

Ю. Х. ПОЛАНДОВ, д-р техн. наук, профессор, руководитель Научно-образовательного центра “Механика жидкости и газа, физика горения”, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95; e-mail: polandov@yandex.ru)

С. А. ДОБРИКОВ, аспирант, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева (Россия, 302026, г. Орел, ул. Комсомольская, 95; e-mail: dobrikov@yandex.ru)

Д. А. КУКИН, аспирант, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Институт комплексной безопасности в строительстве (Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; e-mail: dekuk07@mail.ru)

УДК 614.83;536.463

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЛЕГКОСБРАСЫВАЕМЫХ КОНСТРУКЦИЙ

На испытательном стенде МГСУ были проведены первые в России приемочные испытания легкосбрасываемых конструкций (сэндвич-панелей и стеклопакета). На основании анализа данных этих испытаний нами показано, что увеличение удельной массы ЛСК (с 9 до 25 кг/м²) приводит к ухудшению их свойств как средства обеспечения безопасности при взрыве в помещении по двум параметрам: повышению давления взрыва по сравнению с давлением сброса ЛСК (при испытаниях от 0,5 до 3,5 кПа) и увеличению времени ее сброса. Отмечено, что наши результаты на качественном уровне вполне согласуются с известными, полученными на моделях. Сделаны два вывода: правомерность использования результатов модельных опытов при расчетах характеристик реальных легкосбрасываемых конструкций сомнительна; на данном этапе исследований об эффективности ЛСК можно судить только по результатам ее испытаний в условиях, приближенных к реальным.

Ключевые слова: газовые взрывы; помещения; легкосбрасываемая конструкция (ЛСК); сэндвич-панели; стеклопакет; модельные испытания.

DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14

Введение

В последние годы в строительной индустрии нашей страны широкое применение получили сэндвич-панели и стеклопакеты (далее — панели¹), обладающие в сравнении с другими строительными материалами малой удельной массой², составляющей обычно не более 50 кг/м². Эта особенность сделала весьма привлекательной идею использования их в качестве легкосбрасываемой конструкции (ЛСК) в зданиях и помещениях, где есть опасность газового взрыва. В то же время их удельная масса заметно больше, чем традиционных ЛСК — окон с одинарными стеклами, что вполне резонно ставит под сомнение правомерность такого решения.

В отечественных нормативных документах, которые так или иначе касаются этого вопроса [1–5], в ответ на запросы развивающейся строительной ин-

дустрии со временем была признана допустимость применения панелей в качестве ЛСК (далее — ЛСК-панель), при этом в стандартах (ГОСТ Р 56288–2014, ГОСТ Р 56289–2014) предварительно были оговорены условия, при которых это становится возможным.

Исходя из своего назначения, ЛСК-панели согласно российским нормативам [6] должны ограничивать давление при взрыве в зданиях и помещениях категорий А и Б по взрывоопасности 5 кПа (избыточных)³. Проектировщикам для обеспечения взрывоустойчивости здания или помещения полезно пользоваться разработанной специалистами Всероссийского научно-исследовательского института противопожарной обороны методикой расчета характеристик ЛСК-панели [7] или пособием Л. П. Пилюгина [8]. К сожалению, в этих публикациях нет экспериментальных материалов, которые можно было бы применять при анализе. Для более углубленного познания физического процесса целесооб-

¹ В зарубежной печати под этим термином подразумеваются также разрывные мембраны.

² Удельная масса панели — отношение ее массы к площади проема окна, измеряемое в кг/м².

³ По мнению ряда специалистов, данное значение давления явно завышено, а приемлемым является 3 кПа.

разно обратиться к диссертациям В. В. Молькова [9], В. В. Казеннова [10] и др. Отметим также, что в течение нескольких десятилетий остается актуальным вариант расчета площади остекления взрывоопасных помещений (в последние годы и ЛСК) по методике СНиПов [1–3].

Нормативы Европейского союза — BS EN 14994 [11], BS EN 14797 [12] и нормативы США — NFPA 68 [13] выделяют в качестве основной отличительной характеристики ЛСК-панелей их массу и классифицируют их по удельной массе (малая и большая). Так, например, в EN 14994 установлено граничное значение 10 кг/м^2 , а в NFPA 68 — $12,2 \text{ кг/м}^2$ для всех газов и 50 кг/м^2 — для бытовых. В случае если удельная масса не превышает граничных значений, предлагается вообще не учитывать инерционность панели; если же удельная масса больше граничного значения, надо вносить поправку, но только после экспериментальной проверки. В факультативном приложении приводится методика расчета параметров ЛСК-панели, напоминающая методику, описанную в работах наших авторов [7, 8]. Интересна позиция авторов NFPA 68 к своему труду, которая заключается в том, что они не несут ответственности за результаты применения их рекомендаций.

Целью настоящей работы является оценка обоснованности использования результатов модельных испытаний в расчетах характеристик реальных конструкций. Оценка основывалась на результатах поиска общей зависимости между результатами модельных и натурных испытаний.

Обзор опубликованных результатов экспериментальных исследований

Среди опубликованных материалов экспериментальных исследований по влиянию массы ЛСК на ее динамику представляют интерес NFPA 68, где приведены данные R. DeGood и K. Chatrathi [14], статьи J. R. Bakke [15], John L. Woodward [16], а также диссертации сотрудников НТЦ “Взрывоустойчивость” НИУ МГСУ А. А. Комарова [17], А. М. Шлега [18] и Н. В. Громова [19].

