

Научная статья
УДК 614.841.3
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.83.79.004

Пожароустойчивость светопрозрачных ограждающих строительных конструкций с водяным орошением

Махач Магомедович Казиев¹
Владимир Игоревич Безбородов²
Евгений Владимирович Вагенлейтнер³

¹Академия ГПС МЧС России, Москва, Россия

^{2,3}Оренбургский филиал ВНИИПО МЧС, Оренбург, Россия

Автор ответственный за переписку: Евгений Владимирович Вагенлейтнер,
vniipo_vagen@mail.ru

Аннотация. В статье обобщен и проанализирован опыт исследований отечественных и зарубежных ученых по применению водяного орошения для повышения пожароустойчивости светопрозрачных ограждающих конструкций. Приведены результаты натурных экспериментов по определению критериев разрушения обычных и специальных стекол с водяным орошением. Основываясь на результатах проведенных исследований, определена актуальная область дальнейших исследований.

Ключевые слова: пожароустойчивость, стекло, светопрозрачная строительная конструкция, предел огнестойкости, водяное орошение, предотвращение распространения пожара, высотные жилые здания, светопрозрачный фасад

Для цитирования: Казиев М.М., Безбородов В.И., Вагенлейтнер Е.В. Пожароустойчивость светопрозрачных ограждающих строительных конструкций с водяным орошением // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 4 (27). С. 12-19. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.83.79.004>.

FIRE RESISTANCE OF TRANSLUCENT ENCLOSING BUILDING STRUCTURES WITH WATER IRRIGATION

Makhach M. Kaziev¹
Vladimir I. Bezborodov²
Evgenij V. Vagenleytner³

¹Academy of State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Moscow, Russia

^{2,3}Orenburg branch VNIPO of the EMERCOM of Russia, Orenburg, Russia

Corresponding author: Evgenij V. Vagenleytner, vniipo_vagen@mail.ru

Abstract. The article summarizes and analyzes the research experience of domestic and foreign scientists on the use of water irrigation to increase the fire resistance of translucent enclosing structures. The results of field experiments to determine the criteria for the destruction of conventional and special glasses with water irrigation are presented. Based on the results of the conducted research, the actual area of further research has been determined.

Keywords: fire resistance, glass, translucent enclosing structure, water irrigation, fire spread

For citation: Kaziev M.M., Bezborodov V.I., Vagenleytner E.V. Fire resistance of translucent enclosing building structures with water irrigation // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2022;4(27): 12-19. (In Russ.). <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2022.83.79.004>.

За последние годы во всем мире при строительстве зданий различного функционального назначения стали широко использоваться светопрозрачные конструкции. Основными причинами увеличения объемов использования стекла в строительстве является его экономичность, энергоэффективность и возможность реализации оригинальных объемно-планировочных и архитектурных решений. В особенности это касается высотных зданий и зданий с массовым пребыванием людей.

В настоящее время стекло является одним из самых популярных материалов, применяемых как с внешней стороны здания в качестве несущих ограждающих стен, так и во внутреннем объеме зданий в качестве ограждающих конструкций помещений и коридоров.

В то же время главным недостатком светопрозрачных элементов конструкции, с точки зрения пожарной безопасности, является их низкая пожароустойчивость, обусловленная способностью стекла к разрушению при воздействии огня уже на начальной стадии пожара. Основной причиной разрушения стекла является быстрый и неравномерный прогрев, вследствие чего происходит рост внутренних механических напряжений, которые в момент разрушения достигают предела прочности на изгиб или растяжение. [1]. Разрушение ограждающей светопрозрачной конструкции приводит к общей вспышке и интенсивному развитию пожара, обусловленного дополнительным притоком воздуха в помещение очага пожара. Выброс высоконагретых продуктов горения создает мощное температурное воздействие на светопрозрачные конструкции вышележащих этажей, способствуя их разрушению и переходу пожара на этаж выше. Два пожара расположенные один над другим взаимно усиливают друг друга, создавая еще более мощные температурные поля вдоль плоскости фасада, развитие пожара по фасаду здания приобретает прогрессирующий характер с вовлечением в пожар помещений, расположенных по горизонтали. Объективная необходимость повышения пожароустойчивости и определение эффективного метода защиты светопрозрачных ограждающих конструкций для ограничения распространения пожара по фасаду здания является актуальной научной задачей.

