

УДК 533.6, 614.841

А.В. Васильченко, доцент

Национального университета
гражданской защиты Украины,
кандидат технических наук,
доцент,

И.Н. Рябинин, старший

преподаватель Национального
университета гражданской защиты
Украины,

В.Н. Сырых, доцент

Национального университета
гражданской защиты Украины,
кандидат технических наук,
доцент

МОДЕЛЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В КОММУНИКАЦИОННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

Предложена физическая модель образования и распространения ударной волны в канале со стенками разной жесткости. Обоснована необходимость устройства легкобрасываемых конструкций в коммуникационных помещениях зданий с повышенной взрывоопасностью.

Ключевые слова: ударная волна, легкобрасываемая конструкция.

При обследовании строительных объектов, пострадавших в результате аварийных взрывов, часто возникает необходимость объяснения причин видимых повреждений строительных конструкций. В промышленных зданиях категорий «А» и «Б», как правило, основное внимание при проектировании уделяется помещениям с повышенной взрыво- и пожароопасностью. Их оснащают легкобрасываемыми конструкциями (ЛСК), которые чаще всего располагают в оконных и дверных проемах. В случае аварийного взрыва ударная волна (УВ) разрушает ЛСК, и избыточное давление в помещении быстро уменьшается. Конструкции в таких помещениях рассчитывают на

возможное воздействие взрыва. А в коммуникационных помещениях, где после преодоления ЛСК распространяется ударная волна и строительные конструкции подвергаются её воздействию, их поведение бывает непредсказуемо. Имеется в виду избирательность разрушительного действия ударной волны, когда некоторые строительные конструкции на пути ее движения разрушаются, а другие, аналогичные, остаются практически неповрежденными. Также важной проблемой является повышение безопасности в коммуникационных помещениях, куда проникла и где распространяется ударная волна, снижение избыточного давления на ее фронте.

Примером коммуникационных помещений могут быть коридоры, туннели, которые в промышленных зданиях достигают значительной длины. Коридор можно представить как полузамкнутое пространство (канал), в котором согласно¹ энергия ударной волны рассеивается медленнее, чем в большом помещении или на открытом пространстве. При этом повышаются потери энергии на нагрев воздуха и трение при взаимодействии ударной волны со стенками канала. Стенки канала как поверхности отражения также влияют на процесс образования и распространения ударной волны, определяя ее интенсивность. В этом смысле интерес представляет изучение взаимодействия стен (перегородок) коридора с ударной волной для прогнозирования поведения этих строительных конструкций при взрыве. В известных публикациях рассматриваются проблемы учета поведения ударной волны в каналах с изменяющимся сечением, но при этом предполагается, что их стенки одинаково жесткие². Однако, в реальных строительных объектах стены коридоров часто различаются и конструктивно, и по материалам.

¹ Селиванов В.В. Ударные и детонационные волны. Методы исследования / В.В.Селиванов, В.С.Соловьев, Н.Н.Сысоев. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 256 с.

² Шевляков А.Г. Расчет составной строительной конструкции на динамическую нагрузку, создаваемую плоской волной давления / А.Г.Шевляков // Архитектура оболочек и прочностной расчет тонкостенных строительных и машиностроительных конструкций сложной формы: Тезисы докладов Межд. научной конференции. – М.: Изд-во РУДН, 2001. – С. 81-82.

Данная работа посвящена формулированию рекомендаций по повышению безопасности для строительных конструкций коммуникационных помещений зданий с повышенной взрывоопасностью на основании формирования физической модели образования и распространения ударной волны в канале со стенками разной жесткости, т. е. когда одна из стен заметно деформируется по сравнению с другой.

Для демонстрации образования и распространения ударной волны в канале с жесткими стенками используется модель, показанная на рис. а. После взрыва в начале канала образуется криволинейная поверхность фронта ударной волны. Падающая ударная волна (ПУВ) распространяется в невозмущенной воздушной среде, а отраженные ударные волны (ОУВ) – в среде сжатой и нагретой прошедшей падающей ударной волной. В этих условиях отраженные ударные волны имеют большие скорости, чем падающая ударная волна и имеют возможность догонять падающую ударную волну и сливаться с ней. В результате образуется головная ударная волна (ГУВ) с плоским фронтом, динамическое давление на котором значительно превышает давления на фронтах составляющих ударную волну. Формирование плоского фронта головной ударной волны происходит в зоне 4–8 характерных размеров сечения канала.

Существуют эмпирические зависимости для характеристик головной ударной волны в канале с жесткими стенками³:

$$\Delta p = \left(a \frac{fm}{xS} + b \sqrt{\frac{fm}{xS}} \right) e^{-\beta x}; \quad (1)$$

$$I = c \frac{fm}{S} e^{-\frac{\beta x}{2d}}; \quad (2)$$

$$\tau = q \frac{x}{c_0} \sqrt{\frac{fm}{xS}}, \quad (3)$$

³ Взрывные явления: оценка и последствия: в 2-х кн. Кн. 1. Пер. с англ. / Бейкер У., Кокс П., Уэстрайн П. и др.; Под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е.Гельфанда. – М.: Мир, 1986. – 319 с.