Исследования, результаты которых приведены в NFPA 68, получены на экспериментальной установке, которую можно отнести скорее к модельному типу, нежели к реальным или близким к ним объектам. Так, рабочий объем камеры составлял $V = 2,6 \text{ м}^3$, отношение длины к диаметру камеры — $L/d = 2/3$, площадь окна сброса — $S = 0,56 \text{ м}^2$. Во время опытов осуществлялся взрыв 5 %-ной смеси пропан — воздух. Результаты опытов приведены на рис. 1. Во всех опытах узлы крепления панели разрушались при статической нагрузке под давлением около 10 кПаи. Точки на рисунке представляют собой осредненные данные 25 опытов.

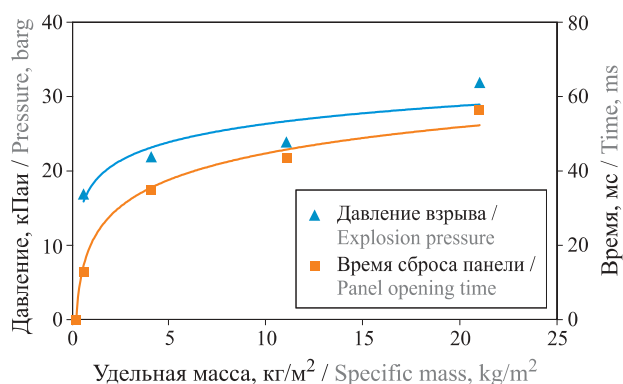


Рис. 1. Зависимость максимального давления взрыва и времени сброса панели от ее удельной массы

Fig. 1. Dependence of the maximum explosion pressure and the panel reset time from the specific mass of panel

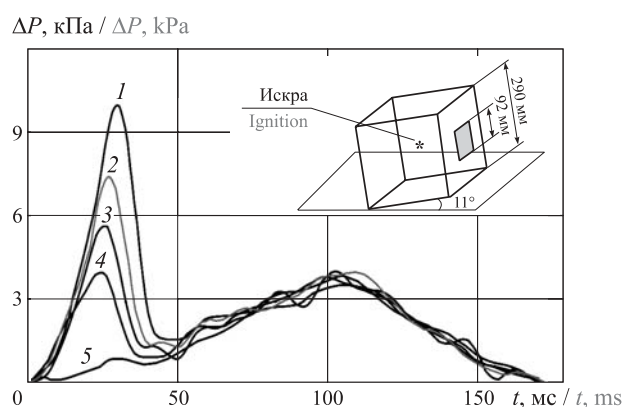


Рис. 2. Осциллограммы давления взрыва при разной массе ЛСК m (по данным А. А. Комарова [17]): 1 — 920 г; 2 — 512 г; 3 — 356 г; 4 — 237 г; 5 — 0 г (отверстие открыто)

Fig. 2. Oscillograms of the explosion pressure at different masses of the pressure-relief panels (data of A. A. Komarov [17]): 1 — 920 g; 2 — 512 g; 3 — 356 g; 4 — 237 g; 5 — 0 g (hole is opened)

Графики дополнены еще одной точкой: при массе ЛСК-панели, равной 0, время отклика панели также равно 0. Эта точка построена на основании умозрительных заключений. Конечно, в анализе было бы более корректно использовать непосредственные записи истории взрывов, но они не опубликованы. Вследствие этого невозможно понять способ определения “Vent Closure Response Time”, что в переводе означает “время отклика панели на давление” (разумеется, при разрушении узлов крепления) или просто “время сброса панели”.

На рис. 2 приведены полученные А. А. Комаровым [17] результаты исследования влияния массы ЛСК на развитие газового взрыва пропан-воздушной смеси при испытаниях в кубической камере с равными ребрами длиной 0,3 м и квадратным окном размером $0,92 \times 0,92 \text{ м}$. В этом эксперименте в качестве ЛСК использовались стальные пластины разной толщины и, естественно, разной массы. Пластины прижимались к окну под действием 20 % своего

веса, что достигалось за счет отклонения плоскости окна на 11° от вертикали.

Результаты опытов однозначно демонстрируют увеличение давления в камере при росте удельной массы пластин. Однако прямое сравнение этих данных и NFPA 68 невозможно в силу большой разницы в интервалах по важнейшим переменным (ρ ; $P_{\text{макс}}$), в которых проводились исследования (где ρ — удельная масса панели, кг/м^3 ; $P_{\text{макс}}$ — максимальное давление при сбросе панели, Па). Использование для этих целей координат (ρ ; $P_{\text{макс}}/P_{\text{раз}}$) (где $P_{\text{раз}}$ — давление, при котором происходит разрушение узлов крепления, Па) также приводит к большой разнице между значениями $P_{\text{макс}}$ и $P_{\text{раз}}$, которая достигает порядка. В то же время видно качественное совпадение результатов.

Интересно сравнение времен сброса панелей и пластин. Такое сравнение вполне возможно, так как корреляцию между временами, имеющими отношение к сбросу панели, хотя и определяемыми по различным вариантам, следует ожидать довольно высокой. На основании опытов А. А. Комарова за время сброса можно взять время существования импульса давления в процессе сброса пластины. Из сравнения данных, приведенных на графиках (см. рис. 1 и 2), видно, что времена сброса в опытах А. А. Комарова и Vent Closure Response Time в NFPA 68 имеют довольно близкие значения, но они относятся к разным интервалам по удельной массе. Тем не менее графики демонстрируют одинаковый характер влияния массы панели на время ее сброса: с увеличением массы растёт и время сброса.

