

УДК 614.839

Фан Туан Ань (Вьетнам)(Московский государственный строительный университет;
e-mail: ptuananh26789@gmail.com)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ ОТ ВЗРЫВОВ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ

Приводится общая методология определения эффективности защитных ограждений от взрывных устройств террористической направленности. Дан пример использования разработанной методологии для выработки наиболее оптимального решения по защитным ограждениям для конкретного объекта.

Ключевые слова: защитные экраны, взрыв, давление, воздушная ударная волна, вероятность поражения человека.

Защитные экраны (ограждения) используются в местах массового скопления людей для снижения вероятности поражения человека **взрывными устройствами (ВУ)**, используемыми в террористических целях. Для оценки эффективности **защитных экранов (ЗЭ)** необходимо заранее определиться со следующими исходными данными: вес в тротиловом эквиваленте **взрывчатого вещества (ВВ)** во взрывном устройстве; защищаемую территорию и допустимую вероятность поражения человека на защищаемой территории.

Существующие методы оценки параметров защитных экранов основаны на определении интегральных характеристик, описывающих их проницаемость и отражающую способность для волновых возмущений (ударных волн, волн сжатия и так далее). Поэтому они малоинформативны при определении защитных свойств экранов, предназначенных для защиты населения в местах массового скопления людей, где защите подлежат конкретные территории.

К основным поражающим факторам взрывных устройств следует отнести: **воздушную ударную волну (ВУВ)**, сопровождающую взрыв; разлёт осколков и фрагментов ВУ; значительные тепловые нагрузки вблизи взрыва; вторичные поражающие факторы, связанные с разрушением конструкций вблизи места взрыва. В данной статье рассматривается вопрос об оптимальных геометрических параметрах защитных экранов с точки зрения обеспечения защиты людей от ВУВ. Прочностные характеристики и эффективность экрана для защиты от осколков в данной статье не рассматриваются. Поэтому при проведении расчётов предполагается, что рассматриваемые экраны жёсткие и устойчивы к воздействию взрыва.

Рассмотрим особенности расчёта эффективности защитных экранов на примере защиты территорий, находящихся вне автомобильной стоянки, от воздушных ударных волн, формирующихся при взрывах зарядов, которые могут находиться в легковом автомобиле на стоянке.

В качестве источника угрозы принято, что при доставке взрывного устройства на автомобиле максимальная масса **взрывчатого вещества (ВВ)** в **протиловом (ТНТ – Тринитротолуол)** эквиваленте не может превышать 50 кг. Предполагается, что при визуальном досмотре автомобиля доставка зарядов большей массы может быть исключена. Принимается, что данная масса ВВ компактно уложена и при взрыве не расходует энергию на вскрытие тайников (например, скрытые полости автомобиля, его багажник и т.д.). То есть принимается, что на территории стоянки максимально может сформироваться воздушная ударная волна, которая создаётся при надземном взрыве 50 кг компактно уложенного ТНТ, расположенного в открытом пространстве.

Для определения эффективности защитного экрана необходимо определить параметры воздушной ударной волны. Для свободного пространства параметры ВУВ можно определять по эмпирическим соотношениям [1], а для загромождённого пространства (имеются защитные экраны на пути ВУВ) необходимо использовать численные методы расчёта. В используемой автором численной схеме предполагается, что на границе произвольной расчётной ячейки происходит распад произвольного разрыва. Давление и скорость среды в месте распада разрыва определяются из решения задачи о распаде произвольного разрыва, то есть используется известный и признанный во всём мире метод Годунова [2, 3].

Располагая временными зависимостями ВУВ во всех точках пространства, можно определить вероятность того или иного события: полного разрушения зданий; среднего разрушения зданий; гибели людей; разрыва барабанных перепонок; отброса человека ВУВ и т.д. [4].

Вероятность поражения человека определялась по известным соотношениям, использующим пробит-функцию. Значение пробит-функции, определяющей вероятность достижения того или иного ущерба (в данном случае вероятность поражения человека), равно:

$$Pr_1 = 5 - 0,26 \cdot \ln V_1, \quad (1)$$

где безразмерный фактор V_1 равен:

$$V_1 = \left(\frac{17500}{P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I} \right)^{9,3}, \quad (2)$$

где P – максимальное давление в ВУВ, Па;

I – импульс фазы сжатия в ВУВ, Па·с [5-8].

