

Б.С. Расторгуев А.И. Плотников Д.З. Хуснутдинов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ



Б.С. Расторгуев А.И. Плотников Д.З. Хуснутдинов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Допущено Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,
обучающихся по специальности «Промышленное и гражданское
строительство» направления подготовки дипломированных
специалистов «Строительство»

под редакцией доктора технических наук, профессора *Б.С. Расторгуева*



Издательство Ассоциации строительных вузов
Москва 2007

Рецензенты:

член-корреспондент РААСН, заслуженный деятель науки и техники РСФСР, доктор технических наук, профессор *Р.О. Бакиров*; заведующий лабораторией механики железобетона ГУП «НИИЖБ», академик РААСН, доктор технических наук, профессор *Н.И. Карпенко*.

Б.С. Расторгуев, А.И. Плотников, Д.З. Хуснутдинов
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ. Учебное пособие.
– М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. – 152 с.

ISBN 978-5-93093-443-6

Приведены общие рекомендации по проектированию взрывоустойчивых зданий и сооружений из железобетонных, стальных и каменных конструкций. Изложены методики определения параметров динамических нагрузок, возникающих при взрывах газопаровоздушных смесей (*ГПВС*). Сформулированы основные положения расчета конструкций и несущих систем промышленных зданий на особое сочетание нагрузок с учётом взрывной нагрузки. В пособии использован упрощенный метод расчета, основанный на сведении кратковременных динамических нагрузок от действия взрыва к эквивалентным статическим нагрузкам. Даны подробные примеры расчётов основных конструктивных элементов и несущих систем зданий в целом на действие наружного взрыва вследствие детонации конденсированных *ВВ*, взрывного горения (дефлаграции) *ГПВС*, а также внутреннего дефлаграционного взрыва.

ISBN 978-5-93093-443-6

© Издательство АСВ, 2007

© Б.С. Расторгуев, А.И. Плотников,
Д.З. Хуснутдинов, 2007

Учебное пособие

Борис Сергеевич Расторгуев
Александр Ильич Плотников
Джават Зайнутдинович Хуснутдинов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ **ПРИ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

Редактор: *Ю.Р. Аделова*
Компьютерный набор, верстка: *В.В. Сергеев*
Дизайн обложки: *Н.С. Кузнецова*

Лицензия ЛР № 0716188 от 01.04.98. Сдано в набор 17.02.05
Подписано к печати 16.01.07. Формат 60х90/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Усл. 9,5 п.л. Тираж 1000 экз. Заказ №

Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ)
129337, Москва, Ярославское шоссе, 26, отдел реализации – оф. 511
тел., факс: (495)183-56-83, e-mail: iasv@mgsu.ru, <http://www.iasv.ru/>

ПРЕДИСЛОВИЕ

Некоторые производственные здания в процессе эксплуатации могут подвергнуться особым динамическим воздействиям, возникающим вследствие взрывов газопаровоздушных смесей (*ГПВС*), конденсированных взрывчатых веществ (*ВВ*), баллонов со сжиженным газом, паровых котлов и т.п. В настоящее время в связи с развитием химической, нефтяной, других отраслей промышленности, связанных с применением горючих газов и жидкостей, в индустриально развитых странах наблюдается устойчивая тенденция к увеличению количества взрывных воздействий на конструкции производственных зданий и сооружений [1,3]. Такие воздействия характеризуются большой интенсивностью, временем действия, сопоставимым с периодом собственных колебаний конструктивных элементов здания, и способом приложения, отличным от приложения статических нагрузок (противоположное направление действия, набегание взрывной волны на сооружение и т.п.). При этом в зависимости от расположения источника взрыва по отношению к зданию различают внутренние и наружные взрывы. Их последствиями может быть огромный материальный ущерб, травмы и гибель обслуживающего персонала.

Проектирование взрывобезопасных зданий включает комплекс мероприятий, направленных на предотвращение и локализацию взрыва, снижение интенсивности взрывных волн и восприятие их воздействия с установленной степенью повреждений.

Предотвращение взрыва обеспечивается исправным состоянием технологического оборудования, строгим выполнением правил безопасности по его эксплуатации, систематическим и качественным проведением профилактического ремонта оборудования, предупреждением образования искр и т.д. Кроме того, производства должны быть оснащены надёжными средствами противоаварийной защиты от загазованности и исправно работающей вентиляцией.

