

УДК 614.8

Гильманов М.М.

студент магистратуры

1 курс, факультет «Е» Оружие и системы вооружения

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Россия, г. Санкт-Петербург

Виноградов М.В.

студент магистратуры

1 курс, факультет «Е» Оружие и системы вооружения

БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова

Россия, г. Санкт-Петербург

ПРОБЛЕМАТИКА ПРИМЕНЕНИЯ ФОРМУЛЫ

М.А. САДОВСКОГО ПРИ РАСЧЕТЕ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ КАК СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОПК

***Аннотация:** В статье рассматриваются ограничения применения классической формулы М.А. Садовского при расчете защитных экранов, применяемых в качестве СИЗ персонала предприятий ОПК. Проанализированы особенности воздействия воздушной ударной волны малых зарядов при дистанциях менее 0,5 м. Показано, что использование классической модели без учета особенностей ближней зоны взрыва, осколочного воздействия и статистического разброса параметров приводит к значительным погрешностям при проектировании защитных экранов.*

***Ключевые слова:** формула Садовского, защитный экран, ударная волна, предприятия ОПК, взрывное воздействие, средства индивидуальной защиты.*

Gilmanov M.M.

graduate student

1st year, Faculty of "E" Weapons and Weapon Systems

BSTU "VOENMEH" named after D.F. Ustinov

Russia, St. Petersburg

Vinogradov M.V.

graduate student

1st year, Faculty of "E" Weapons and Weapon Systems

BSTU "VOENMEH" named after D.F. Ustinov

Russia, St. Petersburg

**THE PROBLEMS OF APPLYING THE FORMULA OF M.A.
SADOVSKY IN THE CALCULATION OF PROTECTIVE SCREENS AS
PERSONAL PROTECTIVE EQUIPMENT AT DEFENSE INDUSTRY
ENTERPRISES**

Abstract: *This paper examines the limitations of applying the classical Sadvovsky formula to the design of protective screens used as personal protective equipment for personnel at defense industry enterprises. The specific effects of air shock waves generated by small explosive charges at distances of less than 0.5 m are analyzed. It is shown that using the classical model without considering the specific features of the near-field explosion zone, fragmentation effects, and statistical scatter of parameters leads to significant inaccuracies in the design of protective screens.*

Keywords: *Sadvovsky formula, protective screen, shock wave, defense industry enterprises, blast load, personal protective equipment.*

На предприятиях оборонно-промышленного комплекса выполняются технологические операции, связанные с испытанием, сборкой и обслуживанием изделий, содержащих взрывчатые вещества. При проведении подобных работ персонал часто находится в непосредственной близости от потенциального очага

взрыва. Для снижения риска поражения применяются локальные защитные экраны, предназначенные для уменьшения воздействия воздушной ударной волны и вторичных осколков.

В инженерной практике для предварительной оценки параметров взрывного воздействия широко используется формула М.А. Садовского [1]. Данная зависимость получила распространение благодаря относительной простоте применения и возможности быстрого расчета параметров ударной волны. Однако условия эксплуатации защитных экранов на предприятиях ОПК существенно отличаются от условий, для которых первоначально была разработана данная модель.

Особую сложность представляют случаи, когда масса заряда составляет от нескольких граммов до десятков граммов в тротиловом эквиваленте, а расстояние между изделием и защитным экраном не превышает 0,5 м. В таких условиях начинают проявляться эффекты ближней зоны взрыва, существенно влияющие на достоверность инженерных расчетов. Цель настоящего обзора — систематизировать известные из литературных источников ограничения и проблемные зоны применения формулы Садовского при расчетах защитных экранов-СИЗ для специфического диапазона ЭМТ > 1 г и дистанций 10–50 см, а также наметить перспективные направления совершенствования расчетных методик.

