



Construction of Unique Buildings and Structures



journal homepage: www.unistroy.spbstu.ru



Способы повышения огнестойкости стекла при сохранении его эксплуатационных свойств

А.А. Крюкова¹, М.В. Вергизова², М.В. Гравит³, А.А. Вайтицкий^{4*}, О.В. Недрышкин⁵

¹⁻⁵ Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Информация о статье	История	Ключевые слова
научная статья	Подана в редакцию 29.11.2016	огнестойкость; огнестойкое остекление; огнестойкие гели; строительные конструкции; фасадное остекление; листовое стекло;
УДК 691.6		
doi 10.18720/CUBS.52.2		

АННОТАЦИЯ

На основе обзора зарубежных и российских патентов рассматриваются способы повышения огнестойкости стекла при сохранении его эксплуатационных свойств. Отражены направления ведущихся исследований, разработки составов остекления, обеспечивающих высокую огнестойкость и теплоизолирующую способность. Предложены способы повышения таких характеристик как способность отражать инфракрасное излучение, прозрачность остекления в течение длительного времени в условиях сильного ультрафиолетового облучения, способность поглощать энергию удара, снижение трещиноподобных дефектов, повышенная прозрачность стекла в краевых зонах, повышенная устойчивость к старению. Описаны разработки, которые ведутся для усовершенствования процесса изготовления огнестойкого остекления, например, в области снижения времени сушки светопрозрачных конструкций.

Содержание

1. Введение	18
2. Инновационные материалы светопрозрачных конструкций	18
3. Заключение	22

Контакты авторов:

1. +7(981)7574957, nastya246890@mail.ru (Крюкова Анастасия Алексеевна, студент)
2. +7(981)7842885, Mashia@inbox.ru (Вергизова Мария Викторовна, студент)
3. +7(912)9126407, marina.gravit@mail.ru (Гравит Марина Викторовна, канд. техн. наук, доцент)
- 4*. +7(911)0950406, aryem4090@mail.ru (Вайтицкий Артем Александрович, студент)
5. +7(999)2055852, nedryshkin@gmail.com (Недрышкин Олег Вячеславович, студент)

1. Введение

Одной из причин увеличения объемов использования стекла в строительстве является возможность реализации оригинальных архитектурных решений, особенно это касается зданий с наружным фасадным остеклением повышенной этажности и массовым пребыванием людей [1-3]. При этом, главным недостатком светопрозрачных конструкций является их низкая огнестойкость, обусловленная склонностью стекла к быстрому разрушению при воздействии огня и высокой температуры на начальной стадии пожара [4, 5]. Такое разрушение всегда сопровождается образованием большого количества крупных и мелких осколков, которые при падении с большой высоты представляют реальную опасность. В настоящее время процесса разрушения стекла при пожаре активно изучается [6-13], постепенно определяются новые критерии и зависимости разрушения.

Как известно, если предотвратить вскрытие проемов во время пожара, то вскоре он потухнет из-за нехватки окислителя. Чтобы пожарные подразделения успели остановить распространение огня и приступить к тушению, необходимо предотвратить вскрытие проемов как минимум в течение 15 минут от момента начала пожара. Вопрос повышения степени защиты светопрозрачного заполнения строительных конструкций от воздействия пожара является актуальным. Важно также исследовать методики изготовления огнезащитного стекла и новые материалы.

2. Инновационные материалы светопрозрачных конструкций

Современные светопрозрачные конструкции (СПК) характеризуются большим разнообразием как конструктивных решений, так и применяемых в них материалов и изделий с различными физико-механическими, термомеханическими и пожарно-техническими свойствами.

Конструкции, в состав которых стекло входит в качестве заполнителя, являются негорючими, при этом стекло обладает низкой прочностью, а значит не может служить серьезным препятствием для огня, дыма и токсичных продуктов горения, выделяющихся при пожаре [14-16]. Например, при воздействии высоких температур обычное листовое стекло разрушается уже на 3-5 минуте пожара [17-19], то есть у такого материала отсутствует необходимый предел огнестойкости [20].

Устойчивость остекления снижает вероятность быстрого развития пожара в помещении и возникновения в нем объемной вспышки, приводящей к обрушению конструкций. Быстрое обрушение остекления может также привести к распространению пожара на вышележащие этажи по фасаду здания [21, 22]. В настоящее время существует большое количество систем огнестойкого остекления, для создания которых применяют различные типы огнестойких стекол, изготовленных по разным технологиям, обладающих несхожими физическими свойствами и по-разному ведущих себя при воздействии огня.

К наиболее распространенным огнестойким типам стекла можно отнести многослойное вспенивающееся, которое имеет основанный на жидком стекле внутренний слой, который под воздействием огня вспенивается (расширяется) и становится непрозрачным, обеспечивая известную степень теплоизоляции; многослойное с гелем — представляет собой заполненное гелем двух- или многослойное изделие из закаленного стекла; под воздействием огня из геля высвобождается вода, что обеспечивает необходимую степень теплоизоляции [23-26].

