

УДК 699.85, 624.075

А. В. МОИСЕЕНКО, А. С. ВОЛКОВ, Д. В. СУЯРКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНЫХ ВОЛН НА ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

Аннотация. В статье рассмотрены виды воздействия взрывных волн на строительные конструкции и их поведение. Рассмотрены методики определения основных параметров нагрузок, вызванных действием ударной волны вследствие взрывов.

Ключевые слова: ударная волна, взрывные воздействия на строительные конструкции, взрывчатые вещества, импульс.

Нагрузки, вызванные действием взрывных волн, являются для сооружений аварийными, и они значительно превосходят эксплуатационные статические нагрузки. К таким сооружениям может быть предъявлено только требование восприятия динамической нагрузки без обрушения. Тогда можно допустить развитие пластических деформаций, учесть повышение прочностных характеристик материалов при высокоскоростных деформациях, и в итоге конструкция по расчету может обеспечивать защиту от интенсивных динамических воздействий [1].

Взрывом называется процесс быстрого выделения большого количества энергии, вызванный внезапным изменением состояния вещества (например, в результате быстротекущей химической реакции) или его параметров [2]. Взрыв возникает вследствие аварийных ситуаций при разрушении паровых котлов, баллонов со сжатым газом, технологических взрывах при аварийных ситуациях и т. п., что может привести к повреждению строительных конструкций и возникновению пожаров. Взрыв является одним из экстремальных воздействий, опасность которого обязательно должна приниматься во внимание, например при проектировании АЭС [3].

В результате взрыва в окружающей среде распространяются ударные волны. На фронте ударных волн происходит скачкообразное изменение давления, плотности и температуры. Под давлением понимается избыточное давление, возникающее в среде при прохождении взрывной волны, т. е. давление, отличающееся от нормального атмосферного при взрыве в воздухе. Параметры волн зависят от источника энергии взрыва, расстояния от центра взрыва и других факторов.

Взрывные волны действуют на конструкции сооружений в виде кратковременных динамических нагрузок. В зависимости от назначения сооружения и причин взрыва кратковременные нагрузки могут быть эксплуатационными или аварийными. В первом случае в конструкциях не должны возникать деформации, приводящие к нарушению нормальной эксплуатации сооружения. Во втором случае в некоторых конструкциях сооружения могут быть допущены пластические деформации и даже разрушения.

Эффект действия воздушных ударных волн на конструкции и сооружения различен при взрыве в воздухе и наземном взрыве. Взрывные воздействия допускается рассматривать, как равномерно распределенное давление по площади ограждения [4].

Воздушная ударная волна состоит из фазы сжатия, в котором давление выше атмосферного, и фазы разрежения (рис.). Степень повреждения сооружения при действии ударной волны в основном определяется давлением в фазе сжатия, так как оно обычно значительно превышает давление в фазе разрежения. При определении нагрузок, возникающих при действии ударной волны на преграду (конструкцию или сооружение), необходимо учитывать условия ее взаимодействия с преградой (отражение, обтекание, затекание) [1].

© А. В. Моисеенко, А. С. Волков, Д. В. Суярко, 2018

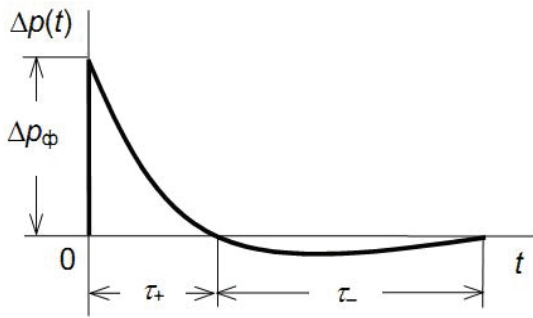


Рисунок – Характерный профиль ударной волны.

1 метод. Данная методика базируется на общих принципах взаимодействия волн с конструкциями. Методы расчета даны для наиболее распространенных в практике строительства железобетонных конструкций сооружений [1].

