

УДК: 614.841.334:662.25

*А. С. Миканович, канд. техн. наук, доцент, О. В. Любимова,
Університет гражданской защиты МЧС Республики Беларусь,
О. А. Бужин, д-р экон. наук, професор,
Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля
Национального университета гражданской защиты Украины*

АНАЛИЗ ВОПРОСА ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ ВНУТРЕННЕМ ВЗРЫВЕ ГАЗО-, ПЫЛЕ-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Проведен анализ вопроса защиты промышленных зданий и сооружений при внутреннем взрыве газо-, пыле-воздушной смеси. Проведен анализ способности применения полимерных материалов в качестве светопрозрачного заполнения легкобрасываемых конструкций. Произведена оценка его экономической эффективности и целесообразности применения легкобрасываемых конструкций из поликарбоната в производственных и складских помещениях для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении.

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

Постановка проблемы. Анализ аварий на взрывоопасных производствах показывает, что последствия взрыва приводят к разрушению элементов оборудования и строительных конструкций, к человеческим жертвам, повреждению технологического оборудования и остановке производства.

Взрывом называется 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.

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].

Яркими примерами, подтверждающими тяжесть возможных последствий от чрезвычайных ситуаций такого рода, являются взрывы пылевоздушных смесей, произошедшие 08.03.1972 года в цехе футляров Минского радиозавода (количество погибших – более 120 человек); 14.03.1990 года на базе хранения мороженого в г. Нальчике (погибли 6 человек); 25.10.2010 года в г. Пинске на фанерной фабрике «Пинскдрев-ДСП», (погибло 14 человек, а также произошло обрушение 40 % покрытия кровли и стеновых конструкций); 06.03.2014 года в цехе омского завода синтетического каучука (взрыв газовой смеси с последующим возникновением пожара на установке по производству фенола и ацетона).

По данным Республиканского центра управления и реагирования в чрезвычайных ситуациях МЧС Республики Беларусь (РЦУ РЧС) по состоянию на 2017 год на территории республики находится более 1100 производственных объектов, на которых возможно образование взрывоопасной смеси, при этом на 320 объектах образование возможно в замкнутом объеме. По данным того же РЦУ РЧС на территории Республики Беларусь за период с 2002 по 2017 год зарегистрировано 118 взрывов, в результате которых погибло 34 и было травмировано 64 человека. Взрывы, произошедшие на территории Республики Беларусь за рассматриваемый период, составляют 10,4 % от общего числа произошедших техногенных чрезвычайных ситуаций (ЧС), при этом причиненный материальный ущерб равен 25,1 % от общего ущерба от ЧС. 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 противовзрывной защите.

Анализ последних исследований и публикаций. Наибольшее внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей, занимавшихся вопросами взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий, уделялось совершенствованию общего метода расчета требуемой площади ЛСК. Основными исследованиями в области взрывозащиты являются труды Н. Н. Брушлинского, А. Я. Корольченко «Моделирование пожаров и взрывов», В. С. Румянцева «Исследование нагрузок на конструкции здания от взрыва газоздушных смесей внутри помещения с учетом интенсификации процесса горения», Г. Г. Орлова «Легкосбрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий», М. Г. Годжелло «Расчет площади легкосбрасываемых конструкций для зданий и сооружений взрывоопасных производств», Н. Д. Светлаков «Ограждающие конструкции зданий взрывоопасных производств». Данные исследования опираются на использование безынерционных ЛСК из двойного или одинарного остекления. Однако использование в качестве легкосбрасываемых конструкций оконных проемов, с одинарным или двойным остеклением не всегда целесообразно, так как

площади проемов некоторых зданий бывают довольно большие, соответственно происходят огромные теплопотери через остекление. Поэтому на сегодняшний день идет поиск материалов и конструкций, которые могут использоваться как альтернатива остекления.

Постановка задачи и ее решение.

Целью данной статьи является проведение анализа вопроса защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газопылевоздушной смеси, определение возможности применения в производственных и складских помещениях легкосбрасываемых конструкций из поликарбоната для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении.