В настоящее время активно внедряются различные инженерно-технические решения, направленные на ограничение распространения пожара по фасаду здания. Одним из таких решений является защита светопрозрачного фасада водяным орошением.

Возможность практического использования водяного орошения для защиты светопрозрачных фасадных конструкций было признано в 60-х годах в США [2]. Целью исследований в то время было ограничение теплового излучения, вызванного пожаром в помещении через наружные светопрозрачные конструкции для обоснования допустимых противопожарных разрывов между зданиями. Приведенные в обзоре Ричардсона и Олешкевича [3] первые технические решения основывались на защите фасадов со стеклопакетами из закаленного стекла дренчерными оросителями. Дренчерная система была разработана для 45-минутной защиты от теплового воздействия снаружи здания и требовала значительного количества воды [2]. Подобные исследования проводились также в Австралии [4]. Исследованиями было установлено, что водяная завеса позволяет снизить плотность лучистого теплового потока на 90 %.

Значительный объем исследований защиты фасадов из закаленного стекла системой водяного орошения проведен Национальным исследовательским советом (NRC) в Канаде. Были проведены крупномасштабные и натурные эксперименты по огнезащите оконных конструкций с помощью спринклерной системы. Эксперименты проводились на установке, представляющей собой помещение размером 1,83 м x 2,44 м и высотой 3,05 м. Одна из стен помещения заполнялась светопрозрачной фасадной конструкцией. Источником теплового воздействия служила пропановая горелка, размещенная у стены, противоположной остеклению.

В эксперименте использовались одинарные и двойные стеклопакеты различных размеров из армированного и закаленного стекла толщиной 6 мм. Защита обеспечивалась боковыми оросителями и опытными горизонтальными оросителями ($K = 78$, $T = 74$ °C). В восьми опытах из 11 спринклер располагался с не обогреваемой стороны стекла. Разрушения стекла при орошении со стороны пожара не происходило. Орошение позволило стабилизировать температуру на не обогреваемой стороне стекла на уровне 65–100 °C. Эксперименты позволили сформулировать рекомендации по эффективному расположению оросителей и необходимости обеспечения своевременного и равномерного орошения стекла [5]. Информация о динамике роста температуры на внутренней и наружной поверхности стекол и парламентах водяного орошения в работе не приводится.

На базе NRC были проведены натурные эксперименты в помещении площадью 3,6×3,3 м и высотой 3,3 м исследователями А.К. Kim и G.D. Loughheed [6]. Были исследованы три типа конструкций, в том числе два стеклопакета с внутренним стеклом из закаленного стекла, стеклопакет с термоупрочненным внутренним стеклом и два стеклопакета с термоупрочненным внутренним стеклом и центральной стойкой. Спринклерный ороситель (типа Grinnel FR-1/Q-60) располагался в центре каждой оконной секции на расстоянии 12 мм от стекла. Тепловое воздействие соответствовало стандартной кривой «время-температура» с помощью пропановых горелок, расположенных в противоположной от остекления части помещения. Были протестированы различные скорости и расходы воды. Все оконные конструкции выдерживали воздействие огня в течение 2 часов при увеличенном расходе. При уменьшении расхода воды наблюдались повреждения стеклопакета, особенно в верхних углах, где формировались сухие участки. Воздухообмен в помещении очага пожара организовывался вытяжным отверстием, располагавшемся на полу, рядом с остеклением, что не соответствует практике и вызывает сомнение в корректности полученных результатов. Также А.К. Kim и G.D. Loughheed [6] в 19 небольших экспериментах установили, что обычное стекло разрушается через несколько минут при температуре 150–175 °C, тогда как закаленное стекло сохраняет целостность до 350 °C. Кроме того, было проведено 50 экспериментов по оценке воздействия распыления воды на предварительно нагретое стекло, демонстрирующих некоторое повышение устойчивости обычного стекла до температур 80–90 °C, термоупрочненного стекла до 150–165 °C и закаленного стекла до 200 °C.

Исследования, проведенные Советом по предотвращению убытков Великобритании [7], показали, что разрушение стеклопакета может происходить также на ранних этапах испытания из-за образования локальных зон прогрева стекла, не подверженных защите водяным орошением.

