ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«КОМАНДНО-ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ»
МЧС РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УДК 614.839::628.924

МИКАНОВИЧ
Андрей Станиславович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОПАКЕТОВ ДЛЯ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

Минск, 2013

Работа выполнена в Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Научный руководитель:	**Шабуня Станислав Иванович,** кандидат физико-математических наук, заведующий отделением моделирования Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси
Официальные оппоненты:	**Павлюкевич Николай Владимирович,** доктор физико-математических наук, член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, главный научный сотрудник Государственного научного учреждения «Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова» Национальной академии наук Беларуси, лаборатория теории переноса
	Иванов Юрий Сергеевич, кандидат технических наук, первый заместитель начальника Учреждения «Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций» МЧС Республики Беларусь
Оппонирующая организация:	Государственное учреждение образования «Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь

Защита состоится 15 марта 2013 года в 14.30 на заседании совета по защите диссертаций К 11.01.01 при Государственном учреждении образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, актовый зал, г. Минск, 220118, тел. +375 (17) 345–33–54, e-mail: mail@kii.gov.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения образования «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

Автореферат разослан 12 февраля 2013 года.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник В.А. Кузьмицкий

ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь в настоящее время эксплуатируется более 1100 пожаровзрывоопасных объектов, на 320 из которых возможно образование взрывоопасных смесей в замкнутом объеме. Несмотря на оснащение этих объектов самыми современными средствами взрывозащиты, для обеспечения безопасности людей и материальных ценностей от опасных факторов взрыва предусматривается комплекс мероприятий, основным из которых является устройство легкосбрасываемых конструкций (ЛСК), снижающих избыточное давление взрыва до безопасной величины.

Согласно требованиям действующих технических нормативных правовых актов (ТНПА) в качестве ЛСК допускается использовать: облегченные покрытия, облегченные стеновые панели, остекление окон и фонарей, а также иные конструкции, эффективность использования которых должна подтверждаться экспериментальными исследованиями и расчетными методами. В связи с тем, что облегченные покрытия и стеновые панели обладают высокой инерционностью, преобладающим видом ЛСК является установленное в наружных стенах остекление окон и фонарей, как правило, одинарное. Действующими нормативами установлено, что заполнения световых проемов для зданий производственного назначения должны иметь сопротивление теплопередаче (R_T) не ниже чем 0,6 $м^2 \cdot {}^{\circ}C \cdot Вт^{-1}$. Этому требованию соответствуют только стеклопакеты, однако допустимость их применения в качестве ЛСК не исследовалась. Основная причина состоит в отсутствии данных о поведении стеклопакетов и узлов их крепления к оконной раме при воздействии давления со стороны защищаемого объема. Решение данного вопроса позволит применять при проектировании и строительстве производственных и складских зданий энергосберегающих конструктивных элементов без снижения защищенности человека от опасных факторов взрыва.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами. Исследования, составившие основу диссертационной работы, выполнялись в Командно-инженерном институте МЧС Республики Беларусь в рамках государственной научно-технической программы «Разработать и внедрить современные технику, средства и технологии для государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и гражданской обороны («Защита от чрезвычайных ситуаций»)», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 04 января 2006г. №5 и государственной программы прикладных научных исследований «Разработка и обоснование сис-

темы мер для снижения рисков и смягчения последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Республике Беларусь («Снижение рисков чрезвычайных ситуаций»)», утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 28 ноября 2005г. №1339:

– научно-исследовательская работа «Разработать комплекс программных средств для решения пожарно-технических задач» (№ ГР 20053082, дата регистрации – 05.10.2005, дата перерегистрации – 17.11.2006, сроки выполнения – 3 кв. 2005 – 2 кв. 2007);

– научно-исследовательская работа «Разработать методику и испытательную установку по определению избыточного давления вскрытия заполнений проемов вертикальных строительных конструкций» (№ ГР 200667, дата регистрации – 17.11.2006, сроки выполнения – 3 кв. 2005 – 4 кв. 2006);

– научно-исследовательская работа «Использование стеклопакетов в качестве разрушаемых легкосбрасываемых конструкций для взрывозащиты производственных и складских помещений» (№ ГР 20065142, дата регистрации – 28.11.2006, сроки выполнения – 2 кв. 2006 – 4 кв. 2006);

– научно-исследовательская работа «Разрушение стеклянных пластин заполнений проемов в вертикальных строительных конструкциях при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме» (№ ГР 20072221, дата регистрации – 17.08.2007, сроки выполнения – 2 кв. 2007 – 4 кв. 2007).

Цель и задачи исследования. *Целью настоящей работы* является определение на основании экспериментальных и теоретических исследований возможности применения в производственных и складских помещениях неоткрывающихся стеклопакетов для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении.

Для достижения цели в работе ставились и решались следующие *задачи*:

– разработать методику и провести экспериментальные исследования избыточного давления и коэффициента вскрытия стеклопакетов, оценить влияние конструктивных решений на избыточное давление и коэффициент вскрытия;

– получить алгебраические уравнения, описывающие напряженно-деформированное состояние стеклопакета и узла его крепления к оконной раме при воздействии со стороны защищаемого объема равномерно распределенной нагрузки в зависимости от геометрических размеров, физико-механических характеристик применяемого стекла и величины прилагаемой нагрузки;

– рассчитать значения коэффициентов вскрытия промышленно изготавливаемых неоткрывающихся стеклопакетов строительного назначения и провести оценку эффективности их применения в качестве ЛСК.

Объектом исследования являются легкосбрасываемые конструкции помещений и зданий взрывопожароопасных категорий, **предметом исследова-**

ния – закономерности разрушения неоткрывающихся стеклопакетов и узлов их крепления к оконной раме.

Положения, выносимые на защиту:

1. Экспериментально полученные значения давления вскрытия для ряда промышленно выпускаемых неоткрывающихся стеклопакетов показывают, что их применение, независимо от ориентации доборного профиля, в качестве легкосбрасываемых конструкций для обеспечения взрывозащиты производственных и складских помещений недопустимо.

2. Модификация оконного блока со стеклопакетом с уменьшенной до 1,5 мм толщиной основания уса доборного профиля из жесткого поливинилхлорида и установкой оконного блока доборным профилем наружу позволяет использовать стеклопакет с размерами не менее 1×1 м в качестве легкосбрасываемых конструкций для обеспечения взрывозащиты производственных и складских помещений.

3. Инженерный способ расчета, основанный на приближенном решении задачи напряженно-деформированного состояния прямоугольной мембраны и на экспериментально определенном коэффициенте прочности, учитывающем отклонение реального механизма разрушения от идеализированной схемы одновременного разрушения полного периметра крепления, позволяет определить толщину основания уса доборного профиля.