Изложение основного материала исследования. Противовзрывная 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 [3]. Одним из конструктивных решений по противовзрывной защите помещений и зданий является устройство легкосбрасываемых конструкций (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 [4-6] приведена на рис. 1.

Существующие ТНПА допускают согласно [3,4] в качестве ЛСК использовать: 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 и расчетными методами [5].

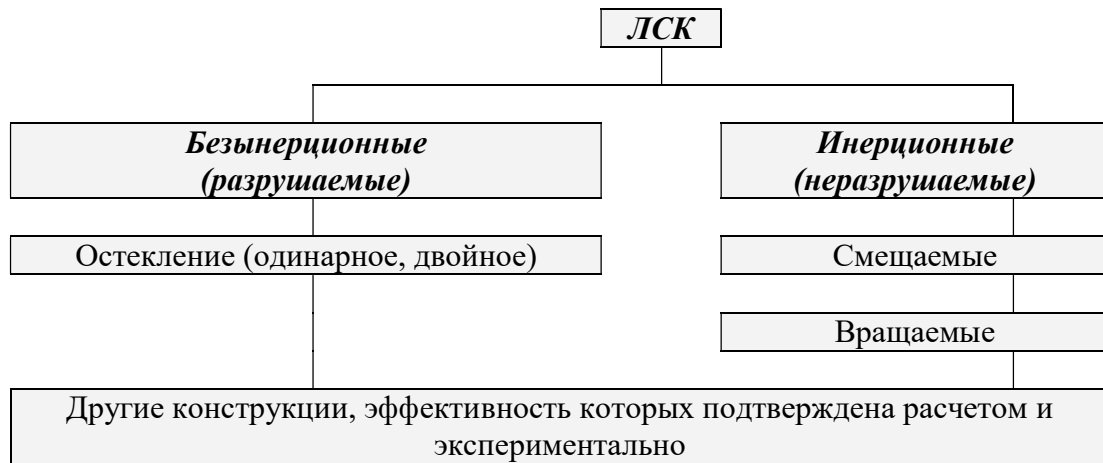


Рисунок 1 – Классификация легкобрасываемых конструкций

Применение остеклений здания и сооружения в качестве ЛСК в настоящее время является одним из наиболее эффективных конструктивных решений для снижения избыточного давления взрыва в помещении.

С развитием архитектурно-строительной деятельности по строительству зданий и сооружений, применением новых технических решений и планировок зданий не всегда наружных стен достаточно для устройства остекления площадью, необходимой для снижения избыточного давления взрыва.

Поэтому альтернативой стандартному и привычному остеклению могут стать полимеры, а именно сотовый и монолитный поликарбонат, которые могут устраиваться в качестве ЛСК в фонарях зданий. Сотовый поликарбонат (СП) – это пустотелый полимерный лист с внутренней структурой, представляющей собой многослойную конструкцию, заполненную продольными перемычками – ребрами жесткости. Монолитный поликарбонат (МП) – это сплошной полимерный лист без внутренних пустот.

Главным достоинством поликарбоната является соотношение его весовых и прочностных характеристик. Анализируя табличные данные, приведенные в таблице 1, можно сказать, что СП (МП) при их легкости (легче стекла в 15 (2) раз), не уступают ему по прочности, более того, по некоторым параметрам (ударная прочность в 200 (16000) раз больше, чем у стекла) является более надежной

Для обоснования экономической эффективности использования сотового

конструкцией, чем стекло. Легкость СП 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 поликарбоната возвышают его над обычным стеклом. Благодаря этим свойствам листы поликарбоната способны сохранять тепло внутри помещения по показателям, в несколько раз выше любого стекла, обеспечивая отличную теплоизоляцию.

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, он не образует горящих капель, при горении образуются лишь легкие нити, успевающие остыть прежде, чем упасть. Поликарбонат относится к категории трудновоспламеняемых материалов: класс В1 по европейской классификации (стандарт DIN 4102).

Диапазон температуры применения СП меньше, чем у стекла, но он является применимым в широтах постсоветского пространства. Даже при критически низких температурах СП не теряет своих прочностных достоинств.