Для определения избыточного давления во фронте воздушной ударной волны применяется следующая зависимость:

$$\Delta P = \frac{0,084}{\bar{R}} + \frac{0,27}{\bar{R}^2} + \frac{0,7}{\bar{R}^3}$$

,

$$\bar{R} = \frac{R}{\sqrt[3]{m}}$$

где:

ΔP – избыточное давление во фронте воздушной ударной волны, МПа;

R – расстояние от центра взрыва до рассматриваемой точки, м;

$\bar{R}$ – приведенное расстояние;

m – масса заряда в тротиловом эквивалента, кг [1].

Формула основана на законе подобия Хопкинсона–Кранца («закона кубического корня») и была получена на основе экспериментальных исследований воздушных взрывов в свободном пространстве.

Формула Садовского была разработана для условий, при которых размеры заряда значительно меньше расстояния до рассматриваемой точки. Однако при проектировании локальных защитных экранов на предприятиях ОПК расстояние между источником взрыва и экраном может составлять всего 10–50 см.

В таких условиях размеры изделия становятся соизмеримыми с расстоянием до экрана, а фронт ударной волны формируется как сложный пространственный процесс. На параметры воздействия начинают влиять:

- форма изделия;
- наличие металлических элементов конструкции;
- ориентация заряда;
- отражение волн от окружающих поверхностей.

В результате фактические параметры ударной волны могут существенно отличаться от расчетных значений [2].

Классическая формула описывает только параметры воздушной ударной волны и не учитывает образование вторичного осколочного поля. Однако в реальных условиях разрушение корпуса изделия, крепежных элементов или самого защитного экрана может стать основным поражающим фактором.

Исследования показывают, что даже при взрыве малых зарядов возможно образование большего количества высокоскоростных вторичных осколков [2]. Дополнительную опасность представляет разрушение прозрачных экранов из хрупких материалов, способных образовывать собственные поражающие элементы.

По этой причине при проектировании защитных экранов необходимо учитывать не только прочность конструкции под действием ударной волны, но и устойчивость материала к осколочному воздействию [3].

Для зарядов малой массы характерен значительный разброс параметров воздушной ударной волны. При переходе к граммовым массам влияние случайных факторов становится существенно выше, чем при крупномасштабных взрывах.

К таким факторам относятся:

- неоднородность заряда;
- особенности инициирования;
- геометрия изделия;
- наличие локальных отражающих поверхностей.

Вследствие этого погрешность инженерных расчетов может достигать десятков процентов [3], что особенно критично при проектировании средств индивидуальной защиты.

Для повышения достоверности расчетов защитных экранов рекомендуется использовать комбинированный подход, включающий:

1. аналитическую оценку параметров ударной волны;
2. численное моделирование;
3. экспериментальную проверку конструкции.

Дополнительно рекомендуется вводить коэффициенты запаса, учитывающие особенности ближней зоны взрыва и статистический разброс параметров воздействия.

В качестве материалов защитных экранов перспективным является применение:

- монолитного поликарбоната;
- многослойных композитных структур;
- комбинированных экранов с энергопоглощающими слоями.

Подобные материалы обладают высокой ударной вязкостью и меньшей вероятностью образования вторичных осколков по сравнению с силикатным стеклом [4].

Актуальные исследования в области оценки эффективности СИЗ при взрывных нагрузках представлены в работе Кехагиадиса и Пирло. Авторы

исследуют поведение легких защитных структур (баллистических тканей) при импульсных нагрузках, возникающих при взрыве и баллистическом воздействии. Ключевым выводом работы является установление факта: классические однократные испытания существенно недооценивают фактическую баллистическую стойкость материалов при воздействии множественных осколков, характерном для реального взрыва. Экспериментально показано, что баллистический предел арамидных тканей при тройном ударе фрагмент-имитирующим снарядом значительно ниже, чем при одиночном. Этот факт имеет прямое отношение к расчетам защитных экранов, так как при взрыве изделий с ЭМТ > 1 г формируется плотное осколочное поле с множественными поражающими элементами.