4. Коэффициенты вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов, полученные на основе экспериментальных и расчетных данных, дают возможность определения требуемой площади легкосбрасываемых конструкций при их применении в помещениях взрывопожароопасных категорий.

Личный вклад соискателя. Основные результаты, приведенные в диссертационной работе, получены автором самостоятельно. Определение цели и постановка задач исследования, интерпретация теоретических и экспериментальных результатов проводилась совместно с научным руководителем. Доктор физико-математических наук О.Г. Пенязьков принимал участие в обсуждении результатов экспериментальных исследований, как разработчик методики калибровки датчика давления. Кандидат технических наук А.М. Усов принимал участие в планировании экспериментальных исследований по определению избыточного давления и коэффициента вскрытия стеклопакетов и обсуждении их результатов. Кандидат технических наук Г.И. Касперов, кандидат технических наук И.И. Полевода, В.В. Пищалов, А.В. Жовна принимали участие в проведении анализа методов определения площади ЛСК. Кандидат физико-математических наук В.И. Терешенков принимал участие в обсуждении модели воздействия избыточного давления на стеклопакет. Митрофанов А.А. участвовал в проведении экспериментальных исследований на уровне технического ассистирования.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационных исследований представлялись на: II, III, IV и VI Международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» – г.Минск, 2003 г., 2005 г., 2007 г., 2011 г.; VIII Международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность–2007» – г.Черкассы, 2007 г.; IV Международной научно-практической конференции «Естественные науки и их применение в деятельности службы гражданской защиты» – г.Черкассы, 2010 г.; VI Международной научно-практической конференции «Гражданская безопасность–2011» – г.София, 2011 г.

Опубликованность результатов диссертации. Основные результаты диссертации опубликованы в 14 печатных работах, в том числе: 5 статей, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь, общим объемом 2,36 авторского листа (из них без соавторов 1 статья), 9 тезисов докладов в сборниках трудов международных конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка из 145 наименований, включая 14 собственных публикаций соискателя, 5 приложений, 29 рисунков и 18 таблиц. Полный объем диссертации составляет 132 страницы. Объем, занимаемый иллюстрациями, таблицами, приложениями, составляет 41 страница.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена аналитическому обзору использования неоткрывающихся стеклопакетов в качестве ЛСК.

В настоящее время при проектировании противовзрывной защиты помещения в качестве ЛСК широко используется одинарное и двойное остекление. Использование иных конструкций, в том числе неоткрывающихся стеклопакетов, возможно только после подтверждения эффективности их применения. Впервые вопрос о применении стеклопакетов в качестве ЛСК был поставлен в 1988 году Пилюгиным Л.П.[1], который предложил рассматривать стеклопакет как двойное остекление с малым расстоянием между стеклянными пластинами, однако информация о дальнейших исследованиях по данному вопросу отсутствует.

На основании проведенного анализа сформулированы цель и задачи диссертационных исследований.

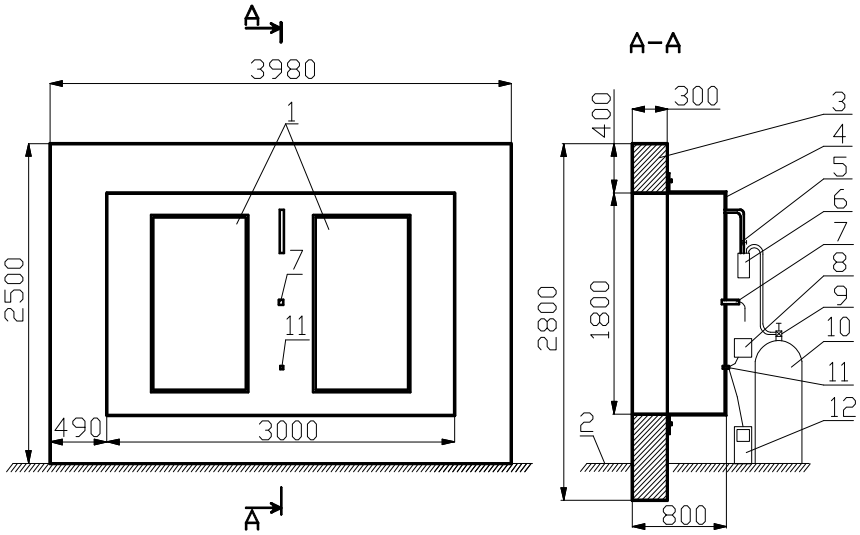
---

[1] Пилюгин, Л. П. Конструкции сооружений взрывоопасных производств [Текст] : (Теоретические основы проектирования) / Л. П. Пилюгин. – М. : Стройиздат, 1988. – 316 с. – С.102

Во второй главе разработана методика и установка для проведения экспериментальных исследований. Экспериментальным путем получены значения избыточного давления и коэффициента вскрытия одно- и двухкамерных стеклопакетов, позволившие сделать вывод о недопустимости применения такого заполнения оконных блоков в качестве безынерционных ЛСК без доработки конструкции оконного блока. На основании анализа результатов экспериментальных исследований разработано конструктивное решение, позволяющее использовать стеклопакеты в качестве ЛСК.

Экспериментальные исследования проводились на оконных блоках натуральной величины размерами 1520×1220 мм и 1150×1150 мм с заполнением проемов одно- и двухкамерными стеклопакетами. Толщина стекол в стеклопакете 4 мм (в одной серии испытаний – 6 мм со стороны приложения нагрузки), воздушная прослойка между стеклами – 10 и 14 мм. Для ограничения радиуса разлета осколков с целью обеспечения безопасности людей, находящихся за пределами защищаемого объема, и изучения влияния полимерной пленки на избыточное давление вскрытия часть экспериментальных образцов со стороны, противоположной приложению давления, была оклеена полимерной пленкой LCL–800 XSR.

Принципиальная схема разработанной экспериментальной установки приведена на рисунке 1.



1 – герметичные стальные двери; 2 – бетонированная площадка; 3 – железобетонная плита с проемом 3000×1800 мм для оконного блока; 4 – стальной короб 3000×1800×500 мм; 5 – кран № 1; 6 – счетчик газа СГД-1, типоразмер G2,5; 7 – электрозажигалка; 8 – источник питания с усилителем; 9 – кран № 2; 10 – газовый баллон; 11 – пьезоэлектрический преобразователь давления PCB Piezotronics 106C10; 12 – цифровой запоминающий осциллограф (модель В-121)

Рисунок 1 – Принципиальная схема экспериментальной установки по определению избыточного давления вскрытия заполнений оконных проемов

Экспериментальная установка представляет собой железобетонную плиту *3*, заглубленную в землю на 400 мм. В передней части установки предусмотрен проем для установки оконных блоков. В качестве горючего используется смесь пропана и бутана технических. Воспламенение взрывоопасной смеси обеспечивается электрической искрой с энергией 150 Дж.