Поликарбоната (СП) в качестве заполнения проемов в ЛСК для взрывозащиты

«Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація», № 1 / 2017

производственных и складских помещений и зданий взрывопожароопасных категорий на основании требований и методик, изложенных в [7, 8] был проведен сравнительный расчет теплопотерь на 1 м² площади ЛСК при использовании одинарного остекления, двойного остекления и сотового поликарбоната. При проведении расчетов температура в наиболее холодный период года принималась равной -25 °С (таблица 4.3 [7]) для наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92, температура воздуха в производственном

помещении – +16°С (таблица 1 [9]), сопротивление теплопередаче принималось в соответствии с таблицей Г.1 [7] для одинарного остекления в интервале от 0,15 до 0,18 м² · °С · Вт⁻¹, для двойного остекления в интервале от 0,31 до 0,42 м² · °С · Вт⁻¹ для сотового поликарбоната – 0,26 м² · °С · Вт⁻¹ (4мм), 0,42 м² · °С · Вт⁻¹ (16мм). Результаты сравнительного расчета теплопотерь приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Сравнительный анализ свойств сотового, монолитного поликарбоната и стекла толщиной 4 мм

Параметры	Сотовый ПК (4мм)	Монолитный ПК (4 мм)	Стекло (4мм)
Плотность, кг/м ³	200	1200	2200-2900
Вес, кг/м ²	0,8	4,8	9,4
Предел прочности на изгиб, МПа	100	90-110	15-20
Предел прочности на растяжение, МПа	60	60	30-60
Предел прочности на сжатие, МПа	70	80-100	700-1000
Ударная стойкость, Дж	2,1	800	0,05
Минимальный радиус изгиба R _{min} , м	0,7	0,6	-
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м ² ·°С)	3,8-4,1	5,3	5,8
Коэффициент линейного термического расширения К, 1·10 ⁻⁵	6,5	6,5	0,9
Коэффициент линейного расширения, мм/(м ² ·°С)	0,065	0,065	0,0009
Звукоизоляция, дБ	до 20	27	30
Степень прозрачности, %	85	91	89-92
Диапазон температуры применения, °С	-45 ÷ +120	-50 ÷ +150	-70 ÷ +250
Срок службы, лет	Не менее 10 (10-30)	Не менее 10 (10-15)	До 50
Химическая стойкость	Средняя	Высокая	Высокая
Цена за 1 м ² , у. е.	от 2	от 17	от 3,5

Таблица 2 – Сравнительный расчет теплопотерь через ЛСК при использовании одинарного остекления, двойного остекления и сотового поликарбоната

Вид остекления	Теплопотери, Вт·м ²		Теплопотери, кг.у.т.·м ² ·год ⁻¹	
	max	min	max	min
Одинарное	273,33	227,78	159,54	132,95
Двойное	132,26	97,62	77,20	56,98
СП	157,69	97,62	92,04	56,98

При формировании программ энергосбережения на 2017 год в расчетах при составлении технико-экономических обоснований мероприятий и оценки их окупаемости расчетную стоимость 1 т у. т. принимают равной 220 долларов США [10]. Применение сотового поликарбоната взамен одинарного остекления позволяет сэкономить 67,5 кг. у. т. за отопительный сезон при замене одинарного остекления на сотовый поликарбонат, что в денежном выражении составляет 14,85 долларов США соответственно.

Выводы. Проанализирован вопрос защиты зданий и сооружений при внутреннем взрыве газо-пылевоздушной смеси, проведен анализ возможности применения в производственных и

складских помещениях легкосбрасываемых конструкций из поликарбоната для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении. Установлено, что соотношение весовых и прочностных характеристик поликарбоната более высокое, чем у обычного остекления. Определено, что исследования по применению ЛСК из поликарбоната, предназначенных для взрывозащиты производственных и складских помещений, являются актуальными. Однако невозможность теоретического определения момента сил сопротивления полимерных материалов и параметров взрыва требуют проведения экспериментальных исследований для проверки эффективности использования ЛСК из поликарбоната.