Недостаток огнестойкого стекла — это его стоимость, которая в зависимости от класса защиты, составляет от 6000 до 35 000 руб./м². Стоимость зависит от пределов огнестойкости стекла, теплоизолирующей способности, химического состава, способа изготовления и конструкции остекления. На сегодняшний момент в мире существует 3 лидера по производству высококачественного огнестойкого стекла с гелевым заполнением: Pilkington (Англия), AGC (Бельгия) и Glas Trösch (Швейцария). Pilkington и AGC имеют свои производства в России, но эти заводы предназначены для выпуска листового стекла и триплекса (AGC). Огнестойкое стекло в нашей стране не производится, а поставляется из-за рубежа и хранится на складах фирм-производителей. В связи с этим стоимость этого стекла возрастает еще больше. На основе патентов, проведен обзор современных идей, методов и инновационных материалов, которые позволят повысить огнестойкость светопрозрачных конструкций, сохраняя при этом эксплуатационные свойства стекла. Результаты обзора новых методик, материалов и оборудования представлены ниже.

В патенте AGC Glass Europe [27] описано огнестойкое остекление, включающее чередующиеся расположения вспучивающихся слоев с одной стороны и стеклянных листов с другой стороны. Листы изготавливаются из прозрачного натриево-известкового силикатного стекла толщиной преимущественно не более 3,5 мм. Вспучивающиеся слои формируют из гидратированного силиката щелочного металла с мольным отношением SiO₂/Na₂O 3,3. Кроме того, на эти листы перед сушкой наносится начальный

раствор, содержащий 7 мас.% глицерина и 0,5 мас.% гидроксида тетраметиламмония и 65% воды. Формирование этого слоя и его сушку проводят непосредственно на стеклянном листе. Помимо этого, данное остекление может содержать два слоя из гидратированного силиката щелочного металла, нанесенного один поверх другого. Способ их формирования дает возможность поверхностям, подвергнутым сушке, отличаться от остальной части слоя. Присутствие двух связанных поверхностей сохраняет специфические особенности в сердцевине слоя, сформированного из двух основных слоев. Положение "двойного слоя" может быть определено на любом уровне в конечной структуре.

AGC Glass Europe [28] - это панель остекления, в которой практически исключены негативные действия промежуточного слоя на огнестойкие свойства панели. Панель остекления имеет размеры, по меньшей мере, 40 см на 40 см и содержит первый стеклянный лист, имеющий толщину в пределах от 3 мм до 6 мм, и второй стеклянный лист, расположенный на расстоянии от первого стеклянного листа и имеющий толщину в пределах от 3 мм до 6 мм. Промежуточный слой присоединен между первым и вторым стеклянными листами таким образом, чтобы сформировать ламинированную конструкцию. Промежуточный слой может состоять из материала на основе поливинилбутирала (ПВБ), отличающегося тем, что его максимальная скорость тепловыделения – менее 600 кВт/м². Помимо этого, пространство между стеклянными листами может быть заполнено вспучивающимся слоем, состоящим из силиката калия или силиката натрия. Также панель остекления содержит герметизированное заполненное газом пространство, которое может быть заполнено воздухом либо газом или смесью газов, например газовой смесью, которая увеличивает теплоизоляцию панели остекления. Лицевая сторона панели остекления несет покрывающий комплект, который обеспечивает солнцезащитные свойства и свойства отражения инфракрасного излучения.

В заявке AGC Glass Europe [29] представлен один из видов огнестойкого стекла. Технический результат изобретения заключается в сохранении прозрачности остекления в течение длительного времени в условиях сильного ультрафиолетового облучения. Для удовлетворительного использования рассматриваемые продукты должны быть лишены дефектов и, в частности, дефектов, которые ухудшают прозрачность. Возможными дефектами, наиболее часто встречающимися у этого типа продуктов, являются формирование пузырьков и/или помутнение. Эти дефекты проявляются наиболее часто в ходе испытания на старение. Фактор, известный как способствующий ускоренному старению, представляет собой подвергание воздействию в ультрафиолетовых лучах [30]. Авторами изобретения были выбраны композиции стекла, содержащие церий. Эти составы имеют преимущество – они генерируют только очень слабое изменение в окрашивании при подходящих концентрациях, и пропускание света у этих листов стекла в видимой области является практически неизменным. Концентрация оксида церия находится в интервале между 0,2 и 2 мас.% весу стекла. Это содержание находится предпочтительно в интервале между 0,3 и 1,2, (в лучшем случае от 0,4 до 1%).

В некоторых вариантах выполнения изобретения, один или несколько "монолитных" листов стекла могут быть заменены одним или более ламинированными листами, сформированными, например, из двух листов стекла, соединенных посредством промежуточного листа, изготовленного из термопласта, такого как поливинилбутираль (ПВБ), сополимера этилена и винилацетата (СЭВА) и т.д. Листы этого типа обычно используют для улучшения механических свойств остекления. Однако свойства материалов, формирующих эти промежуточные слои, имеют некоторые недостатки. В частности, при испытании на огнестойкость они разлагаются, что приводит к образованию дыма.

