

УДК 614.839.313

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВСКРЫТИЯ ОКОННЫХ БЛОКОВ ПРИ ДЕФЛАГРАЦИОННОМ ВЗРЫВЕ В ЗАМКНУТОМ ОБЪЕМЕ

Пенязьков О.Г.*, д.физ.-мат.н., Шабуня С.И.*, к.физ.-мат.н., Усов А.М.**,
к.т.н., Терешенков В.И., к.физ.-мат.н., доцент, Миканович А.С.

*Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси

** Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем
чрезвычайных ситуаций МЧС Республики Беларусь

В течение последних двух лет в Республике Беларусь в качестве легкобрасываемых конструкций допускается применение стеклопакетов, поведение которых при дефлаграционном взрыве не исследовано. Для проведения исследований разработаны модель поведения стеклопакетов в качестве разрушаемых ЛСК при взрыве и испытательная установка для определения избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме. Результаты проведенных испытаний позволяют оценить возможность использования стеклопакетов в качестве разрушаемых ЛСК.

Взрыв является одной из наиболее опасных чрезвычайных ситуаций. Как показывает статистика, такое явление возникает довольно часто и влечет за собой человеческие жертвы и значительный материальный ущерб, например, в государствах ЕЭС ежегодно происходит около 2000 взрывов [1]. По данным международной страховой компании Industrial Risk Insurers (IRI), из 34 аварий с ущербом свыше 250 тысяч долларов США, происшедших за год на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности США, основной ущерб (81%) наносят аварии с взрывами. Статистический отчет IRI за период с 1985 по 1995 год показывает, что взрывы составили 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 или несколькими взрывами, либо совместным действием пожара и взрыва [2]. Следовательно, для защиты людей и материальных ценностей от опасных факторов взрыва должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противовзрывной защите, основным из которых является устройство легкобрасываемых наружных ограждающих конструкций (ЛСК).

Согласно нормам [3] в качестве ЛСК допускается 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.

В связи с увеличением нормативного значения веса снегового покрова до 1,2 кПа [4] использование облегченных покрытий, не имеющих жесткой связи с несущими элементами покрытия (кровли), не представляется возможным, так как согласно нормам [3] расчетная нагрузка от массы ЛСК покрытия должна составлять не более 0,7 кПа. В связи с этим преобладающим видом ЛСК является остекление окон и фонарей, как правило, одинарное [3]. Допускается использование двойного остекления и стеклопакетов при расчетном обосновании. Однако в Республике Беларусь отсутствует методика, позволяющая при использовании стеклопакетов расчетным путем определить необходимую площадь ЛСК. Объясняется данная ситуация отсутствием численного значения коэффициента вскрытия ЛСК при внутреннем дефлаграционном взрыве, определяемого избыточным давлением вскрытия конкретного оконного блока. Таким образом, актуальным становится вопрос определения избыточного давления вскрытия оконных блоков при заполнении их стеклопакетами.

Для теоретического определения искомой величины рассмотрена теория разрушения стеклянной пластины стеклопакета. Известно, что стекло является изотропным веществом, сохраняющим свои упругие свойства вплоть до разрушения. Согласно одному из классических критериев разрушения, процесс разрушения наступает тогда, когда касательные напряжения в упругом теле достигают определенных критических значений. В этой связи значительный интерес представляет задача определения в рамках теории упругости зависимости внутренних напряжений в стеклянной пластинке от переменного давления на ее боковую поверхность.

Динамические уравнения теории упругости имеют вид:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y = \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2}; \quad (2)$$

$$\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z = \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}, \quad (3)$$

где u, v, w – компоненты вектора деформаций упругой среды,

τ_{ij} ($\tau_{ii} = \sigma_i$) – компоненты тензора напряжений,

X, Y, Z – компоненты плотности массовой силы $\vec{P}$ (в данном случае $\vec{P} = \rho \vec{g}$, где $\vec{g}$ – ускорение силы тяжести),
 ρ – плотность стекла.