Основные параметры ударной волны при распространении по воздуху от центра взрыва определяют по формулам:

а) при воздушном взрыве тротилового заряда избыточное давление на фронте ударной волны Δp_ϕ (МПа):

$$\Delta p_\phi = 0,084 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + 0,27 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R^2} + 0,7 \frac{C}{R^3}, \quad (1)$$

– продолжительность фазы сжатия τ_+ (с):

$$\tau_+ = 1,5 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{C} \cdot \sqrt{R}, \quad (2)$$

– импульс давления в фазе сжатия, (МПа·с), отнесенный к поверхности фронта волны площадью 1 м², МПа·с/м²:

$$i = 4 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R}, \quad (3)$$

б) при наземном взрыве тротилового заряда:

$$\Delta p_\phi = 0,1 \frac{\sqrt[3]{C}}{R} + 0,43 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R^2} + 1,4 \frac{C}{R^3}, \quad (4)$$

$$\tau_+ = 1,7 \cdot 10^{-3} \sqrt[6]{C} \cdot \sqrt{R}, \quad (5)$$

$$i = 6,3 \frac{\sqrt[3]{C^2}}{R}, \quad (6)$$

где C – масса тротилового заряда, кг;
 R – расстояние от центра взрыва, м.

При встрече проходящей волны с преградой (конструкцией или сооружением) ограниченных размеров происходит отражение волны и обтекание сооружения волной. В момент отражения волны от преграды давление, действующее на преграду, скачкообразно возрастает по сравнению с давлением в проходящей волне, а затем при обтекании уменьшается [1].

Максимальное давление отражения, действующее в начальный момент времени на фронтальную плоскую преграду, определяют по формуле:

$$\Delta p_{\text{отр}} = 2\Delta p_\phi + \frac{6\Delta p_\phi^2}{\Delta p_\phi + 0,72}. \quad (7)$$

Время от начала отражения до начала установления режима обтекания находят по формуле:

$$t = \frac{3H}{D_\phi}, \quad (8)$$

где H – меньшая из величин высоты или половины ширины (b) передней стенки преграды;
 D_ϕ – скорость движения фронта ударной волны, м/с;

$$D_\phi = 340 \sqrt{1 + 8,3 \cdot \Delta p_\phi}. \quad (9)$$

2 метод. Согласно данной методике, рассматриваемой как детонационный взрыв взрывчатого вещества с приведением его к тротиловому эквиваленту. В процессе детонации горение распространяется по облаку газо- и паровоздушных смесей со сверхзвуковой скоростью. При взрыве внутри облака образуется детонационная волна, создающая огромное давление. По окончании детонации от места взрыва концентрированного взрывчатого вещества или границы облака распространяется ударная волна, скорость которой также больше звуковой. Строительные конструкции при детонационном

взрыве облака газо- и паровоздушных смесей рассчитывают на нагрузку от действия ударной волны, т. е. за пределами облака.

Исходными данными для определения параметров ударной волны является масса взрывчатого вещества M_{BB} (кг) и расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки $R(m)$. Параметры ударной волны зависят от приведенного расстояния \bar{R} (м) [4, 5, 6]:

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{Q_{эф}}}, \quad (10)$$

где $Q_{эф}$ – эффективная масса,

$$Q_{эф} = (1 - \varepsilon)\alpha \cdot M_{BB}, \quad (11)$$

Здесь ε – доля энергии взрыва, расходуемая на образование воронки (для скальных пород 0,05; для мягких грунтов 0,2; при консервативных оценках следует принимать 0);

α – отношение удельной энергии взрыва рассматриваемого взрывчатого вещества к удельной энергии тротила (табл. 9.6 [6]).

Параметры ударной волны вычисляются по следующим зависимостям.

Избыточное давление на фронте Δp_{ϕ} (Па):

$$\Delta p_{\phi} = \begin{cases} \left(\frac{0,92}{\bar{R}} + \frac{3,5}{\bar{R}^2} + \frac{10,6}{\bar{R}^3} \right) 10^5 & \text{при } 1,2 \leq \bar{R} < 17,8 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 4,2 \cdot 10^5 \bar{R}^{-1,45} & 17,8 \leq \bar{R} < 1000 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (12)$$

Продолжительность фазы сжатия τ_+ (с):

$$\tau_+ = \begin{cases} 1,7 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{Q_{эф}} \cdot \sqrt{\bar{R}} & \text{при } 1,2 \leq \bar{R} < 10 \text{ м/кг}^{1/3}, \\ 6,594 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{Q_{эф}} [lq(0,4\bar{R})]^{0,4} & 10 \leq \bar{R} < 1000 \text{ м/кг}^{1/3}. \end{cases} \quad (13)$$

