

УДК 621.763

*А.О. Митин<sup>1</sup>, Е.Г. Сентюрин<sup>1</sup>, И.В. Мекалина<sup>1</sup>, В.А. Богатов<sup>1</sup>***ЗАЩИТНЫЕ УДАРОСТОЙКИЕ АНТИВАНДАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МНОГОСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ОСТЕКЛЕНИЯ**

DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-12-6-6

*Краткий обзор результатов патентных исследований в области создания материалов и многослойных композиций антивандального остекления, устойчивого к уничтожению, повреждению или порче, обеспечивающего безосколочность при разрушении, технического средства охраны (безопасности), предназначенного для открытой установки в общедоступных местах. Выявлены основные мировые тенденции в области разработки антивандальных прозрачных композиционных материалов, способствующих уменьшению массы изделий, увеличению эксплуатационных характеристик, а также приданию материалу различных функциональных свойств.*

*Работа выполнена в рамках реализации комплексного направления 15.4. «Оптические материалы и материалы остекления» («Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года») [1].*

**Ключевые слова:** полиметилметакрилат, поликарбонат, ударостойкость, бронестойкость, стеклокерамика, абразивостойкость.

*Overview of the results of patent research in the field of development of materials and multi-layered vandal-proof glazing compositions, nonshatterable, safety technical means of protection, designed for open installation in public places is presented. The main world trends are identified in the field of development of vandal-proof transparent composite materials provided reducing weight of products, improvement in performance and giving variable functional properties to the material.*

*The work is executed within the implementation of the complex scientific direction 15.4. «Optical materials and glazing materials» («Strategic directions of development of materials and technologies for processing them for the period up to 2030») [1].*

**Keywords:** polymethylmethacrylate, polycarbonate, impact-resistance, armor protection, glass ceramic, abrasion resistance.

---

<sup>1</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Государственный научный центр Российской Федерации [Federal state unitary enterprise «All-Russian scientific research institute of aviation materials» State research center of the Russian Federation]; e-mail: admin@viam.ru

**Введение**

В настоящее время требования к защитному антивандальному остеклению регламентируются ГОСТ Р 51136–2008 «Стекла защитные многослойные», в котором определены требования к материалам и композициям, предназначенным для защиты жизни человека, обеспечения безопасности, надежности хранения и транспортировки материальных ценностей, применяемые в транспортных средствах, административных, общественных и жилых зданиях, где есть необходимость в защите жизни человека и материальных ценностей [2].

Цель проведенного патентного поиска – определение наиболее перспективных направлений создания ударостойких материалов, реализация которых способна реально привести к решению наиболее важных практических задач оборонных отраслей промышленности, строительства, народного хозяйства [3–5]. В качестве стран поиска

выбраны ведущие страны мира: Россия, США, Япония, Великобритания, Германия, Франция, Австрия, Бельгия, Нидерланды, Италия. После предварительного анализа отобрано 60 охранных документов.

### Материалы и методы

В соответствии с ГОСТ Р 51136–2008 защитные многослойные стекла подразделяются на следующие классы: ударостойкое, ударостойкое – безопасное для строительства, устойчивое к пробиванию, пулестойкое, пожаростойкое, морозостойкое стекло.

Ударостойкое стекло подразделяют на классы защиты А1, А2 и А3. Испытания проводят на оборудовании, обеспечивающем воздействие на образец ударами свободнопадающего стального шара с высоты 3,5; 6,5 и 9,5 м; энергия удара составляет соответственно 141; 262 и 388 Дж. Стекло считают выдержавшим испытания, если на трех образцах шар после третьего удара оставался на поверхности образца.

Пулестойкое стекло в зависимости от класса защиты (1–6,6а) должно противостоять сквозному пробиванию пулями или их фрагментами при обстреле стрелковым оружием стальными, свинцовыми и специальными пулями с массой от 3,5 до 35 г с дистанции 5–10 м из пистолетов Макарова (ПМ) и Токарева (ТТ), револьвера «Наган», охотничьего ружья калибра 12,7 мм, автоматов АК-74 и АКМ, винтовки СВД.

Ударостойкому безопасному стеклу для строительства присваивают классы защиты СМ (воздействие мягким телом – мешком со свинцовой дробью) и СТ (воздействие твердым телом – стальной груши). Удары наносятся маятниковым устройством с высоты от 300 до 1200 мм.

Устойчивому к пробиванию стеклу присваивают классы защиты Б-1, Б-2 и Б-3 – оно должно противостоять определенному числу ударов рубящим инструментом – от 30 до 270 (молотком, обухом или лезвием топора).

