

УДК 624.042.3:534.222.092

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗБЫТОЧНОГО ДАВЛЕНИЯ ВСКРЫТИЯ ЗАПОЛНЕНИЙ ПРОЕМОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Усов А.М.^{*}, к.т.н., Пенязьков О.Г.^{**}, д.ф.-м.н., Миканович А.С.

^{*}ЗАО «Пинскдрев»

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

Within last two years in Byelorussia in quality easy-dropped constructions application double-glazing units which behaviour at deflagration explosion is not investigated is supposed. For carrying out of researches the test facility for definition of superfluous pressure of opening of window blocks is developed at deflagration explosion in the closed volume.

(Поступила в редакцию 30 марта 2008 г.)

Взрыв является одной из наиболее опасных чрезвычайных ситуаций. Как показывает статистика, такое явление возникает довольно часто, например, в государствах ЕС ежегодно происходит около 2 000 взрывов [1]. По данным международной страховой компании Industrial Risk Insurers (IRI), из 34 аварий с ущербом свыше 250 тыс. долларов США, происшедших за год на предприятиях химической и нефтеперерабатывающей промышленности США, основной ущерб (81%) наносят аварии с взрывами. Статистический отчет IRI показывает, что взрывы составляют 67% всех инцидентов, а нанесенный ими ущерб – 85% общего ущерба [2]. Как показал анализ около 1 000 наиболее крупных аварий, проведенный Американской страховой ассоциацией AIA, ущерб при авариях в 63% обусловлен взрывом либо совместным действием пожара и взрыва [2]. Несмотря на оснащение производственных объектов самыми современными средствами взрывозащиты, предотвращение взрывов не всегда представляется возможным. Как следствие, для защиты людей и материальных ценностей от опасных факторов взрыва должен быть предусмотрен комплекс мероприятий по противовзрывной защите, основным из которых является устройство легкобрасываемых конструкций (ЛСК). ЛСК, вскрываясь, обеспечивают снижение избыточного давления, возникающего во взрывоопасных помещениях при внутренних аварийных взрывах горючих смесей до безопасного нормируемого значения. Допускаемое избыточное давление в большинстве случаев принимается равным 5 кПа.

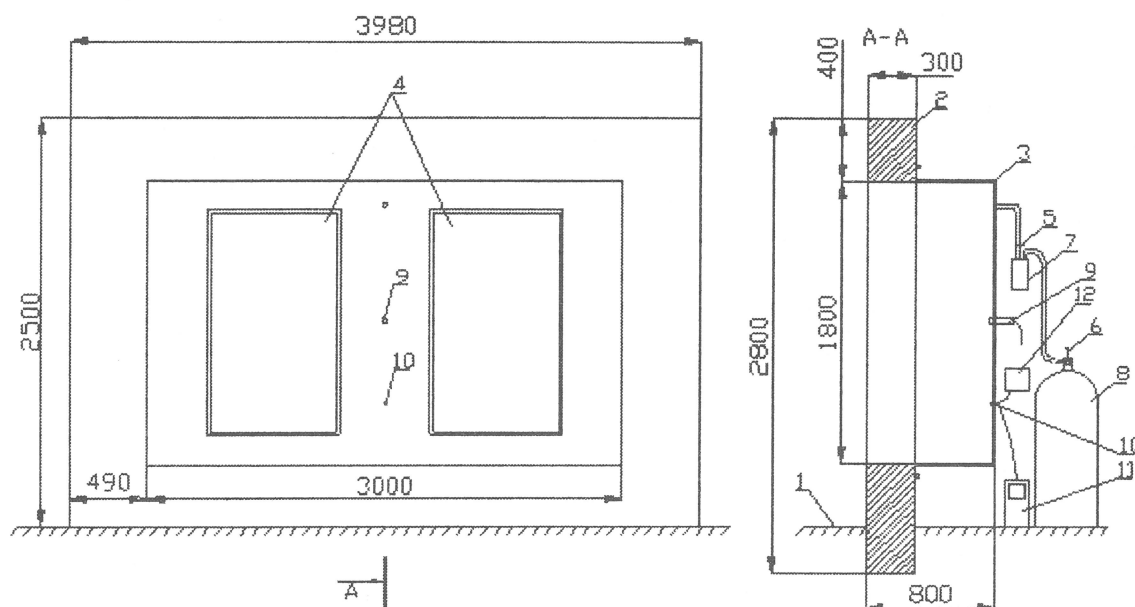
Согласно [3] в качестве ЛСК допускается использовать: облегченные покрытия, не имеющие жесткой связи с несущими элементами покрытия (кровли); конструкции из стальных, алюминиевых и асбестоцементных листов и эффективного утеплителя; остекление окон и фонарей. В связи с увеличением нормативного значения 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].