Удельный импульс фазы сжатия i_+ (Па·с):

$$i_+ = 350 \frac{\sqrt[3]{Q_{эф}}}{R}. \quad (14)$$

ВЫВОДЫ

Основными параметрами ударной волны является масса взрывчатого вещества (кг) и расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки. В первой методике рассматривается взрыв тротилового заряда в чистом виде, при этом методы расчета даны для наиболее распространенных в практике строительства железобетонных конструкций сооружений. Во второй методике рассматривается любое другое конкретное взрывчатое вещество с приведением его к тротиловому эквиваленту, при этом расчет дает ориентировочные значения участвующей во взрыве массы вещества. Следовательно, расчет по первому методу дает более точные расчетные параметры, что позволяет смоделировать воздействие ударной волны на сооружение и выполнить расчет конструкций на взрывные воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнев, Б. Г. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия [Текст] / Б. Г. Корнев, И. М. Рабинович. – М. : Стройиздат, 1981. – 215 с.
2. Яковлев, Ю. С. Гидродинамика взрыва [Текст] / Ю. С. Яковлев. – М. : Судпромгиз, 1961. – 312 с.
3. РБ Г-05-039-96 Руководство по анализу опасности аварийных взрывов и определению параметров их механического действия [Текст]. – Введ: 1997-08-01 / НТЦЯРБ Госатомнадзора России. – М. : [б. и.], 2000. – 29 с.
4. СП 88.13330.2014 Свод правил. Защитные сооружения гражданской обороны [Текст]. – Взамен СНиП II-11-77* ; введ. 2014-06-01. – Москва : Минстрой России, 2014. – 118 с.
5. Шамин, В. М. Расчет защитных сооружений на действие взрывных нагрузок [Текст] / В. М. Шамин. – М. : Стройиздат, 1989. – 73 с.
6. Бирбраев, А. Н. Экстремальные воздействия на сооружения [Текст] / А. Н. Бирбраев, А. Ю. Роледер. – СПб. : Издательство Политехнического университета, 2009. – 595 с.
7. Карауш, С. А. Оценка параметров промышленных взрывов [Текст] / С. А. Карауш. – Томск : Издательство ТГАСУ, 2014. – 95 с.

8. СП 296.1325800.2017 Свод правил. Здания и сооружения. Особые воздействия [Текст]. – Введен впервые ; введен 2018-02-04. – Москва : Минстрой России, 2017. – 27 с.

Получено 06.04.2018

А. В. МОИСЕЄНКО, А. С. ВОЛКОВ, Д. В. СУЯРКО
АНАЛІЗ МЕТОДИК ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ВПЛИВУ УДАРНИХ ХВИЛЬ
НА БУДИНКИ І СПОРУДИ
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. У статті розглянуті види впливу вибухових хвиль на будівельні конструкції і їх поведінку. Розглянуто методики визначення основних параметрів навантажень, викликаних дією ударної хвилі внаслідок вибухів.

Ключові слова: ударна хвиля, вибухові впливи на будівельні конструкції, вибухові речовини, імпульс.

ARTEM MOISEENKO, ANDREI VOLKOV, DANIIL SUIARKO
ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE PARAMETERS OF THE
IMPACT OF SHOCK WAVES ON BUILDINGS AND FACILITIES
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

Abstract. The article considers the types of impact of blast waves on building structures and their behavior. Methods for determining the main parameters of loads caused by the action of a shock wave due to explosions are considered.

Key words: shock wave, explosive effects on building structures, explosives, impulse.

Моисеенко Артем Валериевич – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: оценка технического состояния, реконструкция зданий и сооружений.

Волков Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры железобетонных конструкций ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: исследование прочностных и деформативных свойств конструкций из модифицированного высокопрочного бетона, оценка технического состояния и проектирование железобетонных конструкций.

Суярко Даниил Владиславович – студент ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: эксплуатационная надежность строительных конструкций.

Моисеєнко Артем Валерійович – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: оцінка технічного стану, реконструкція будівель і споруд.

Волков Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри залізобетонних конструкцій ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: дослідження міцнісних та деформативних властивостей конструкцій з модифікованих високоміцних бетонів, оцінка технічного стану і проектування залізобетонних конструкцій.

Суярко Данііл Владиславович – студент ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: експлуатаційна надійність будівельних конструкцій.

Moiseenko Artem – student, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: assessment of technical condition, reconstruction of buildings and structures.

Volkov Andrei – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Reinforced Concrete Constructions Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: determination of strength and strain properties of modified high strength concrete structures, estimation of technical state and design of reinforced concrete constructions.

Suiarko Daniil – student, Donbas National Academy of Construction and Architecture. Scientific interests: operational reliability of building structures.