Снижение интенсивности взрывных волн при внутреннем взрыве обеспечивается устройством предохранительных конструкций (*ПК*) [легкоразрушающихся (остекление), легкобрасываемых и легкооткрывающихся] в ограждении здания [14].

Снижение давления в проходящей ударной волне при внешнем взрыве достигается за счёт достаточного удаления взрывоопасного здания и его рационального расположения по отношению к рассматриваемому производственному зданию. При невозможности значительного разнесения зданий целесообразно возведение между ними различных экранирующих устройств: зелёных насаждений, защитных преград (сплошных и перфорированных) и т.п.

В настоящем Пособии рассматривается широкий круг вопросов, связанных с проектированием взрывоопасных производственных зданий. Приведены основные требования к зданиям и сооружениям, их конструктивным элементам, подвергающимся интенсивным взрывным воздействиям, а также зависимости для определения параметров нагрузок, возникающих при взрывах конденсированных *ВВ* и *ГПВС*. При этом большое внимание уделено определению нагрузок на здания при воздействии наружных дефлаграционных взрывов, поскольку данный вопрос освещён в специальной литературе недостаточно полно. Изложены особенности проектирования одноэтажных и многоэтажных производственных зданий, которые могут подвергнуться аварийным взрывным воздействиям.

Предисловие, разделы 1,3,4,5, пп. 2.3-2.6 написаны проф., д.т.н. Растигуевым Б.С. и к.т.н. Плотниковым А.И., пп. 2.1, 2.2 написаны к.т.н. Хуснутдиновым Д.З. В написании раздела 1 и при обсуждении общего построения Пособия принимал участие проф., д.т.н. Попов Н.Н., являвшийся одним из основоположников расчёта конструкций на действие кратковременных динамических нагрузок.

Авторы выражают глубокую благодарность рецензентам член.-корр. *РААСН*, заслуженному деятелю науки и техники РФ, д.т.н., проф. Бакирову Р.О., действ. члену *РААСН*, д.т.н., проф. Карпенко Н.И. и д.т.н., проф. Жарницкому В.И. за ценные замечания, сделанные при ознакомлении с рукописью.

Пособие предназначено для студентов и аспирантов строительных вузов и факультетов, инженерно-технических работников проектных и научно-исследовательских организаций.

1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

1.1. В Пособии даются рекомендации по расчету и проектированию железобетонных, каменных и стальных конструкций производственных зданий и сооружений, которые могут подвергнуться воздействию взрывных нагрузок от внутреннего или внешнего взрыва (взрывоопасные сооружения). Специальные конструктивные требования распространяются только на здания и сооружения, прочность которых, удовлетворяющая условиям воздействия обычных эксплуатационных нагрузок, может оказаться недостаточной для восприятия взрывных нагрузок.

1.2. Для основных несущих конструкций взрывоопасных сооружений целесообразно применять сборно-монолитный и монолитный железобетон.

Для сборно-монолитных конструкций необходимо предусматривать специальные мероприятия, обеспечивающие надежную совместную работу сборных элементов с монолитным бетоном: выпуски арматуры в сторону контакта с монолитным бетоном, устройство продольных ребер, поперечных шпонок и т.п.

При применении сборных железобетонных конструкций следует стремиться максимально использовать типовые железобетонные несущие конструкции зданий и сооружений для сейсмических районов. Для обеспечения пространственной жесткости здания конструкции должны надежно соединяться между собой сваркой закладных деталей, устройством шпоночных соединений, замоноличиванием выпусков арматуры и т.п. Целесообразно стыки соединений элементов выполнять жесткими для создания более эффективных статически неопределимых систем.

1.3. Помещения со взрывоопасными производствами могут быть расположены как в одноэтажных, так и в многоэтажных промышленных зданиях. В последнем случае взрывоопасные помещения целесообразно размещать в верхних этажах, при этом необходимо стремиться к такому их расположению в плане, чтобы обеспечивалась максимально возможная площадь поверхности вертикального наружного ограждения. Располагать помещения со взрывоопасными производствами в подвальных этажах не допускается.

Тяжелое оборудование целесообразно располагать в нижнем этаже.