где Δp – избыточное давление, МПа; I – удельный импульс, Па·с; τ – время фазы сжатия, с; a, b, c, q – эмпирические коэффициенты; f – коэффициент эффективности взрывчатого вещества по сравнению с тротилом; m – масса взрывчатого вещества, кг; x – расстояние, пройденное ударной волной, м; S – площадь сечения канала, м²; β – приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления канала; d – приведенная ширина канала, м; c_0 – скорость звука, м/с.

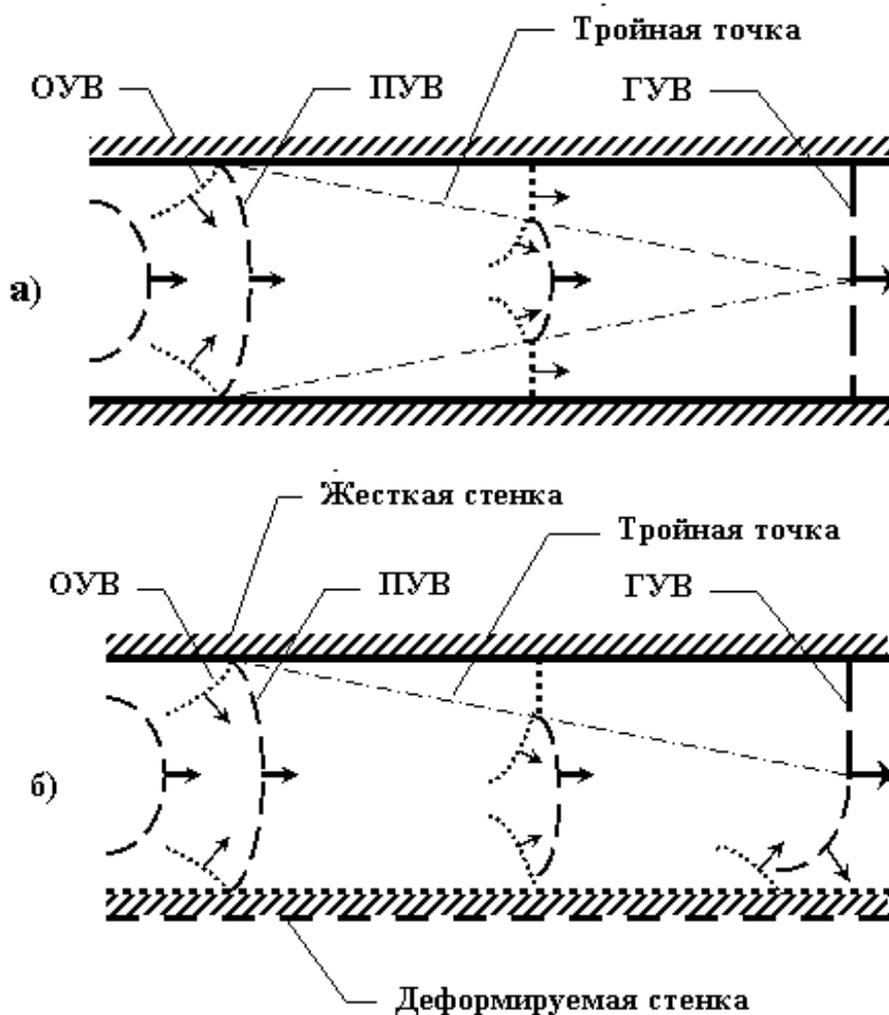


Рисунок. Модель образования и распространения ударной волны в канале:
а) с жесткими стенками; б) с жесткой и деформируемой стенками

Согласно³ при прохождении ударной волны стенки канала испытывают нагрузку, которая характеризуется приведенным давлением \bar{p} :

$$\bar{p} = \frac{\rho F \sqrt{E}}{A \sqrt{R^3}} \quad (4)$$

и приведенным импульсом \bar{I} :

$$\bar{I} = \frac{Ih\sqrt{E}}{A R \sqrt{\rho}}, \quad (5)$$

где F – площадь воздействия ударной волны, м²; E – модуль упругости материала стенки, МПа; h – толщина стенки, м; A – площадь сечения стенки, м²; R – предел прочности материала стенки, МПа; ρ – плотность материала стенки, Н/м².

Анализ представленных формул показывает, что если противоположные стенки конструктивно разные и из разных материалов, но их относительная деформация при воздействии ударной волны невелика ($R_2 \approx R_1$; $E_2 \approx E_1$), то распространение ударной волны в канале происходит по механизму, показанному на рис. а.