Рассмотрим результаты расчёта для первой схемы расположения ВВ и габаритов ограждения (**Вариант 1**).

Принято, что заряд ВВ располагается в точке с координатой $y = 1,8$ м. Первое ограждение высотой 1,5 м находится на расстоянии 1,2 м от заряда ($y = 3$ м). Данное ограждение должно разрушать ВУВ на начальной стадии и выполнять функцию перехвата возникающих при взрыве осколков. Второе ограждение высотой 4,5 м находится на расстоянии 7,2 м от заряда ($y = 9$ м). Второе ограждение должно обеспечить снижение интенсивности ВУВ до приемлемого (безопасного) уровня на внешней к ограждению территории, то есть вне стоянки.

В первом варианте расположения ограждений предполагается, что пространство между первым и вторым ограждением будет использоваться только для проезда автомобилей на парковку. При этом варианте расположения защитных экранов стоянка автомобилей будет осуществляться только за первым ($H = 1,5 \text{ м}$) ограждением.

На рис. 1 приведены изолинии равного давления взрыва в рассматриваемой области при первом варианте ограждения. Кроме этого на рис. 1 приведено расположение ВВ, показаны ограждения и отмечены точки вывода временных зависимостей избыточного давления взрыва $P(t)$.

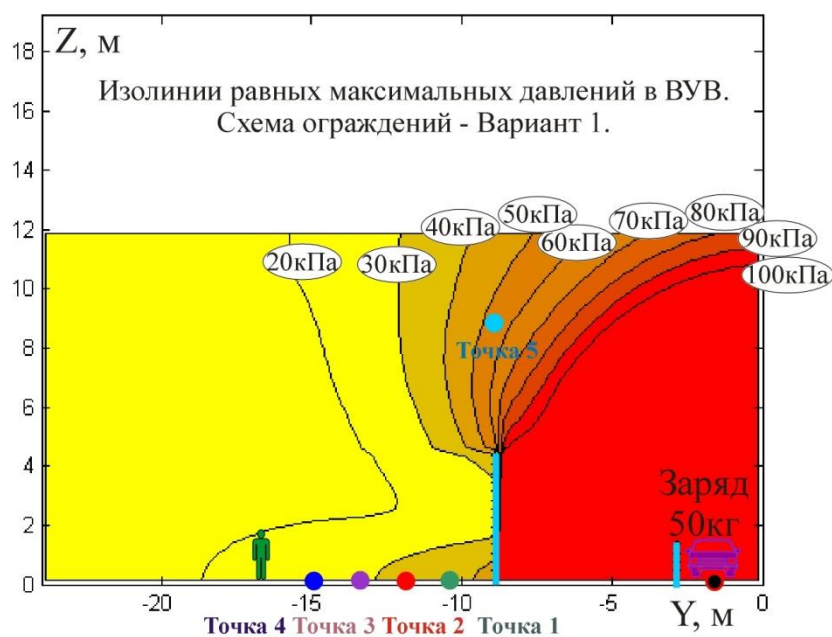


Рис. 1. Изолинии равного давления в ВУВ.
Вариант 1

Из приведённого рисунка видно, что ограждение значительно снижает уровни ВУВ вне парковки. Количественное ослабление ВУВ иллюстрирует рис. 2, где приведено отношение максимальных уровней ВУВ при наличии ограждения к максимальным уровням ВУВ в свободном пространстве, то есть без ограждения.

Видно, что непосредственно за ограждением параметры ВУВ снижаются в 5 раз, так как отношение максимальных уровней ВУВ при наличии ограждения к максимальным уровням ВУВ в свободном пространстве составляет менее 20 %.

Приведём уровни максимальных давлений в ВУВ в точках 1-5: 37,2; 32,6; 29,0; 25,9; 54,3 кПа .

Уровни максимальных давлений в ударной волне для тех же точек 1-5, но при отсутствии защитных ограждений соответственно равны: 134,6; 96,7; 73,7; 58,6; 78,9 кПа . Вероятности поражения человека в точках 1-5, определённые по соотношениям (1) и (2), имеют следующие значения: 69,5; 52,7; 36,8; 24,8; 40,7 %.

