

УДК 623.565.23

ББК 24.54

А. Ю. Сорокин,

Р. А. Файрузов

**КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОДХОДОВ
К ОЦЕНКЕ УСТОЙЧИВОСТИ ОБЪЕКТОВ
ИНФРАСТРУКТУРЫ К ВОЗДЕЙСТВИЮ
ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ВОЗДУШНОЙ
УДАРНОЙ ВОЛНЫ**

*РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОЦИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ*

*НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЯДЕРНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ МИФИ*

Г. МОСКВА

Аннотация: *Статья посвящена проблематике оценки защищенности критически важных объектов инфраструктуры к воздействию поражающих факторов воздушной ударной волны. Приведены результаты критического анализа метода энергетической оценки и последствий взрыва В. Бейкера, а также формулы для определения избыточного давления во фронте ударной волны М. А. Садовского.*

Ключевые слова: *устойчивость, безопасность, защищенность объекта, воздушная ударная волна.*

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время стратегия вооружённых сил в военных конфликтах, помимо уничтожения сил противника, также направлена на социально-экономическую дестабилизацию страны [1]. Одной из задач гражданской обороны является обеспечение нормальной работы организаций, от которых зависит выживание людей во время военных действий или в чрезвычайных ситуациях техногенного или природного характера. Другой не менее важной задачей является содержание и эксплуатация объектов гражданской обороны [2].

Исходя из положений Основ государственной политики Российской Федерации в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года, решение вышеуказанных задач будет осуществляться путём повышения уровня защищенности критически важных объектов [3]. Одним из принципов противодействия терроризму, согласно ФЗ № 35 «О противодействии терроризму», является минимизация последствий террористических проявлений [4]. Данные нормативные акты, актуализируют проблему защиты критически важных объектов инфраструктуры от различных поражающих факторов. Одним из наиболее актуальных поражающих факторов на сегодня, является воздушная ударная волна.

Значимыми параметрами данного поражающего фактора являются избыточное давление во фронте волны P , импульс фазы сжатия i и длительность положительной фазы сжатия $\tau+$ [5]. В работе [6] описан метод оценки состояния объекта при воздействии воздушной ударной волны. Оценка ударного воздействия осуществляется на основе соотношения пороговых нагрузок конструкций и значений поражающих факторов давления P и импульса i при детонации взрывчатых веществ массой m на заданном расстоянии R .

Исходя из этого, задача по оценке защищенности объекта от воздействия ударной волны заключается в следующем.

1. Необходимо рассчитать возможные значения поражающих факторов ударной волны для выбранного сценария, т. е. оценить давление P и i ;

2. Рассчитать характеристики сопротивления объекта к воздействию взрывной нагрузки;

3. Рассчитайте показатель защищенности путём сравнения значений устойчивости после воздействия ударной волны с показателем устойчивости объекта, при котором сохранится его целостность.

Т. е. $q = q(g, g')$, где g — показатель устойчивости объекта, g' — показатель устойчивости объекта, при котором сохраняется его целостность.

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Методы реализации первой и второй задачи, основаны на наработках других учёных, изучавших взрывные процессы и их взаимодействие с различными объектами. К ним относятся:

1. Механическое действие воздушных ударных волн М. А. Садовского. Садовский М. А. был первым учёным, которому удалось создать математический алгоритм определения избыточного давления в фронте воздушной ударной волны. В настоящее время его формулы по-прежнему актуальны и активно используются при решении задач определения мощности взрывного устройства [7].

2. Энергетический метод оценки и последствий взрыва Бейкера У. Данный метод основан на сопоставлении поражающих характеристик воздушной ударной волны с показателями реакции конструкции при воздействии нагрузок [8].

У. Бейкер утверждает, что влияние воздушной ударной волны на конструктивные элементы в большинстве случаев выражается в деформации конструкции на изгиб. Функцию пороговой нагрузки на изгиб У. Бейкер определяет для четырёх типов элементов строительных конструкций: Балки, плиты, ленты и колонны. Для каждого типа структурного элемента, У. Бейкер предлагает формулу для расчёта реакции конструкции на воздействия избыточного давления и импульса ударной волны (Таблица 4).

Таблица 4 – расчётные формулы У. Бейкера для структурных элементов.