Рабочая гипотеза

Отметим, что приведенные ниже результаты исследований относятся к разряду модельных. Безусловно, они весьма важны для понимания физики и механики процесса, хотя большую практическую ценность представляют опыты, проведенные на реальных объектах. При этом было бы интересно установить между ними связь и, возможно, зависимость, что могло бы послужить инструментом для замены дорогостоящих и трудоемких исследований в условиях, близких к реальным, модельными.

На пути реализации этой возможности стоит известная разница в развитии процессов газового взрыва в больших объемах (64 м^3) [14, 15] и в малых, таких, например, как указано выше. Пожалуй, самая важная разница между ними заключается в том, что в случае геометрически подобных объемов нарастание давления в больших объемах происходит медленнее, чем в малых, и, следовательно, давление на панель в первом случае будет меньше. А это, в свою очередь, ведет к более медленному сбросу панели. Но это упрощенный взгляд на процесс, на самом деле все сложнее.

Процесс развития взрыва со сбросом панели при “квазипостоянном” подходе не может быть описан одним уравнением в силу того, что процесс делится на три этапа, каждый из которых описывается характерным для него уравнением: первый — уравнением развития взрыва в замкнутом объеме; второй — уравнением развития взрыва в процессе выброса панели; третий — уравнением развития взрыва при открытом проеме. Это обстоятельство затрудняет переход к единым критериям, отражающим процесс на всем пути его развития.

Тем не менее в научной практике известны случаи описания в критериальной форме процесса по результатам испытаний даже тогда, когда не удается описать его аналитически. Поэтому вполне правомерна следующая постановка задачи: путем анализа результатов как модельных экспериментов, так и испытаний панелей в условиях, близких к реальным, выяснить возможность описания их связи в критериальной форме и тем самым дать возможность прогнозирования характеристик реальных панелей по результатам модельных испытаний.

Результаты испытаний панелей

Средства испытаний

Испытательный стенд. При испытаниях в Институте комплексной безопасности в строительстве при НИУ МГСУ использовалась взрывная камера размером $2000 \times 2000 \times 2000$ мм (по ГОСТ Р 56289–2014). Ее схема и закрепление на ней испытуемого образца сэндвич-панели приведены на рис. 3 и 4. Внутри этой камеры располагалась малая камера, в которую подавался пропан в объеме, достаточном для получения стехиометрической смеси с воздухом. Там же, в малой камере, размещен вентилятор для перемешивания газов и устройство воспламенения смеси. Для обеспечения замкнутости объема малой камеры в процессе приготовления смеси сторона, открытая и обращенная к сбросному окну взрывной камеры, представляет собой клапан многоразового действия. При взрыве клапан открывается, и газы из малой камеры поступают во взрывную, что приводит к повышению в ней давления. Рост давления обеспечивает разрушение узлов крепления панели и ее сброс.

Средства измерения. При испытании проводилось измерение двух важнейших параметров, характеризующих срабатывание узлов крепления легко-сбрасываемой панели: давления внутри взрывной камеры и времени начала движения панели. В состав системы измерения входили следующие устройства: датчики давления MPX5050GP; блок питания датчиков БП04Б-42; аналогово-цифровой преобразователь ЛА-20 USB (производства ЗАО “Руднев-Шилиев”); персональный компьютер.

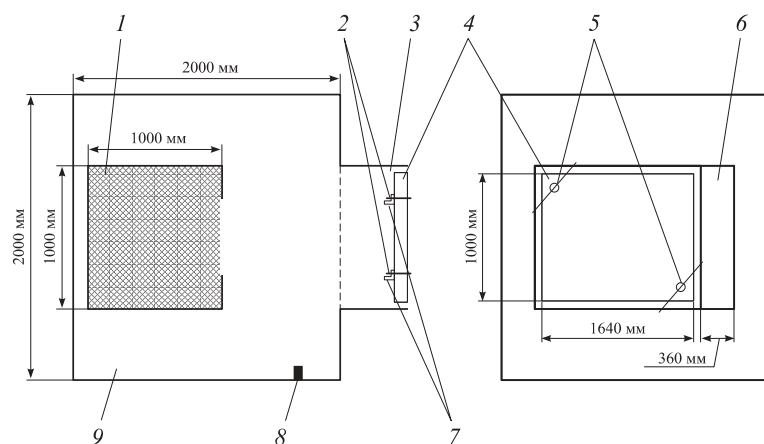


Рис. 3. Схема взрывной камеры и закрепление на ней испытуемого образца сэндвич-панели: 1 — камера для подготовки газовой смеси (малая камера); 2 — узел крепления панели; 3 — переходный объем; 4 — сэндвич-панель; 5 — датчики начала движения панели; 6 — входная дверь во взрывную камеру; 7 — уголок крепления на камере; 8 — датчик давления; 9 — взрывная камера 2×2 м

Fig. 3. Diagram of the blasting chamber and fixing on it the test specimen of the sandwich panel: 1 — a chamber for a mixture of gases (small chamber); 2 — panel mounting; 3 — intermediate volume; 4 — sandwich panel; 5 — motion sensors; 6 — entrance door to the blasting chamber; 7 — mountings; 8 — pressure sensor; 9 — blasting chamber 2×2 m



Рис. 4. Общий вид взрывной камеры (а) и сэндвич-панель перед взрывом (б)

Fig. 4. General view of the blasting chamber (a) and sandwich panel before the explosion (b)

При обработке и конверсии аналогового сигнала использовались гарантированные заводами-изготовителями характеристики приборов и ПО для них, а при построении графиков — программа Excel 2016. Движение испытуемого образца фиксировалось видеокамерой Xiaomi Yi Sport Camera. Начало движения панели фиксировалось по разрушению контрольного провода (разрыву электроцепи) и по записям видеокамеры. Все элементы регистрации: запись на видеокамере, сигнал на взрыв, обрыв контрольного провода и показания датчика давления — были синхронизированы.