Технологическое оборудование, трубопроводы и т.п. должны быть надежно закреплены (заанкерены) для предотвращения их смещения при воздействии нагрузок от аварийных взрывов. Прочность анкерных соединений должна проверяться расчётом.

1.4. В одноэтажных каркасных зданиях следует применять минимально возможную по технологическим условиям сетку колонн с шагом ригелей, совпадающим с шагом колонн (6х12 м, 6х18 м). При необходимости оборудования здания мостовыми кранами целесообразно устраивать внутреннюю эстакаду, отделенную от несущего каркаса.

Рекомендуется по возможности локализовывать объемы с взрывоопасными участками технологического процесса устройством монолитных или

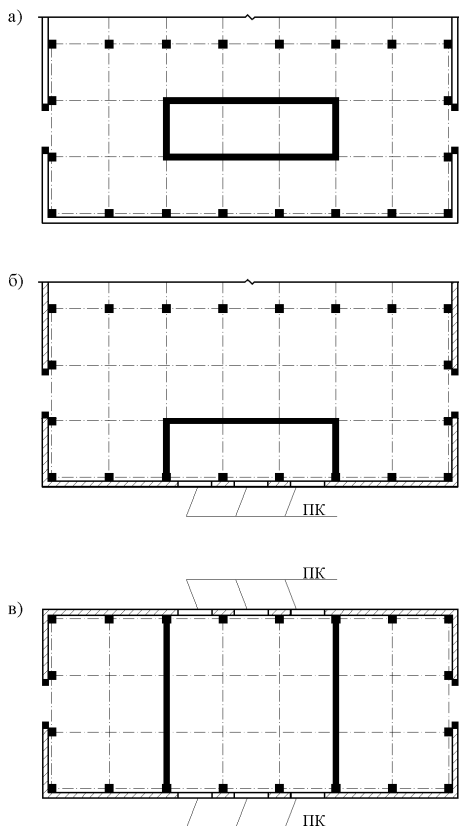


Рис. 1.1. Схемы расположения защищаемых участков в плане здания

конструкций в здании в соответствии с указанными схемами основное здание может возводиться с применением типовых конструкций.

1.5. Форма взрывоопасных помещений должна быть по возможности простой. Ограждающие конструкции помещения, а также расположенные в нем строительные конструкции и оборудование не должны приводить к значительной интенсификации взрывного горения *ГПВС* вследствие заужения сечений помещения на пути распространения пламени.

При разработке объемно-планировочных решений помещений взрывоопасных производств нужно стремиться к тому, чтобы линейные размеры (высота, ширина и длина) не более чем в 5 раз отличались один от другого. Отношение наибольшего из указанных размеров к наименьшему, большее 10, допускается только в тех случаях, когда это связано с осуществлением предусмотренных в помещении технологических процессов.

1.6. Для размещения пунктов управления крупных промышленных предприятий с взрывоопасными производствами целесообразно возводить

сборно-монолитных защитных конструкций. При этом в зависимости от особенностей технологического процесса возможны следующие схемы расположения защищаемых участков в плане здания:

1 – в любой части здания с образованием замкнутой защитной конструкции, полностью отделяющей взрывоопасный участок от окружающего объема остального помещения (рис. 1.1, а);

2 – в частях здания, примыкающих к одной из наружных стен, в которых устраиваются предохранительные конструкции (*ПК*) (п.1.15, рис. 1.1, б);

3 – на участках, занимающих всю ширину здания с примыкающими наружными стенами, в которых устраиваются *ПК* (рис. 1.1, в).

Защитные конструкции могут выполняться из плоских элементов и с использованием для покрытия криволинейных элементов. Возможны также круглые в плане защитные конструкции с купольным покрытием.

При размещении защитных

отдельно стоящие монолитные здания с сеткой колонн $4,5 \times 6$ м, 6×6 м, способные обеспечивать защиту от взрывной волны интенсивностью до 100 кПа и более. Конструктивная схема здания принимается каркасной с продольным и поперечным расположением ригелей (рис. 1.2).

