

*А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗУ,  
И.Н. Рябинин, ст. преподаватель, НУГЗУ,  
Т.М. Ковалевская, преподаватель, НУГЗУ*

## **АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ В КОММУНИКАЦИОННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ**

(представлено д-ром техн. наук Бодянским Э.В.)

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, легкобрасываемые конструкции.

**Постановка проблемы.** 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 УВ и строительные конструкции подвергаются её воздействию, их поведение бывает непредсказуемо. Имеется в виду избирательность разрушительного действия УВ, когда некоторые строительные конструкции на пути её движения разрушаются, а другие, аналогичные, остаются практически неповрежденными. Также важной проблемой является повышение безопасности в коммуникационных помещениях, куда проникла и где распространяется УВ, снижение избыточного давления на её фронте.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Примером коммуникационных помещений могут быть коридоры, туннели, которые в промышленных зданиях достигают значительной длины. Коридор можно представить как полузамкнутое пространство (канал), в котором согласно [1] энергия УВ рассеивается медленнее, чем в большом помещении или на открытом пространстве. При этом повышаются потери энергии на нагрев воздуха и трение при взаимодействии УВ со стенка-

ми канала. Стенки канала как поверхности отражения также влияют на процесс образования и распространения УВ, определяя её интенсивность. В этом смысле интерес представляет изучение взаимодействия стен (перегородок) коридора с УВ для прогнозирования поведения этих строительных конструкций при взрыве. В известных публикациях рассматриваются проблемы учета поведения УВ в каналах с изменяющимся сечением, но при этом предполагается, что их стенки одинаково жесткие [2]. Однако, в реальных строительных объектах стены коридоров часто различаются и конструктивно, и по материалам.

**Постановка задачи и ее решение.** Задачей данной работы является формулирование 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.

Модель образования и распространения УВ в канале с жесткими стенками показана на рис. 1 а. После взрыва в начале канала образуется криволинейная поверхность фронта УВ. Падающая ударная волна (ПУВ) распространяется в невозмущенной воздушной среде, а отраженные ударные волны (ОУВ) – в среде сжатой и нагретой прошедшей ПУВ. В этих условиях ОУВ имеют большие скорости, чем ПУВ и имеют возможность догонять ПУВ и сливаться с ней. В результате образуется головная ударная волна (ГУВ) с плоским фронтом, динамическое давление на котором значительно превышает давления на фронтах составляющих УВ. Формирование плоского фронта ГУВ происходит в зоне 4-8 характерных размеров сечения канала.

Существуют эмпирические зависимости для характеристик ГУВ в канале с жесткими стенками [3]

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

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

где  $p$  – избыточное давление, МПа;  $I$  – удельный импульс, Па·с;  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты;  $f$  – коэффициент эффективности взрывчатого вещества по сравнению с тротилом;  $m$  – масса взрывчатого вещества, кг;  $x$  – расстояние, пройденное УВ, м;  $S$  – площадь сечения канала, м<sup>2</sup>;  $\beta$  – приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления канала;  $d$  – приведенный диаметр канала, м.

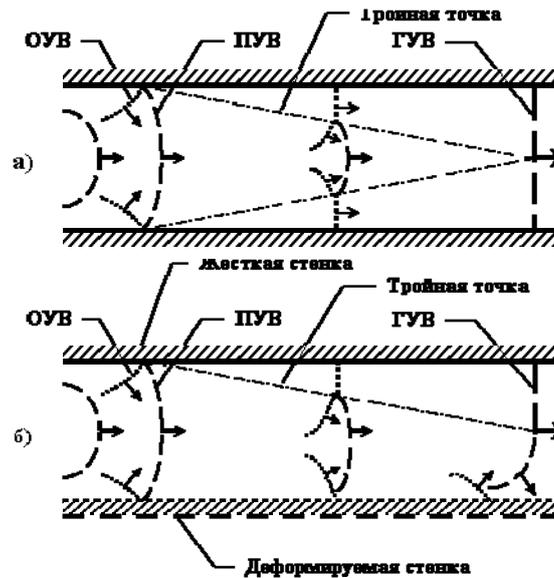


Рис. 1. Модель образования и распространения УВ в канале: а) с жесткими стенками; б) с жесткой и деформируемой стенками

Согласно [3] при прохождении УВ стенки канала испытывают нагрузку, которая характеризуется приведенным давлением  $\bar{p}_1$

$$\bar{p}_1 = \frac{\rho F \sqrt{E_1}}{A_1 \sqrt{R_1^3}} \quad (3)$$

и приведенным импульсом  $\bar{I}_1$

$$\bar{I}_1 = \frac{I h \sqrt{E_1}}{A_1 R_1 \sqrt{\rho_1}}, \quad (4)$$

где  $F$  – площадь воздействия УВ,  $m^2$ ;  $E$  – модуль упругости, МПа;  $A$  – площадь сечения стенки,  $m^2$ ;  $R$  – предел прочности материала стенки, МПа;  $\rho$  – плотность материала стенки,  $H/m^2$ .

Анализ представленных формул показывает, что если противоположные стенки конструктивно разные и из разных материалов, но их относительная деформация при воздействии УВ невелика ( $R_2 \approx R_1$ ;  $E_2 \approx E_1$ ), то распространение УВ в канале происходит по механизму, показанному на рис. 1 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 неё, уменьшается. Следовательно, уменьшается скорость ОУВ, увеличивается зона формирования плоского фронта ГУВ, и при этом фронт УВ как бы разворачивается в сторону нежесткой стенки (см. рис. 1 б). Дав-

ление на эту стенку дополнительно увеличивается, что может привести к её разрушению. Но одновременно с этим нарушается и геометрия плоского фронта ГУВ, 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 ГУВ дополнительно тратится энергия.

Рассмотренная модель объясняет поведение строительных конструкций в коммуникационных помещениях большой длины при воздействии на них УВ. Если в коридоре одна стенка сформирована капитальной стеной, а другая – перегородкой со значительно меньшей жесткостью, то при прохождении УВ по длине коридора перегородка разрушается фрагментарно по зонам возможного формирования плоского фронта ГУВ.

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 ГУВ, способствовать снижению избыточного давления на фронте ударной волны и ее затуханию.

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

## ЛИТЕРАТУРА

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.

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

О.В. Васильченко, І.М. Рябінін, Т.М. Ковалевская

**Аналіз впливу ударної хвилі на будівельні конструкції в комунікаційних приміщеннях**

Запропоновано фізичну модель утворення і поширення ударної хвилі у каналі зі стінками різної жорсткості. Обґрунтовано необхідність влаштування легкоскидних конструкцій в комунікаційних приміщеннях будівель з підвищеною вибухонебезпечністю.

**Ключові слова:** ударна хвиля, легкоскидні конструкції.

A.V. Vasilchenko I.N. Ryabinin, T.M. Kovalevskaya

**Analysis of the influence of shock wave on building designs in communication premises**

The physical model of formation and shock wave distribution in the channel with walls of different rigidity is offered. Necessity of the device safety designs in communication premises of buildings with the raised explosion hazard is proved.

**Keywords:** shock wave, safety designs.