Для понимания сущности процесса разрушения неоткрывающихся стеклопакетов и узлов их крепления к оконной раме при дефлаграционном горении в замкнутом объеме была проведена пробная серия испытаний, основной целью которой было определение избыточного давления вскрытия, механизма вскрытия и коэффициента вскрытия стеклопакетов. Анализ результатов пробной серии испытаний показал, что в случае установки оконного блока в соответствии с требованиями ТНПА избыточное давление в испытательной камере существенно превышает максимально безопасное значение.

При проведении экспериментальных исследований в качестве основного решения по снижению избыточного давления вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов было предложено использовать конструктивное решение Г.Г. Орлова[2], заключавшееся в размещении узла крепления одинарного остекления со стороны, противоположной приложению нагрузки. С учетом данного предложения монтаж экспериментальных оконных блоков осуществлялся с разворотом на 180° по отношению к обычной установке. Какие-либо дополнительные мероприятия по снижению избыточного давления вскрытия неоткрывающегося стеклопакета не разрабатывались.

Результаты первой серии экспериментальных исследований позволили установить, что давление вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов находится в пределах от 7,0 до 9,1 кПа, что на 40–82% превышает пороговое значение. В случае использования полимерной пленки LCL–800 XSR давление вскрытия увеличивается в среднем на 0,7–2,0 кПа, использование ударостойкого стекла в стеклопакете или увеличение количества камер с одной до двух повышает избыточное давление вскрытия в среднем на 0,7 кПа.

Обработка видеоизображений процесса начала вскрытия при установке стеклопакета доборным профилем наружу позволила определить, что сначала происходит разрушение продольных доборных профилей, затем поперечных и стеклопакета (рисунок 2).

---

[2] Орлов, Г. Г. Исследование некоторых противовзрывных устройств в зданиях взрывоопасных производств [Текст] : автореф. дис. …канд. техн. наук : 520 / Орлов Геннадий Григорьевич ; Моск. ордена Трудового Красного Знамени инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – М., 1967. – 11 с. – С.3

а) б)

а – момент отрыва продольного доборного профиля крепления стеклопакета; б – момент поворота стеклопакета с разрушением поперечных продольных профилей крепления

Рисунок 2 – Процесс вскрытия оконного проема при использовании в качестве ЛСК однокамерного стеклопакета

Учитывая, что поливинилхлорид, из которого изготавливаются доборные профили, является материалом очень чувствительным к надрезам, в основании уса доборных профилей был выполнен продольный пропил глубиной 1 мм, что привело к уменьшению толщины основания уса до 1,5 мм.

Как показали результаты второй серии экспериментальных исследований, принятое решение по размещению доборных профилей крепления стеклопакетов к оконной раме со стороны, противоположной приложению нагрузки совместно с использованием продольного пропила основания уса, позволяет снизить избыточное давление вскрытия до величины, которая варьируется в пределах от 3,0 до 4,8 кПа. Следовательно, оконные блоки с разработанным конструктивным решением могут использоваться в качестве ЛСК.

Визуальные наблюдения за характером разрушения стеклопакетов при установке доборных профилей со стороны, противоположной приложению нагрузки, с учетом результатов литературного обзора и экспериментальных исследований позволили установить, что коэффициент вскрытия для данного светопрозрачного заполнения проема ($K^{\text{ЛСК}}_{\text{вскр.СП}}$) – это отношение площади проема, перекрываемого в свету ($S^{\text{СП}}_{\text{св}}$), к номинальной площади неоткрывающегося стеклопакета ($S^{\text{СП}}_{\text{ном}}$). Значение данного коэффициента определяется по формуле:

$$K^{\text{ЛСК}}_{\text{вскр.СП}} = \frac{S^{\text{СП}}_{\text{св}}}{S^{\text{СП}}_{\text{ном}}}. \quad (1)$$

Результаты визуальных наблюдений подтвердили выдвинутое предположение о более высоком значении коэффициента вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов по сравнению с одинарным (рисунок 3) и двойным остеклением. Значения коэффициента вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов (от 0,92 до 0,94) показывают, что при использовании данного заполнения проемов возможно снижение требуемой площади ЛСК без снижения уровня защищенности от опасных факторов взрыва.

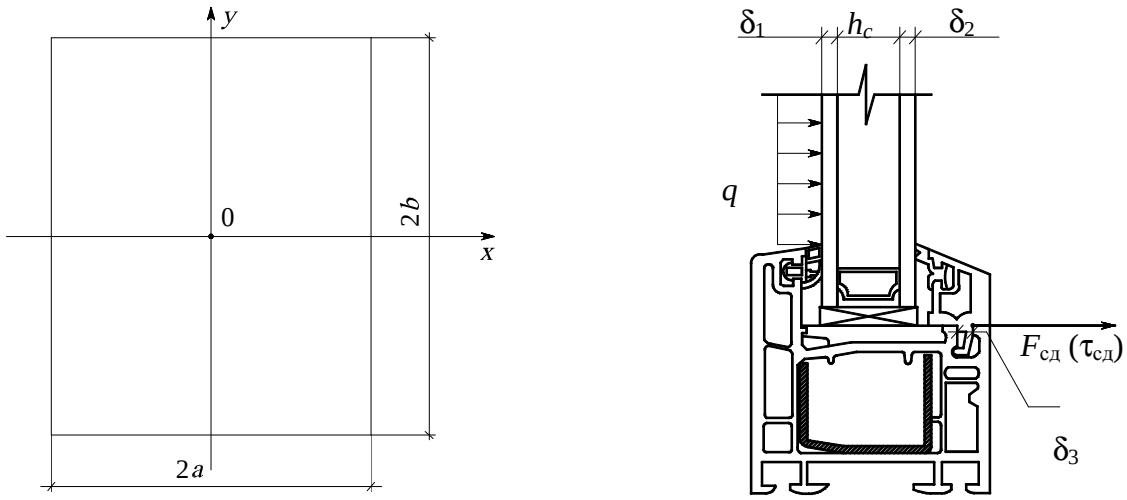
а) б)

а – одинарное остекление; б – однокамерный стеклопакет

Рисунок 3 – Характер разрушения заполнений оконных проемов, используемых в качестве ЛСК

В третьей главе представлены результаты исследования механизма разрушения узлов крепления неоткрывающегося стеклопакета к оконной раме при дефлаграционном горении в замкнутом объеме.