Помимо этих уравнений, должны выполняться условия совместности деформаций Сен-Венана:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial y^2} = \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial y \partial z}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial z^2} = \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial x \partial z}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y \partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} - \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} \right); \quad (7)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x \partial z} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} + \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} - \frac{\partial \gamma_{xz}}{\partial y} \right); \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_z}{\partial x \partial y} = \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial \gamma_{zx}}{\partial y} + \frac{\partial \gamma_{yz}}{\partial x} - \frac{\partial \gamma_{xy}}{\partial z} \right). \quad (9)$$

Принимается, что стеклянная пластина прямоугольной формы расположена вертикально, средняя плоскость пластины совпадает с координатной плоскостью XY (ось Y направлена вверх), начало правой системы координат поместим в центре пластины. Давление, производимое взрывной волной, действует на поверхность пластины, на которой $z = -h/2$ при $t = 0$. Компоненты вектора деформаций в принципе можно найти как решения уравнений Ляме, удовлетворяющие условиям совместности Сен-Венана:

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial x} + \mu \Delta u - \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0; \quad (10)$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial y} + \mu \Delta v - \rho g - \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} = 0; \quad (11)$$

$$(\lambda + \mu) \frac{\partial \Theta}{\partial z} + \mu \Delta w - \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} = 0. \quad (12)$$

При этом необходимо удовлетворить соответствующим физической постановке задачи начальным условиям и граничным условиям на поверхности пластинки, которые сами деформируются.

Постановку задачи можно существенно упростить, если считать пластину тонкой ($h \ll a, b$), а деформации малыми. Однако известные решения такой задачи и аналогичных краевых задач не рассматриваются по следующим причинам: ни одна из известных в литературе решенных задач не соответствует применяемым на практике способам закрепления пластин стекла в стеклопакетах; эксперименты показывают, что разрушение пластины стеклопакета происходит при смещении центра пластины, значительно большем толщины стекла. В этом случае деформации нельзя считать малыми.

В случае применения стеклопакетов в качестве разрушаемых ЛСК смещение w точек пластины должно определяться путем решения уравнений Феппля:

$$D \Delta^2 w - h \left(\frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - 2 \frac{\partial^2 \chi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right) = P; \quad (13)$$

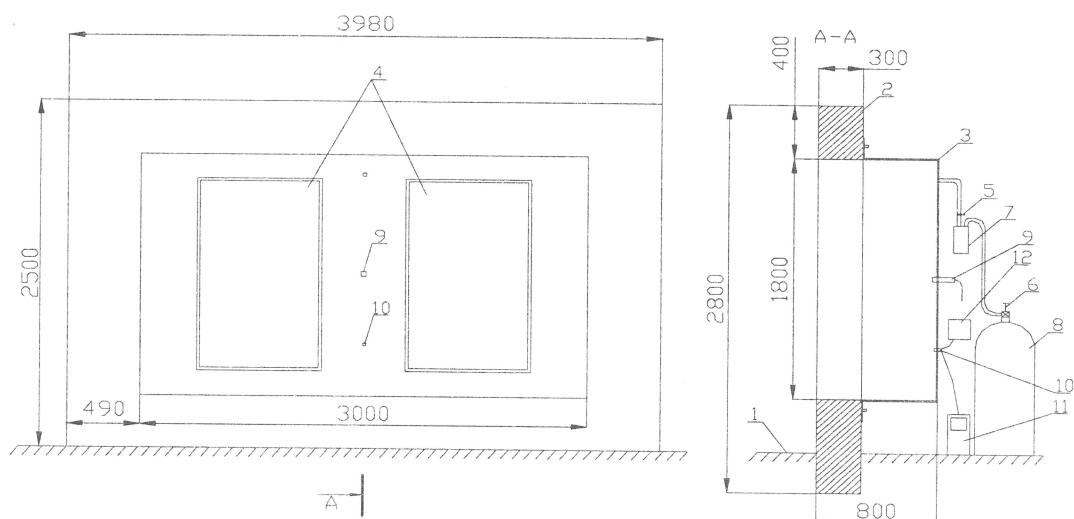
$$\Delta^2 \chi + E \left\{ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \right)^2 \right\} = 0, \quad (14)$$

где функция напряжения χ определяется соотношениями:

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \chi}{\partial y^2}; \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \chi}{\partial x \partial y}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \chi}{\partial x^2}. \quad (15)$$

Эти уравнения весьма сложны, и их точные решения неизвестны. Реальная стеклянная пластина содержит большое количество дефектов, число которых зависит от способа производства стекла и условий эксплуатации. Влияние этих дефектов на условия разрушения стеклянных пластин чрезвычайно сложно оценить теоретически, поэтому решающее слово на данном этапе исследований отводится эксперименту.

Для определения величины избыточного давления вскрытия оконных блоков при внутреннем дефлаграционном взрыве создана испытательная установка (рисунок 1), которая состоит из железобетонной плиты и металлического короба глубиной 0,5 м, с одной стороны закрывающего оконный проем. Короб изготовлен из листовой стали толщиной 5 мм.