Элемент конструкции	Давление	Импульс
Плита	$P_j = \frac{P X^2}{\Phi_p \sigma_y h^2}$	$i_j = \frac{i \sqrt{E}}{\Phi_i \sigma_y \sqrt{p h}}$
Колонна	$P_j = \frac{P A_1 L^2}{a_p EI}$	$i_j = \frac{i A_1 \sqrt{E h}}{a_i \sigma_y \sqrt{m L I}}$
Балка	$P_j = \frac{P b L^2}{M_p \sigma_y Z b L^2}$	$i_j = \frac{i b \sqrt{EI}}{M_p \sigma_y Z \sqrt{p A}}$
Лента	$P_j = \frac{P b L \sqrt{E}}{A \sigma_y \sqrt{\sigma_y^3}}$	$i_j = \frac{i b \sqrt{EI}}{A \sigma_p \sqrt{p b \sqrt{E}}}$

Где:

X – половина короткого пролёта плиты, м;

b – ширина нагруженной стороны плиты, м;

E – Модуль Юнга, Па;

h – полная толщина, м;

σ_y – предел текучести, напряжение, Па;

ρ – плотность материала ленты, кг/м³;

Φ_p и Φ_i – коэффициенты отражающие влияние на реакцию плиты;

A – площадь поперечного сечения балки, м²;

b – ширина балки, м;

I – момент инерции поперечного сечения, м⁴;

L – длина балки, м;

Z – модуль пластического сопротивления, м³;

a_p и a_i – безразмерные коэффициенты для колонн;

M_p и M_i – безразмерные коэффициенты для балок.

В строительной механике, математическая модель деформации на изгиб, выглядит как уравнение изгибающих моментов зоны сжатия и растяжения. Различные строительные материалы, обладают различными показателями сопротивления на сжатие и растяжение. Например, в железобетоне, бетон всегда работает на сжатие, а арматура на растяжение. Уравнение напряжения на соответствующих зонах выглядит следующим образом:

$$R_b \chi b = R_s A_s, \text{ где:} \quad (22)$$

R_b - сопротивление бетона сжатию, а R_s - сопротивление арматуры растяжению.

Анализируя данный момент и сопоставляя его с формулами У. Бейкера, следует вывод, что методика Бейкера не учитывает неоднородность материала конструкции, а потому не применима к большинству типов современных сооружений.

Критический анализ по М. А. Садовскому, проводился путём проверки на его формулы выполнение закона сохранения энергии.

При условиях отсутствия потери энергии, при детонации конденсированного взрывчатого вещества и распространения взрыва в сферической форме, в силу равномерно распределенного движения молекул газа в момент времени от центра взрыва к окружности, тепловая энергия объёма газа, будет равняться механической энергии в случае её приложения к некоторой площади (Рисунок 9).

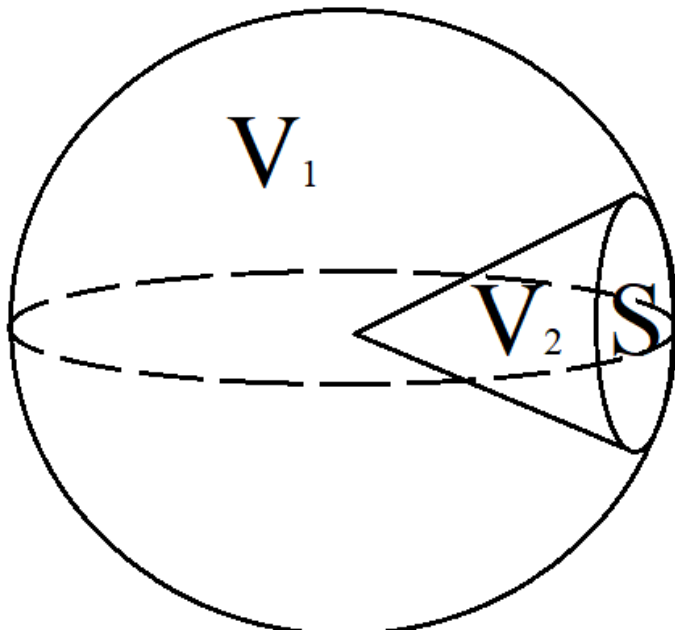


Рисунок 9 – распределение и приложение энергии в сфере взрыва

V_1 - это общий объём сферы взрыва в момент времени. V_2 – это объём участка сферы, который воздействует на площадь S . Расчёты показывают, что