Геометрическая модель стеклянной пластины и модель воздействия избыточного давления на стеклопакет приведены на рисунке 4. Стеклопакет состоит из стеклянных пластин длиной $2b$, шириной $2a$ и толщиной δ_1 и δ_2, размещенных на расстоянии h_c посредством дистанционной рамки, удерживаемых доборным профилем крепления с шириной основания уса δ_3.



а) б)

а – стеклянная пластина; б – модель воздействия избыточного давления на стеклопакет

Рисунок 4 – Геометрическая модель стеклянной пластины и модель воздействия избыточного давления на стеклопакет

При приложении равномерно распределенной нагрузки q со стороны замкнутого объема происходит прогиб внутренней пластины стеклопакета, приводящий к появлению напряжений в ее срединной плоскости. Усилие, формируемое избыточным давлением, через нетвердеющий герметик и дистанционную рамку передается на доборный профиль крепления стеклопакета к оконной раме, что приводит к возникновению в доборном профиле сдвиговых напряжений $\tau_{сд}$. Основными параметрами, влияющими на процесс разрушения доборного профиля являются: геометрические размеры стеклопакета и доборного профиля, величина избыточного давления, физико-механические свойства используемых стекла и ПВХ-профиля.

Для описания поведения стеклянных пластин с большим углом прогиба используется уравнение[3]:

$$D\left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4}+2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2\partial y^2}+\frac{\partial^4 w}{\partial y^4}\right)=q+N_x\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+N_y\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+2N_{xy}\frac{\partial^2 w}{\partial x\partial y}, \qquad (2)$$

где D – цилиндрическая жесткость пластины, Н·мм; w – прогиб стеклянной пластины, мм; x, y – координаты рассматриваемой точки прогиба, мм; q – избыточное давление, Н·мм$^{-2}$; N_x – вертикальная составляющая усилия, действующего в срединной плоскости пластины по оси x, Н·мм$^{-1}$; N_y – вертикальная составляющая усилия, действующего в срединной плоскости пластины по оси

[3] Авдонин, А. С. Прикладные методы расчета оболочек и тонкостенных конструкций [Текст] / А. С. Авдонин. – М. : Изд-во «Машиностроение», 1969. – 403 с. – С.25

y, Н·мм$^{-2}$; N_{xy} –вертикальная составляющая усилия, действующего в срединной плоскости пластины по осям x и y, Н·мм$^{-2}$.

При решении данного уравнения был принят ряд допущений: 1) стеклопакет рассматривается как пластина, жестко заделанная по контуру; 2) жесткость пластины принимается равной нулю и пластина рассматривается как мембрана в связи с тем, что возможен прогиб внутренней стеклянной пластины на величину большую, чем ее толщина; 3) возникающее в мембране напряжение передается на доборный профиль практически без потерь через дистанционную рамку, что приводит к возникновению в доборном профиле сдвиговых напряжений; 4) численное значение сдвигового напряжения в концентраторе напряжений доборного профиля крепления стеклопакета по своему значению равно модулю сдвига для жесткого ПВХ, при использовании доборного профиля без продольного пропила основания уса.

Для решения уравнения (1) использовалось начало возможных перемещений, примененное к полному значению потенциальной энергии мембраны, с учетом принятых допущений. Исходя из того, что прогиб w должен быть четной функцией относительно центра мембраны, для его описания принимается следующее выражение, которое обращается в ноль на контуре:

$$w = C\cos\frac{\pi x}{2a}\cos\frac{\pi y}{2b}. \tag{3}$$

Решение уравнения (1) дает совокупность алгебраических уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние стеклопакета, как прямоугольной мембраны с большим углом прогиба, при воздействии на нее равномерно распределенной нагрузки со стороны замкнутого объема:

$$\varepsilon_x = \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{a} + \cos^2\frac{\pi y}{2b}\tilde{a}; \tag{4}$$

$$\varepsilon_y = \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\tilde{b}; \tag{5}$$

$$N_x = \xi\delta_1\left[\cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{a} + \cos^2\frac{\pi y}{2b}\tilde{a} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\bar{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\mu_1\tilde{b}\right]; \tag{6}$$

$$N_y = \xi\delta_1\left[\cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\tilde{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\bar{a} + \cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\tilde{a}\right]; \tag{7}$$

$$\sigma_x = \xi\left[\cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{a} + \cos^2\frac{\pi y}{2b}\tilde{a} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\bar{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\mu_1\tilde{b}\right]; \tag{8}$$

$$\sigma_y = \xi\left[\cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\bar{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\tilde{b} + \cos^2\frac{\pi x}{2a}\cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\bar{a} + \cos^2\frac{\pi y}{2b}\mu_1\tilde{a}\right], \qquad (9)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – относительная деформация по оси x и y соответственно; $\bar{a} = \frac{4A\pi}{a} - \frac{C^2\pi^2}{8a^2}$; $\tilde{a} = \frac{C^2\pi^2}{8a^2} - \frac{2A\pi}{a}$; $\bar{b} = \frac{4B\pi}{b} - \frac{C^2\pi^2}{8b^2}$; $\tilde{b} = \frac{C^2\pi^2}{8b^2} - \frac{2B\pi}{b}$ – расчетные коэффициенты; A, B, C – расчетные параметры, зависящие от ширины, высоты мембраны и величины коэффициента Пуассона для материала мембраны, мм; $\xi = \frac{E}{1-\mu_1^2}$ – коэффициент, связывающий между собой модуль Юнга (E) и коэффициент Пуассона (μ_1) для стекла, Н·мм$^{-2}$; σ_x, σ_y – напряжение в срединной плоскости мембраны по оси x и y соответственно, Н·мм$^{-2}$.

Для оценки адекватности разработанной математической модели проведено сопоставление расчетных данных с результатами экспериментальных исследований. Избыточное давление вскрытия стеклопакета определяется по формуле:

$$P = \frac{\delta_3\,\sigma_{x\,(\max)}\,l_{\text{ок}}}{S_{\text{сп}}\,k}, \qquad (10)$$

где $\sigma_{x\,(\max)}$ – максимальное напряжение в срединной плоскости мембраны в центре ее длинной стороны, Н·мм$^{-2}$, определяется по формуле (8); $l_{\text{ок}}$ – длина опорного контура, мм; $S_{\text{сп}}$– площадь стеклянной пластины, мм^2; k– коэффициент прочности.

