

УДК 614.841.45:[614.833.4+614.833.5]

Бунто О.В., канд. тех. наук, доц. Миканович А.С.

## **АНАЛИЗ ВОПРОСА ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ ГАЗО-, ПЫЛЕВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

*Государственное учреждение образования «Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь», г. Минск*

Проведен анализ вопроса защиты промышленных зданий и сооружений при внутреннем взрыве газо-, пылевоздушной смеси. Проведен анализ способности применения полимерных материалов в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций.

*Ключевые слова:* взрыв, противовзрывная защита, легкобрасываемые конструкции, полимерные материалы.

**O.V. Bunto, Ph.D. (Tech.) A.S. Mikanovich**

## **ANALYSIS OF BUILDINGS PROTECTION FROM THE IMPACT OF INTERNAL EXPLOSION OF THE GAS- DUST- AIR MIXTURE**

*The state educational establishment «University of civil protection of the Ministry for emergency situations of the Republic of Belarus», Minsk*

An analysis of the issue of industrial buildings and structures protection during an internal explosion of a gas-, dust-air mixture was carried out. An analysis of the possibility of using polymeric materials as a translucent filling of explosion relief structures was made.

*Keywords:* explosion, explosion protection, explosion relief structures, polymer materials.

Анализ аварий на взрывоопасных производствах показывает, что последствия дефлаграционного сгорания взрывоопасных смесей приводят к разрушению элементов технологического оборудования и строительных конструкций, человеческим жертвам. Ущерб от взрывов на промышленных предприятиях во всем мире остается довольно большим и имеет тенденцию к увеличению. Всему этому способствует наращивание объемов и темпов производства, использование новых веществ и материалов, взрывоопасные свойства которых недостаточно изучены. Большинство процессов на таких

объектах протекает в режимах работы, близких к критическим режимам воспламенения, что нередко приводит к аварийным ситуациям.

В области пожарной безопасности под взрывом понимается быстрое неконтролируемое горение газо-, паро-, пылевоздушной смеси с образованием сжатых газов [1]. Основной отличительной чертой, характеризующей воздействие взрыва, является резкий скачок давления в месте взрыва, сопровождающийся резким ударом газов по окружающему пространству, вызывающий разрушение и сильные деформации предметов. Кроме того, взрыв характеризуется

переменной скоростью распространения процесса, измеряемой сотнями и тысячами метров в секунду и сравнительно мало зависящей от внешних условий [2].

Статистика показывает, что такое явление, как взрыв возникает довольно часто. Например, в государствах Европейского союза ежегодно происходит около 2000 взрывов.

По данным международной страховой компании Industrial Risk Insurers (IRI), из 34 аварий с ущербом свыше 250 тысяч долларов США, произошедших за год на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности США, основной ущерб (81 %) наносят аварии со взрывами [2]. Статистический отчет IRI показывает, что взрывы составляют 67 % всех инцидентов, а нанесенный ими ущерб – 85 % общего ущерба [2].

Как показал анализ около 1000 наиболее крупных аварий, проведенный Американской страховой ассоциацией AIA, ущерб при авариях в 63 % обусловлен взрывом либо совместным действием пожара и взрыва [2].

За период с июля 2013 г. по июль 2018 г. международное страховое агентство Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) рассмотрело более 470 тыс. страховых исков от промышленных предприятий в более чем 200 странах. Одной из основных причин убытков за рассматриваемый период на промышленных предприятиях были взрывы (составляет более 17 % вероятности возникновения взрыва от всех наиболее глобальных бизнес-рисков за последние 10 лет), причинившие

ущерб на сумму более 15 млрд долларов. Поэтому за последнее десятилетие взрывы являются одними из 10 основных рисков, учитываемых Allianz Risk Barometer [2, 3].

Согласно данным страховых исков, рассмотренных AGCS, убытки от остановки промышленных предприятий, вызванные взрывами, составили в среднем более 6,5 млн долларов США за каждый инцидент, что почти на треть больше, чем фактический материальный ущерб, причиненный непосредственно самими взрывами (4,4 млн долларов США).