Проведенные нами исследования причин и условий (критериев) разрушения обычных и специальных стекол с водяным орошением, в условиях стандартного температурного режима так же показали зависимость наступления предельных состояний по потере целостности от температуры стекла в момент подачи воды. В результате испытаний было установлено, что для повышения пожароустойчивости обычного листового стекла подачу воды (расходом не менее 0,6 л.с./м.кв) необходимо осуществлять не позднее 30 секунды с момента начала огневого воздействия, при подаче воды с обогреваемой стороны время наступления предельного состояния увеличивается до 20 минут, при защите стекла с необогреваемой стороны потеря целостности наступает на второй минуте.

Для предотвращения разрушения закаленного стекла подачу воды необходимо осуществлять не позднее 120 секунд с момента начала огневого воздействия. Целостность стекла сохраняется как при защите стекла с обогреваемой стороны, так и с не обогреваемой стороны, при этом температура на не обогреваемой стороне стекла не превышает 1800C. Для повышения пожароустойчивости многослойного стекла подачу воды необходимо осуществлять не позднее 120 секунды с момента начала огневого воздействия. Целостность стекла сохраняется до 30 минут как при защите стекла с обогреваемой стороны, так и с не обогреваемой стороны.

По результатам проведенных исследований было установлено, что для повышения пожароустойчивости стеклопакетов следует использовать дренчерные или спринклерные оросители специального назначения с температурой включения (срабатывания) не более 70 °C, способные создавать сплошной водяной поток по всей поверхности светопрозрачной конструкции, при этом инерционность срабатывания не должна превышать 120 секунд.

A.K. Kim, B.C. Taber и G.D. Loughheed [8] изучали защиту закаленного остекления водяным орошением от внешних пожаров. Факел пламени был смоделирован с использованием пропановой горелки (труба диаметром 50 мм с 18 отверстиями, равномерно расположенными на коллекторе длиной 3 м). Для защиты стекла применялись два стандартных спринклера боковой установки и один специальный спринклер устанавливался в верхней части остекления (тип боковых распылителей $K = 80$, $T = 74$ °C). Орошение осуществлялось со стороны помещения. Было установлено, что специальные оросители, установленные в верхней центральной части остекления на не обогреваемой стороне, способны защитить конструкцию при незначительном тепловом потоке, чего может быть недостаточно при шоковом тепловом воздействии в условиях реального внешнего пожара. Исследование завершилось некоторыми общими правилами проектирования спринклерных систем защиты для наружного остекления [9].

C.W. Wu, T.H. Lin и др. [10] провели крупномасштабные эксперименты для сравнения характеристик огнестойкого остекления, защищенного водяной пленкой и спринклерной системой. Эксперимент проводился в помещении размером 4,20 x 5,73 м и высотой 5,60 м. Горючая нагрузка была представлена шестью штабелями дров 240 МДж/м², что составляет около 20 кг/м². Вентиляционное отверстие располагалось между двумя образцами окон. Противопожарное остекление (рассчитанное на 60 минут) было защищено системой водяной пленки (плоскоструйные оросители с интервалом 20 см) и подвесным оросителем (на расстоянии 30 см от стекла). Спринклерная система не обеспечила равномерное орошение стекла, на термopарах, расположенных вблизи вентиляционного отверстия, наблюдались температуры до 600°C, при этом на поверхности остекления температура не превышала 100°C.

G. Shao, Q. Wang и др. [11] провели серию исследований защиты закаленного стекла, водяной пленкой, от температурного воздействия пожара. Исследования проводились на образцах небольшого размера равномерно покрытых водяной пленкой из специального аппарата. Разрушения остекления не наблюдалось до температуры 250 °C.

В работе X. Wang, Q. Tan и др. [12] приводятся результаты исследований системы водяного тумана для защиты от тепловых потоков стеклянных панелей размером 600x600x6 мм. Водяной туман показал лучшую охлаждающую способность, чем водяная пленка [11] с аналогичной скоростью потока для орошения. Установлено, что водяной туман снижает тепловое излучение на 38,5%. Дальнейшие исследования устойчивости при пожаре светопрозрачных фасадов показали способность водяных пленок повышать пожароустойчивость стекол больших размеров [13].

Российскими учеными М.М. Казиевым, Е.В. Зубковой проводились многочисленные исследования, направленные на повышение устойчивости различного типа стекол в условиях пожара [14-16]. В частности, установлено негативное влияние водяного орошения на предел огнестойкости стекла с водорастворимым огнезащитным слоем, который располагался в межстекольном пространстве. Как оказалось, вода, проникая через трещины, может растворять и препятствовать вспучиванию огнезащитного слоя, что приводит к преждевременному его разрушению. Таким образом, на практике при применении огнестойкого заполнения светопрозрачной конструкции следует исключать их орошение водой.