Для стеклопакетов, не имеющих подрезки основания продольного уса доборного профиля, значение коэффициента прочности k определяется как отношение модуля сдвига к максимальному напряжению, возникающему в срединной плоскости мембраны по центру ее длинной стороны. В случае использования доборного профиля с продольным пропилом основания уса значение коэффициента прочности k определяется отношением критического напряжения в вершине трещины к максимальному напряжению, возникающему в середине мембраны по ее длинной стороне. В этом случае численное значение коэффициента k зависит от ряда параметров, в том числе от геометрии трещины, а также величины изгибающих и растягивающих напряжений, возникающих из-за конечного момента сил, действующих на доборный профиль. Сопоставление результатов испытаний с разработанной математической моделью для первой серии эксперимента (*ус доборного профиля выполнен без продольного пропила основания*) приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Сопоставление результатов расчета с экспериментальными исследованиями

№ образца	Расчетное избыточное давление вскрытия, кПа	$\tilde{P}$, кПа	Нижняя граница доверительного интервала, кПа	Верхняя граница доверительного интервала, кПа
СП-1	7,4	7,9	7,4	8,4
СП-2	8,4	8,6	8,0	9,2
СП-3	6,6	7,2	6,6	7,8
СП-4	7,4	7,9	7,2	8,6
СП-5	8,7	9,0	8,4	9,6

Примечание. $\tilde{P}$ – среднее арифметическое значение измеренного избыточного давления вскрытия стеклопакета.

Учитывая тот факт, что разработанная математическая модель позволяет получить расчетные значения, сопоставимые с результатами экспериментальных исследований зависимость (9) была использована для определения численного значения коэффициента прочности *k* в случае применения доборного профиля с продольным пропилом основания уса, входящего в паз. Для испытанных стеклопакетов он равен 22,8 (СП-1, избыточное давление вскрытия 3,1 кПа), 23,7 (СП-3, избыточное давление вскрытия 3,0 кПа), 18,2 (СП-6, избыточное давление вскрытия – 4,8 кПа).

В четвертой главе представлен общий метод расчета требуемой площади и проведена оценка эффективности использования стеклопакетов в качестве ЛСК. За основу при разработке общего метода расчета использована методика, предложенная Л.П. Пилюгиным, в соответствии с которой требуемая площадь ЛСК определяется по формулам:

$$\sum_{i=1}^{n} S_{\text{ЛСК}_i} K_{\text{вскр.}i}^{\text{ЛСК}} \geq S_{\min}^{\text{ЛСК}}; \tag{11}$$

$$S_{\min}^{\text{ЛСК}} = \frac{0{,}105 U_{\text{н.р.}} \alpha(\varepsilon_{\text{с}} - 1)\beta_{\mu} K_{\text{ф}} \sqrt[3]{V_{\text{св}}^2} \sqrt{\rho_0}}{\sqrt{\Delta P_{\text{доп}}}}, \tag{12}$$

где n – количество типов ЛСК; $S_{\text{ЛСК}_i}$ – площадь ЛСК i-го типа в наружных ограждающих конструкциях помещения, м^2; $K_{\text{вскр.}i}^{\text{ЛСК}}$ – коэффициент вскрытия ЛСК i-го типа; $S_{\min}^{\text{ЛСК}}$ – минимальная площадь ЛСК, м^2, определяемая по формуле (12); $U_{\text{н.р.}}$ – расчетная нормальная скорость распространения пламени, м·с$^{-1}$; α – показатель интенсификации взрывного горения; $\varepsilon_{\text{с}}$ – расчетная степень сжатия продуктов горения при взрыве в замкнутом объеме; β_{μ} – коэффициент, учитывающий степень заполнения объема помещения взрывоопасной смесью;

$K_ф$ – коэффициент, учитывающий влияние формы помещения и эффект истечения продуктов горения взрывоопасной смеси; $V_{св}$ – свободный объем помещения, м^3; ρ_0 – расчетная плотность газа в помещении перед воспламенением, кг·м$^{-3}$; $\Delta P_{доп}$ – допустимое избыточное давление в помещении при горении взрывоопасной смеси, кПа.

Для определения эффективности применения в качестве ЛСК неоткрывающихся стеклопакетов были проведены расчеты значений коэффициентов вскрытия для типорядов, установленных ГОСТ 24866 и оценка требуемой площади ЛСК для помещений объемом 100 и 1000 м^3 при образовании внутри замкнутых объемов газо-, паро- и пылевоздушных взрывоопасных смесей.

Проведенный расчет показал, что при применении неоткрывающихся стеклопакетов в качестве ЛСК и их установке доборными профилями наружу, коэффициент вскрытия находится в пределах от 0,90 до 0,94. Это позволяет снизить требуемую площадь ЛСК по сравнению с одинарным и двойным остеклением, а предусмотренные сбросные проемы использовать с максимальной эффективностью.

При сравнительной оценке требуемой площади ЛСК в качестве заполнения оконного проема был выбран глухой оконный блок ОП 15-12, масса вещества, участвующего во взрыве, определялась по НПБ 5, при этом избыточное давление взрыва было принято минимальным (5,01 кПа), для возможности отнесения помещения к категории А или Б по взрывопожарной и пожарной опасности. Результаты расчетов требуемой площади ЛСК при применении одинарного ($S^{од}_{ЛСК}$), двойного ($S^{дв}_{ЛСК}$) остекления и стеклопакета ($S^{СП}_{ЛСК}$) приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Требуемая площадь ЛСК при использовании одинарного, двойного остекления и стеклопакетов.

Вещество	$V_{пом}$, м^3	$S^{од}_{ЛСК}$, м^2	$S^{дв}_{ЛСК}$, м^2	$S^{СП}_{ЛСК}$, м^2
1	2	3	4	5
Ацетилен	100	1,08	7,43	0,92
	1000	10,93	75,38	9,30
Водород	100	3,26	22,45	2,77
	1000	34,79	239,92	29,61
Пропан	100	0,22	1,50	0,19
	1000	2,11	14,59	1,80
Ацетон	100	0,53	3,63	0,45
	1000	5,50	37,93	4,68
Сероуглерод	100	0,73	5,01	0,62
	1000	6,62	45,67	5,64
Уайт-спирит	100	0,27	1,88	0,23
	1000	2,52	17,41	2,15
Мука пшеничная в/с	100	0,06	0,38	0,05
	1000	1,02	7,03	0,87

Из указанной таблицы следует, что при использовании стеклопакетов разработанной конструкции возможно снижение проектной площади ЛСК без снижения защищенности от опасных факторов взрыва на 13,6 – 16,7% и на 86,8 – 87,7% относительно одинарного и двойного остекления соответственно.