- 1 – бетонированная площадка; 2 – железобетонная плита с проемом; 3 – стальной короб; 4 – герметичные стальные двери; 5 – кран № 1; 6 – кран № 2; 7 – счетчик газа; 8 – газовый баллон; 9 – электрозажигалка; 10 – датчик давления; 11 – осциллограф; 12 – источник питания с усилителем

Рисунок 1 – Схема испытательной установки по определению избыточного давления вскрытия заполнений проемов вертикальных конструкций

Площадь проема составляет $5,4 \text{ м}^2$, что позволяет испытывать широкий ассортимент ЛСК.

Сущность методики испытаний заключается в определении избыточного давления при горении смеси пропан-бутана с воздухом в рабочем объеме около 3 м^3 . Состав смеси контролировался по измерению объемного расхода пропан-бутана с помощью газового расходомера. Поджиг смеси осуществлялся при помощи электроискрового инициатора, установленного посередине задней стенки $1,8 \times 3 \text{ м}$ испытательной камеры.

Характерное время сгорания смеси, определяющее динамику роста давления в камере, а также временные и технические характеристики датчика для измерения давления оценивались следующим образом. Скорость ламинарного горения в стехиометрической пропано-воздушной смеси при атмосферном давлении равна $0,4 \text{ м/с}$ [6–9]. Максимальное расстояние, которое может пройти фронт пламени по мере распространения, составляет половину диагонали камеры сгорания $L = (0,9^2 + 1,5^2)^{0,5} \approx 1,75 \text{ м}$. Считая,

что скорость ламинарного горения не сильно зависит от давления смеси, получаем, что время сгорания смеси в объеме испытательной камеры составляет примерно $\tau_{\text{гор}} \approx L / V_{\text{лам}} = 4,5$ с. Максимальное давление, развиваемое в испытательной камере в отсутствии теплопотерь, должно соответствовать $\approx 9,1\text{--}9,4$ атм. Учитывая, что реальное избыточное давление вскрытия легкобрасываемых конструкций, как правило, не превышает 10 кПа, а скорость его перераспределения по объему камеры определяется скоростью звука, установлено, что время от момента поджига смеси, необходимое для вскрытия легкобрасываемой конструкции, для данной установки не превысит 50 мс. На основании этих данных для исследования динамики изменения давления в испытательной камере использовался высокочастотный датчик давления производства компании PCB Piezotronics (США) модель 106С10, обеспечивающий разрешение по давлению с точностью до 0,00069 кПа при временном разрешении менее $\leq 9,0$ мкс.

Результаты испытаний различных вариантов оконных блоков, предполагаемых для использования в качестве легкобрасываемых конструкций, в различных температурно-влажностных условиях сведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты испытаний различных вариантов оконных блоков

Наименование и идентификация образца	Избыточное давление вскрытия, кПа				Относительная влажность воздуха – 90–100%	Характер разрушения
	Температура, °С при относительной влажности воздуха – 60–80%					
	–5	5	15	30		
1	2	3	4	5	6	7
1 – Оконный блок двухстворчатый, распашной, открывающийся наружу марки ОП2С 1500-1200 И СП СТБ 1108-98. Створка размером (1404×551) мм (2 шт.), фурнитура – ROTA CENTRO 100-1, стеклопакет марки СПД 4,204М1-10-4М1-10-4,204М1 (1310×430×32,408) ГОСТ 24866-99, стекло листовое по ГОСТ 111-2001 ударостойкое А1, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производство РФ)	2,5	2,6	2,6	2,5	2,6	Створки открывались за счет отрыва двух закрепленных специальным образом ответок. Происходило разрушение створок по причине удара о выступ (0,5 кирпича) стены по периметру блока
2 – –//– створки соединены с коробкой резиновым шнуром (2 шт.) длиной 20 см, диаметром 0,8 мм, на расстоянии 25 см от оси поворота	2,5	2,7	2,6	2,6	2,6	Створки открывались за счет отрыва двух закрепленных специальным образом ответок. Разрушения створок по причине удара о выступ (0,5 кирпича) стены не происходило