Пожаростойкие стекла должны противостоять воздействию пожара до наступления одного или нескольких предельных состояний, которые должны быть приведены в ТУ на конкретные стекла.

В ходе анализа российских изобретений выяснилось, что в основном они направлены на решение функциональных задач, совершенствование свойств самих материалов, технологий их получения и многослойных композиций на их основе.

Одним из ведущих материаловедческих предприятий России является ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ, в котором разработаны ударостойкие авиационные материалы, применяющиеся не только в авиации, но и в народном хозяйстве. Например, одна из разработок института – ориентированные стекла – применяются в спортивных сооружениях, остеклении снегоходов, для ударостойких ограждений при строительстве в качестве защиты от случайных падений с высоты. Во ФГУП «ВИАМ» разработана и полностью введена в производство технология ориентации органических стекол. Эта технология позволила кардинально улучшить конструкционные характеристики оргстекла, повысить надежность и ресурс деталей авиационного остекления при эксплуатации. Способ основан на создании ориентации органического стекла в плоскости расположения макромолекул, в результате чего заметно улучшаются многие механические свойства – ударная вязкость, удлинение [6, 7].

Как выяснилось из анализа отобранных охранных документов, работы в данной области исследований ведутся в следующих направлениях: создание ударостойких прозрачных композиций, придание функциональных свойств создаваемым материалам, повышение эксплуатационных свойств (атмосферостойкости, абразивостойкости, рабочей температуры) создаваемых материалов остекления [8, 9].

Придание ударостойкости достигается при использовании слоистых композиций с ударопрочным лицевым слоем и энергоемкими тыльными слоями. В качестве лицевого слоя используют упрочненное силикатное стекло или прозрачную стеклокерамику (обеспечивается высокий дробящий эффект). Для тыльного слоя используют энергоемкие материалы, такие как поликарбонат, оргстекло с прослойками полиуретана, поливинилбутираль и др. [10]. В патенте [11] описывается способ изготовления многослойного стекла с использованием жидких олигомер-мономерных фотоотверждаемых композиций. Данный способ получения триплекса не требует нагрева, не ограничивает размер изделия, сравнительно низкокзатратен. Патент [12] защищает способ изготовления многослойного стекла, склеенного слоями на основе мономеров или полимеров акрилового ряда.

Количество слоев в материале остекления определяется в зависимости от области его будущего применения: в основном материалы остекления содержат от 3 до 8 слоев. Восьмислойная композиция по патенту [13, 14] по количеству слоев может считаться рекордной. В композиции одновременно используются слои силикатного стекла, упрочненного различными способами – воздушной закалкой, травлением и ионным обменом. Одновременно в этой композиции используются токопроводящие покрытия на основе  $\text{In}_2\text{O}_3$ , что обеспечивает возможность эксплуатации композиции при любых погодных условиях.

В ряде патентов описываются многослойные композиции, в которых внешние ударостойкие слои отделены от внутренних энергоемких слоев воздушным зазором, что обеспечивает повышенную бронестойкость композиции за счет снижения энергии ударной волны при достижении энергоемких слоев [15].

Повышение безосколочности и живучести достигается за счет приклеивания тонкой пленки или эластичного слоя с лицевой или тыльной стороны стекла [16]. В ряде патентов описываются способы придания композициям функциональных свойств путем использования поверхностных пленок и специальных тонких слоев для обеспечения защиты от электромагнитного, УФ и ИК излучений, придания электрообогревных свойств. В патенте [17] описывается способ создания проводящего стекла с высокой прозрачностью благодаря использованию тонкого слоя золота для защиты от УФ и ИК излучения. В охранном документе [18] описывается способ изготовления прозрачного блока для самолетного остекления с нанесением на внутренние поверхности нанесенных стекол металлизированной пленки. В патенте [19] раскрывается способ создания остекления, включающего два слоя серебра между двумя слоями диэлектрика из сульфида цинка.

Немаловажным является и способ нанесения пленок. В изобретении [20] предлагается способ ламинирования стекла без помощи автоклава. «Сэндвич» помещается в вакуумный пакет и подвергается воздействию волновой радиации с определенной частотой и энергией (3,94–12,4 эВ). Давление, которое прикладывается постоянно во время нагрева и охлаждения, специфично для реализации соответствующего склеивания. Аналогичные разработки описаны еще в нескольких охранных документах, защищающих способ ламинирования стекла с использованием коротковолнового излучения (10 до 400 нм), нагревающего материал до температуры склеивания, с последующим приложением усилия и отсасыванием воздуха из зоны склеивания [21].