геометрическое отношение объёма сферы V_s к объёму конуса V_c , равняется отношению площади поверхности сферы S_s к площади основания конуса V_c .

$$\frac{V_s}{V_c} = \frac{S_s}{V_c} \quad (23)$$

Так как механическая энергия на площади S , будет проявляться в виде давления P , то зная энергию взрыва Q , возможно определить давление на заданной площади сферы S .

$$P = \frac{Q}{S} \quad (24)$$

Формула М. А. Садовского (формула 24), показывает, какое давление P , создаёт воздушная ударная волна, на расстоянии от центра взрыва R .

$$P = a_1 \frac{m}{R^3} + a_2 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + a_3 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R} \quad (25)$$

Зададим условие, что взрывается 1 кг тротила, с энергией взрыва $Q = 4612$ КДж. В условиях отсутствия потерь, при расширении сферы взрыва, должно наблюдаться ослабление давления на площади в 1 М^2 , при этом энергия на всей площади поверхности сферы, должна оставаться не изменённой. Таким образом, проверим, выполняется ли равенство (формула 23) для любых значений R , а так же является ли энергия константной, при выполнении обратного действия (формула 22).

$$\frac{m Q}{4\pi R^3} = 7 \frac{m}{R^3} + 2.7 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + 0.84 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R} \quad (26)$$

$$Q = \left(7 \frac{m}{R^3} + 2.7 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + 0.84 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R} \right) 4\pi R^3 \quad (27)$$

Ниже представлены результаты расчётов давления для различных R , а так же проверка константности энергии в формуле М. А. Садовского (Таблица 5).

Таблица 5 – результаты проверки формулы М. А. Садовского

R	$7 \frac{m}{R^3} + 2.7 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + 0.84 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R}$	$\frac{mQ}{4 \pi R^3}$	$\left(7 \frac{m}{R^3} + 2.7 \frac{m^{\frac{2}{3}}}{R^2} + 0.84 \frac{m^{\frac{1}{3}}}{R} \right) 4 \pi R^3$
м	Па	Па	Дж
1	802213	36720 3	10075790
5	14514	14668	4557509
7	7726	7494	4754591
10	4315	3672	5419740
15	2426	1632	6856793
25	1284	588	10075790
30	1039	408	11742771
40	752	230	15119844
50	590	147	18525658
70	412	75	25374240

Исходя из результатов, возможно допустить, что формула М. А. Садовского, может содержать в себе ошибку, а следовательно требуется серьёзная проверка её работоспособности и согласование с другими физическими законами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, изложенный в данной статье материал, позволяет серьёзно задуматься о достоверности результатов оценки уровня защищенности для ряда объектов. Ошибка на этапах оценки, в большинстве, случаев влечёт возникновение ошибки в разрабатываемых на основе оценки мероприятиях по повышению уровня защищенности рассматриваемого объекта. Проведение серьёзно исследовательской работы по данному вопросу, способно оказать серьёзно положительное воздействие на вопрос безопасности, который в свою очередь имеет приоритетную важность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулинин В. Н., Епифанова Н. С. Концепция гибридной войны в практике межгосударственного противостояния // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 36 (321). Рр. 53-60.
2. Федеральный закон от 12 февраля 1998 г. № 28-ФЗ. По гражданской обороне.

3. Указ Президента № 12 от 11 января 2018 года. Основы государственной политики в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций на период до 2030 года.
4. Федеральный закон от 06.03.2006 № 35 «О противодействии терроризму», в редакции от 29.03.2019
5. ГОСТ Р 22.0.07-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура повреждающих факторов и их параметры.
6. Мухин В. И., Панин Г. В., Рыбаков А. В., Иванов Е. В. О методике оценки состояния потенциально опасных объектов при воздействии воздушной ударной волны от обычных средств поражения // Научно-образовательные проблемы гражданской защиты. 2017. № 1 (32). Рр. 7-15.
7. Садовский М. А. Механическое воздействие ударно-воздушных волн взрыва по данным экспериментальных исследований. Физика взрыва. Сб № 1. — 1952. — с. 20-110.
8. Бейкер В., Кокс П., Вестин П. Взрывные явления. Оценка и последствия. Перевод с английского Зельдович Я. Б., Гельфанд Б. Е. Москва: МИР. 1986. 319с.