В заявке Pilkington [31] описывается новый способ получения огнестойких остеклений, включающих промежуточный слой на основе силиката, при использовании монолитного способа, который включает комбинирование водного раствора силиката с золей диоксида кремния с получением смеси, имеющей более низкую концентрацию воды. Такое пониженное содержание делает возможным получение огнеупорных стекол, имеющих улучшенные свойства, в частности в том, что они демонстрируют пониженную тенденцию к сползанию промежуточного слоя и могут также демонстрировать улучшенные огнеупорные свойства. Таким образом, настоящее изобретение обеспечивает способ получения многослойного остекления, включающего промежуточный слой на основе силиката. Указанный промежуточный слой образован помещением смеси, включающей раствор силиката щелочного металла и золя диоксида кремния, в пространство между двумя противоположными стеклянными панелями и предоставлением смеси возможности отвердевать без сушки, характеризующийся содержанием воды в смеси в диапазоне от 35% до 43 мас.%.

В патенте AGC Glass Europe [32] предлагается еще один способ получения материала требуемой огнестойкости. Он заключается в равномерном расширении промежуточного слоя и в снижении трещиноподобных дефектов. Огнестойкое остекление содержит, по меньшей мере, один вспучивающийся слой, расположенный между листами стекла и выполненный на основе гидратированного силиката

щелочного металла. Во вспучивающийся материал введены элементы инициатора образования пузырьков для создания хорошо распределенного расширения во время испытания на огнестойкость. Элементы инициатора образования пузырьков вводят в остекление в количестве, по меньшей мере, 5, с предпочтительной площадью поверхности обрабатываемого слоя в $20/\text{мм}^2$. Частицы инициатора образования пузырьков получают из порошка двуокиси кремния и порошка стекла.

В документе [33] рассматривается изобретение, которое относится к пожаробезопасным светопрозрачным строительным конструкциям. Для получения огнезащитных прослоек в многослойном пожаробезопасном остеклении используют гидрогель, включающий следующие компоненты, мас. %: полиакриловую кислоту и/или ее соли щелочных металлов 30-70; многоатомный спирт, преимущественно поливиниловый спирт 0,5-10; воду 7,9-57,9; фотоинициатор полимеризации пероксидного типа 0,06-0,4; замедлитель горения из группы соединений фосфора в количестве 0,5-7. Данный гидрогель характеризуется высокими показателями огнестойкости благодаря образованию плотного коксового слоя, которому свойственны высокие теплоизолирующие коэффициенты. Конструкция может содержать один или более гелевый слой, при этом каждый последующий слой заливается и синтезируется после предыдущего, таким образом, конструкция наращивается последовательно до требуемого количества слоев.

Компания Pilkington предлагает раствор, который используется при производстве огнестойких остеклений и содержащий водорастворимый алюминат и жидкое стекло [34]. Авторы обращаются к способам получения таких растворов и к производству из них вспучивающихся промежуточных слоев, которые могут включаться в огнестойкие остекления. Многослойные стекла содержат вспучивающийся неорганический силикатный промежуточный слой, заключенный между двумя противоположными панелями из стекла. Когда такие ламинаты подвергаются воздействию огня, неорганический промежуточный слой вспучивается и расширяется, образуя пену. Пена обеспечивает термически изолирующий слой, который защищает панель из стекла, удаленную от огня, так что структурная целостность стеклянной сборки, которая действует в качестве барьера, предотвращающего распространение огня, поддерживается в течение более длительного периода. Многослойные стекла, содержащие такие вспучивающиеся промежуточные слои, успешно используются в качестве огнестойких стеклянных структур. Ламинаты могут содержать более двух панелей из стекла, между которыми заключается более от одного до восьми промежуточных слоев.

В другом случае, Pilkington описывается огнезащитное стекло, содержащее несколько расположенных параллельно относительно друг друга стеклянных листов. Между листами стекла расположен огнезащитный материал. В зоне торцевых поверхностей огнезащитного стекла размещен герметизирующий слой, выполненный на основе силан/эпоксидного адгезивного герметика. Эти стекла служат в качестве огнезащитной изоляции отверстий в стене или для заполнения дверного полотна, оставляемого в остальной части непрозрачным. Также они должны, при определенном применении, создавать хорошую теплоизоляцию и ограничивать тепловое излучение очага пожара. Традиционные огнезащитные материалы для огнезащитных стекол, в частности слои из ранее упомянутого содержащего воду жидкого стекла, являются, однако, очень чувствительными к внешним воздействиям. В частности, они являются гигроскопичными, т.е. поглощают воду, точнее, пары воды, и реагируют с ними. Также они вступают в реакцию с диоксидом углерода. Пары воды и диоксид углерода всегда присутствуют в определенном количестве в обычном комнатном или наружном воздухе. Для того чтобы защитить от внешних воздействий размещенный огнезащитный материал и противодействовать потере содержащейся в нем воды, на поверхности отрезных краев отдельных стеклянных листов и на находящиеся между ними открытые поверхности огнезащитного материала, наклеивают ленту для защиты кромок. Она представляет собой самоклеящуюся алюминиевую фольгу, механически защищенную снаружи пластмассовым покрытием, и краевые полосы, которые выступают за торцевую сторону и поэтому накладываются на внутреннюю и/или внешнюю лицевые стороны огнезащитного остекления. Однако клеящий слой фольги с течением времени может раствориться, так что герметизация открытых поверхностей огнезащитного материала, например, от воздействия атмосферной влаги или диффузии воды (паров), в дальнейшем не будет обеспечиваться. Решение данной задачи, согласно настоящему изобретению, заключается в том, что герметизирующий слой образуется по существу исключительно в зоне торцевых поверхностей огнезащитного стекла и состоит из силан/эпоксидного адгезивного герметика.