Крупномасштабные события, такие как разрушительный взрыв в порту Бейрута (Ливан, 2020 г.), который привел к общему ущербу на сумму до 15 млрд долларов США, по оценкам отрасли, и около 1,5 млрд долларов США застрахованных убытков на сегодняшний день, или взрыв в порту Тяньцзиня (Китай, 2015 г.), вызвавший застрахованные убытки в размере от 2,5 до 3,5 млрд долларов США, показывают, насколько разрушительными могут быть взрывы на промышленных предприятиях [3].

Яркими примерами, подтверждающими тяжесть возможных последствий от чрезвычайных ситуаций такого рода в Республике Беларусь, являются взрывы, произошедшие: 08.03.1972 в цехе футляров Минского радиозавода (количество погибших – более 120 человек); 25.10.2010 в г. Пинске на фанерной фабрике «Пинскдрев-ДСП», (погибли 14 человек, а также произошло обрушение 40 % покрытия кровли и стеновых конструкций); 06.03.2014 в цехе завода синтетического каучу-

ка (взрыв газовой смеси с последующим возникновением пожара на установке по производству фенола и ацетона); 25.02.2017 в ОАО «Скидельский сахарный комбинат» в г. Скиделе (в результате вспышки пылевоздушной смеси погибли 4 работника предприятия, один травмирован); 22.05.2018 на предприятии «Алкид» в деревне Королев Стан Минского района (погиб 1 человек, травмировано 3 человека, 87 % конструкций здания уничтожено); 21.06.2018 на предприятии «ФанДОК» в Бобруйске (пострадало 3 человека, а также произошло обрушение 30 % стеновых конструкций); 26.09.2018 в лакокрасочном цехе в ОАО «Могилевдрев»; 08.06.2019 взрыв газовой смеси в ОАО «Мостовдрев».

Учитывая тяжесть наступающих при взрыве последствий для защиты людей и материальных ценностей от его опасных факторов на всех стадиях жизненного цикла объекта, должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противозрывной защите.

Противозрывная защита зданий и сооружений – это комплекс мер, охватывающих мероприятия по предотвращению взрыва, локализации его воздействия, а также инженерные решения, связанные с защитой зданий и сооружений при действии нагрузки от избыточного давления взрыва [5].

Комплекс инженерно-технических решений противозрывной защиты включает в себя [2, 6–11]:

- *технологические решения*, направленные на предотвращение возникновения пожара в объеме оборудования и помещения и обеспечение устойчивости технологического оборудования при взрыве внутри него;

- *объемно-планировочные решения*, направленные на обеспечение устойчивости здания при взрыве;

- *конструктивные решения*, направленные на обеспечение защиты людей и здания от опасных факторов взрыва.

Одним из конструктивных решений по противозрывной защите помещений и зданий является устройство легкобрасываемых конструкций (далее – ЛСК). ЛСК, вскрываясь, обеспечивают снижение избыточного давления, возникающего в помещении при внутреннем аварийном взрыве взрывоопасной смеси, до безопасного нормируемого значения, следовательно, нагрузка на основные конструкции уменьшается по сравнению с той нагрузкой, которая имела бы место при взрыве такой же смеси в замкнутом объеме.

ЛСК в зависимости от способа разрушения и вида делятся на безынерционные и инерционные.

Классификация ЛСК в соответствии с [2, 6–11] приведена на рисунке 1.

