

А.В. Васильченко, к.т.н., доцент, НУГЗ Украины, Харьков
С.Г. Порока, курсант НУГЗ Украины, Харьков

МОДЕЛЬ ПОВЕДЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ В КОММУНИКАЦИОННЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

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 ввиду избирательность разрушительного действия УВ, когда некоторые строительные конструкции на пути её движения остаются практически неповрежденными.

Примером коммуникационных помещений могут быть коридоры, 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, однако повышаются потери энергии на нагрев воздуха и трение при взаимодействии УВ со стенками 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. Обычно предполагается, что их стенки одинаково жесткие [2]. Однако, в реальных строительных объектах стены коридоров часто различаются и конструктивно, и по материалам.

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:

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

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

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, м²; β – приведенный коэффициент аэродинамического сопротивления канала; d – приведенный диаметр канала, м.

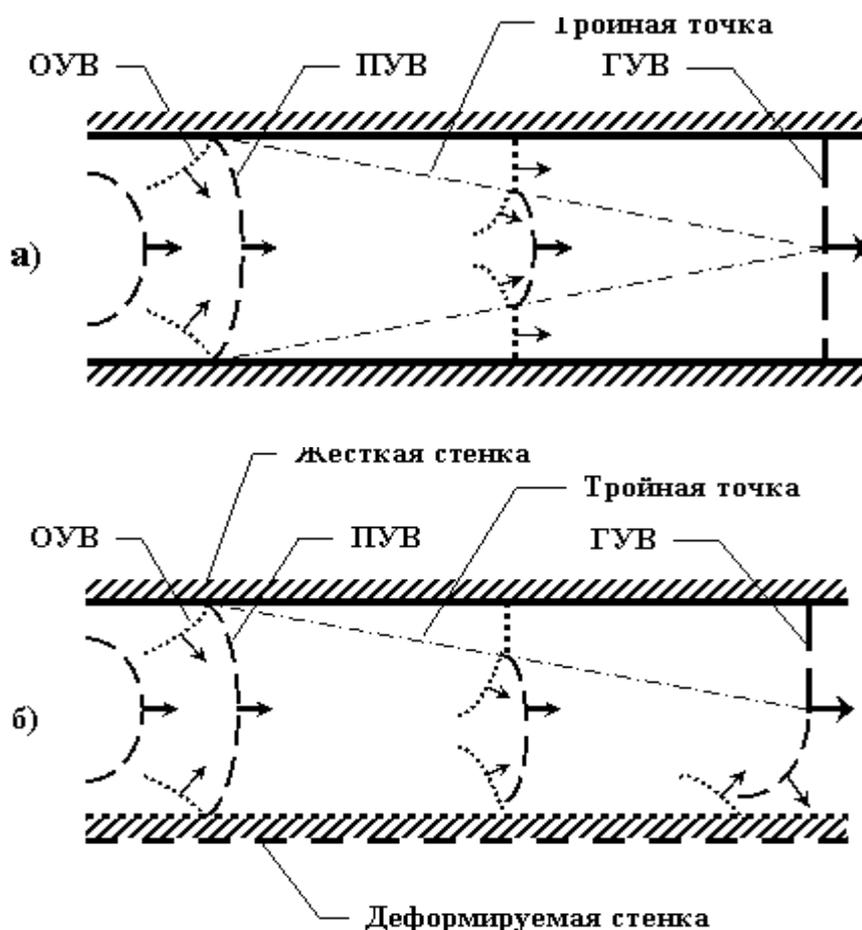


Рисунок 1 – Модель образования и распространения УВ в канале: а) с жесткими стенками; б) с жесткой и деформируемой стенками

Согласно [3] при прохождении УВ стенки канала испытывают нагрузку, которая характеризуется приведенным давлением

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

и приведенным импульсом

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

где F – площадь воздействия УВ, м^2 ; E – модуль упругости, МПа; A – площадь сечения стенки, м^2 ; R – предел прочности материала стенки, МПа; ρ – плотность материала стенки, $\text{Н}/\text{м}^3$.

Анализ представленных формул показывает, что если противоположные стенки конструктивно разные и из разных материалов, но их относительная деформация при воздействии УВ невелика, то распространение УВ в канале происходит по механизму, показанному на рис. 1,а для жестких стенок.

Если же одна из стенок канала на каком-то участке 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). Давление на эту стенку дополнительно увеличивается, что может привести к разрушению и остальной, не деформированной (более жесткой) части стены. 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 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.

Таким образом, представлена физическая модель формирования и распространения УВ в канале со стенками разной жесткости, которая 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.

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. / Бейкер У., Кокс П., Уэстрайн П. и др.; Под ред. Я.Б.Зельдовича, Б.Е.Гельфанда. – М.: Мир, 1986. – 319 с.