В своей работе [17] D.A. Abdoh и A.S. Ademiloye исследовали механизм охлаждения стекла стекающей вниз водяной пленкой с помощью численного моделирования. Эффективность охлаждения была смоделирована методом бессеточной гидродинамики гладких частиц (SPH). Этот метод позволил исследовать влияние изменения теплового потока, скорости стекания, толщины потока воды на распределение температуры в стекле при нагреве. Размер образца

составлял 600 х 600 х 6 мм, что соответствует размеру образца в ранее упомянутых небольших экспериментах.

Проведенные исследования показывают, что водяное орошение позволяет повысить пожароустойчивость стеклопакета в условиях пожара. Однако условия, в которых были проведены эксперименты, не отражают действительной картины развития пожара и имеют ряд допущений, имеющих существенное значение для формирования выводов об эффективности приведенных в работах параметров (расход, интенсивность) водяного орошения. Так же в работах недостаточно изучено влияние водяного орошения с не обогреваемой стороны в условиях внешнего пожара. Исследования проводились при стандартном температурном режиме в условиях регулируемой вентиляции.

В то же время результаты исследований подтверждают актуальность дальнейшего изучения вопроса устойчивости светопрозрачных фасадов зданий при защите их водой. Анализ исследований, направленных на изучение влияния водяного орошения для сохранения целостности светопрозрачных конструкций в условиях пожара позволяют сделать следующие выводы:

1. Результаты исследований, полученные при стандартном режиме пожара, могут привести к недооценке фактической пожароустойчивости светопрозрачных конструкций. Это обусловлено тем, что динамика прогрева конструкций в условиях реальных пожаров может быть более интенсивной и стекло разрушится быстрее. Об этом свидетельствуют пожары в высотных жилых зданиях.

2. Установлено, что водяное орошение эффективно как с обогреваемой, так и с не обогреваемой стороны, при условии равномерного орошения начиная с ранних стадий нагрева стекла.

3. Полученные эмпирические зависимости оценки эффективности водяного орошения показали определенную сходимость с результатами экспериментов, что подтверждает применимость методов расчета.

4. Исследованиям эффективных параметров водяного орошения для защиты светопрозрачных конструкций от внешнего пожара, вышедшего на фасад, не уделяется должного внимания. В частности, не установлен режим наиболее жесткого теплового воздействия на светопрозрачные конструкции вышележащих этажей, который может быть реализован для методики экспериментальной оценки эффективности водяного орошения.

5. Отсутствие достоверных методов расчета и прогнозирования поведения при пожаре во многом объясняется отсутствием достоверных исходных данных, и степени их влияния на механизм разрушения стекла. К ним относятся: химический состав стекла, расположение линии концентраций механических напряжений и их величина, геометрические размеры стекла и его ориентация в пространстве. К тому же нужны сведения по фактическим динамикам нарастания и разнице температур на обогреваемых и не обогреваемых сторонах стекла при реальном пожаре. Данные крупномасштабных и натурных экспериментов могут быть использованы при оценке, и обосновании эффективных параметров водяного орошения для однотипных светопрозрачных конструкций различных размеров применительно к зданиям рассматриваемого функционального назначения.

6. Водяная завеса на 90 % может снижать воздействие падающего на стекло лучистого теплового потока и способна стабилизировать температуры на не обогреваемой стороне стекла. Степень снижения температуры стекла и проходящих через него тепловых потоков зависит от расхода воды и равномерности водяной пленки.

7. Установлено, что критические характеристики роста температуры стекла и разница температур на обогреваемой и не обогреваемой стороне, является основной причиной его разрушения. Данные показатели зависят от ряда параметров стекла, его толщины, химического состава, способа термоупрочнения и огнезащиты, масштабности и величины внутренних напряжений, наличия защищенной и незащищенной части.

Основываясь на результатах проведенных исследований, актуальными научными задачами по предотвращению распространения пожара по фасаду зданий являются:

- определение параметров пламени, которое может выйти на фасад здания из помещения очага пожара при максимальном его развитии;
- выявление динамики роста температуры и тепловых потоков, падающих на фасад, по высоте здания в пределах двух верхних этажей над помещением очага пожара, на максимальной стадии его развития;
- установить параметры эффективного внутреннего водяного орошения наиболее распространенных светопрозрачных конструкций по предотвращению их разрушения и распространению пожара на вышележащие этажи.

