

УДК 699.812.2

ПОЖАРОСТОЙКИЕ СТЁКЛА

Ксения Николаевна Забелина

студент

kseniazabelina18@gmail.com

Николай Викторович Бучилин

кандидат технических наук, доцент

isk115599@rambler.ru

Сергей Юрьевич Щербаков

кандидат технических наук, доцент

scherbakov78@yandex.ru

Мичуринский государственный аграрный университет

г. Мичуринск, Россия

Аннотация. Пожаростойкие материалы и конструкции применяются для пассивной защиты элементов зданий и сооружений, а также объектов, находящихся в сооружениях, от воздействия огня. В настоящей работе рассмотрена классификация пожаростойких стёкол по составу и назначению. Показано, что такие стёкла в основном принадлежат к боралюмосиликатной системе. В многослойных стеклянных конструкциях применяются гели, которые при воздействии высоких температур вспениваются и блокируют распространение пожара.

Ключевые слова: пожаростойкие стёкла, пожаростойкие материалы, пожарная техника, противопожарные средства

Одной из важных подготовительных работ по локализации пожара является обеспечение пассивной защиты объектов, которые необходимо изолировать от воздействия огня. Все материалы, из которых изготовлены пожаростойкие объекты, должны сдерживать пожар в ограниченном пространстве, предотвращая его распространение по всему зданию, либо сооружению.

Обычные стеклопакеты и окна в ПВХ-рамах и алюминиевых рамах подвергаются деформациям при температурах выше 100 °С [1-2]. Поэтому пожаростойкие стеклянные конструкции изготавливаются из специальных стёкол, а также жаростойких металлов для остекления.

В Российской Федерации на сегодняшний день действуют три государственных стандарта по защитным многослойным стёклам и стеклопакетам, а также ограждающим конструкциям: ГОСТ Р 51136-2008 «Стёкла защитные многослойные. Общие технические условия», ГОСТ Р 53308-2009 «Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнения проёмов. Метод испытаний на огнестойкость» и ГОСТ Р 54171-2010 «Стекло многослойное. Технические условия».

В соответствии с ГОСТ Р 51136-2008, пожаростойкое стекло – это элемент заполнения светопрозрачных конструкций, служащих для ограждения или разделения объёмов (помещений) зданий и сооружений и препятствующих распространению пожара в другие помещения (отсеки) в течение нормируемого времени.

В соответствии с требованиями вышеуказанных ГОСТов пожаростойкие стёкла по огнестойкости (сопротивляемости пожару) подразделяются на классы защиты в зависимости от времени наступления одного или нескольких нормируемых признаков предельных состояний:

E – потеря целостности;

I – потеря теплоизолирующей способности по прогреву;

W – потеря теплоизолирующей способности по тепловому излучению.

Примеры обозначения огнестойкости жаростойких стёкол:

E60 – 60 минут по потере целостности;

I45 – 45 минут по потере теплоизолирующей способности по прогреву;

W30 – 30 минут по потере теплоизолирующей способности по тепловому излучению;

E45/I30/W30 – 45 минут по потере целостности, 30 минут – по потере теплоизолирующей способности по нагреву, 30 минут – по потере теплоизолирующей способности по тепловому излучению.

Современные жаростойкие стёкла относятся к силикатным стёклам, т.е. материалам на основе оксида кремния с добавками оксидов металлов, придающих требуемые технологические свойства стеклу [3-4]. Однако в отличие от кристаллических силикатных материалов, стёкла являются аморфными материалами (не имеющими кристаллической решётки), что обеспечивает их высокую прозрачность в видимой части спектра [5-6].

Составы и технологии изготовления жаростойких стёкол целиком определяются комплексом требований, предъявляемых к ним.

Первым требованием является высокая прочность, обеспечивающая сопротивление статическим нагрузкам во время пожара. Прочность обычного листового стекла составляет порядка 20-50 МПа (в зависимости от толщины стекла, состава, метода формования). Прочность жаростойких стёкол должна быть выше 50 МПа. В прошлом веке для повышения прочности жаростойких стёкол их армировали металлическими сетками [7]. Сегодня для повышения прочности применяют два приёма: 1) полировка поверхности стекла после его выработки для удаления микротрещин 2) закалка по специальному температурному режиму. Закалка упрочняет стекло в 2-3 раза и изменяет характер его разрушения таким образом, что при разрушении стекло рассыпается на множество мелких неострых осколков.

Второе требование: высокая температура размягчения (750-1100 °С). Достигается это требование путём введения в состав стёкол оксидов алюминия,

бора и циркония, делающих стёкла более тугоплавкими. Такие составы соответствуют составами стёкол для химико-лабораторной посуды и стеклянной кухонной посуды (жаропрочные крышки сковородок и кастрюль).

Боросиликатные и боралюмосиликатные стёкла применяются для изготовления жаростойких стёкол классов защиты «Е». Стёкла класса защиты «Е» служат для остекления наружных проёмов зданий. Их назначение – не дать оконным проёмам растрескаться при пожаре и обеспечить доступ воздуха в очаг пожара.

Третье требование – высокая термостойкость (способность выдерживать резкие перепады температур без разрушения). Термостойкость линейно зависит от прочности стекла и обратно пропорциональна температурному коэффициенту линейного расширения (ТКЛР) [8]. Поэтому для увеличения термостойкости необходимо использовать стёкла с низкими значениями ТКЛР (ниже, чем $20 \cdot 10^{-7}$). Таким требованиям отвечают частично закристаллизованные стёкла, называемые стеклокристаллическими материалами или ситаллами [9].