Если же одна из стенок канала подвижна и/или легко деформируется ($R_2 < R_1$; $E_2 < E_1$), то приведенный импульс, действующий на нее, уменьшается. Следовательно, уменьшается скорость отраженной ударной волны, увеличивается зона формирования плоского фронта головной ударной волны, и при этом фронт ударной волны как бы разворачивается в сторону нежесткой стенки (рис. б). Давление на эту стенку дополнительно увеличивается, что может привести к ее разрушению. Но одновременно с этим нарушается и геометрия плоского фронта головной ударной волны, а для формирования нового плоского фронта требуется зона длиной в 4–8 характерных размеров сечения канала. Здесь также необходимо учитывать, что на разрушение стенки и формирование нового плоского фронта головной ударной волны дополнительно тратится энергия. Степень ослабления ударной волны зависит от величины повреждения стенки, т. е. от отношения площади участка разрушения стенки к площади сечения канала.

Рассмотренная модель объясняет поведение строительных конструкций в коммуникационных помещениях большой длины при воздействии на них ударной волны. Если в коридоре одна стенка сформирована капитальной стеной, а другая – перегородкой со значительно меньшей жесткостью, то при прохождении ударной волны по длине коридора перегородка разрушается фрагментарно по зонам возможного формирования плоского фронта головной ударной волны. Причем, после разрушенного участка перегородки может следовать участок с минимальными повреждениями.

Предложенная модель позволяет обосновать способ повышения безопасности в коммуникационных помещениях зданий с повышенной взрывоопасностью. Для этого необходимо вдоль коммуникационного помещения с интервалом 4–8 размеров ширины этого помещения предусмотреть легкобрасываемые конструкции в виде вставок (перегородок), закрывающих расширители. Такое устройство коммуникационных помещений будет препятствовать образованию головной ударной волны, способствовать снижению избыточного давления на фронте ударной волны и ее затуханию.

Предложенная физическая модель формирования и распространения ударной волны в канале со стенками разной жесткости может быть применена для объяснения разной степени повреждений строительных конструкций в коммуникационных помещениях при взрывах. Эту модель также можно использовать для построения алгоритма численного расчета распространения ударной волны в канале со стенками разной жесткости.

Представленная модель показывает, что в коммуникационных помещениях строительных объектов, в которых вероятны аварийные внутренние взрывы, для повышения безопасности следует предусматривать легкобрасываемые конструкции. Располагать легкобрасываемые конструкции следует вдоль коммуникационного помещения с интервалом в 4–8 размеров ширины этого помещения.

МОДЕЛЬ ПОШИРЕННЯ УДАРНОЇ ХВИЛІ У КОМУНІКАЦІЙНИХ ПРИМІЩЕННЯХ

О.В. Васильченко, І.М. Рябінін, В.М. Сирих

У статті зроблена спроба пояснення вибіркової руйнівної дії ударної хвилі в комунікаційних приміщеннях промислових будівель, при якому деякі будівельні конструкції на шляху її руху руйнуються, а інші залишаються практично незмінними. Запропонована фізична модель утворення і поширення ударної хвилі в комунікаційному приміщенні, як у каналі зі стінками різної жорсткості. Показано, що якщо одна зі стінок каналу легко деформується, то це викликає розворот до неї головний ударної хвилі і збільшення тиску, що може призвести до руйнування ділянки стіни. Але одночасно з цим порушується і геометрія плоского фронту головний ударної хвилі, а для формування нового плоского фронту потрібна зона довжиною 4–8 характерних розмірів перерізу каналу. Тому при проходженні ударної хвилі по довжині коридору стінка з меншою жорсткістю руйнується фрагментарно. Запропонована фізична модель може бути використана для побудови алгоритму чисельного розрахунку поширення ударної хвилі у каналі зі стінками різної жорсткості. На підставі розглянутої фізичної моделі запропоновано спосіб підвищення безпеки в комунікаційних приміщеннях, де може поширюватися ударна хвиля. Для цього слід розташовувати легкоскидні конструкції вздовж комунікаційного приміщення з інтервалом у 4–8 розмірів ширини цього приміщення.

Ключові слова: ударна хвиля, легкоскидна конструкція.

THE MODEL OF SHOCK WAVE PROPAGATION IN CORRIDORS

A.V. Vasilchenko, I.N. Riabinin, V.N. Syryh

The article is an attempt to explain the selectivity of the destructive action of shock waves in communication premises of industrial buildings, in which some building designs on the path of its motion destroyed, while others remain almost intact. The physical model of formation and propagation of a shock wave in a communication premise, as in the channel with walls of different rigidity is offered. It is shown that if one of channel walls is easily deformed, it causes a turn on it of a head shock wave and pressure increase that can lead to destruction of a site of a wall. But at the same time the geometry of flat front of a head shock wave is broken also, and for formation of new flat front the area with a length of 4–8 characteristic dimensions of the channel cross section is required. Therefore, when a shock wave passes along the length of the corridor the wall with a lower rigidity is destroyed in fragments. The offered physical model can be used to create an algorithm for numerical calculation of shock wave propagation in a channel with walls of different rigidity. On the basis of the considered physical model the way of increase of safety in communication premises where the shock wave can propagate is offered. For this purpose it is necessary to have explosion-relief structures along a communication premise with an interval in 4–8 sizes of width of this communication premise.

Keywords: shock wave, explosion-relief structure.