Solutia Inc. [36] предлагает продукт, который относится к вариантам многослойной стеклянной панели, применяемой, например, для установки в архитектурных проемах. Многослойная стеклянная панель включает огнестойкую панель, причем указанная огнестойкая панель по существу состоит из двух слоев стекла и листа термопластического полимера поливинилбутирала, расположенного между двумя указанными слоями стекла. При этом термопластичный полимер поливинилбутираль включает остаточное

содержание поливинилового спирта, составляющее от 17 мас.% до 50 мас.%, и пластификатор, представляющий собой мономерный фосфатный эфир. Поливинилбутираль (ПВБ) традиционно применяют для изготовления полимерных листов, которые могут быть использованы в качестве промежуточных слоев в светопропускающих ламинатах, таких как бесосколочное стекло или полимерные ламинаты. Бесосколочным стеклом обычно называют прозрачный ламинат, включающий лист поливинилбутираля, расположенный между двумя стеклянными панелями. Бесосколочное стекло часто применяют для создания прозрачного барьера в архитектурных проемах и автомобильных окнах. Основная функция такого стекла - поглощать энергию, например, энергию удара неким объектом, но при этом не допускать проникновения объекта через стекло.

Патент AGC Glass Europe [37] описывает прозрачные огнестойкие остекления, которые формируются из листов стекла и слоев гидратированных силикатов щелочного металла между ними. Состав гидратированных силикатов щелочного металла является таким, что их можно наносить без сушки, причем затвердевание происходит самопроизвольно после смешивания составных частей. Остекления, на основании их качества, должны удовлетворять характеристикам остеклений, классифицированных как EI 60. Эти остекления имеют специфическую особенность в испытаниях модельного очага пожара, огнестойкости и дымостойкости и термоизоляции, характеризующуюся тем, что температура позади этого остекления в ходе испытания в течение не менее 60 минут не поднимается выше 140°C в среднем и не выше 180°C локально. Однако трудность получения данного остекления связана с желанием избежать сушки растворов силиката и в то же самое время сохранить достаточно высокое молярное отношение, а также в получении силикатных композиций, которое должно происходить в соответствии с довольно специфическим процессом, в частности, включающим добавление коллоидной двуокиси кремния.

В заявке AGC Glass Europe [38] заявлен способ снижения времени сушки растворов, на основе которых получают вспучивающийся слой с сохранением высоких огнеупорных свойств и высокой устойчивости остекления к старению. Огнеупорное остекление содержит, по меньшей мере, один слой вспучивающегося материала на основе гидратированного силиката натрия. Вспучивающийся слой получен путем высушивания промышленного раствора силиката натрия с добавлением суспензии коллоидной двуокиси кремния. Авторы изобретения выбрали получение огнеупорных элементов остекления из композиций силикатов щелочных металлов, доступных в промышленных количествах, а именно, из силикатов натрия, и предложили новые способы, позволяющие существенно сократить время процедуры сушки.

В заявке [39] описывается многослойный огнестойкий стеклопакет с внутренним слоем из терморазбухающего материала, обладающий хорошими оптическими свойствами, хорошей термической изоляцией и низким светопропусканием при возникновении огня в непосредственной близости от стеклопакета. Огнестойкий многослойный стеклопакет выполнен, по крайней мере, из двух стекол, между которыми расположен как минимум один слой прозрачного терморазбухающего материала на основе гидратированного силиката щелочного металла и добавок и, по крайней мере, один промежуточный склеивающий слой, контактирующий со слоем из терморазбухающего материала. Терморазбухающий материал выполнен из композиции следующего состава, об. %: многоатомный спирт 6,0-10,0; смачиватель 0,1; гидроксид щелочного металла кристаллический или поливиниловый спирт 2,0-3,0; желатин 4,0; пеногаситель 1,0; гидратированный сульфат металла 2,0-5,0; гидратированный силикат щелочного металла – остальное. Основным преимуществом данного изобретения является использование в промежуточном склеивающем слое полимерного фотоотверждаемого иммерсионного материала с коэффициентом преломления, равным коэффициенту преломления терморазбухающего материала. За счет полимерного фотоотверждаемого иммерсионного материала происходит исправление оптических дефектов покрытия, повышение теплоизоляционной способности, с помощью термической деструкции иммерсионного состава, и, тем самым, снижение светопропускания до 10%. Кроме того, технология изготовления стеклопакета проста и не требует дорогостоящего оборудования.