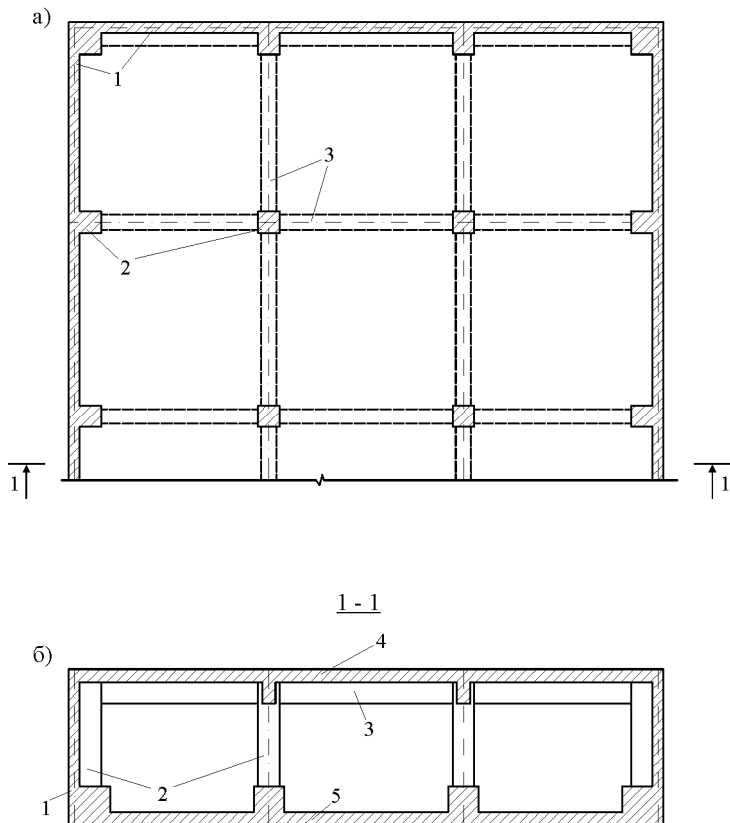


Рис. 1.2. Монолитное здание пункта управления предприятия с взрывоопасным производством: *a* – схема расположения колонн, ригелей и стен в плане здания (фрагмент); *б* – поперечный разрез; 1 – стены; 2 – колонны; 3 – продольный и поперечный ригели; 4 – плита покрытия; 5 – фундаментная плита

Покрытия в промышленных зданиях с прямолинейными ригелями и пунктах управления могут быть выполнены сборно-монолитными, состоящими из сборных ребристых плит типа перевернутого 2Т шириной 3000 мм и высотой ребер 300 мм и укладываемого на них монолитного железобетона (рис. 1.3). Общая толщина покрытия $450\text{-}500 \text{ мм}$. Армирование монолитной части покрытия выполняется пространственными каркасами, укладываемыми между продольными ребрами сборных плит и верхними арматурными сетками, обеспечивающими неразрезность покрытия в поперечном и продольном направлениях.

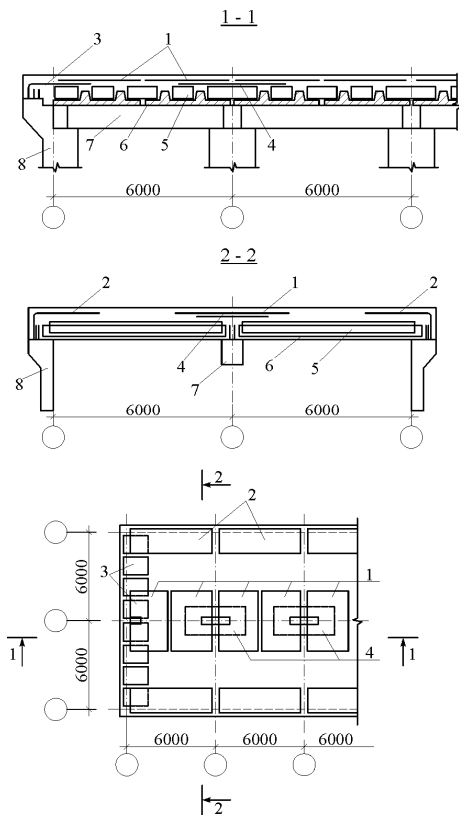


Рис. 1.3. Сборно-монолитное покрытие:
 1 – сетки, обеспечивающие неразрезность в поперечном направлении; 2, 3 – сетки, обеспечивающие жесткое соединение покрытия со стенами; 4 – сетки для обеспечения неразрезности продольных ригелей; 5 – монтажные каркасы; 6 – плиты покрытия типа перевернутого 2Т; 7 – продольные ригели; 8 – стеновые панели

взрывоустойчивости обеспечивается для зданий из монолитного железобетона рамно-связевой системы с вертикальными железобетонными диафрагмами, расположенными в направлении действия взрывной волны. В другом направлении здание может быть выполнено по рамной системе.

