной температуры. Конец проволоки прикладывают к испытываемому образцу на установленный период времени, контролируя ряд показателей	Позволяет оценить пожароопасность с помощью имитационного моделирования, имитируя реальные воздействия, которые могут возникнуть на практике	Невозможность провести испытания для мелких деталей, недействительность испытаний, если во время них какая-либо часть оборудования воспламеняется от раскалённой проволоки

В результате работы были рассмотрены основные методы определения огнестойкости полимерных и композиционных материалов. Были кратко описаны стандартные методики испытаний, приведены их достоинства и недостатки. В заключение следует отметить важность использования комплексного подхода к оценке огнестойкости полимерных и композиционных материалов, чтобы обеспечить соответствие нормативным требованиям и безопасность их применения.

### Список источников

1. Рева О. В., Дмитракович Н. М., Мацкевич Е. В. Разработка композиционных огнестойких светоотражающих материалов на текстильной основе и испытания их свойств // Технологии техносферной безопасности. 2023. № 3(101). С. 8–24. DOI: 10.25257/TTS.2023.3.101.8-24.

2. Бирюков В. Г., Мишков С. Н., Соболев А. В. Огнезащищённые клеёные материалы на основе древесины // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2014. № 3. С. 28–31.

3. Авторское свидетельство № 166825 А1 СССР, МПК C08L 63/00, C08K 5/5399, C09D 5/18. Способ получения огнестойких отвержденных полимеров : № 828028/23-5 : заявл. 29.03.1963 : опубл. 01.12.1964 / Ван Эр-Тень, А. Ф. Николаев ; заявитель Ван Эр-Тень.

4. Патент № 2678442 C2 Российская Федерация, МПК C08F 220/28, C08F 220/32, C09K 21/14. Огнестойкие виниловые полимеры : № 2016136648 : заявл. 26.03.2015 : опубл. 29.01.2019 / А. Лонго, А. Арьенти, Д. Ваннуччи.

5. Кодолов В. И. Горючесть и огнестойкость полимерных материалов. Москва : Издательство Химия, 1976. 160 с.

## *References*

1. Reva O. V., Dmitrakovich N. M., Matskevich E. V. Development of composite fire-resistant reflective materials on a textile basis and testing of their properties // Technologies of technosphere safety. 2023. № 3 (101). P. 8–24. DOI: 10.25257/TTS.2023.3.101.8-24.

2. Biryukov V. G., Mishkov S. N., Sobolev A. V. Fire-protected glued materials based on wood // Fires and emergencies: prevention, elimination. 2014. № 3. P. 28–31.

3. Author's Certificate No. 166825 A1 USSR, IPC C08L 63/00, C08K 5/5399, C09D 5/18. Method for producing fire-resistant cured polymers : № 828028/23-5: declared 29.03.1963: published 01.12.1964 / Wang Er-Teng, A. F. Nikolaev; applicant Wang Er-Teng.

4. Patent № 2678442 C2 Russian Federation, IPC C08F 220/28, C08F 220/32, C09K 21/14. Fire-resistant vinyl polymers: № 2016136648: declared 26.03.2015 : published 29.01.2019 / A. Longo, A. Arienti, D. Vannucci.

5. Kodolov V. I. Combustibility and fire resistance of polymeric materials. Moscow : Izdatelstvo Khimiya, 1976. 160 p.