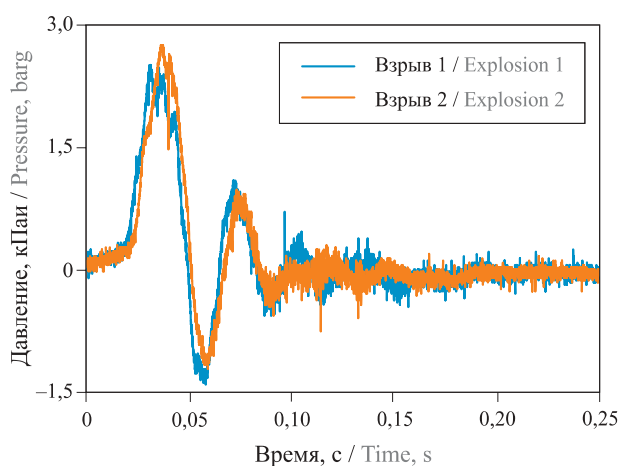


Рис. 5. Динамика давления при двух контрольных взрывах в открытой взрывной камере

Fig. 5. Dynamics of explosion pressure with an open blasting chamber

Контрольные опыты. В целях подтверждения воспроизводимости и достоверности результатов измерения, управляемости процесса организации взрыва перед испытаниями проводились контрольные взрывы при открытом сбросном окне взрывной камеры в отсутствие сэндвич-панели в окне. На рис. 5 приведены графики давлений при двух контрольных взрывах. Из них видно их практическое совпадение: давление достигает максимума через 0,04 с и равно 2,5 кПа (избыточных). Через 0,05 с с начала опыта давление внутри камеры начинает стремительно снижаться и в течение 0,025 с становится ниже атмосферного. Это явление известно и называется *имплозией*. Такой эффект получается из-за того, что выбрасываемый газ при своем движении с большой скоростью (в силу своей инерционности) “пробежит” положение равновесия сил (давления), после чего начинается обратное течение его в камеру. В результате возникают затухающие колебания с частотой Гельмгольца.

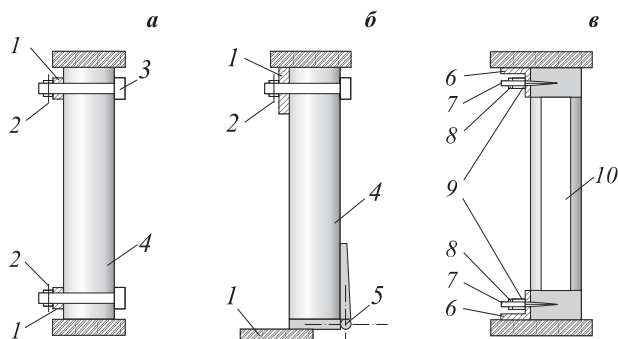


Рис. 6. Схемы испытуемых образцов: *a* — панель № 1; *b* — панель № 2; *v* — стеклопакет; 1 — корпус камеры; 2 — разрушающаяся проволока; 3 — сдвигающийся болт; 4 — панель; 5 — петля; 6 — уголок крепления; 7 — саморез-шпилька; 8 — фторопластовая шайба; 9 — направляющая втулка; 10 — стеклопакет

Fig. 6. Schemes of tested samples: *a* — panel No. 1; *b* — panel No. 2; *v* — double-glazed windows; 1 — chamber body; 2 — collapsing wire; 3 — sliding bolt; 4 — panel; 5 — loop; 6 — area attachment; 7 — screw stud; 8 — PTFE washer; 9 — guide bush; 10 — glass

Испытание сэндвич-панели № 1

Характеристика образца. Панель № 1 (рис. 6, *a*) состояла из стальных листов (облицовок) толщиной 0,8 мм, внутри которых расположена теплоизоляция (утеплитель) на основе минеральной ваты. Наружная сторона листов покрыта полимерным материалом белого цвета. Размеры панели составляли 1640×1000 мм, толщина — 100 мм, масса — 30,4 кг. Панель устанавливалась вертикально в проеме взрывной камеры. Четыре узла крепления, раз-

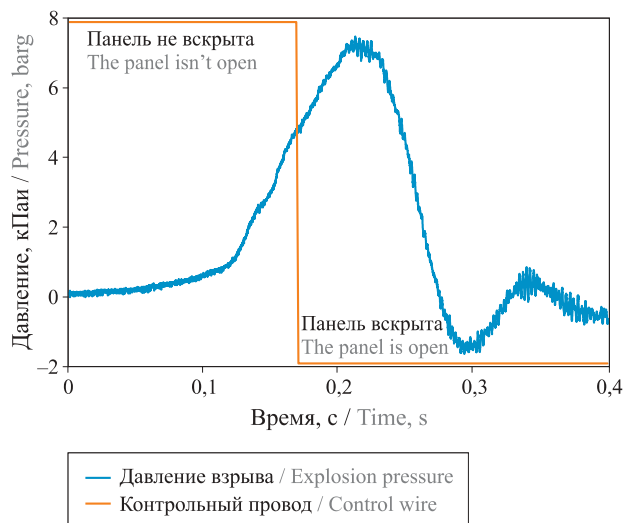


Рис. 8. Динамика давления во взрывной камере и обрыв контрольного провода на панели № 1

Fig. 8. Dynamics of pressure in the blasting chamber and breakage of the control wire on the panel No. 1

рушающиеся при взрыве, расположены на расстоянии 60 мм от краев панели. В случае взрыва внутри помещения начиналось движение панели, а вместе с ней сдвигался болт относительно втулки, срезая проволоку (см. рис. 3). Усилие среза проволоки в восьми местах представляет собой то препятствие, которое давление взрыва должно преодолеть. Расчетное давление разрушения узлов крепления — 5 кПаи.