Несущая система здания также может устраиваться в виде рамного каркаса с ригелями, расположенными в двух направлениях, и монолитными или сборными перекрытиями.

1.9. Конструктивное решение многоэтажных зданий зависит от расположения помещений со взрывоопасным производством в плане здания и по

1.7. При взрывной нагрузке с $\Delta p_{\phi} \leq 10 \text{ кПа}$ для одноэтажных промышленных зданий возможно применение типовых сборных конструкций, в которых поперечные рамы образованы колоннами и ригелями в виде стропильных конструкций, шарнирно соединенных с колоннами. Плиты покрытия следует применять шириной 1,5 м, в качестве стропильных конструкций целесообразно использовать балки. В покрытиях допускается применение крупногабаритных плит "на пролёт" с размерами в плане 3x12 м, 3x18 м, уложенных по продольным подстропильным балкам, а также оболочек различных типов.

При воздействии взрывной нагрузки на торец здания необходимо в соответствующих крайних шагах колонн предусмотреть специальные конструкции (рамы, связи), рассчитанные на восприятие динамической нагрузки. Торцевые стены в этих случаях целесообразно выполнять из монолитного железобетона.

1.8. При проектировании многоэтажных зданий следует стремиться к уменьшению размеров сетки колонн и высоты этажей. Наибольшая степень

его высоте. Возможны следующие варианты расположения взрывоопасных помещений:

- на одном этаже или его части (рис. 1.4, а);
- на двух или более смежных этажах (рис. 1.4, б).

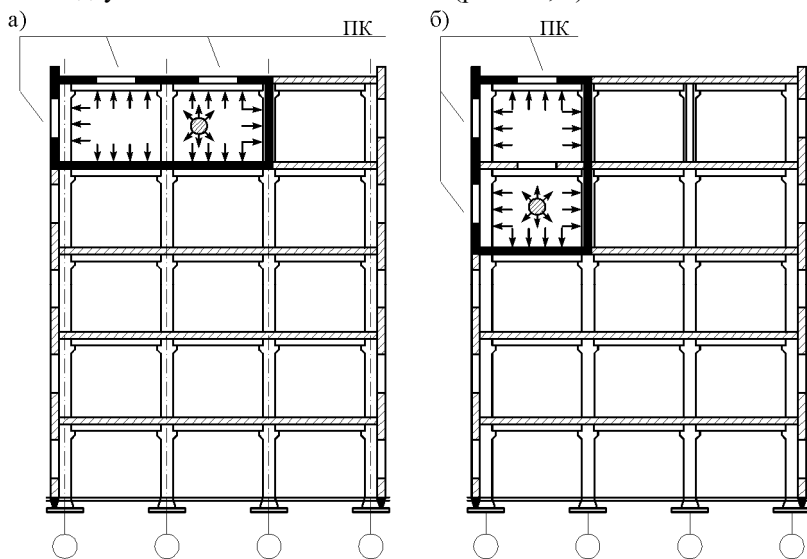


Рис. 1.4. Варианты расположения взрывоопасных помещений в многоэтажных зданиях

Второй вариант может иметь место в случаях, когда площадь проемов в перекрытии между этажами занимает не менее 20 % площади перекрытия взрывоопасных помещений. Эти помещения следует по возможности располагать так, чтобы они примыкали к наружному ограждению здания, в котором устраиваются ПК.

Помещения со взрывоопасным производством целесообразно отделять от остального здания разделительными стенками, которые должны рассчитываться на нагрузку, превышающую расчетную для взрывоопасных помещений на 20 %.

1.10. Для исключения передачи динамических усилий с несущих конструкций помещений со взрывоопасным производством на каркас остального здания рекомендуется устраивать деформационные швы, отделяющие эти помещения от соседних. Ширина деформационного шва не должна препятствовать взаимному горизонтальному смещению частей здания.