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
3 – Оконный блок одностворчатый, распашной, открывающийся наружу марки ОП2С 1500-1200 СП СТБ 1108-98 (с боковым расположением шарнира). Створка размером (1404×1135) мм, фурнитура – ROTA CENTRO 100-1, стеклопакет марки СПД 4,204М1-10-4М1-10-4,204М1 (1310×1021×32,408) ГОСТ 24866-99, стекло листовое по ГОСТ 111-2001 ударостойкое А1, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производство РФ)	4,2	4,3	4,4	4,4	4,4	Створка открывалась за счет отрыва двух закрепленных специальным образом ответок. Происходило повреждение створки (в некоторых случаях незначительное) по причине удара о выступ (0,5 кирпича) стены по периметру блока
4 – --/-- створка соединена с коробкой резиновым шнуром (2 шт.) длиной 20 см, диаметров 0,8 мм, на расстоянии 25 см от оси поворота	4,2	4,4	4,4	4,5	–	Створка открывалась за счет отрыва двух закрепленных специальным образом ответок. Других разрушений оконного блока, кроме отрыва ответок, не произошло
5 – См. № 3 (с верхним расположением шарнира)	4,4	4,5	4,6	4,5	–	--/--
6 – См. № 3 (с нижним расположением шарнира). Противоположная шарниру створка соединена с коробкой резиновым шнуром (2 шт.) длиной 100 см	4,2	4,2	4,3	4,3	–	--/--
7 – Оконный блок одностворчатый, распашной, открывающийся наружу марки ОП2С 1500-1200 СП СТБ 1108-98. Створка размером (1404×1135) мм, фурнитура – МАСО (Англия), стеклопакет марки СПД 4М1-10-4М1-10-4М1 (1310×1021×32) ГОСТ 24866-99, стекло листовое по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (Salamander системы Дизайн 2Д производства Германии)	1,1	1,8	1,6	1,4	–	Створка открывалась за счет отрыва двух закрепленных специальным образом ответок не полностью, так как происходило разрушение полимерных частей фурнитуры
8 – Оконный блок глухой марки ОПЗС 1500-1200 СП СТБ 1108-98. Стеклопакет марки СПД 4М1-10-4М1-10-4М1 (1390×1090×32) ГОСТ 24866-99, стекло листовое марки М1 по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (Salamander системы Дизайн 2Д производства Германии). Стеклопакет устанавливается штапиком наружу	7,7	7,9	7,9	8,0	8,0	При вскрытии происходил разлет осколков стекла на расстояние до 8 м

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
9 – –//– штапик с продольным пропилом уса, входящего в паз	3,0	3,1	3,1	3,2	3,0	При вскрытии происхо- дил разлет осколков стекла на расстояние до 5 м
10 – См. № 9, снаружи стеклопакет оклеен полимерной пленкой LCL – 800 XSR (производство США)	8,6	8,7	8,6	8,6	–	При вскрытии происхо- дил разлет осколков стекла на расстояние до 3 м
11 – Оконный блок глухой марки ОП2С 1500-1200 СП СТБ 1108-98. стеклопа- кет марки СПО 4,204М1-16-4М1 (1310×1021×24,204) ГОСТ 24866-99, стекло листовое по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производство РФ)	7,0	7,3	7,3	7,3	–	При вскрытии происхо- дил разлет осколков стекла на расстояние до 8 м
12 – –//– стекло листовое по ГОСТ 111-2001 ударостойкое А1	7,7	7,8	8,1	8,0	–	–//–
13 – –//– снаружи стеклопакет оклеен полимер- ной пленкой LCL – 800 XSR (произ- водство США)	8,8	9,1	8,9	9,0	–	При вскрытии происхо- дил разлет осколков стекла на расстояние до 3 м
14 – –//– штапик с продольным пропилом уса, входящего в паз	3,0	3,1	3,0	3,0	–	–//–
15 – Оконный блок марки ПГО 15-12.1 по СТБ 939-93. Профиль и штапик из древеси́ны сосны, стекло листовое толщиной 4 мм марки М2 по ГОСТ 111-2001	1,2	1,3	1,5	1,5	1,4	При вскрытии происхо- дил разлет осколков стекла на расстояние до 5 м
16 – Оконный блок глухой марки ОП1С 1500-1200 СТБ 1108-98. Стекло листо- вое толщиной 4 мм марки М1 по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производ- ство РФ)	1,5	1,8	1,8	1,7	1,8	–//–
17 – –//– стекло листовое толщиной 4 мм марки М1 по ГОСТ 111-2001 ударопрочное А1	2,0	2,3	2,2	2,2	–	
18 – –//– стекло оклеено полимерной пленкой LCL – 800 XSR (производство США). С нижней стороны пленка закрепляет- ся под штапиком. С других сторон пленка наклеивается не до кромки стекла, а так, чтобы оставался зазор между штапиком и оклеенным стек- лом (5±2) мм	2,7	3,0	2,8	3,2	–	При вскрытии выпадало стекло, оставаясь висеть на полимерной пленке, закрепленной под шта- пиком нижней части коробки
19 – –//– с верхней стороны пленка закрепляет- ся под штапиком	2,7	2,9	3,0	3,0	–	При вскрытии выпадало стекло на расстояние до 3 м