Результаты испытания панели № 1. На рис. 7 приведены кадры видеозаписи движения панели в



Рис. 7. Видеокадры выброса сэндвич-панели № 1 при взрыве

Fig. 7. Video frames of the emission of sandwich panel No. 1 during the explosion

процессе взрыва. Панель отрывалась во всех четырех узлах крепления практически одновременно, и в начальной стадии движения находилась в положении, близком к вертикальному. После сигнала “взрыв” давление в закрытой камере начинало расти (рис. 8). По достижении значения 4,6 кПаи происходил обрыв контрольной проволоки, сигнализирующий о начале движения панели. На рис. 8 этот момент обозначен вертикальной линией, пересекающей график давления. После начала движения панели давление в камере продолжало расти и достигло 7,5 кПаи. При спаде давления имела место имплозия с отрицательным давлением 1 кПаи и затухающие колебания давления.

Испытание сэндвич-панели № 2

Характеристика образца. Панель № 2 (рис. 6,б) отличалась от панели № 1 тем, что ее толщина составляла 70 мм, а масса — 18 кг. Она закреплялась вертикально в проеме взрывной камеры с помощью двух петель в ее нижней части. Разрушающийся узел располагался по центру в верхней части панели на расстоянии 100 мм от ее края; ее основной элемент представлял собой стальную проволоку, работающую на растяжение.

Результаты испытания приведены на рис. 9. Узел разрушился, и панель начала движение при давлении 4,2 кПаи, вращаясь на петлях. Давление после начала движения еще в течение 0,02 с продолжало

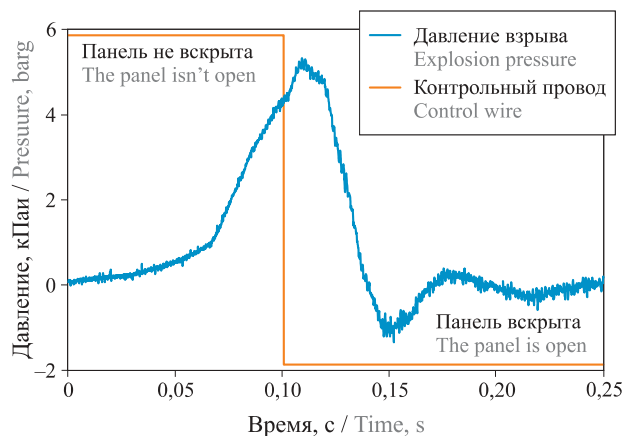


Рис. 9. Динамика развития давления при взрыве панели № 2
Fig. 9. Dynamics of explosion pressure of panel No. 2

нарастать и достигло 5,2 кПаи. Имела место имплозия с давлением 1 кПаи в течение 0,02 с.

Испытание стеклопакета

Характеристика стеклопакета. Испытанию был подвергнут однокамерный стеклопакет (рис. 6,в), который состоял из двух стекол толщиной 6 мм, разделенных между собой по периметру дистанционной рамкой из алюминия толщиной 12 мм; полость между стеклами заполнена абсорбентом. По периметру полость защищена двойным слоем герметика. Размеры стеклопакета 1640×1000 мм, общая толщина 25 мм. Масса стеклопакета 50 кг.