ПЕРЕЧЕНЬ ИСТОЧНИКОВ

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

4. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. Строительные нормы проектирования [Текст] = Абмежаванне распаўсюджвання пажара ў будынках і збудаваннях. Аб'ёмна-планіровачныя і канструктыўныя рашэнні. Будаўнічыя нормы праектавання : ТКП 45–2.02–92–2007. – Взамен СНБ 2.02.03–03 ; Введ. 07–07–08. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2003. – 20 с. – (Национальный комплекс технических нормативных правовых актов в области архитектуры и строительства).

5. Конструкции легкосбрасываемые. 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).

6. Орлов Г.Г. Легкосбрасываемые конструкции для взрывозащиты промышленных зданий. – М. : Стройиздат, 1987. – 200 с.

7. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования [Текст] : ТКП 45–2.04–43–2006. – Взамен СНБ 2.04.01–97 ; Введ. 01–07–07. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.

8. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха [Текст] : СНБ 4.02.01–03. – Взамен СНиП 2.04.05–91 ; введ. 01–01–05. – Минск : М-во архитектуры и стр-ва Респ. Беларусь, 2004. – 81 с.

9. Требования к микроклимату рабочих мест в производственных и офисных помещениях [Текст]: утв. пост. Гл. гос. сан. врача Респ. Беларусь 28.12.2015 №136 : введ. в действие с момента опубл. – Минск, 2015 – 19 с.

10. Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/information/2279-1-2017>. – Дата доступа: 07.09.2017.

REFERENCES

1. Pozharnaya bezopasnost. Obshchie terminy i opredeleniya [Tekst] : STB 11.0.02-95. – Minsk : Belstandart, 1995. – 13s. – (Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti).
2. Modelirovanie pozharov i vzryvov [Tekst] / pod obshch. red. N. N. Brushlinskogo, A. Ya. Korolchenko. – M. : Assotsiatsiya «Pozhnauka», 2000. – 482 s.
3. Pozharnaya bezopasnost tekhnologicheskikh protsessov. Metody otsenki i analiza pozharnoy opasnosti. Obshchie trebovaniya [Tekst] : STB 11.05.03–2010. – Vzamen STB P 11.05.03–2006 ; vved. 01–01–11. – Minsk : Gos. kom. po standartizatsii Resp. Belarus, 2010. – 71 s. – (Sistema standartov pozharnoy bezopasnosti).
4. Ogranichenie rasprostraneniya pozhara v zdaniyakh i sooruzheniyakh. Obemno-planirovochnye i konstruktivnye resheniya. Stroitelnye normy proektirovaniya [Tekst] = Abmezhhavanne raspayshudzhvannya pazhara ŷ budynkakh i zbudavannyakh. Ab'emna-planirovachnyya i kanstruktyŷnyya rashenni. Budaŷnichyya normy praektavannya : TKP 45–2.02–92–2007. – Vzamen SNB 2.02.03–03 ; Vved. 07–07–08. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2003. – 20 s. – (Natsionalnyy kompleks tekhnicheskikh normativnykh pravovykh aktov v oblasti arkhitektury i stroitelstva).
5. Konstruktsii legkosbrasyvaemye. Pravila rascheta [Tekst] : TKP 45–2.02–38–2006. – Vved. 01–01–07. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2006. – 30 s. – (Natsionalnyy kompleks tekhnicheskikh normativnykh pravovykh aktov v oblasti arkhitektury i stroitelstva).
6. Orlov G.G. Legkosbrasyvaemye konstruktsii dlya vzryvozashchity promyshlennykh zdaniy. – M. : Stroyizdat, 1987. – 200 s.
7. Stroitel'naya teplotekhnika. Stroitelnye normy proektirovaniya [Tekst] : TKP 45–2.04–43–2006. – Vzamen SNB 2.04.01–97 ; Vved. 01–07–07. – Minsk: M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2007. – 35 s.
8. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Tekst] : SNB 4.02.01–03. – Vzamen SNiP 2.04.05–91 ; vved. 01–01–05. – Minsk : M-vo arkhitektury i str-va Resp. Belarus, 2004. – 81 s.
9. Trebovaniya k mikroklimatu rabochikh mest v proizvodstvennykh i ofisnykh pomeshcheniyakh [Tekst]: utv. post. Gl. gos. san. vracha Resp. Belarus 28.12.2015 №136 : vvod. v deystvie s momenta opubl. – Minsk, 2015 – 19 s.
10. Departament po energoeffektivnosti Gosudarstvennogo komiteta po standartizatsii Respubliki Belarus [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <http://energoeffekt.gov.by/supervision/framework/information/2279-1-2017>. – Data dostupa: 07.09.2017.