Полученные результаты позволяют определить требуемые характеристики пожароустойчивости самих светопрозрачных конструкций, а также обосновать параметры эффективного водяного орошения, с целью предотвращения разрушения и распространения пожара по фасаду здания.

Список источников

1. Казиев, М.М. Разрушение светопрозрачных строительных конструкций при тепловом воздействии в условиях пожара / М.М. Казиев, А.В. Подгрушный, А.В. Дудунов: Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - № 2. – 2009 г.
2. R.W. Malcomson, Report on Window Sprinkler Systems, Report No. NC529, Northbrook, IL, 1969.
3. J.K. Richardson, I. Oleszkiewicz, Fire tests on window assemblies protected by automatic sprinklers, Fire Technol. 23 (1987) 115–132. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/BF01040427>.
4. A. Moulen, S.J. Grubits, Technical Record 44/153/422: Water Curtains to Shield Glass from Radiant Heat from Building Fires, 1975.
5. J.K. Richardson, G.A. Chown, Glazing in fire-resistant wall assemblies, Construct. Build. Mater. 3 (1989) 40–43.
6. A.K. Kim, G.D. Loughheed, The protection of glazing systems with dedicated sprinklers, J. Fire Protect. Eng. 2 (1990) 49–59.
7. LPR-11:1999 Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами (LPR-11:1999 Fire spread in multi-storey buildings with glazed curtain wall facades).
8. A.K. Kim, B.C. Taber, G.D. Loughheed, Sprinkler protection of external glazing, Fire Technol. 34 (1998) 116–138.
9. A.K. Kim, Protection of glazing in fire separations by sprinklers, in: Sixth Int. Fire Conf. Interflam '93, Oxford, U.K., Interscience Communications, 1993, pp. 83–93. March 30, 1993).
10. C.W. Wu, T.H. Lin, Full-scale evaluations on heat resistance of glass panes incorporated with water film or sprinkler in a room fire, Build. Environ. 42 (2007) 3277–3284. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.017>.
11. G. Shao, Q. Wang, H. Zhao, Y. Wang, H. Chen, Y. Su, J. Sun, L. He, Maximum temperature to withstand water film for tempered glass exposed to fire, Construct. Build. Mater. 57 (2014) 15–23. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.094>.
12. X. Wang, Q. Tan, Z. Wang, X. Kong, H. Cong, Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain, Int. J. Therm. Sci. 125 (2018) 44–51. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013>.
13. S.-U. Chae, H.J. Shin, K.S. Kwon, A study on the development of fire-resistance wall using a cooling system in the tunnel safe station, J. Korean Soc. Hazard Mitig. 15 (2015) 187–191. – Режим доступа: <https://doi.org/10.9798/kosham.2015.15.3.187>.

13. Зубкова, Е.В. Влияние водяного орошения на пожароустойчивость огнестойкого светопрозрачного заполнения строительных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Зубкова Елена Владимировна. – М., 2015.

14. Казиев, М.М. Влияние водяного орошения на огнестойкость светопрозрачных строительных конструкций / М.М. Казиев, Е.В. Зубкова; [из журн.: Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений]. – 2014 г. - № 1. – 28-33 с.

15. Казиев, М.М. Эффективность водяного орошения для защиты листового и закаленного стекла / М.М. Казиев, Е.В. Зубкова, В.И. Безбородов; [их журн.: Технологии техносферной безопасности]. – 2014 г. - № 6(58). – 7 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/18-06-14.ttb.pdf>

16. D.A. Abdoh, A.S. Ademiloye, K.M. Liew, Modeling glass-cooling mechanism with down-flowing water film via the smoothed particle hydrodynamics, *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 362 (2020) 112839. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.112839>.

List of sources

1. Kaziev, M.M. Destruction of translucent building structures under thermal influence in fire conditions / M.M. Kaziev, A.V. Podgrushny, A.V. Dudunov: Fires and emergencies: prevention, elimination. - No. 2. – 2009

2. R.W. Malcomson, Report on Window Sprinkler Systems, Report No. NC529, Northbrook, IL, 1969.

3. J.K. Richardson, I. Oleszkiewicz, Fire tests on window assemblies protected by automatic sprinklers, *Fire Technol.* 23 (1987) 115–132. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1007/BF01040427>.