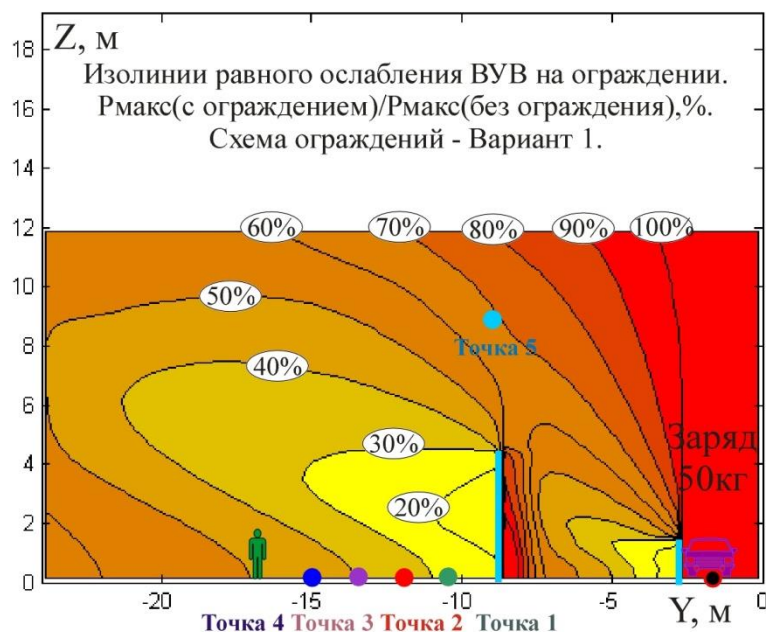


Рис. 2. Изолинии равного ослабления ВУВ на ограждении.
Вариант 1

На рис. 3 приведены изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ при наличии ограждения по первому варианту. Вероятности поражения человека в точках 1-5, определённые по соотношениям (1) и (2), имеют следующие значения: 0; 0; 0; 0; 12,6 %.

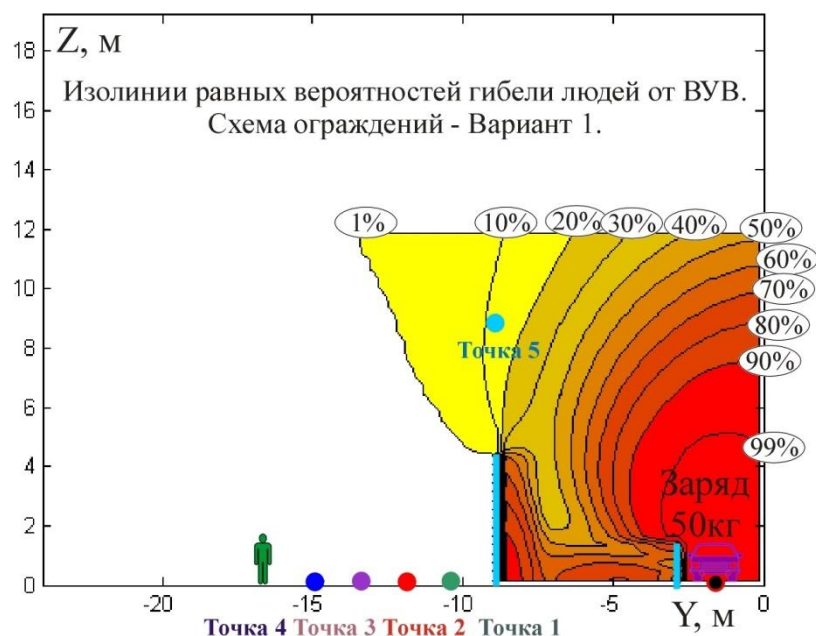


Рис. 3. Изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ.
Вариант 1

Таким образом, расчёты показали, что вероятность поражения людей вне парковки при использовании защитных экранов по варианту 1 будет близка к нулю. Данный тип ограждения может быть использован в местах, предполагающих широкий (6 м и более) проезд для транспорта, то есть данная конструкция ограждения ограничивает использование парковочного пространства.

Рассмотрим эффективность защитных ограждений для ситуации, когда стоянка автомобилей должна быть расположена ближе к ограждению. Был рассмотрен второй вариант планировки ограждений, который предполагает, что расстояние между зарядом ВВ и ограждением 4,2 м, то есть между припаркованным автомобилем и ограждением проезд составляет всего 3 м. Ограждение одно и его высота равна 4 м.