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
20 – См. № 18, стекло оклеено полимерной пленкой LCL – 400 XSR (производство США). С нижней стороны пленка закрепляется под штапиком. С других сторон пленка наклеивается не до кромки стекла, а так, чтобы оставался зазор между штапиком и оклеенным стеклом (5 ± 2) мм	2,5	2,6	2,7	2,6	–	–//–
21 – См. № 17, стекло оклеено полимерной пленкой LCL – 800 XSR (производство США). С нижней стороны пленка закрепляется под штапиком. С других сторон пленка наклеивается не до кромки стекла, а так, чтобы оставался зазор между штапиком и оклеенным стеклом (5 ± 2) мм	1,9	2,1	2,0	2,2	–	При вскрытии выпадало стекло, оставаясь висеть на полимерной пленке, закрепленной под штапиком нижней части коробки
22 – Оконный блок глухой марки ОП1С 1500-1200 СТБ 1108-98. Стекло листовое толщиной 3 мм марки М1 по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производство РФ)	0,8	0,9	1,1	1,0	1,1	При вскрытии происходил разлет осколков стекла на расстояние до 3 м
23 – Оконный блок глухой марки ОП1С 1500-1200 СТБ 1108-98. Стекло листовое толщиной 5 мм марки М1 по ГОСТ 111-2001, профиль ПВХ (КВЕ 317) рама-707, штапик 0,33 (производство РФ)	3,6	4,0	3,9	4,2	4,1	При вскрытии происходил разлет осколков стекла на расстояние до 5 м

Заключение. В результате реализации серии, включающей 105 испытаний для 23 видов оконных блоков, можно сделать следующие выводы:

1. Для определения возможности использования стеклопакетов в качестве разрушаемых ЛСК в каждом конкретном случае необходимо проведение экспериментальных исследований по определению давления вскрытия.

2. Невозможно использование глухих стеклопакетов в качестве разрушаемых ЛСК без проведения дополнительного комплекса мероприятий по снижению прочности каждой из пластин стекла.

3. Апробированы различные технические решения и исследовано влияние на величину избыточного давления вскрытия конструктивных особенностей основных видов оконных блоков, применяемых в промышленном строительстве в настоящее время. Техническими решениями, способствующими повышению эффективности изделий, улучшению эксплуатационных и экономических показателей, как при установке, так и при переустановке после аварийного взрыва являются:

– для створчатых блоков – расположение шарнира; особенность крепления резинового шнура, определенное крепление ответок;

– для глухих блоков со стеклопакетом – способ подготовки уса штапика, входящего в паз, возможность повышения безопасности при проникновении извне за счет установки ударостойких стекол и оклейки полимерными пленками;

– для одиночного глухого остекления – возможность использования оптимальных для конкретного случая рам, стекол с определенными качественными и размерными показателями.

4. Радиус разлета осколков стекла при взрыве составляет от 3 до 8 м. Данные значения должны учитываться при разработке мероприятий, повышающих безопасность работающего в непосредственной близости персонала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Моделирование пожаров и взрывов / под общ. ред. Н.Н. Брушлинского, А.Я. Корольченко. – М.: Ассоциация «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. Мольков, В.В. Вентиляция газовой дефлаграции: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Мольков; ВНИИПО МВД РФ. – М., 1996. – 48 с.
3. СНБ 2.02.03-03. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2003. – 13 с.
4. Изменение № 1 к СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия», утвержденное и введенное в действие Приказом М-ва архитектуры и строительства Респ. Беларусь от 18 июня 2004 г. № 166. Введ. 01.07.04. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2004. – 5 с.
5. СНиП 2.09.02-85*. Производственные здания / Госстрой СССР. – М.: АПП ЦИТП, 1991. – 16 с.
6. Lewis, D., von Elbe G. Combustion, Flames and Explosions in Gases. N.Y.: Academic Press, 1961. – 528 с.
7. Кондратьев, В.Н. Химические процессы в газах / В.Н. Кондратьев, Е.Е. Никитин. – М.: Наука, 1981. – 558 с.
8. Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справочник / под ред. А.Н. Баратова. – М.: Химия, 1987.
9. Монахов, В.Т. Методы исследования пожарной опасности веществ / В.Т. Монахов. – 2-е изд. – М.: Химия, 1979.

Поступила в редакцию 8 января 2007 г.