Расчет параметров ЛСК производится с использованием ТКП 45-2.02-38 «Конструкции легкобрасываемые. Правила расчета». Однако данная методика не позволяет для 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 и коэффициента вскрытия.

Для определения величины избыточного давления вскрытия оконных блоков при внутреннем дефлаграционном взрыве за основу принят принцип создания модельного взрыва в замкнутом пространстве. Для этого 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. Площадь проема составляет 5,4 м², что позволяет испытывать широкий ассортимент ЛСК. Сущность методики испытаний заключается в определении избыточного давления при горении смеси пропан-бутана с воздухом в созданном рабочем объеме около 3 м³. Для контроля объемного расхода пропан-бутана использован газовый расходомер. Для поджига смеси принят электроискровой инициатор, установленный посередине задней стенки 1,8×3 м испытательной камеры.

Характерное время сгорания смеси, определяющее динамику роста давления в испытательной камере, а также временные и технические характеристики датчика для измерения давления, оценивалось следующим образом. Скорость ламинарного горения ($V_{\text{лам}}$) в стехиометрической пропановоздушной смеси при атмосферном давлении равна 0,4 м/с [5–8]. Максимальное расстояние, которое может пройти фронт пламени по мере распространения, составляет половину диагонали камеры сгорания $L = (0,9^2 + 1,5^2)^{0,5} \approx 1,75$ м. Считая, что скорость ламинарного горения не сильно зависит от давления смеси, получим, что время сгорания смеси в объеме камеры составляет $\tau_{\text{гор}} \approx L / V_{\text{лам}} = 4,5$ с. Максимальное давление, развиваемое в отсутствие теплотерь, тогда составит $\approx 9,1$ – $9,4$ атм.



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

Учитывая, что реальное избыточное давление вскрытия ЛСК, как правило, не превышает 10 кПа, т. е. примерно в 90–100 раз меньше уровня максимального давления, а

скорость его перераспределения по объему камеры определяется скоростью звука, которая более чем на два порядка превышает скорость распространения пламени, можно оценить характерное время от момента поджига смеси, необходимое для вскрытия легкобрасываемой конструкции. Для данной геометрии испытательной камеры оно будет в 90–100 раз меньше общего времени сгорания смеси $\tau_{гор}$, т. е. не больше 50 мс. Таким образом, для адекватного определения избыточного давления вскрытия и метрологической аттестации вертикальных ЛСК, в испытательной камере измерения должны обеспечивать регистрацию динамики роста давления с точностью не хуже 0,01 кПа (точность 0,1%) и временное разрешение на три порядка меньше, чем время вскрытия ЛСК, т. е. не менее 50 мкс (точность 0,1%). При этом общее время регистрации давления должно быть сравнимо со временем сгорания смеси в объеме камеры, т. е. не менее $\tau_{гор} \approx 4,5$ с.

Из указанных предпосылок для исследования динамики изменения давления в испытательной камере использован высокочастотный датчик давления производства компании PCB Piezotronics (США) модель 106С10, позволяющий производить измерения в диапазоне от 0 до 57,2 кПа и обеспечивающий чувствительность 42,54 мВ/кПа.