Проемы в стенах взрывоопасных помещений, отделяющих их от соседних, должны перекрываться защитными конструкциями (двери, люки, ворота и т.п.), рассчитываемыми на нагрузку от избыточного давления, возникающего при взрывном горении ГПВС. Под действием этой нагрузки указанные конструкции не должны разрушаться или открываться.

Если по условиям технологического процесса защитные конструкции между взрывоопасным отсеком здания и соседними помещениями не могут быть установлены, то помещения, в которых невозможно образование и воспламенение *ГПВС*, также считаются взрывоопасными.

Необходимые устройства в стенах и перекрытиях в виде технологических каналов, трубопроводов, электрических кабелей должны исключать проникание в соседние помещения горючих смесей, а также их скопление. Места прохождения в стенах и покрытиях каналов, трубопроводов и т.п. должны уплотняться раствором на полную толщину стены или перекрытия.

1.11. Поверхность стен и потолков в помещениях, в которых могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные смеси, должна быть гладкой, без борозд, раковин, неровностей, способствующих накоплению пыли. Элементы строительных конструкций (а также внутреннее оборудование) в таких помещениях должны быть удобными для удаления оседающей на них пыли. Полы в помещениях, где могут образовываться взрывоопасные пылевоздушные смеси, не должны иметь борозд, швов, стыков и других неровностей, за исключением тех случаев, когда необходимость их устройства обуславливается соответствующими технологическими процессами. Углы и пазы между полами и стенами должны быть сглажены или закруглены. Подпольные каналы и приямки в помещениях, где возможно выделение газов с большим объёмным весом, не устраиваются.

1.12. Непосредственное примыкание к взрывоопасным отсекам здания помещений с постоянным пребыванием в них более 5 человек или эпизодическим одновременным пребыванием более 15 человек (бытовки, комнаты приёма пищи и т.п.) не допускается.

1.13. Прокладка транзитных инженерных коммуникаций сжатого воздуха, газо- и паропроводов через взрывоопасные помещения не допускается. При необходимости прокладки указанных магистралей следует предусматривать устройства для их отключения.

Технологическое оборудование, трубопроводы и т.п. должны быть закреплены в основных несущих конструкциях для предотвращения их от смещения при воздействии взрывных нагрузок от аварийных взрывов.

1.14. Взрывоустойчивость производственных зданий при внутренних взрывах достигается путем снижения избыточного давления внутри взрывоопасных помещений и обеспечением несущей способности или пригодности к дальнейшей эксплуатации основных строительных конструкций.

1.15. Снижение избыточного давления достигается с помощью установки в ограждении взрывоопасных помещений предохранительных конструкций (*ПК*), которые могут быть инерционными и безынерционными (вскрывающимися практически мгновенно).

В качестве безынерционных *ПК* могут использоваться остекление помещений, поворотные элементы заполнения оконных и дверных проемов, в качестве инерционных – облепленные стеновые панели, а также элементы, расположенные в покрытии (поверхностная плотность *ПК* не должна превышать 70 кг/м^2). Устройство *ПК* в покрытии помещений необходимо пре-

дусматривать лишь в случаях, когда площадь PK в наружном стеновом ограждении недостаточна для снижения максимального избыточного давления до допустимой величины.

Принимаемые типы PK должны вскрываться при избыточном давлении, не превышающем безопасных для основных несущих конструкций здания значений. Для этого при устройстве смещающихся и вращающихся PK необходимо использовать крепежные (запорные) устройства, которые бы обеспечивали надежное и независимое вскрытие этих конструкций при достижении указанных значений избыточных давлений.

В наружном ограждении помещений PK нужно устанавливать по возможности ближе к ожидаемым местам воспламенения $ГПВС$.

Конструктивные решения наружного ограждения взрывоопасных зданий должны приниматься с учетом видов и размеров используемых PK , а также требуемой площади перекрываемых ими проемов в наружном ограждении. Проектирование PK осуществляется по специальным руководствам [12-14].

1.16. В одноэтажных промышленных зданиях для предотвращения обрушения сборных плит покрытия необходимо соединять их между собой стальными накладками (рис. 1.5) и крепить каждую плиту к стропильным конструкциям сваркой опорных закладных деталей не менее чем в трёх углах. В качестве стропильных конструкций целесообразно использовать балки пролетом до 18 м. При этом шаг поперечных рам назначается равным 6 м. Соединение закладных деталей стропильных конструкций и колонн рекомендуется выполнять на болтах.