В ряде охранных документов описывают способы повышения абразивостойкости и стойкости к истиранию путем нанесения на поверхность изделий защитных покрытий. В патенте [22] описывается способ получения пленки или листов из поликарбоната для защиты от радиации путем нанесения на поверхность листа покрытия, состоящего из двух слоев (первый слой – для адгезии, второй слой – абразивостойкое покрытие). В охранном документе [23] описывается покрытие для оптически прозрачных

материалов (предпочтительно из поликарбоната), обладающих высокой абразивостойкостью и стойкостью к «запотеванию». Состав покрытия: поливиниловый спирт, полимеризованный (сшитый) с комбинацией нитрата циркония и формальдегида. Несколько изобретений направлено на повышение износостойкости многослойных композиций. В охранном документе [24] описывается покрытие, обеспечивающее высокую устойчивость к истиранию благодаря нанесению на поверхность оргстекла слоя оксида олова или титана, с последующим нанесением на них смеси эмульсий акриловой и полиэтиленовой смол.

Следующим направлением создания многослойных композиций является защита от теплового воздействия. Проблема решается с помощью использования специального состава между лицевым и тыльным слоями, который вспенивается и обеспечивает непрозрачность композиции, повышая таким образом защиту от теплового потока. Так, в одном из патентов рассмотрен способ получения огнестойкого остекления, основанный на включении между слоями стекла вспенивающегося материала на основе гидратированных силикатов щелочных металлов (Na, Li, K). Конструкция обеспечивает герметичность и изоляцию от огня до 120 мин при максимальной толщине стеклянных листов 4 мм.

Ряд патентов направлен на создание легкого специального обрамления, решающего проблему разрушения стеклянной композиции в заделке. Так, в охранном документе фирмы Saint-Gobain представлен способ создания защитной системы, содержащей три прозрачных стеклянных слоя и слой поликарбоната, соединенный клеевой композицией и имеющий выступающие элементы для заделки силовой конструкции (см. рисунок).

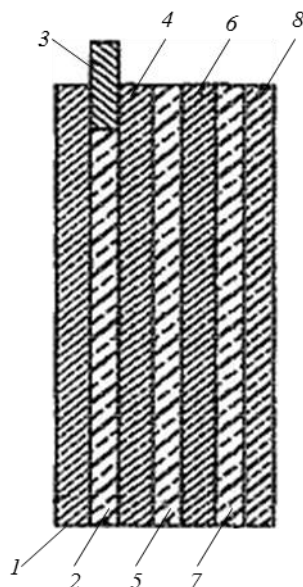


Схема композиции для ударостойкого стекла с обрамлением (3) для закрепления силикатного стекла (1, 4 и 6), а также прослойки из поливинилбутирала (2 и 5), полиуретана (7) и поликарбоната (8)

В одном из докладов, представленном на 17-ой Европейской конференции по разрушению, также описано конструктивное решение, заключающееся в том, чтобы нагрузка, возникающая в процессе эксплуатации, равномерно распределялась с остекления на закрепляющую его конструкцию. Это распределение реализовано путем

применения новых контактных амортизирующих вставок, используемых в местах заделки конструкции.

### Результаты

В связи с актуальностью проблемы создания защитных ударостойких антивандальных и бронестойких материалов и многослойных композиций на их основе для выбора наиболее перспективных направлений по созданию и организации отечественных производств материалов и изделий остекления для решения наиболее важных практических задач оборонных отраслей промышленности, строительства и народного хозяйства, проведен широкий поиск и анализ охранных документов России и ведущих промышленных стран мира.

### Обсуждение и заключения

В результате поиска по рассматриваемой проблеме изучено более 700 охранных документов, из них отобрано 60, на основе которых проведен полный объем патентных исследований и определены наиболее перспективные направления для последующих научных и практических работ. Данная статья включает часть примеров для обоснования перечня выбранных работ.

В результате анализа охранных документов и научно-технической документации выяснилось, что основными тенденциями развития в области ударостойких материалов остекления являются:

- придание ударостойкости, которая достигается путем использования слоистых композиций с ударопрочным лицевым и энергоемким тыльным слоями, при этом защитные свойства композиции обеспечиваются благодаря использованию в качестве лицевого слоя упрочненных силикатных стекол и ударопрочной керамики (обеспечивается высокий дробящий эффект), а для тыльного слоя – энергоемкие материалы (поликарбонаты, органические стекла, эластичные пленки). Немаловажную роль играет способ закрепления стеклопанели в конструкционном узле. Отмечено создание специального обрамления, решающего проблему ударостойкости стеклянной композиции в удерживающей конструкции;

- придание материалу функциональных свойств путем использования поверхностных пленок или специальных тонких слоев, способных обеспечивать защиту от электромагнитного, УФ и ИК излучений. Тонкие электропроводящие слои могут выполнять функции электрообогрева;