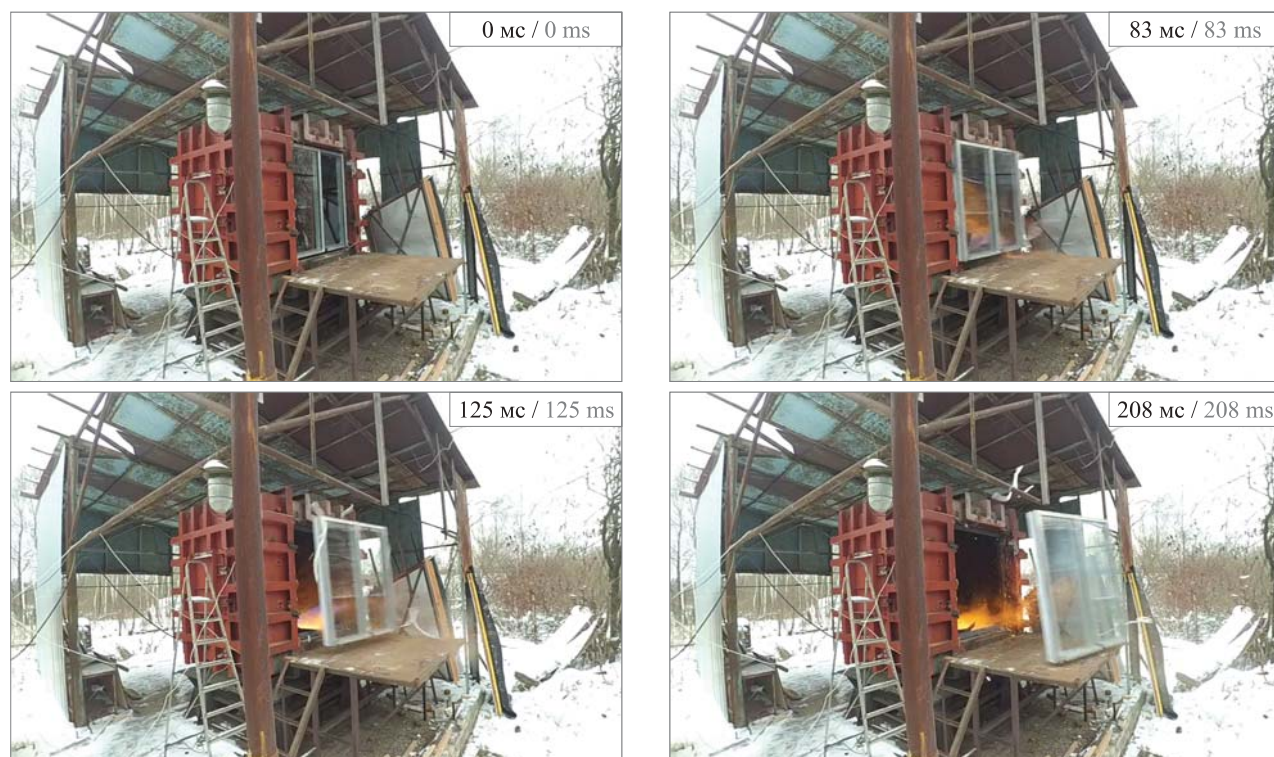


Рис. 10. Раскадровка взрыва в опытах со стеклопакетом

Fig. 10. Images of the video recording of the explosion with double-glazed windows

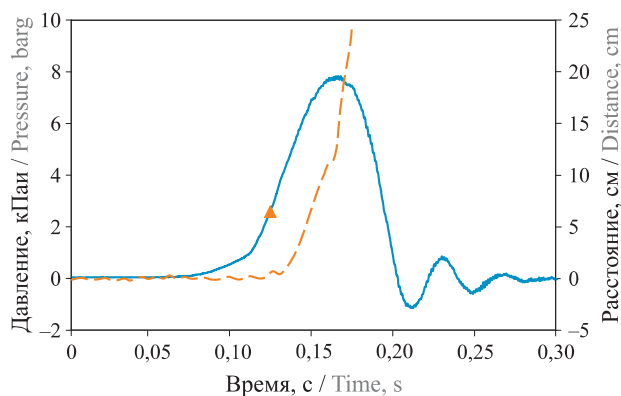


Рис. 11. Процесс развития давления (—) и перемещение стеклопакета (---): ▲ — момент открытия окна на видеосъемке

Fig. 11. Pressure development process (—) and movement of the double-glazed window (---): ▲ — video data of the opening of the window

Результаты испытания стеклопакета. Система измерения дополнена датчиком перемещения потенциометрического типа⁴. Из его показаний видно, что движение стеклопакета началось при давлении 4 кПа и ускорялось все время, пока в камере сохранялось избыточное давление. Максимальное давление при взрыве составляло 7,9 кПа. Имела место имплозия 1 кПа. Кадры взрыва стеклопакета представлены на рис. 10. Нуль на графике давления на рис. 11 совмещен с началом заметного роста давления в камере.

Анализ полученных данных

Данные, полученные при испытаниях ЛСК, сведены в график на рис. 12, который вместе с описанием проведенных опытов дает достаточно полное представление об их результатах. Они, как и опубликованные данные, подтверждают на качественном уровне тезис о том, что увеличение массы ЛСК приводит к ухудшению ее качества как средства защиты.

В нашем случае за время сброса панели принято время положительной части импульса давления, начиная с момента начала движения панели. Полученный вид зависимости имеет вполне ожидаемый вид: увеличение массы панели приводит к росту времени ее сброса. Однако к этому надо отнестись, как к качественному утверждению, хотя этот результат весьма близок к результатам НТЦ и NFPA 68, если, как в работе А. А. Комарова [17], судить о времени сброса панели по длительности первого пика давления (см. рис. 2).

⁴ Показания датчика перемещения после 15 см оказались некорректными по конструктивным причинам.

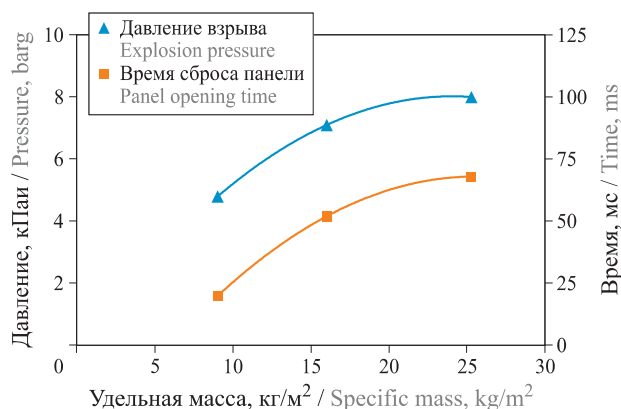


Рис. 12. Результаты опытов по сбросу ЛСК

Fig. 12. Results of experiments of pressure-relief panels

Попытка свести опубликованные (см. рис. 1 и 2) и полученные нами данные в единый график не удалась, да она и не могла быть реализована из-за того, что эксперименты проводились при различных исходных условиях. Но это и понятно, так как, к сожалению, до сих пор не разработаны убедительные варианты критериальной формы уравнений, описывающих в самой общей постановке развитие взрыва при сбросе панели. Например, использованный в работах НТЦ “Взрывоустойчивость” критерий, отражающий инерционность панели, на самом деле по информативности не превышает известный показатель “удельная масса”, использованный нами при построении графика на рис. 1 и 12.

Пока возможны только два пути развития исследований по изучаемому вопросу: первый — увеличение банка данных по результатам экспериментальных работ, второй — разработка адекватной математической модели процесса на численных принципах типа *CFD*. Полученные нами результаты относятся к первому пути.