Патент AGC Glass Europe [40], описывает остекление, содержащее по меньшей мере один вспучивающийся слой на основе гидратированного силиката щелочного металла, заключенный между листами стекла. Технический результат заключается в повышении устойчивости к старению. Лист стекла покрыт тонким слоем, отфильтровывающим ультрафиолетовые лучи, который не пропускает более 35% лучей с длинами волн, равными и менее 345 нм. Слой, отфильтровывающий ультрафиолетовые лучи, может быть выполнен на основе одного из следующих компонентов: оксида цинка или сплава на основе цинка, смешанных оксидов олова и цинка, оксида церия. Толщина для одного слоя оксида цинка составляет не менее 50 нм. Слои оксида цинка являются относительно простыми для нанесения и относительно недорогими.

В патенте AGC Glass Europe [41] рассматриваются огнестойкие стеклопакеты. Технический результат изобретения заключается в повышении стойкости к старению вспучивающихся слоев и в снижении помутнения изделия со временем. Вспучивающийся материал для огнестойкого остекления на основе гидратированного щелочного силиката образован путем добавления водных дисперсий коллоидного кремнезема к растворам щелочного силиката. Содержание коллоидного кремнезема составляет, по меньшей мере, 20% в расчете на общее количество кремнезема. Атомное отношение калия ко всем щелочным веществам составляет более 4/1, а кажущееся Si/щелочное мольное отношение – более 3,5 и менее 10. Затем смесь из указанных компонентов наносят на плоскую подложку в виде слоя и подвергают операции сушки с доведением кажущегося содержания воды до значения, не превышающего 55%. Авторами было установлено, что повышение стойкости к старению изделий можно обеспечить путем получения подвергаемого сушке состава изделия из растворов силиката калия с добавленным к ним кремнеземом SiO₂ в виде суспензии коллоидных частиц. В соответствии с этим, авторы предлагают, в частности, поддерживать определенное отношение кремнезема, который осаждается из щелочных растворов.

3. Заключение

Основной проблемой при повышении огнестойкости стекла является сохранение его эксплуатационных свойств, таких как светопрозрачность, плотность, пористость. Специалисты занимаются разработкой составов остекления, обеспечивающих высокую огнестойкость и теплоизолирующую способность, пытаются улучшить такие характеристики как способность отражать инфракрасное излучение, прозрачность остекления в течение длительного времени в условиях сильного ультрафиолетового облучения, способность поглощать энергию удара, при этом не допуская проникновения объекта через стекло, снижение трещиноподобных дефектов, повышенная прозрачность стекла в краевых зонах, повышенная устойчивость к старению. Разработки ведутся и над усовершенствованием процессов изготовления огнестойкого остекления, например, в области снижения времени сушки СПК, что значительно позволит уменьшить их высокую стоимость.

Литература

- [1]. Richardson J. K., Chown G. A. Glazing in fire-resistant wall assemblies. *Construction and Building Materials*. 1989. No. 1(3). pp. 40-43.
- [2]. Oliver D. S. Glass for construction purposes. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 1977. No. 1-3 (26). pp. 514-602.
- [3]. Cowlard A., Bittern A., Abecassis-Empis C., Torero J. Fire Safety Design for Tall Buildings. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 62. pp. 169-181.
- [4]. Гравит М. В. Распространение результатов испытаний на огнестойкость светопрозрачных ограждающих несущих конструкций // *Пожаровзрывобезопасность*. 2014. №11. С. 42-45.
- [5]. Zhaopeng, N., Shichang L. Experimental study on fire performance of double-skin glass facades. *Journal of fire Science*. 2012. No. 5(30). pp. 457-472.
- [6]. Pagni P. J., Joshi A. A. Glass Breaking in Fires. *Fire Safety Science: Proc. Third Intl. Symp., Elsevier Applied Science*. 1991. pp. 791-802.
- [7]. Skelly M. J., Roby R. J., Beyler C. L. Window breakage in compartment fires. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1991. pp. 25.
- [8]. Cuzzillo B. R., Pagni P. J. Thermal breakage of double-pane glazing by fire. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1998. No. 1(9). pp. 1-11.
- [9]. Joshi A. A., Pagni P. J. Fire-Induced Thermal Fields in Window Glass. I-Theory. *Fire Safety Journal*. 1994. No. 1(22). pp. 25-43.
- [10]. Joshi A. A., Pagni P. J. Fire-Induced Thermal Fields in Window Glass. II – Experiments. *Fire Safety Journal*. 1994. No.1(22). pp. 45-63.
- [11]. Sincaglia P. E., Barnett J. R. Development of a Glass Window Fracture Model for Zone-Type Computer Fire Codes. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1996. No. 3(8). pp. 107-117.
- [12]. Keski-Rahkonen O. Breaking of Window Glass Close to Fire. *Fire and Materials*. 1988. Vol. 12. pp. 61-69.
- [13]. Hassani S. K., Shields T. J., Silcock G. W. An Experimental Investigation into the Behaviour of Glazing in Enclosure Fire. *Journal Applied Fire Science*. 1994. Vol. 4. pp. 303-323.
- [14]. Зубкова Е. В. Факторы разрушения листового стекла при пожаре // *Технологии техносферной безопасности*. 2015. №4. С. 134-139.