*A. С. Мікановіч, канд. техн. наук, доцент, О. В. Любимова,
Університет цивільного захисту МНС Республіки Білорусь,
О. А. Бужин, д-р екон. наук, професор,*

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

**АНАЛІЗ ПИТАННЯ ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД ПРИ ВНУТРІШНЬОМУ ВИБУХУ
ГАЗО-, ПИЛО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ**

Проведено аналіз питання захисту промислових будівель і споруд при внутрішньому вибуху газо-, пило-повітряної суміші. Проведено аналіз можливості використання полімерних матеріалів в якості світлопрозорого заповнення легкоскидних конструкцій. Зроблено оцінку його економічної ефективності та

доцільності застосування легкоскидних конструкцій з полікарбонату в виробничих і складських приміщеннях для зниження надлишкового тиску, що утворюється при аварійному дефляційному горінні.

Ключові слова: вибух, противибуховий захист, легкоскидні конструкції, полімерні матеріали.

Mikanovich A.S, PhD , docent, University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus

Liubimova O.V., University of Civil Protection of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus

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

The issue of industrial buildings and structures protection from an internal explosion of a gas, dust and air mixture is analyzed. The analysis of the ability of using polymeric materials as a transparent coating of lightweighted structures is carried out. The estimation of its economic efficiency and application expediency of polycarbonate lightweighted structures in industrial and warehouse premises for reduction of the excessive pressure formed at emergency deflagration combustion is made.

Explosions are the most dangerous causing of huge damage to production buildings. The explosion is the rapid uncontrolled combustion of gas, steam, dust and air mixtures with the formation of compressed gases.

As Statistics shows that such phenomenon as an explosion occurs quite often, for example, annually in the states of the European Union, there are about 2,000 explosions. The statistical report of the insurance company Industrial Risk Insurers shows that the explosions account for 67% of all incidents, and the damage is above 85% from the total damage.

Despite the fitting of production buildings of the most modern explosion protection means up, the explosions prevention isn't always possible. As a result, to protect people and property from the hazards of the explosion, a set of anti-explosion protection measures should be provided, the main one of which is the installation of lightweight structures.

The opened lightweight structures provide a reduction in the excess arises pressure in the room during an explosion to a safe standardized value, therefore, the load on the basic structures is reduced in comparison with

the load that would have occurred during the explosion of the same mixture in a closed space.

Nowadays the using of glazing in a building as lightweight structures is one of the most effective design solutions for reducing the explosion of excess pressure in a room.

With the development of architectural activities of buildings construction, the using of the glazing of the exterior walls areas as lightweight structures there aren't fully sufficient to reduce the excess pressure of the explosion. Existing technical normative legal acts allow using other constructions as lightweight structures the effectiveness of which is confirmed by experimental studies and calculation methods.

Therefore, an alternative to the standard and customary glazing may be polymers, namely cellular and monolithic polycarbonate. The main advantage of polycarbonate is the ratio of its weight and strength characteristics.

Analyzing the strength characteristics, we can say that the cellular and monolithic polycarbonate is lighter than glass in 15 (2) times, but it isn't inferior to glass in strength, moreover it exceeds by some parameters (impact strength is 200 (16000) times more than Glass). The lightness of the polycarbonate greatly simplifies the work of installation and construction. Polycarbonate is one of the light-transmitting plastics, which can be called fireproof. Polycarbonate burns only into open flame and is self-extinguishing, doesn't promote the spread of combustion. All this characteristics make polycarbonate more sought-after and acceptable to use as lightweight structures in buildings.

Key words: explosion, anti-explosion protection, light-cast structures, polymeric materials.