Заключение

Проведенные испытания выявили качественное сходство с результатами модельных. Однако в количественном плане попытка объединить рассмотренные данные одной зависимостью не увенчалась успехом по двум возможным причинам: во-первых, условия проведения всех известных экспериментов были существенно разными, и, во-вторых, использованные параметры для сравнения данных в этом случае оказались неэффективными. Это обстоятельство не дает пока возможности прогнозировать характеристики реальных легкобрасываемых конструкций на основании результатов модельных испытаний, что делает необходимым проверку характеристик панелей, используемых в качестве ЛСК, в каждом конкретном случае в условиях, близких к реальным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 89.13330.2012. Котельные установки. Актуализированная ред. СНиП II-35-76. — Введ. 01.01.2013. — М. : ООО “Аналитик”, 2013.
2. СП 112.13330.2011. Пожарная безопасность зданий и сооружений. — Введ. 01.01.1998. — М. : ГУП ЦПП, 2002. URL: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 20.05.2017).
3. СП 56.13330.2011. Производственные здания. Актуализированная ред. СНиП 31-03-2001. — Введ. 20.05.2011. — М. : Минрегион России, 2011. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200085105> (дата обращения: 20.05.2017).
4. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности : Федер. закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (в ред. от 03.07.2016). URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (дата обращения: 20.05.2017).
5. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям. — Введ. 24.06.2013. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2013. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (дата обращения: 20.05.2017).
6. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. — Введ. 01.05.2009. — М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения: 20.05.2017).
7. Гордиенко Д. М., Лагозин А. Ю., Мордвинова А. В., Некрасов В. П., Сычев А. Н. Расчет параметров легкосбрасываемых конструкций для взрывопожароопасных помещений промышленных объектов : рекомендации. — М. : ВНИИПО, 2015. — 48 с.
8. Пилюгин Л. П. Обеспечение взрывоустойчивости зданий с помощью предохранительных конструкций. — М. : Пожнаука, 2000. — 224 с.
9. Мольков В. В. Вентилирование газовой дефлаграции : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО, 1996. — 703 с.
10. Казеннов В. В. Динамические процессы дефлаграционного горения во взрывоопасных зданиях и помещениях : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : ВНИИПО, 1997. — 445 с.
11. BS EN 14994:2007. Gas explosion venting protective systems. — London : BSI, 2007. URL: <http://iepi.neu.edu.cn/Download/Standards/CEN/EN%2014994%202007%20Gas%20explosion%20venting%20protective%20systems.pdf> (дата обращения: 25.05.2017).
12. BS EN 14797:2006. Explosion venting devices. — London : BSI, 2006.
13. NFPA 68:2007. Standard on explosion protection by deflagration venting. — USA, Quincy : National Fire Protection Association, 2007.
14. DeGood R., Chatrathi K. Comparative analysis of test work studying factors influencing pressures developed in vented deflagrations // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. — 1991. — Vol. 4, Issue 5. — P. 297–304. DOI: 10.1016/0950-4230(91)80043-t.
15. Bakke J. R., Skogrand P. E. Explosion relief panels and their effect on gas explosion overpressure // 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. — 2004. — Vol. 2. — P. 1–8. DOI: 10.1115/OMAE2004-51005.
16. Woodward John L., Wesevich James W., Thomas J. Kelly, Baker Quentin A. Analysis of ethylene oxide gas house explosion // Process Safety Progress. — 2007. — Vol. 26, Issue 2. — P. 150–154. DOI: 10.1002/prs.10187.
17. Комаров А. А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения : дис. ... д-ра техн. наук. — М. : МГСУ, 2001. — 492 с.
18. Шлег А. М. Определение параметров легкосбрасываемых конструкций, обеспечивающих допустимые взрывные давления во взрывоопасных помещениях : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МГСУ, 2002. — 187 с.
19. Громов Н. В. Совершенствование технической системы обеспечения взрывоустойчивости зданий различного типа при взрывах газопаровоздушных смесей : дис. ... канд. техн. наук. — М. : МГСУ, 2007. — 134 с.

Материал поступил в редакцию 22 июня 2017 г.

Для цитирования: Поландов Ю. Х., Добриков С. А., Кукин Д. А. Результаты испытаний легкосбрасываемых конструкций // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. — 2017. — Т. 26, № 8. — С. 5–14. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.

RESULTS OF TESTS PRESSURE-RELIEF PANELS

POLANDOV Yu. Kh., Doctor of Technical Sciences, Professor,
Head of Scientific-Educational Center "Fluid Mechanics. Combustion",
Orel State University named after I. S. Turgenev (Komsomolskaya St., 95,
Orel, 302026, Russian Federation; e-mail: polandov@yandex.ru)

DOBRIKOV S. A., Postgraduate Student, Orel State University named
after I. S. Turgenev (Komsomolskaya St., 95, Orel, 302026, Russian Federation;
e-mail: dobrikov@yandex.ru)

KUKIN D. A., Postgraduate Student, National Research Moscow State
University of Civil Engineering, Institute of Integrated Safety in Construction
(Yaroslavskoye Shosse, 26, Moscow, 129337, Russian Federation; e-mail: dekuk07@mail.ru)

ABSTRACT

Nowadays the characteristics of the serial pressure-relief panels used to limit the pressure of gas explosions in the room are calculated from the results obtained in the model experiments. These data are available in well-known publications such as NFPA 68 (USA), and a series of works by researchers from the Moscow State University of Economics and Management. The papers state that an increase in the specific mass of panels in a gas explosion in a room leads to an increase in the time of their discharge and an increase in the maximum pressure value. On this basis practical recommendations containing quantitative parameters are given. However, the validity of using the results of model experiments for real structures has not been confirmed.