Одноэтажные промышленные здания из монолитного железобетона рекомендуется проектировать каркасными с прямолинейными (при $L \leq 12$ м), ломаными (при $L \leq 18$ м) и криволинейными с затяжками (при $L \leq 24$ м) ригелями поперечных рам. Покрытие может быть выполнено гладким в виде плиты постоянной толщины или ребристым с продольными балками, объединенными плитой. Стеновое ограждение решается с применением монолитного железобетона, сборных железобетонных панелей или каменной кладки. При необходимости в стенах могут устраиваться оконные проемы, используемые в качестве PK .

1.17. При проектировании конструкций зданий и сооружений, которые могут подвергаться воздействию взрывных нагрузок, необходимо:

– применять материалы и конструкции, обеспечивающие развитие пластических деформаций и перераспределение усилий в наиболее напряжённых элементах;

– использовать конструктивные схемы, обеспечивающие *общую устойчивость* сооружения (при развитии в конструкциях и их соединениях пластических деформаций), а также *живучесть* сооружения (при полном разрушении некоторых несущих элементов от взрывного воздействия).

1.18. Несущие железобетонные конструкции взрывоопасных зданий и сооружений следует выполнять с использованием конструкционных бетонов, соответствующих ГОСТ 25192-82:

– тяжёлого средней плотности от 2200 до 2500 $кг/м^3$ включительно;

– мелкозернистого средней плотности свыше 1800 кг/м^3 .

Класс бетона по прочности на сжатие должен приниматься не менее В15.

1.19. Для армирования железобетонных конструкций взрывоопасных зданий следует применять в качестве рабочей ненапрягаемой арматуры горячекатаную стержневую арматуру классов А300(А-II), А400(А-III, Ат-IIIС), А600(А-IV) и арматурную проволоку В500(Вр-I), в качестве напрягаемой – стержневую арматуру классов А600(А-IV), А800(А-V), А1000(А-VI).

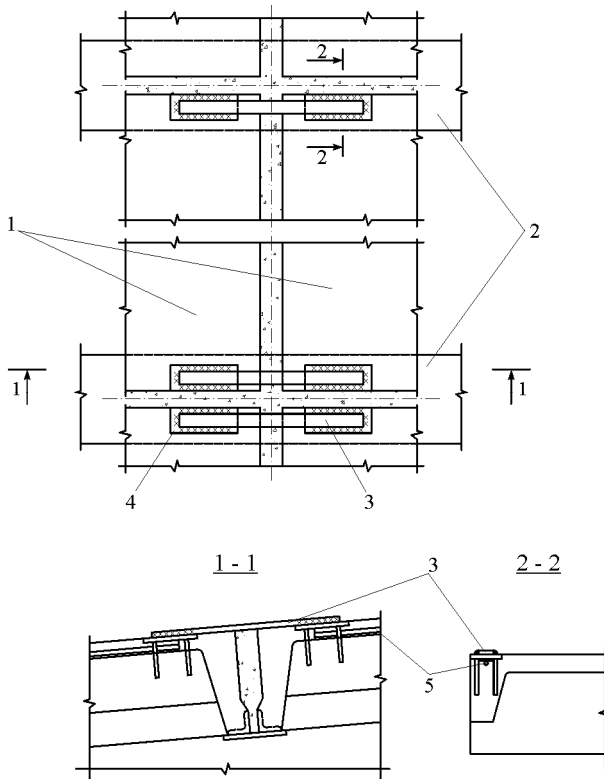


Рис. 1.5. Соединение плит покрытия между собой стальными накладками:

1 – плиты покрытия; 2 – стропильные конструкции; 3 – стальные накладки; 4 – закладная деталь плиты покрытия; 5 – соединительный стержень

Применение сталей с относительными удлинениями после разрыва менее 4% не допускается. Изгибаемые железобетонные элементы не следует проектировать перearмированными.

Для повышения предельных деформаций бетона при сжатии в сечениях железобетонных элементов рекомендуется предусматривать косвенное сетчатое армирование.