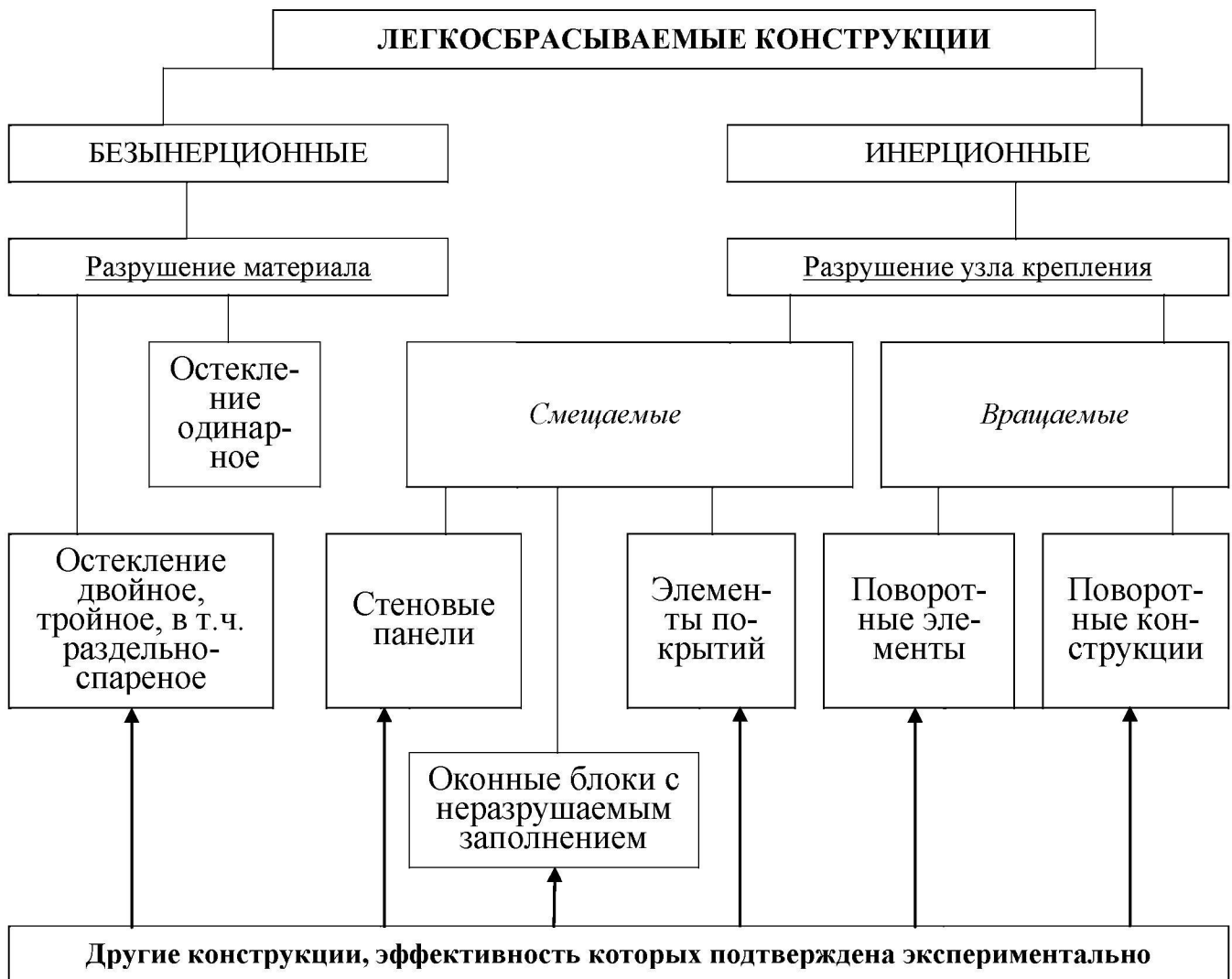


Рисунок 1. – Классификация легкобрасываемых конструкций

Существующие технические нормативные правовые акты допускают использовать согласно [6, 7] в качестве ЛСК: облегченные покрытия, не имеющие жесткой связи с несущими элементами покрытия (кровли); конструкции из стальных, алюминиевых и асбестоцементных листов и эффективного утеплителя; остекление окон и фонарей, а также иные конструкции, эффективность использования которых подтверждена экспериментальными исследованиями.

Преобладающим видом ЛСК является остекление окон и фонарей, как правило, одинарное, установленное в вертикальных конструкци-

ях [8–11], потому что оно позволяет получать наиболее дешевые и простые конструктивные решения, отвечающие как требованиям освещения помещения, так и снижения возникающего в нем избыточного давления взрыва.