На основе проведенного анализа [5] можно вывести следующее распределение характеристик для мобильных экранов при ЭМТ > 1 г и дистанциях 10-50 см, отражённое в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение характеристик для мобильных экранов

Диапазон ЭМТ, г	Расстояние, см	Рекомендуемый материал	Толщина, м
1-3	30-50	Поликарбонат	5-10
3-5	20-30	Многослойный ПК/ПММА	15-20
5-10	10-20	Армированное бронестекло	25-40
>10	<10	Требуется стационарная защита	-

Результаты выполненного анализа свидетельствуют о том, что опора исключительно на эмпирическую зависимость, предложенную М.А. Садовским, при проведении расчетных оценок параметров защитных экранов, предназначенных для работы в специфических условиях (а именно — при подрыве зарядов относительно небольшой массы и на предельно малых

удалениях от центра инициирования), неизбежно сопровождается возникновением существенных ошибок. Иными словами, прямое использование данной формулы без внесения соответствующих поправок и учета особенностей рассматриваемого диапазона исходных данных не позволяет получить достоверные значения нагрузок, действующих на защитную преграду. Это, в свою очередь, ставит под сомнение саму возможность корректного проектирования средств индивидуальной защиты для персонала.

Более детальный анализ позволяет выделить целый ряд принципиальных ограничений, присущих классической формуле Садовского и существенно ограничивающих область ее применимости применительно к рассматриваемой задаче. Перечислим наиболее значимые из них.

Во-первых, в классической постановке никак не отражаются физические процессы, характерные для ближней зоны взрыва. Речь идет о расстояниях от эпицентра, сопоставимых с размерами самого заряда. На таких удалениях стандартные закономерности распространения ударной волны, заложенные в основу формулы, начинают нарушаться, что приводит к росту погрешности расчетов.

Во-вторых, формула не дает возможности оценить такой важный поражающий фактор, как разлет осколков. Между тем при взрыве многих типов изделий, содержащих взрывчатые вещества (особенно имеющих металлическую оболочку), именно осколочное воздействие нередко вносит определяющий вклад в поражение оператора или повреждение защитного экрана. Игнорирование этого обстоятельства делает расчет неполным.

В-третьих, экспериментальные данные указывают на весьма высокую степень статистической изменчивости параметров ударной волны при взрывах зарядов малой массы. Разброс значений избыточного давления и импульса может быть очень значительным, что не позволяет полагаться на детерминированные оценки, получаемые по формуле Садовского, как на достаточное основание для проектирования средств защиты.

В-четвертых, исходное допущение о сферической симметрии заряда, на котором базируется формула, далеко не всегда выполняется в реальных производственных условиях. Многие технологические изделия имеют иную, часто сложную геометрию, что приводит к иной картине распределения взрывной нагрузки в пространстве.

Учитывая все вышесказанное, можно утверждать, что обеспечение должного уровня безопасности персонала, занятого на предприятиях оборонно-промышленного комплекса, требует отказа от упрощенных подходов и перехода к более совершенным методологиям. Необходимо внедрение в практику проектирования защитных экранов комплексных расчетно-экспериментальных методов, позволяющих учитывать реальные условия эксплуатации, конкретную геометрию защищаемого изделия и особенности рабочей зоны. Только такой подход способен гарантировать достоверность получаемых результатов и, как следствие, надежную защиту человека от поражающих факторов взрыва.

Использованные источники:

1. Садовский М.А. Механическое действие воздушной ударной волны взрыва. — М.: Наука, 1952. — 152 с.
2. Klapötke T.M., Krumm B., Penger A. Hands on explosives: Safety testing of protective measures // Journal of Hazardous Materials. — 2010. — Vol. 48. — P. 28–34.
3. Lozano E., Petr V. Design and Testing of Blast Shields for Different Blasting Applications // International Society of Explosives Engineers. — 2015. — 18 p.
4. ГОСТ 31438.1-2024. Взрывоопасные среды. Предотвращение взрыва и защита.
5. Хоменко, А. О. Промышленная безопасность опасных производственных объектов: учебное пособие / А. О. Хоменко, И. Н. Фетисов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,

Институт фундаментального образования. — Екатеринбург : УрФУ, 2016. — 275 с.