- [15]. Harada K., Enomoto A., Uede K., Wakamatsu T. An Experimental Study on Glass Cracking and Fallout by Radiant Heat Exposure in Fire Safety Science. Proc. 6th Intl. Symp., Intl. Assn. for Fire Safety Science. 2000. pp. 1063-1074.
- [16]. Shao G., Wang Q., Zhao H. Maximum Temperature to Withstand Water Film for Tempered Glass Exposed to Fire. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 57. pp. 15–23.
- [17]. Казиев М. М., Подгрушный А. В., Дудунов А. В. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. №2. С. 5-10.
- [18]. Казиев М.М., Дудунов А.В. Огнестойкие светопрозрачные конструкции // Пожаровзрывобезопасность. 2007. № 2. С. 53-55.
- [19]. Shields T. J., Silcock G. W. H., Flood M. Performance of a Single Glazing Assembly Exposed to a Fire in the Centre of an Enclosure. Fire and Materials. 2002. No. 26. pp. 61-75.
- [20]. Казиев М.М., Дудунов А.В. Поведение остекления окон при пожаре // Жилищное строительство. 2009. №3. С. 37-39.
- [21]. Lei P., Zhaopeng N., Xin H. Review on the Fire Safety of Exterior Wall Claddings in High-rise Buildings in China. Procedia Engineering. 2013. Vol. 62. pp. 663-670.
- [22]. Dembele S., Rosario R. A. F., Wen J. X. Thermal breakage of window glass in room fires conditions - Analysis of some important parameters. Building and Environment. 2012. Vol. 54. pp. 61–70.
- [23]. Еремина Т. Ю., Гравит М. В., Дмитриева Ю. Н. Особенности и принципы построения рецептур огнезащитных вспучивающихся композиций на основе эпоксидных смол // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 7. С. 52-56.
- [24]. Shields T. J., Silcock G. W., Hassani S. K. S. The Behavior of Double Glazing in an Enclosure Fire. Journal of Applied Fire Science. 1997–98. No.3(7). pp. 267–286.
- [25]. Fokin V., Abyzov A., Zannotto E., Cassar D., Rodrigues A., Schmelzer J. Crystal nucleation in glass-forming liquids: Variation of the size of the “structural units” with temperature. Journal of Non-Crystalline Solids. 2016. Vol. 447. pp. 35-44.
- [26]. Qina Y. S., Shib Y., Hana X. L., Songa K. K., Caob C. D., Lia X. L., Wanga S. H., Hec J., Wanga L., Kaband I., Eckerte J. Formation and phase evolution of liquid phase-separated metallic glasses with double glass transition, crystallization and melting. Materials Today Communications. 2016. Vol.8. pp. 64–71.
- [27]. Альденхофф О., Дюри Б., Гельфф П. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2403215. - 10.11.2010.
- [28]. Деган Э., Гельфф П. Остекление // Патент РФ. - №2375320. - 10.12.2009.
- [29]. Дюри Б., Деган Э. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2439011. - 10.01.2012.
- [30]. Luangtriratana P., Kandola B. K., Ebdon J. R. UV-polymerisable, phosphorus-containing, flame-retardant surface coatings for glass fibre-reinforced epoxy composites. Progress in Organic Coatings. 2015. Vol. 78. pp. 73-82.
- [31]. Варма К. С., Холден Д., Холланд Д. Р. Способ получения огнеупорного остекления // Патент РФ. - №2451645. - 27.05.2012.
- [32]. Бонфуа Ф., Матеан К. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2450986. - 20.05.2012.
- [33]. Бурмистров И. Н., Панова Л. Г., Лещенко А. С., Литовченко Д. И. Гидрогель для огнезащитных прослоек в многослойном пожаробезопасном остеклении // Патент РФ. - №2440937. - 27.01.2012.
- [34]. Холланд Д. Р., Холден Д. У., Бонд С. Я., Варма К. С. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2292375. - 27.01.2007.
- [35]. Шредерс Т., Шеррер К. Огнезащитное стекло и способ его изготовления // Патент РФ. - №2440311. - 20.01.2012.
- [36]. Ма Й. Огнестойкие полимерные листы // Патент РФ. - №2450933. - 20.05.2012.
- [37]. Гельфф П. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2503543. - 10.01.2014.
- [38]. Альденхофф О., Дюри Б. Огнеупорное остекление // Патент РФ. - №2463268. - 10.10.2012.
- [39]. Хайруллин Н. А., Казиев М. М., Злотопольский А. И., Мтиуллин М. Х., Мифтяхетдинов Р. А. Огнестойкий многослойный стеклопакет и способ его изготовления // Патент РФ. - №2288898. - 10.12.2006.
- [40]. Дюри Б., Деган Э. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2417173. - 27.04.2011.
- [41]. Гельфф П. Огнестойкое остекление // Патент РФ. - №2418754. - 20.05.2011. Зиновьев В.Б., Шведов В.Н. О расстановке нагелей крестообразного сечения в соединениях деревянных элементов // Строительные конструкции и расчет сооружений: сб. тез. докл. науч.-техн. конф. Новосибирск, НИСИ, 1993. С. 36-37.