Двойное остекление не допускается использовать в качестве ЛСК, так как на данный момент не нормируется расстояние между стеклянными пластинами при размещении в одном переплете двух листов стекла. Вследствие этого возможно возникновение в момент прогиба остекления так называемого «пятна контакта» между стеклянными пластинами, что может привести к росту



величины давления вскрытия и, как следствие, превышению максимально безопасного давления для человека в защищаемом объеме [6, 7, 18].

Однако остекление имеет ряд существенных недостатков: значительная масса конструкции оконного блока, что вызывает ряд трудностей при доставке и монтаже на верхних этажах здания; низкий коэффициент температурного сопротивления, что при больших оконных проемах приводит к увеличению теплопотерь в течение отопительного периода; образование осколков при разрушении, что может привести к травмированию человека.

Также необходимо отметить, что в соответствии с европейскими и американскими нормами VDI 3673, NFPA 68 применение осколочного остекления для снижения негативных воздействий взрыва на людей и строительные конструкции здания возможно только в местах, где отсутствует возможность нахождения людей. В противном случае допускается только применение безосколочного остекления [12, 13]. Поэтому альтернативой стандартному остеклению могут стать светопрозрачные полимеры, которые могут устраиваться в качестве ЛСК как в оконных блоках, так и в фонарях зданий.

Главным достоинством светопрозрачных пластиков является соотношение их весовых и прочностных характеристик. Анализируя технические характеристики существующих светопрозрачных пластиков, в частности, сотового и монолитного поликарбоната, оргстекла, можно сказать, что пластики при их легкости (легче стекла от 2 до

15 раз) не уступают ему по прочности, более того по некоторым параметрам даже превосходят его, например, ударная прочность выше, чем у стекла от 200 до 600 раз.

Легкость светопрозрачных пластиков значительно облегчает строительно-монтажные работы и позволяет проектировать удерживающие конструкции не такими массивными и прочными, как для стекла. Также при монтажных работах и в процессе эксплуатации листы данного материала не разбиваются и не дают трещин. Низкая теплопроводность и высокие теплоизоляционные свойства пластиков указывают на его преимущество перед обычным стеклом. Благодаря этим свойствам снижаются теплопотери через оконные блоки и аэрационные фонари в течение отопительного сезона [14–17].

Отдельного внимания заслуживает пожаробезопасность материалов, используемых в строительстве. Поликарбонат – один из светопропускающих пластиков, который может быть назван пожаробезопасным. Поликарбонат горит только в открытом пламени и является самозатухающим, не способствует распространению горения, не образует горящих капель, при горении образуются лишь легкие нити, успевающие остыть прежде, чем упасть.

Диапазон температуры применения монолитного и сотового поликарбоната, оргстекла меньше, чем у стекла, но он применяется в широтах Республики Беларусь. Даже при критически низких температурах они не теряют своих прочностных достоинств [14–17].

Также необходимо отметить, что на сегодняшний день в Республике Беларусь исследования по применению полимерных материалов в качестве ЛСК, предназначенных для защиты производственных и складских помещений от опасных факторов взрыва, не проводились, расчетные методики, позволяющие обосновать возможность их эффективного применения для взрывозащиты, отсутствуют.

Опираясь на изложенные выше факты, можно сделать вывод, что исследования в области применения светопрозрачных пластиков, в частности, монолитного и сотового поликарбоната, оргстекла в качестве ЛКС являются актуальной задачей, имеющей значимый экономический эффект.

Результаты исследований получены в рамках выполнения научно-исследовательской работы при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант № Т21М-103).

### Заключение

1. Преобладающим видом ЛСК для снижения избыточного давления взрыва в помещении является остекление окон и аэрационных фонарей.

2. Образование осколков, в соответствии с европейскими и американскими нормами VDI 3673, NFPA 68 применение в качестве ЛСК осколочного остекления возможно только в местах, где отсутствует возможность нахождения людей. В противном случае допускается применение только безосколочного остекления.