Для оценки экономической эффективности использования стеклопакетов в качестве ЛСК на основании требований и методик, изложенных в ТКП 45-2.04-43 и СНБ 4.02.01 с учетом требований СанПиН 9-80 РБ 98 был проведен сравнительный расчет теплопотерь через 1 $м^2$ площади ЛСК при использовании одинарного, двойного остекления и стеклопакетов. Результаты сравнительного расчета теплопотерь приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный расчет теплопотерь через ЛСК при использовании одинарного, двойного остекления и стеклопакетов.

Вид остекления	Теплопотери, $Вт·м^{-2}$	Теплопотери, кг $у.т.·м^{-2}·год^{-1}$
Одинарное	222,22 – 266,67	129,71 – 155,66
Двойное	95,24 – 129,03	55,59 – 75,31
Стеклопакет	не более 66,67	не более 38,90

Как показывают результаты проведенных расчетов, в случае использования стеклопакетов в качестве ЛСК, существует возможность экономии от 90,81 до 116,76 кг $у.т.·м^{-2}·год^{-1}$ при замене одинарного остекления и от 16,69 до 36,41 кг $у.т.·м^{-2}·год^{-1}$ при замене двойного остекления. Относительная погрешность проведенных расчетов по экономии условного топлива в зависимости от изменения продолжительности отопительного периода для каждого из расчетных регионов Республики Беларусь не превышает 4,5%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Разработаны установка и методика проведения экспериментальных исследований избыточного давления и коэффициента вскрытия ЛСК, в т.ч. неоткрывающихся стеклопакетов. Экспериментальная установка позволяет проводить исследования заполнений оконных проемов, применяемых или планируемых к использованию в качестве безынерционных ЛСК, с габаритными размерами до 3,0×1,8 м и избыточном давлении вскрытия до 50 кПа [1, 4, 6, 9].

2. На основании проведенных экспериментальных исследований для снижения избыточного давления вскрытия предложено разместить стеклопакет доборным профилем его крепления к оконной раме со стороны, противоположной приложению нагрузки. Определены механизм и избыточные давления вскрытия стеклопакета при принятом конструктивном решении, на основании

чего сделан вывод о недопустимости использования данного решения заполнений оконных проемов со стеклопакетами в качестве ЛСК, вследствие превышения на 40–82% порогового значения давления. Определена необходимость доработки конструкции доборного профиля, крепящего стеклопакет к оконной раме. Получены значения коэффициентов вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов (0,92–0,94), показывающие, что при использовании данного заполнения проемов возможно снижение требуемой площади ЛСК без снижения уровня защищенности от опасных факторов взрыва [1, 5–9, 11, 12].

3. Разработано конструктивное решение, заключающееся в уменьшении на 1 мм толщины основания уса доборного профиля и установке оконного блока доборным профилем наружу, что позволило снизить величину избыточного давления вскрытия до 3,0–3,1 кПа для стеклопакетов, изготовленных из листового стекла, и 4,8 кПа для стеклопакета, изготовленного с применением одной стеклянной пластины из многослойного ударостойкого стекла с классом защиты от пробивания Р1А, и использовать данные стеклопакеты в качестве ЛСК [1, 5, 7, 9, 12].

4. В результате приближенного решения дифференциального уравнения получена совокупность алгебраических уравнений, описывающих напряженно-деформированное состояние стеклопакета, как прямоугольной мембраны с большим углом прогиба, при воздействии на нее равномерно распределенной нагрузки со стороны замкнутого объема, что позволило определить деформации, усилия и соответствующие им напряжения в срединной плоскости мембраны в зависимости от ее геометрических размеров, физико-механических характеристик применяемого стекла и величины воздействующей нагрузки [5, 13, 14].

5. Выполнены расчеты избыточного давления вскрытия стеклопакетов при применении разработанного конструктивного решения, в результате чего установлена необходимость учета имеющихся в доборном профиле концентраторов напряжений с помощью коэффициента прочности k, равного отношению модуля сдвига (при использовании доборного профиля без продольного пропила уса) или критического напряжения в вершине трещины (при использовании доборного профиля с продольным пропилом уса) к максимальному напряжению, возникающему в срединной плоскости мембраны по центру ее длинной стороны. Получены значения коэффициента прочности для экспериментальных стеклопакетов при использовании доборного профиля с продольным пропилом основания уса равные: 22,8 – при избыточном давлении вскрытия 3,1 кПа (стеклопакет СПД 4М1-10-4М1-10-4М1 (1390×1090×32); 23,7 – при избыточном давлении вскрытия 3,0 кПа (стеклопакет СПО 4,204М1-16-4М1 (1310×1021×24,204), 18,2 – при избыточном давлении вскрытия 4,8 кПа (стеклопакет 6Р1А-14Ar-И4 (1041×1041×24) [5, 8].

6. Адаптирован к требованиям действующих в Республике Беларусь ТНПА общий метод расчета площади ЛСК, разработанный Л.П. Пилюгиным. Расширена область применения данного метода, что позволило провести расчеты требуемой площади ЛСК для многокомпонентных смесей, а также пылевоздушных и гибридных смесей, содержащих в своем составе пыли органического происхождения [2, 3, 10].

7. Определены коэффициенты вскрытия промышленно изготавливаемых неоткрывающихся стеклопакетов строительного назначения. Проведена оценка эффективности их применения в качестве ЛСК, в результате чего установлено, что на стадиях проектирования или реконструкции возможно уменьшение требуемой площади ЛСК на 13,6–16,7% по отношению к одинарному и на 86,8–87,7% по отношению к двойному остеклению, что позволит сэкономить от 90,81 до 116,76 кг у.т.·м$^{-2}$·год$^{-1}$ и от 16,69 до 36,41 кг у.т.·м$^{-2}$·год$^{-1}$ при замене одинарного или двойного остекления на стеклопакет соответственно [5, 8, 9].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Методика определения избыточного давления вскрытия ЛСК, в т.ч. неоткрывающихся стеклопакетов, использована НПП РУП «Стройтехнорм» при разработке СТБ 1762-2007 «Конструкции легкосбрасываемые. Метод определения избыточного давления вскрытия» (дата введения – 01.01.2008).