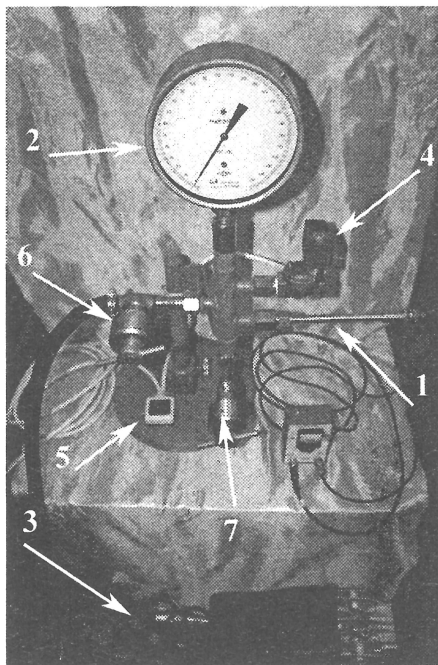
Следует отметить, что постоянная времени разряда $\tau_{разряда}$ датчика модели 106С10 с зарядовым повторителем, которая характеризует время, за которое амплитуда сигнала на чувствительном элементе снижается в 2,7 раза при его мгновенном нагружении импульсом давления постоянной амплитуды, согласно паспортным данным является индивидуальной характеристикой каждого датчика и не превышает 10 с. То есть эта величина намного больше характерного времени измерения избыточного давления в испытательной камере (около 50 мс), которое проходит от момента поджига смеси до момента вскрытия ЛСК. Таким образом, токи утечки оказывают минимальное воздействие на точность определения давления вскрытия $P_{вскр}$ и могут приводить к снижению показаний датчика на относительную величину, равную отношению $P_{вскр} \cdot \tau_{изм} / \tau_{разряда} = P_{вскр} \cdot 0,05 \text{ с} / (5 \div 10 \text{ с})$, что составляет 0,5–1% от величины измеряемого сигнала. Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что выбранная модель высокочастотного датчика давления полностью соответствует задаче определения избыточного давления вскрытия для оценки характеристик ЛСК.

В качестве регистрирующего оборудования использован цифровой осциллограф, передающий информацию на персональный компьютер.

С целью метрологической аттестации и периодической поверки датчика давления была разработана и изготовлена установка для калибровки датчика (рисунок 2).

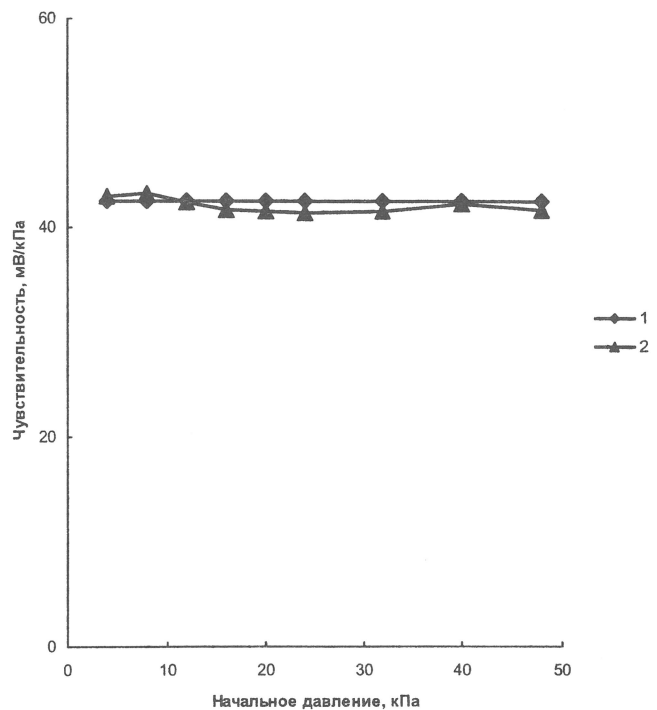
Исследуемый датчик 1 через цангу соединен с рампой установки, которая включает в себя образцовый деформационный манометр 2, электромагнитный нормально-закрытый клапан 4, управляемый кнопкой 5, а также два прецизионных вентиля 6 и 7. Избыточное давление в рампе установки создается при помощи компрессора 3. Напускные вентили обеспечивают плавный подъем давления при напуске сжатого воздуха, чтобы избежать перегрузки и быстрого заряда чувствительного кварцевого элемента датчика 106С10. Методика аттестации импульсного датчика выглядит следующим образом. Путем открытия впускного вентиля 6 в рампу медленно напускается сжатый воздух до требуемого уровня давления. Уровень избыточного давления в рампе контролируется образцовым деформационным манометром 2 с точностью 0,2 кПа. После того, как процедура напуска закончена, при замыкании кнопки 5 срабатывает электромагнитный клапан 4, и избыточное давление из рампы быстро сбрасывается в атмосферу. В результате за время 0,1–0,2 с, которое сравнимо со временем вскрытия ЛСК, в рампе снова устанавливается начальное атмосферное давление. При этом выходной сигнал от датчика регистрируется с помощью цифрового осциллографа.