3. Альтернативой стандартному остеклению в ЛСК могут стать све-

топрозрачные полимеры. Предполагается, что их использование позволит снизить теплопотери через оконные проемы без снижения безопасности человека при взрыве и освещенности рабочих мест.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Пожарная безопасность. Общие термины и определения [Текст] : СТБ 11.0.02-95. – Минск : Белстандарт, 1995. – 13 с. – (Система стандартов пожарной безопасности).

2. Моделирование пожаров и взрывов [Текст] / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М. : Ассоциация «Пожнаука», 2000. – 482 с.

3. Business Interruption Exposure – An Underwriter’s Guide to Getting It Right [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.genre.com/knowledge/publications/pmint19-5-en.html>. – Дата доступа: 07.02.2022.

4. Allianz Global Corporate & Specialty [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/allianz-risk-barometer.html> – Дата доступа: 07.02.2022.

5. Пожарная безопасность технологических процессов. Методы оценки и анализа пожарной опасности. Общие требования [Текст] : СТБ 11.05.03–2010. – Взамен СТБ П 11.05.03–2006 ; введ. 01–01–11. – Минск : Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2010. – 71 с. – (Система стандартов пожарной безопасности).

6. СН 2.02.05-2020 Пожарная безопасность зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Минск:

Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2021. – Режим доступа: <https://normy.by/mand.php>. – Дата доступа: 07.02.2022.

7. Конструкции легкобрасываемые. Правила расчета [Текст] : ТКП 45–2.02–38–2006. – Введ. 01–01–07. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2006. – 30 с. – (Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства).

8. Миканович, А.С. Использование стеклопакетов для взрывозащиты производственных и складских помещений [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 : защищена 15.03.2013 / Миканович Андрей Станиславович. – Минск, 2013. – 132 с. – Библиогр. : С. 98–112.

9. Румянцев, В.С. Исследование нагрузок на конструкции здания от взрыва газовоздушных смесей внутри помещения с учетом интенсификации процесса горения [Текст] : автореф. дис. ...канд. техн. наук : 05.26.01 / Румянцев Виктор Сергеевич ; Моск. ордена Трудового Красного Знамени инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – М., 1978. – 19 с.

10. Орлов, Г.Г. Легкобрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий [Текст] / Г.Г. Орлов. – М. : Стройиздат, 1987. – 200 с.

11. Пилюгин, Л.П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств [Текст] : (Теоретические основы проектирования) / Л. П. Пилюгин. – М. : Стройиздат, 1988. – 316 с.

12. Guide for Venting of Deflagrations [Text]: NFPA 68. – ed.

2002. – Effective date of 31.01.02. – Quincy, MA : NFPA, 2003. – 70 p.

13. Druckentlastung von Staubexplosionen: VDI 3673 // Dr. Pellmont Explosionsschutz [Elektronisch Ressource]. – Düsseldorf : VDI-Verlag, 2002. – das Regime des Zugriffes : <http://www.pellmont.ch/sikeda/Deutsch/3673>. – das Datum des Zugriffes : 06.03.2022.

14. Монолитный поликарбонат: свойства, применение и технические характеристики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/241-monolitnyj-polikarbonat-svoystva-i-primenenie.html>. – Дата доступа: 05.03.2022.

15. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский [и др.]; под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

16. Химсырье. Листовые пластики и пленки. Технические характеристики Plexiglas. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.hims.ru/plexiglas\\_tech.html](https://www.hims.ru/plexiglas_tech.html). – Дата доступа: 05.03.2022.

17. Оргстекло: тепловые и механические характеристики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovye-i-mehaneskie-harakteristiki>. – Дата доступа: 05.03.2022.

18. Миканович, А.С., Алиев К.С. Инженерно-технические решения в области противовзрывной защиты помещений / А.С. Миканович, К.С. Алиев // Чрезвычайные си-

туации: предупреждение и ликвидация. – 2021. – № 2 (50). – С. 89–99.

## REFERENCE

1. Fire safety. General terms and definitions [Text]: STB 11.0.02-95. – Minsk: Belstandart, 1995. – 13 p. – (System of fire safety standards).

2. Modeling of fires and explosions [Text] / ed. ed. N. N. Brushlinsky, A. Ya. Korolchenko. – M. : Association "Pozhnauka", 2000. – 482 p.