1.20. Каменные и армокаменные несущие и самонесущие стены взрывоопасных зданий рекомендуется проектировать с использованием полнотелого (керамического) кирпича, керамических и бетонных камней марки не ниже

М75 на растворах марки не ниже М50 со специальными добавками, повышающими сцепление раствора с кирпичом или камнем (группа кладки I).

Для повышения несущей способности каменных конструкций следует применять:

а) сетчатое армирование (для внецентренно сжатых с малыми эксцентриситетами элементов);

б) продольное армирование (для изгибаемых и внецентренно сжатых с большими эксцентриситетами элементов).

Для сетчатого армирования каменных конструкций следует применять стали классов А240(А-I) и В500(Вр-I).

Для продольного армирования каменной кладки следует применять стали классов А240(А-I), А300(А-II), В500(Вр-I).

Здания с каменными и армокаменными несущими стенами следует проектировать по конструктивной схеме с жёсткими (неподвижными) горизонтальными опорами в виде перекрытий, опирающихся на поперечные стены, расстояния между которыми не должны превышать 35 м (жёсткая конструктивная схема) [18, 23].

1.21. Стальные несущие конструкции взрывоопасных зданий и сооружений следует проектировать из сталей группы 1 согласно [22].

При взрывах внутри помещений необходимо предусматривать мероприятия по повышению огнестойкости стальных конструкций при возможном высокотемпературном воздействии на них в результате пожара, вызванного взрывом.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЗРЫВОУСТОЙЧИВЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ	5
2. ОСОБЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ И НАГРУЗКИ	14
2.1. Взрывные волны	14
2.2. Характеристики дефлаграционных взрывов. Исходные данные для расчёта параметров взрыва	15
2.3. Параметры проходящей взрывной волны в 1-й зоне дефлаграционного взрыва	22
2.4. Параметры проходящей взрывной волны во 2-й зоне дефлаграционного взрыва	25
2.5. Динамические нагрузки на ограждающие конструкции зданий и сооружений при воздействии волны от дефлаграционного взрыва	33
2.6. Определение динамических нагрузок при внешнем детонационном взрыве <i>ГПВС</i>	36
2.7. Определение динамических нагрузок при внутреннем дефлаграционном взрыве <i>ГПВС</i>	40
2.8. Определение динамических нагрузок при внешнем детонационном взрыве конденсированных <i>ВВ</i>	45
2.9. Обобщённые расчётные законы изменения динамических нагрузок во времени	54
3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЁТА КОНСТРУКЦИЙ ВЗРЫВООПАСНЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ НА ОСОБОЕ СОЧЕТАНИЕ НАГРУЗОК	57
3.1. Сочетания нагрузок и методы расчёта	57
3.2. Предельные состояния	58
3.3. Расчётные динамические сопротивления материалов	59
3.4. Нормирование предельных состояний	63
3.5. Эквивалентная статическая нагрузка	65
3.6. Частоты собственных колебаний конструктивных элементов зданий и сооружений	68
3.7. Расчёт отдельных элементов	74
4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ОТ ВНУТРЕННЕГО ВЗРЫВА	81
4.1. Одноэтажные промышленные здания	81
4.2. Многоэтажные промышленные здания	84
5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИЯХ ОТ ВНЕШНЕГО ВЗРЫВА	86
5.1. Наружные стены	86
5.2. Одноэтажные промышленные здания	87
5.3. Многоэтажные промышленные здания	92
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПРИМЕРЫ РАСЧЁТОВ КОНСТРУКЦИЙ НА ДЕЙСТВИЕ АВАРИЙНЫХ ВЗРЫВОВ	97
Пример 1. Расчёт конструкций одноэтажного промышленного здания на действие ударной волны от внешнего взрыва	97
Пример 2. Расчёт конструкций многоэтажного здания из монолитного железобетона на действие ударной волны от внешнего взрыва	104
Пример 3. Динамический расчёт здания со стальным каркасом на действие нагрузки, возникающей при внешнем дефлаграционном взрыве <i>ГПВС</i>	110
Пример 4. Расчёт конструкций многоэтажного сборно-монолитного здания рамно-связевой системы на действие ударной волны от внешнего взрыва	129
Пример 5. Расчёт конструкций одноэтажного промышленного здания на действие нагрузки от внутреннего дефлаграционного взрыва	139
ЛИТЕРАТУРА	151