2. Оконные блоки с разработанным конструктивным решением по снижению избыточного давления вскрытия неоткрывающегося стеклопакета использованы ЗАО «ГАЗНИИПРОЕКТ» (г. Самара, Российская Федерация) при разработке проектно-сметной документации по реконструкции газораспределительной станции «Западная» (шифр проекта 899.08-01-АС) и по реконструкции газопровода-отвода и газораспределительной станции «Волковыск» (шифр проекта 823.06-03-АС).

3. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы в учреждениях образования. Материалы диссертации внедрены в учебный процесс ГУО «Командно-инженерный институт» МЧС Республики Беларусь.

4. Результаты диссертационных исследований могут быть использованы при корректировке положений действующих ТНПА. Коэффициенты вскрытия промышленно изготавливаемых неоткрывающихся стеклопакетов строительного назначения будут использованы при разработке изменения №1 к ТКП 45-2.02-38-2006 «Конструкции легкосбрасываемые. Правила расчета».

5. Результаты исследований могут быть использованы проектными организациями при определении допустимости применения неоткрывающихся стеклопакетов в качестве ЛСК и органами и подразделениями по чрезвычайным ситуациям МЧС Республики Беларусь при проведении проверки проектной документации на соответствие противопожарным требованиям ТНПА.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, опубликованные в рецензируемых журналах

1. Пенязьков, О. Г. Определение избыточного давления вскрытия оконных блоков при дефлаграционном взрыве в замкнутом объеме [Текст] / О. Г. Пенязьков, С. И. Шабуня, А. М. Усов, В. И. Терешенков, А. С. Миканович // Научн. журн. «Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь». – 2007. – №1 (5). – С. 65–74.

2. Касперов, Г. И. Расчет площади мгновенно разрушаемых легкосбрасываемых конструкций [Текст] / Г. И. Касперов, И. И. Полевода, А. С. Миканович // Научн. журн. «Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь». – 2005. – №2. – С. 64–69.

3. Касперов, Г. И. Расчет площади мгновенно разрушаемых легкосбрасываемых конструкций [Текст] / Г. И. Касперов, И. И. Полевода, А. С. Миканович, В. В. Пищалов, А. В. Жовна // Научн.-техн. журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация». – Минск, 2004. – № 6 (16). – С.105–110.

4. Усов, А. М. Разработка методики и испытательной установки по определению избыточного давления вскрытия заполнений проемов вертикальных строительных конструкций [Текст] / А. М. Усов, О. Г. Пенязьков, А. С. Миканович // Научн.-техн. журнал «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация». – Минск, 2007. – № 1 (21). – С.68–77.

5. Миканович, А. С. Математическое моделирование поведения стеклянной пластины и узла крепления стеклопакета к оконной раме при воздействии избыточного давления взрыва [Текст] / А. С. Миканович // Научн. журн. «Вестн. Команд.-инженер. ин-та МЧС Респ. Беларусь». – 2011. – №2 (14). – С. 105–119.

Материалы и доклады конференций

6. Усов, А. М. Экспериментальные исследования по определению избыточного давления вскрытия заполнений проемов вертикальных строительных конструкций [Текст] / А. М. Усов, А. С. Миканович // Пожарная безопасность–2007 : материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф., Черкассы 15-16 нояб. 2007г. / АПБ им. Героев Чернобыля ; редкол.: В.П.Бут [и др.]. – Черкассы, 2007. – С. 500.

7. Миканович, А. С. Применение стеклопакетов для взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий [Текст] / А. С. Миканович // Естественные науки и их применение в деятельности службы гражданской защиты : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Черкассы 8 окт. 2010г. / АПБ им. Героев Чернобыля. – Черкассы, 2010. – С. 102–104.

8. Миканович, А. С. Эффективность применения стеклопакетов в качестве легкосбрасываемых конструкций [Текст] / А. С. Миканович // Естественные науки и их применение в деятельности службы гражданской защиты : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Черкассы 8 окт. 2010г. / АПБ им. Героев Чернобыля. – Черкассы, 2010. – С. 112–114.

9. Миканович, А. С. Использование стеклопакетов для взрывозащиты производственных и складских помещений и зданий [Текст] / А. С. Миканович // Гражданская безопасность 2011 : сб. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., София 24-25 марта 2011 г. / Ч.1. – Академия на МВР, редкол.: Г.Ботев [и др.]. – София, 2011. – С.202–204.

Тезисы докладов

10. Касперов, Г. И. Особенности выбора вида и площади легкосбрасываемых конструкций [Текст] / Г. И. Касперов, И. И. Полевода, А. С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск 2003 г. / Т.1 – Минск, 2003. – С.198–199.

11. Миканович, А. С. Использование стеклопакетов в качестве мгновенно разрушаемых легкосбрасываемых конструкций [Текст] / А. С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф., Минск 2005 г. / Т.1 – Минск, 2005. – С.290–292.

12. Усов, А. М. Оценка возможности применения различных вариантов оконных блоков в качестве легкосбрасываемых конструкций [Текст] / А. М. Усов, А. А. Митрофанов, А. С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. IV Междунар. науч.-практ. конф., Минск 2007 г. / Т.3 – Минск, 2007. – С.271–275.

13. Миканович, А. С. Теоретические основы разрушения стеклянных пластин в безынерционных легкосбрасываемых конструкциях. Часть 1. Пластины малого прогиба [Текст] / А. С. Миканович, В. И. Терешенков // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск 8-9 июня 2011 г. / Т.2, редкол.: А.Ю.Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – С. 63–65.

14. Миканович, А. С. Теоретические основы разрушения стеклянных пластин в безынерционных легкосбрасываемых конструкциях. Часть 2. Пластины большого прогиба [Текст] / А. С. Миканович // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация : сб. тез. докл. VI Междунар. науч.-практ. конф., Минск 8-9 июня 2011 г. / Т.2, редкол.: А.Ю.Лупей [и др.]. – Минск, 2011. – С. 61–63.

РЭЗЮМЭ

Мікановіч Андрэй Станіслававіч

Выкарыстоўванне шклопакетаў для выбухаабароны вытворчых і складскіх памяшканняў

Ключавыя словы: дэфлаграцыйнае гарэнне, выбухаабарона, шклопакет, які не адчыняецца, залішні ціск ускрыцця, каэфіцыент ускрыцця, легкаскідваемая канструкцыя, каэфіцыент супраціўлення.

Мэта работы – вызначэнне на выснове эксперыментальных і тэарэтычных даследванняў магчымасці выкарыстання шклопакетаў, якія не адчыняюцца, для зніжэння залішняга ціску, які ўтвараецца пры аварыйным дэфлаграцыйным гарэнні ў вытворчых і складскіх памяшканнях.