4. A. Moulen, S.J. Grubits, Technical Record 44/153/422: Water Curtains to Shield Glass from Radiant Heat from Building Fires, 1975.

5. J.K. Richardson, G.A. Chown, Glazing in fire-resistant wall assemblies, *Construct. Build. Mater.* 3 (1989) 40–43.

6. A.K. Kim, G.D. Loughheed, The protection of glazing systems with dedicated sprinklers, *J. Fire Protect. Eng.* 2 (1990) 49–59.

7. LPR-11:1999 Распространение огня в многоэтажных зданиях с остекленными навесными фасадами (LPR-11:1999 Fire spread in multi-storey buildings with glazed curtain wall facades).

8. A.K. Kim, B.C. Taber, G.D. Loughheed, Sprinkler protection of external glazing, *Fire Technol.* 34 (1998) 116–138.

9. A.K. Kim, Protection of glazing in fire separations by sprinklers, in: Sixth Int. Fire Conf. Interflam '93, Oxford, U.K., Interscience Communications, 1993, pp. 83–93. March 30, 1993).

10. C.W. Wu, T.H. Lin, Full-scale evaluations on heat resistance of glass panes incorporated with water film or sprinkler in a room fire, *Build. Environ.* 42 (2007) 3277–3284. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.08.017>.

11. G. Shao, Q. Wang, H. Zhao, Y. Wang, H. Chen, Y. Su, J. Sun, L. He, Maximum temperature to withstand water film for tempered glass exposed to fire, *Construct. Build. Mater.* 57 (2014) 15–23. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.094>.

12. X. Wang, Q. Tan, Z. Wang, X. Kong, H. Cong, Preliminary study on fire protection of window glass by water mist curtain, *Int. J. Therm. Sci.* 125 (2018) 44–51. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2017.11.013>.

13. S.-U. Chae, H.J. Shin, K.S. Kwon, A study on the development of fire-resistance wall using a cooling system in the tunnel safe station, *J. Korean Soc. Hazard Mitig.* 15 (2015) 187–191. – Access mode: <https://doi.org/10.9798/kosham.2015.15.3.187>.

14. Zubkova, E.V. Influence of water irrigation on fire resistance of fire-resistant translucent filling of building structures: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.26.03 / Zubkova Elena Vladimirovna. – М., 2015.

15. Kaziev, M.M. The influence of water irrigation on the fire resistance of translucent building structures / M.M. Kaziev, E.V. Zubkova; [from the journal: Natural and man-made risks. Safety of structures]. – 2014 - No. 1. – 28-33 p.

16. Kaziev, M.M. Efficiency of water irrigation for the protection of sheet and tempered glass / M.M. Kaziev, E.V. Zubkova, V.I. Bezborodov; [their journal: Technosphere safety technologies]. – 2014 - No. 6(58). – 7 p. – Access mode: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/18-06-14.ttb.pdf>

17. D.A. Abdoh, A.S. Ademiloye, K.M. Liew, Modeling glass cooling mechanism with down-flowing water film via the smoothed particle hydrodynamics, Comput. Methods Appl. Mech. Eng. 362 (2020) 112839. – Access mode: <https://doi.org/10.1016/j.cma.2020.112839>.

Информация об авторах

М.М. Казиев - кандидат технических наук, доцент

В.И. Безбородов - кандидат технических наук

Information about the author

M.M. Kaziev - Ph.D. of Engineering Sciences, Docent

V.I. Bezborodov - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов:

Казиев М.М. – научное руководство; корректировка концепции исследования и итоговых выводов.

Безбородов В.И. – участие в подготовке текста и итоговых выводов.

Вагенлейтнер Е.В. – написание исходного текста; концепции исследования; итоговые выводы.

Contribution of the authors:

Kaziev M.M. – scientific guidance; correction of the research concept and final conclusions.

Bezborodov V.I. – participation in the preparation of the text and final conclusions.

Vagenleitner E.V. – writing the source text; research concepts; final conclusions.

Статья поступила в редакцию 23.11.2022; одобрена после рецензирования 16.12.2022; принята к публикации 21.12.2022.

The article was submitted 23.11.2022, approved after reviewing 16.12.2022, accepted for publication 21.12.2022.