3. Business Interruption Exposure - An Underwriter's Guide to Getting It Right [Electronic resource]. – Access Mode:

<https://www.genre.com/knowledge/publications/pmint19-5-en.html>. – Access date: 02.07.2022.

4. Allianz Global Corporate & Specialtyhttps [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/allianz-risk-barometer.html> – Access date: 02.07.2022.

5. Fire safety of technological processes. Methods for assessing and analyzing fire hazard. General requirements [Text]: STB 11.05.03-2010. - Instead of STB P 11.05.03-2006; input. 01–01–11. – Minsk: State. com. for standardization Rep. Belarus, 2010. – 71 p. – (System of fire safety standards).

6. SN 2.02.05-2020 Fire safety of buildings and structures [Electronic resource]. – Minsk: Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2021. – Access mode: <https://normy.by/mand.php>. – Access date: 02.07.2022.

7. Designs are easily dropped. Calculation rules [Text]: ТКР 45-2.02-38-2006. – Input. 01–01–07. – Minsk:

Ministry of Architecture and Construction Rep. Belarus, 2006. – 30 p. – (National set of technical regulatory legal acts in the field of architecture and construction).

8. Mikanovich, A. S. The use of double-glazed windows for explosion protection of industrial and warehouse premises [Text]: dis. ... cand. tech. Sciences: 05.26.03: protected 15.03.2013 / Mikanovich Andrey Stanislavovich. – Minsk, 2013. – 132 p. – Bibliography : from. 98–112.

9. Rumyantsev, V. S. Investigation of loads on building structures from the explosion of gas-air mixtures indoors, taking into account the intensification of the combustion process [Text] : author. dis. ... cand. tech. Sciences: 05.26.01 / Rumyantsev Victor Sergeevich; Moscow Order of the Red Banner of Labor engineer-building. in-t im. V.V. Kuibyshev. – M., 1978. – 19 p.

10. Orlov, G. G. Lightly dropped structures for explosion protection of industrial buildings [Text] / G. G. Orlov. – M. : Stroyizdat, 1987. – 200 p.

11. Pilyugin, L.P. Designs of buildings for explosive industries [Text]: (Theoretical foundations of design) / L.P. Pilyugin. – M. : Stroyizdat, 1988. – 316 p.

12. Guide for Venting of Deflagrations [Text]: NFPA 68. – ed. 2002. - Effective date of 31.01.02. – Quincy, MA : NFPA, 2003. – 70 p.

13. Druckentlastung von Staubexplosionen: VDI 3673 // Dr. Pellmont Explosionsschutz [Elektronisch Resource]. – Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002. – das Regime des Zugriffes: <http://www.pellmont.ch/sikeda/Deutsch/3673>. – das Datum des Zugriffes: 03.06.2022.

14. Monolithic polycarbonate: properties, application and technical characteristics. [Electronic resource]. – Access mode: <https://srbu.ru/stroitelnye-materialy/241-monolitnyj-polikarbonat-svoystva-i-primeneniye.html>. – Access date: 03.05.2022.

15. Physical quantities: Handbook / A.P. Babichev, N.A. Babushkina, A.M. Bratkovsky. Ed. I.S. Grigorieva, E.Z. Meilikhov. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 1232 p.

16. Chemical raw materials. Sheet plastics and films. Specifications for Plexiglas. [Electronic resource]. – Access mode: [https://www.hims.ru/plexiglas\\_tech.html](https://www.hims.ru/plexiglas_tech.html). – Access date: 03.05.2022.

17. Plexiglas: thermal and mechanical characteristics [Electronic resource]. – Access mode: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/plastmassa-i-plastik/orgsteklo-teplovye-i-mehanicheskie-harakteristiki>. – Access date: 03.05.2022.

18. Mikanovich, A.S., Aliev K.S. Engineering and technical solutions in the field of anti-explosion protection of premises / A. S. Mikanovich, K. S. Aliev // Emergencies: prevention and liquidation. – 2021. – No. 2 (50). – P. 89–99.