Кристаллические включения в стёклах обеспечивают низкие значения ТКЛР. К таким кристаллам относятся литийалюмосиликаты: кордиерит, эвкрипит, сподумен, петалит [7-9]. Поэтому стёкла и стеклокристаллические материалы с низким значением ТКЛР принадлежат к литий-магний-алюмосиликатной системе. Это стёкла классов защиты Е/Л, которые служат для остекления стен и дверей внутри зданий. Их назначение – не дать распространиться открытому пламени внутри здания и защитить находящихся в здании людей от воздействия огня.

Следующее требование – способность отражать инфракрасное излучение. Данным требованиям соответствуют стёкла вышеперечисленных составов с нанесённым на них теплоотражающим покрытием.

Теплоотражающее покрытие представляет собой либо слой оксида титана (IV) (TiO_2) в сочетании с ионами серебра (тип I), либо слой оксида

индия-олова $((\text{In}_2\text{O}_3)_{0,9} \cdot (\text{SnO}_2)_{0,1})$ (тип К) толщиной до 3-100 мкм. Такие слои увеличивают способность стекла отражать инфракрасное излучение. Стёкла классов защиты E/I/W, как правило, принадлежат литий-алюмо-силикатной системе и содержат теплоотражающее покрытие. Их назначение – защита особо ценных объектов внутри огороженных помещений от порчи в результате пожара.

Следующее решение, которое появилось в конце прошлого века – это способность выделять при воздействии высоких температур гель, препятствующий распространению пожара [10]. Такие конструкции представляют собой многослойные триплексы, содержащие между стёклами прослойки гелей, способных при высоких температурах вспениваться и заполнять собой прослойки и трещины внутри стёкол. Составы гелей, как и составы стёкол, являются коммерческой тайной разработчиков. Однако по данным Российских патентов RU 2715174, RU 2784106С1, составы данных гелей представляют собой водные растворы карбонатов щелочных металлов, либо хлорида меди, камеди, крахмала и пропиленгликоля с добавлением жидкой масляной среды.

Таким образом, современные пожаростойкие стёкла представляют собой многослойные стеклопакеты, содержащие гели, препятствующие распространению пожара. Пожаростойкие стёкла всех классов защиты подвергаются закалке и полировке для увеличения трещиностойкости и прочности. Такие стёкла принадлежат к боросиликатным, боралюмосиликатным системам, либо литийалюмосиликатной системе. Разработки в области создания пожаростойких стёкол с улучшенной способностью препятствовать распространению пламени являются актуальными, и ведутся в развитых странах мира.

Список литературы:

1. Клименко Н.Н., Нистратов А.В., Киселева К.И., Делицын Л.М., Сигаев В.Н. Применение вторичного углеродного волокна для армирования композиционного материала на основе щелочеактивированного доменного шлака // *Стекло и керамика*. 2020. № 11. С. 28-31.
2. Строкова Я.А., Клименко Н.Н. Комплексная щелочно-щелочноземельная активация гранулированного доменного шлака // *Успехи в химии и химической технологии*. 2019. Т. 33. № 4. С. 130-132.
3. Бучилин Н.В., Аксеновский А.В., Щербаков С.Ю. Метод получения растворителя на основе циклопентанола в условиях предприятий сельского хозяйства // *Наука и образование*. 2024. Т. 7. № 2.
4. Бучилин Н.В., Никитина В.Ю., Луговой А.А., Варрик Н.М., Бабашов В.Г. Получение высокопористых керамических материалов на основе алюмо-магнезиальной шпинели // *Стекло и керамика*. 2020. № 10. С. 7-14.
5. Торицына В.Н., Картечина Н.В., Яшина Т.К., Васильев В.П. Реализация проектов машинного обучения и искусственного интеллекта // В сборнике: *Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК. материалы Международной научно-практической конференции*. Мичуринск-научоград РФ, 2021. С. 224-225.
6. Тарбеев В.В., Шепелев Д.Н., Бутняков А.И. Цепелева Т.Г. Производство стекла / Н. Новгород: ФГУИПП «Нижполиграф». 2002. 224 с.
7. Бережной А.И. Ситаллы и фотоситаллы / М.: «Машиностроение». 1966. 348 с.
8. Мазурин О.В., Тотеш А.С. Стрельцина М.В, Швайко-Швайковская Т.П. Тепловое расширение стекла / Ленинград: «Наука». 1969. 216 с.
9. Павлушкин Н.М. Основы технологии ситаллов. 2-е изд. / М.: «Стройиздат». 1979. 360 с.
10. Нейланд О.Я. Органическая химия / М.: «Высшая школа». 1990. 751 с.

UDC 699.812.2

FIRE-RESISTANT GLASS

Ksenia N. Zabelina

student

kseniazabelina18@gmail.com

Nikolai V. Buchilin

candidate of technical sciences, associate professor

isk115599@rambler.ru

Sergey Yu. Sherbakov

candidate of technical sciences, associate professor

scherbakov78@yandex.ru

Michurinsk State Agrarian University

Michurinsk, Russia

Abstract. Fire-resistant materials and structures are used to passively protect elements of buildings and structures, as well as objects located in structures, from the effects of fire. In this paper, the classification of fire-resistant glasses by composition and purpose is considered. It is shown that such glasses belong to the borosilicate system. Multilayer glass structures use gels that foam when exposed to high temperatures and block the spread of fire.

Keywords: fire-resistant glass, fire-resistant materials, firefighting equipment.

Статья поступила в редакцию 24.10.2025; одобрена после рецензирования 20.12.2025; принята к публикации 29.12.2025.

The article was submitted 24.10.2025; approved after reviewing 20.12.2025; accepted for publication 29.12.2025.