The process of increasing the fire resistance of glass with preservation its operational properties

A.A. Kryukova¹, M.V. Vergizova², M.V. Gravit³, A.A. Vaititckii^{4*}, O.V. Nedryshkin⁵

¹⁻⁵Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

ARTICLE INFO

scientific article

doi: 10.18720/CUBS.52.2

Article history

Received 29.11.2016

Keywords

fire resistance;
fire-resistant glazing;
fire-resistant gels;
building constructions;
facade glazing;
flat glass;

ABSTRACT

Methods of glass fire resistance improvement with preservation of its operation characteristics are considered on the basis of foreign and Russian patents review. Trends of conducting investigations, development of compositions of glazing, providing high fire resistance and thermal effect level are reflected in the article. Ways to improve such characteristics as the ability to reflect infrared radiation, the transparency of the glass for a long time, the ability to absorb impact energy, increased resistance to aging are proposed. Elaborations providing to improve the producing process

Contact information:

1. +7(981)7574957, nastya246890@mail.ru (Anastasia Kryukova, Student)
2. +7(981)7842885, Mashia@inbox.ru (Maria Vergizova, Student)
3. +7(912)9126407, marina.gravit@mail.ru (Marina Gravit, PhD, Associate Professor)
- 4*. +7(911)0950406, aryem4090@mail.ru (Artem Vaititckii, Student)
5. +7(999)2055852, nedryshkin@gmail.com (Oleg Nedryshkin, Student)

References

- [1]. Richardson J. K., Chown G. A. Glazing in fire-resistant wall assemblies. *Construction and Building Materials*. 1989. No. 1(3). pp. 40-43.
- [2]. Oliver D. S. Glass for construction purposes. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 1977. No. 1-3 (26). pp. 514-602.
- [3]. Cowlard A., Bittern A., Abecassis-Empis C., Torero J. Fire Safety Design for Tall Buildings. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 62. pp. 169-181.
- [4]. Gravit M. V. Rasprostraneniye rezultatov ispytaniy na ognestoykost svetoprozrachnykh ograzhdayushchikh nenesushchikh konstruktsiy // *Pozharovzryvobezopasnost*. 2014. №11. S. 42-45.
- [5]. Zhaopeng, N., Shichang L. Experimental study on fire performance of double-skin glass facades. *Journal of fire Science*. 2012. No. 5(30). pp. 457-472.
- [6]. Pagni P. J., Joshi A. A. Glass Breaking in Fires. *Fire Safety Science: Proc. Third Intl. Symp., Elsevier Applied Science*. 1991. pp. 791-802.
- [7]. Skelly M. J., Roby R. J., Beyler C. L. Window breakage in compartment fires. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1991. pp. 25.
- [8]. Cuzzillo B. R., Pagni P. J. Thermal breakage of double-pane glazing by fire. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1998. No. 1(9). pp. 1-11.
- [9]. Joshi A. A., Pagni P. J. Fire-Induced Thermal Fields in Window Glass. I-Theory. *Fire Safety Journal*. 1994. No. 1(22). pp. 25-43.
- [10]. Joshi A. A., Pagni P. J. Fire-Induced Thermal Fields in Window Glass. II – Experiments. *Fire Safety Journal*. 1994. No.1(22). pp. 45-63.
- [11]. Sincaglia P. E., Barnett J. R. Development of a Glass Window Fracture Model for Zone-Type Computer Fire Codes. *Journal of Fire Protection Engineering*. 1996. No. 3(8). pp. 107-117.
- [12]. Keski-Rahkonen O. Breaking of Window Glass Close to Fire // *Fire and Materials*. 1988. Vol. 12. pp. 61-69.
- [13]. Hassani S. K., Shields T. J., Silcock G. W. An Experimental Investigation into the Behaviour of Glazing in Enclosure Fire. *Journal Applied Fire Science*. 1994. Vol. 4. pp. 303-323.
- [14]. Zubkova Ye. V. Faktory razrusheniya listovogo stekla pri pozhare. *Tekhnologii tekhnosfernoy bezopasnosti*. 2015. No. 4. 134-139 p. (rus)
- [15]. Harada K., Enomoto A., Uede K., Wakamatsu T. An Experimental Study on Glass Cracking and Fallout by Radiant Heat Exposure in Fire Safety Science. *Proc. 6th Intl. Symp., Intl. Assn. for Fire Safety Science*. 2000. pp. 1063 - 1074.
- [16]. Shao G., Wang Q., Zhao H. Maximum Temperature to Withstand Water Film for Tempered Glass Exposed to Fire. *Construction and Building Materials*. 2014. Vol. 57. pp. 15-23.
- [17]. Kazyev M. M., Podgrushnyy A. V., Dudunov A. V. Razrusheniye svetoprozrachnykh stroitelnykh konstruktsiy pri teplovom vozdeystvii v usloviyakh pozhara. *Pozhary i chrezvychaynyye situatsii: predotvrashcheniye, likvidatsiya*. 2009. No. 2. Pp. 5-10. (rus)
- [18]. Kazyev M.M., Dudunov A.V. Ognestoykiye svetoprozrachnyye konstruktsii. *Pozharovzryvobezopasnost*. 2007. No. 2. Pp. 53-55. (rus)
- [19]. Shields T. J., Silcock G. W. H., Flood M. Performance of a Single Glazing Assembly Exposed to a Fire in the Centre of an Enclosure. *Fire and Materials*. 2002. No. 26. pp. 61-75.
- [20]. Kazyev M.M., Dudunov A.V. Povedeniye ostekleniya okon pri pozhare. *Zhilishchnoye stroitelstvo*. 2009. No. 3. Pp. 37-39. (rus)
- [21]. Lei P., Zhaopeng N., Xin H. Review on the Fire Safety of Exterior Wall Claddings in High-rise Buildings in China. *Procedia Engineering*. 2013. Vol. 62. pp. 663-670.
- [22]. Dembele S., Rosario R. A. F., Wen J. X. Thermal breakage of window glass in room fires conditions - Analysis of some important parameters. *Building and Environment*. 2012. Vol. 54. pp. 61-70.
- [23]. Yemina T. Yu., Gravit M. V., Dmitriyeva Yu. N. Osobennosti i printsipy postroyeniya retseptur ognезashchitnykh vspuchivayushchikhsya kompozitsiy na osnove epoksidnykh smol. *Pozharovzryvobezopasnost*. 2012. No. 7. Pp. 52-56. (rus)
- [24]. Shields T. J., Silcock G. W., Hassani S. K. S. The Behavior of Double Glazing in an Enclosure Fire. *Journal of Applied Fire Science*. 1997-98. No.3(7). pp. 267-286.