Метады даследавання і апаратура. Агульная метадалогія працы прадугледжвала спалучэнне тэарэтычных і поўнамаштабных эксперыментальных даследаванняў залішняга ціску і каэфіцыента ўскрыцця шклопакетаў, якія не адчыняюцца, пры дэфлаграцыйным гарэнні выбуханебяспечных сумесяў у замкнёным аб'ёме. Для кантролю параметраў і апрацоўкі вынікаў выкарыстоўваліся: лічбавы запамінальны асцылограф В-121, п’езаэлектрычны пераўтваральнік ціску PCB Piezotronics 106C10, відэакамера, персанальны камп’ютар у спалучэнні з матэматычнымі метадамі апрацоўкі эксперыментальных дадзеных.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацавана методыка эксперыментальных даследаванняў і атрыманы значэнні залішняга ціску ўскрыцця шклопакетаў, якія не адчыняюцца. Праведзена ацэнка дапушчальнасці іх выкарыстоўвання ў якасці легкаскідваемых канструкцый. Распрацавана канструктыўнае рашэнне аконнага блока са шклопакетам, дазваляючае выкарыстоўваць яго ў якасці легкаскідваемай канструкцыі. У выніку правядзення матэматычнага мадэліравання атрымана сукупнасць ураўненняў, якія апісваюць напружана - дэфармаваны стан неадчыняючагася шклопакета. Устаноўлены значэнні каэфіцыентаў ускрыцця, дазваляючыя вызначыць патрабуемую плошчу шклопакетаў, якія не адчыняюцца, пры іх выкарыстанні ў якасці легкаскідваемых канструкцый.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі даследаванняў могуць быць выкарыстаны праектнымі арганізацыямі пры распрацоўцы архітэктурных і будаўнічых праектаў, а таксама органамі і падраздзяленнямі МНС пры праверцы праектнай дакументацыі і ажыццяўленні экспертнай дзейнасці.

Галіна выкарыстання. Праектна-канструктарскія арганізацыі, органы і падраздзяленні па надзвычайных сітуацыях, вышэйшыя навучальныя ўстановы.

РЕЗЮМЕ

Миканович Андрей Станиславович

Использование стеклопакетов для взрывозащиты производственных и складских помещений

Ключевые слова: дефлаграционное горение, взрывозащита, неоткрывающийся стеклопакет, избыточное давление вскрытия, коэффициент вскрытия, легкосбрасываемая конструкция, коэффициент сопротивления.

Цель работы – определение на основании экспериментальных и теоретических исследований возможности применения неоткрывающихся стеклопакетов для снижения избыточного давления, образующегося при аварийном дефлаграционном горении в производственных и складских помещениях.

Методы исследования и аппаратура. Общая методология работы предусматривала сочетание теоретических и полномасштабных экспериментальных исследований избыточного давления и коэффициента вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов при дефлаграционном горении взрывоопасных смесей в замкнутом объеме. Для контроля параметров и обработки результатов использовались: цифровой запоминающий осциллограф В-121, пьезоэлектрический преобразователь давления PCB Piezotronics 106C10, видеокамера, персональный компьютер в сочетании с математическими методами обработки экспериментальных данных.

Полученные результаты и их новизна. Разработана методика экспериментальных исследований и получены значения избыточного давления вскрытия неоткрывающихся стеклопакетов. Произведена оценка допустимости их применения в качестве легкосбрасываемых конструкций. Разработано конструктивное решение оконного блока со стеклопакетом позволяющее использовать его в качестве легкосбрасываемой конструкции. В результате проведения математического моделирования получена совокупность уравнений, описывающих напряженно - деформированное состояние неоткрывающегося стеклопакета. Установлены значения коэффициентов вскрытия, позволяющие определить требуемую площадь неоткрывающихся стеклопакетов при их применении в качестве легкосбрасываемых конструкций.

Рекомендации по использованию. Результаты исследований могут быть использованы проектными организациями при разработке архитектурных и строительных проектов, а также органами и подразделениями МЧС при проверке проектной документации и осуществлении экспертной деятельности.

Область применения. Проектно-конструкторские организации, органы и подразделения по чрезвычайным ситуациям, высшие учебные заведения.

SUMMARY

Mikanovich Andrey

The application windows with multiple glass panes for explosion protection of production and storage rooms

Key words: deflagration burning, explosion protection, non-opening windows with multiple glass pane, overpressure opening, opening factor, pressure relief construction, coefficient of resistance.

The aim of the dissertation: determination on the basis of experimental and theoretical researches of the possibility of application non-opening windows with multiple glass panes to reduce the overpressure generated during emergency deflagration combustion in industrial and storage rooms.

The methods of analysis and equipment. The general methodology of the investigation provided the combination of theoretical and full-scale experimental researches of overpressure opening and opening factor of non-opening windows with multiple glass panes in the time of explosive mixtures deflagration burning in a confined space. For the control of parameters and processing of results were used: digital storage oscilloscope B-121; piezoelectric converter of pressure PCB Piezotronics 106C10, video camera, personal computer in combination with mathematical methods of processing of experimental data.

Obtained results and their novelty. The technique of experimental researches and the values of non-opening windows with multiple glass panes overpressure opening. An assessment of the admissibility of their application as pressure relief construction. The constructive solution of non-opening window with multiple glass pane was developed allows to use it as pressure relief construction. As a result of mathematical modeling obtained set of equations describing the stress - strain state of the non-opening window with multiple glass pane. Set opening factors to determine the required area of non-opening window with multiple glass pane as pressure relief construction.

Guidance for use. The results of the dissertation research can be used in design organizations in the development of architectural and building projects. Obtained results can also be used by bodies and departments of MES in control of design documentation and expert activity.

The field of application. Design organizations, bodies and departments of MES, high educational establishments.

Миканович Андрей Станиславович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКЛОПАКЕТОВ ДЛЯ ВЗРЫВОЗАЩИТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ И СКЛАДСКИХ ПОМЕЩЕНИЙ

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность

Ответственный за выпуск А.С. Миканович

Подписано в печать 11.02.2013.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Гарнитура Таймс. Печать цифровая.
Усл. печ. л.1,3. Уч.-изд. л. 1,1.
Тираж 60. Заказ 020-2013.

Оформление и полиграфическое исполнение:
Государственное учреждение образования
«Командно-инженерный институт»
Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь
ЛИ № 02330/0552551 выд. 15.09.2009 г.
ЛП № 02330/419 выд. 16.07.2012
Ул. Машиностроителей, 25, 220118, г.Минск