The purpose of our work is to evaluate the validity of using the results of model tests in calculations of characteristics of real structures. The assessment was based on the results of a search for a general relationship between the results of model and full-scale tests.

The search for dependence was carried out among the published data obtained on the models, and the results of our full-scale tests. The results of full-scale tests were obtained during testing of serial panels in a cubic-shaped explosive chamber with a volume of 10 m^3 , with a discharge area of 2 m^2 . A propane-air mixture was used, ignition was carried out at the center of the chamber. It was found that an increase in the specific gravity of the panel from 9 to 25 kg/m^2 leads to an increase in the explosion pressure in the room by a value between 0.5 and 3.5 kPa, in comparison with the pressure at which the area attachment collapse. The reset time of the panel also increases from 10 to 50 milliseconds.

Our data are in good agreement with the known model data, but only at a qualitative level. The attempt to combine the data of model and full-scale tests by one dependence was unsuccessful because the known similarity criteria developed for the explosion process in this case proved to be ineffective. Two conclusions were drawn:

- it is doubtful to use the results of model experiments in calculating the characteristics of real lightweight structures;
- at this stage of research, the effectiveness of LCS can be assessed only by the results of its tests under conditions close to real.

Keywords: deflagration venting; rooms; pressure-relief panels; sandwich panels; double-glazed windows; acceptance tests.

REFERENCES

1. Set of rules 89.13330.2012. *Combustion boiler systems of heating generation*. Moscow, Analitik Publ., 2013 (in Russian).
2. Set of rules 112.13330.2011. *Fire safety of buildings and works*. Moscow, SUE Centre of Construction Design Products, 2002 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (Accessed 20 May 2017).
3. Set of rules 56.13330.2011. *Production buildings*. Moscow, Ministry of Regional Development, 2011 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200085105> (Accessed 20 May 2017).
4. *Technical regulations for fire safety requirements*. Federal Law on 22.07.2008 No. 123 (ed. 03.07.2016) (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902111644> (Accessed 20 May 2017).

5. Set of rules 4.13130.2013. *Systems of fire protection. Restriction of fire spread at object of defense. Requirements to special layout and structural decisions*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2013 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593> (Accessed 20 May 2017).
6. Set of rules 12.13130.2009. *Determination of categories of rooms, buildings and external installations on explosion and fire hazard*. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2009 (in Russian). Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (Accessed 20 May 2017).
7. Gordienko D. M., Lagozin A. Yu., Mordvinova A. V., Nekrasov V. P., Sychev A. N. *Raschet parametrov legkosbrasyvayemykh konstruksiy dlya vzryvopozharoopasnykh pomeshcheniy promyshlennykh obyektov. Rekomendatsii* [Calculation of the parameters of pressure-relief panels for explosive industrial premises. Recommendations]. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 2015. 48 p. (in Russian).
8. Pilyugin L. P. *Obespecheniye vzryvoustoychivosti zdaniy s pomoshchyu predokhranitelnykh konstruksiy* [Provision of explosion-proof buildings with the help of safety structures]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2000. 224 p. (in Russian).
9. Molkov V. V. *Ventilation of gas deflagration*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1996. 703 p. (in Russian).
10. Kazennov V. V. *Dynamic processes of deflagration combustion in explosive buildings and premises*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, All-Russian Research Institute for Fire Protection of Emercom of Russia Publ., 1997. 445 p. (in Russian).
11. BS EN 14994:2007. *Gas explosion venting protective systems*. London, BSI, 2007. Available at: <http://iepi.neu.edu.cn/Download/Standards/CEN/EN%2014994%202007%20Gas%20explosion%20venting%20protective%20systems.pdf> (Accessed 25 May 2017).
12. BS EN 14797:2006. *Explosion venting devices*. London, BSI, 2007.
13. NFPA 68:2007. *Standard on explosion protection by deflagration venting*. USA, Quincy, National Fire Protection Association, 2007.
14. DeGood R., Chatrathi K. Comparative analysis of test work studying factors influencing pressures developed in vented deflagrations. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 1991, vol 4., issue 5, pp. 297–304. DOI: 10.1016/0950-4230(91)80043-t.
15. Bakke J. R., Skogrand P. E. Explosion relief panels and their effect on gas explosion overpressure. In: *23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 2004, vol. 2, pp. 1–8. DOI: 10.1115/OMAE2004-51005.
16. Woodward John L., Wesevich James W., Thomas J. Kelly, Baker Quentin A. Analysis of ethylene oxide gas house explosion. *Process Safety Progress*, 2007, vol. 26, issue 2, pp. 150–154. DOI: 10.1002/prs.10187.
17. Komarov A. A. *Prediction of loads from emergency deflagration explosions and evaluation of the consequences of their impact on buildings and structures*. Dr. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2001. 492 p. (in Russian).
18. Shleg A. M. *Determination of the parameters of light-weighted structures ensuring permissible explosive pressures in explosive areas*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2002. 187 p. (in Russian).
19. Gromov N. V. *Improvement of the technical system for ensuring the explosion resistance of buildings of various types in explosions of gas – air – air mixtures*. Cand. tech. sci. diss. Moscow, MGSU Publ., 2007. 134 p. (in Russian).

For citation: Polandov Yu. Kh., Dobrikov S. A., Kukin D. A. Results of tests pressure-relief panels. *Pozharovzryvobezopasnost / Fire and Explosion Safety*, 2017, vol. 26, no. 8, pp. 5–14 (in Russian). DOI: 10.18322/PVB.2017.26.08.5-14.