На основании проведенных измерений на рисунке 3 представлена результирующая калибровочная кривая зависимости чувствительности датчика РСВ 106С10 от начального давления. Видно, что во всем диапазоне условий значения калибровочного коэффициента или чувствительности датчика не зависят от величины налагаемого избыточного давления и в пределах погрешности измерений совпадают с данными завода производителя, полученными в условиях заводской калибровки. Таким образом, можно констатировать, что предложенная процедура калибровки может быть с успехом применена для датчика РСВ 106С10 с помощью образцовых средств измерений, а именно деформационного манометра 2 тип МО с верхним пределом измерения 0,1 МПа, класса точности 0,4 и цифрового осциллографа.



1 – датчик РСВ 106С10, 2 – манометр, 3 – баллон со сжатым воздухом или компрессор, 4 – электромагнитный вентиль, 5 – устройство запуска, 6 – впускной вентиль, 7 – выпускной вентиль

Рисунок 2 – Установка для калибровки датчика давления



1 – данные производителя (42,54 мВ/кПа), 2 – данные калибровки (42,1±0,2 мВ/кПа)

Рисунок 3 – Результирующая калибровочная кривая зависимости чувствительности датчика от начального давления

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны испытательная установка для определения избыточного давления вскрытия и коэффициента вскрытия заполнений проемов, используемых в качестве вертикальных ЛСК, и методика определения избыточного давления вскрытия вертикальных ЛСК, реализованная в СТБ 1762–2007 «Конструкции легкобрасываемые. Метод определения избыточного давления вскрытия». Для обеспечения качества измерений определены необходимые характеристики высокочастотного датчика для измерения величины избыточного давления вскрытия ЛСК; разработана и изготовлена установка и методика для калибровки высокочастотного датчика давления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Брушлинский, Н.Н.* Моделирование пожаров и взрывов / Н.Н. Брушлинский, А.Я. Корольченко. – М.: Асоц. «Пожнаука», 2000. – 482 с.
2. *Мольков, В.В.* Вентиляция газовой дефлаграции: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / В.В. Мольков; ВНИИПО МВД РФ. – М., 1996. – 48 с.
3. Национальный комплекс нормативно-технических документов в строительстве. Ограничение распространения пожара в зданиях и сооружениях. Объемно-планировочные и конструктивные решения: СНБ 2.02.03-03. – Введ. 01.01.04. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2003. – 16 с.
4. Нагрузки и воздействия (изменение № 1): СНиП 2.01.07-85. – Введ. 01.07.04. – Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2004. – 12 с.
5. *Lewis, D.* Combustion, Flames and Explosions in Gases / D. Lewis, G. von Elbe. – N.Y.: Academic Press, 1961. – 528 с.
6. *Кондратьев, В.Н.* Химические процессы в газах / В.Н. Кондратьев, Е.Е. Никитин. – М.: Наука, 1981. – 558 с.
7. *Баратов, А.Н.* Пожарная безопасность. Взрывобезопасность: справочник / А.Н. Баратов [и др.]; под общ. ред. А.Н. Баратова. – М.: Химия, 1987. – 272 с.
8. *Монахов, В.Т.* Методы исследования пожарной опасности веществ / В.Т. Монахов. – 2-е изд. – М.: Химия, 1979. – 264 с.