- повышение безосколочности и живучести остекления благодаря приклеиванию тонкой пленки или эластичного слоя с лицевой и/или с тыльной стороны. Отмечены различные схемы нанесения бронирующих пленок;

- повышение абразивостойкости и износостойкости обеспечивается вследствие нанесения на поверхность изделия защитного покрытия;

- проблема защиты от теплового воздействия может решаться с помощью использования специального состава между лицевым и тыльным слоями, который вспенивается и обеспечивает непрозрачность композиции, повышая таким образом защиту от теплового и огневого потока.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам ВИАМ В.Ф. Кораблиной, Г.И. Шатаевой, Е.Д. Ростаниной за большую работу по поиску полного перечня патентов и помощь при обобщении результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Каблов Е.Н. Инновационные разработки ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ по реализации «Стратегических направлений развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года» // *Авиационные материалы и технологии*. 2015. №1 (34). С. 3–33. DOI: 10.18577/2071-9140-2015-0-1-3-33.
2. ГОСТ Р 51136–2008. Стекла защитные многослойные. Общие технические условия. М., 2008. 24 с.
3. Каблов Е.Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №8. С. 7–17.
4. Каблов Е.Н. Конструкционные и функциональные материалы – основа экономического и научно-технического развития России // *Вопросы материаловедения*. 2006. №1. С. 64–67.
5. Каблов Е.Н. Авиакосмическое материаловедение // *Все материалы*. Энциклопедический справочник. 2008. №3. С. 2–14.
6. Способ формования изделий из органического стекла: пат. 2203804 Рос. Федерация; заявл. 19.12.00; опубл. 10.05.03.
7. Мекалина И.В., Тригуб Т.С., Богатов В.А., Сентюрин Е.Г. Новое высокотеплостойкое ориентированное оргстекло марки ВОС-2АО // *Авиационные материалы и технологии*. 2010. №3. С. 14–19.
8. Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Климова С.Ф., Богатов В.А. Новые «серебростойкие» органические стекла // *Авиационные материалы и технологии*. 2012. №4. С. 45–48.
9. Петров А.А., Мекалина И.В., Сентюрин Е.Г., Богатов В.А. Исследование особенностей изготовления деталей остекления из частично сшитых органических стекол // *Авиационные материалы и технологии*. 2013. №2. С. 32–34.
10. Многослойная стеклополимерная композиция: пат. 2184093 Рос. Федерация; заявл. 20.06.20; опубл. 27.06.02.
11. Способ изготовления многослойного стекла: пат. 2223240 Рос. Федерация; заявл. 26.12.01; опубл. 10.02.04.
12. Способ изготовления многослойного стекла: пат. 2228851 Рос. Федерация; заявл. 16.03.01; опубл. 20.05.04.
13. Прозрачное многослойное строительное остекление: пат. 2396224 Рос. Федерация; заявл. 01.04.09; опубл. 10.08.10.
14. Крынин А.Г., Хохлов Ю.А., Богатов В.А., Кисляков П.П. Прозрачные интерференционные покрытия для функциональных материалов остекления // *Труды ВИАМ: электрон. науч.-технич. журн.* 2013. №11. Ст. 05. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 24.02.2015).
15. Структура ударопрочного остекления: пат. 4312903 США; заявл. 05.03.80; опубл. 26.01.82.
16. Способ изготовления многослойных безосколочных стекол: пат. 81028318 Германия; заявл. 13.06.08; опубл. 17.12.09.
17. Многослойная стеклополимерная композиция: пат. 2184093 Рос. Федерация; заявл. 20.06.00; опубл. 27.06.02.
18. Структура ударопрочного остекления: пат. 4312903 США; заявл. 05.03.80; опубл. 26.01.82.
19. Способ ламинирования листов стекла с использованием микроволнового излучения: пат. 7063760 США; заявл. 13.01.04; опубл. 20.06.06.
20. Способ ламинирования стекла с использованием коротковолновой радиации: пат. 7063760 США; заявл. 13.01.2004; опубл. 20.06.06.
21. Способ ламинирования листов стекла с использованием коротковолнового излучения: пат. 7344613 США; заявл. 09.01.06; опубл. 18.03.08.
22. Прозрачное остекление с покрытием. Способ изготовления: пат. 4710433 США; заявл. 09.07.86; опубл. 01.12.87.
23. Многослойное остекление с защитой от электромагнитного излучения: пат. 2793106 Франция; заявл. 28.04.99; опубл. 03.11.00.
24. Прозрачное абразивостойкое остекление. Способ изготовления: пат. 4272587 США; заявл. 17.12.79; опубл. 09.06.81.