- [25]. Fokin V., Abyzov A., Zanotto E., Cassar D., Rodrigues A., Schmelzer J. Crystal nucleation in glass-forming liquids: Variation of the size of the "structural units" with temperature. *Journal of Non-Crystalline Solids*. 2016. Vol. 447. pp. 35-44.
- [26]. Qina Y. S., Shib Y., Hana X. L., Songa K. K., Caob C. D., Lia X. L., Wanga S. H., Hec J., Wanga L., Kaband I., Eckerte J. Formation and phase evolution of liquid phase-separated metallic glasses with double glass transition, crystallization and melting. *Materials Today Communications*. 2016. Vol.8. pp. 64–71.
- [27]. Aldenkhoﬀ O., Dyuri B., Gelf P. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2403215. - 10.11.2010.
- [28]. Degan E., Gelf P. Ostekleniye // Patent RF. - №2375320. - 10.12.2009.
- [29]. Dyuri B., Degan E.. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2439011. - 10.01.2012.
- [30]. Luangtriratana P., Kandola B. K., Ebdon J. R. UV-polymerisable, phosphorus-containing, flame-retardant surface coatings for glass fibre-reinforced epoxy composites. *Progress in Organic Coatings*. 2015. Vol. 78. pp. 73-82.
- [31]. Varma K. S., Kholden D., Kholden D. R. Sposob polucheniya ogneupornogo ostekleniya // Patent RF. - №2451645. - 27.05.2012.
- [32]. Bonfua F., Matean K. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2450986. - 20.05.2012.
- [33]. Burmistrov I. N., Panova L. G., Leshchenko A. S., Litovchenko D. I. Gidrogel dlya ognezashchitnykh prosloyek v mnogoslennom pozharobezopasnom osteklenii // Patent RF. - №2440937. - 27.01.2012.
- [34]. Kholden D. R., Kholden D. U., Bond S. Ya., Varma K. S. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2292375. - 27.01.2007.
- [35]. Shreders T., Sherrer K.. Ognestoykoye steklo i sposob yego izgotovleniya // Patent RF. - №2440311. - 20.01.2012.
- [36]. Ma Y. Ognestoykiye polimernyye listy // Patent RF. - №2450933. - 20.05.2012.
- [37]. Gelf P. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2503543. - 10.01.2014.
- [38]. Aldenkhoﬀ O., Dyuri B. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2463268. - 10.10.2012.
- [39]. Khayrullin N. A., Kaziyev M. M., Zlotopolskiy A. I., Mtiullin M. Kh., Miftyakhetdinov R. A. Ognestoykiy mnogoslennyy steklopaket i sposob yego izgotovleniya // Patent RF. - №2288898. - 10.12.2006.
- [40]. Dyuri B., Degan E. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2417173. - 27.04.2011.
- [41]. Gelf P. Ognestoykoye ostekleniye // Patent RF. - №2418754. - 20.05.2011.

Крюкова А.А., Вергизова М.В., Гравит М.В., Вайтицкий А.А., Недрышкин О.В. Способы повышения огнестойкости стекла при сохранении его эксплуатационных свойств // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2017. №1 (52). С. 17-26.

Kryukova A., Vergizova M., Gravit M., Vaititckii A., Nedryshkin O. The process of increasing the fire resistance of glass with preservation its operational properties. Construction of Unique Buildings and Structures, 2017, 1 (52), Pp. 17-26. (rus)