Рассмотрим результаты расчёта для второй схемы расположения ВВ и габаритов ограждения (**Вариант 2**). На рис. 4 приведены изолинии равного давления взрыва в рассматриваемой области при втором варианте ограждения.

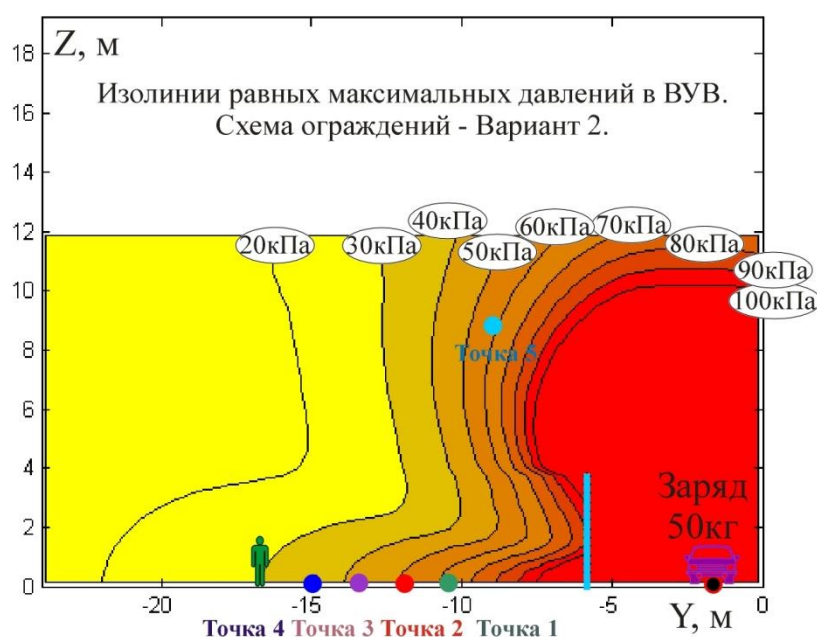


Рис. 4. Изолинии равного давления в ВУВ.
Вариант 2

Из приведённого рисунка видно, что ограждение хотя и снижает уровни ВУВ вне парковки, но их численные значения достаточно велики. Количественное ослабление ВУВ иллюстрирует рис. 5.

На рис. 5 приведено отношение максимальных уровней ВУВ при наличии ограждения к максимальным уровням ВУВ в свободном пространстве, то есть без ограждения.

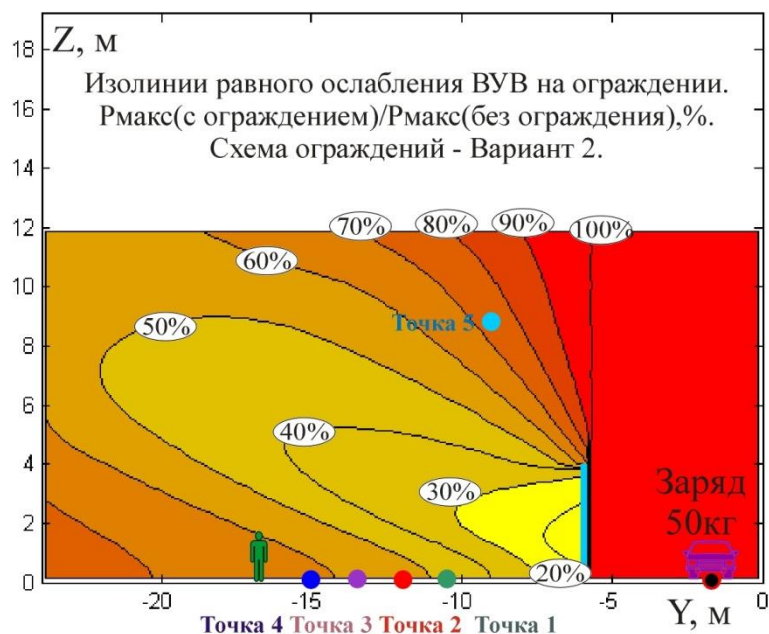


Рис. 5. Изолинии равного ослабления ВУВ на ограждении.
Вариант 2

Значительные уровни давления вне парковки приводят к увеличению вероятности гибели людей при взрыве ВВ на территории парковки.

На рис. 6 приведены изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ при наличии ограждения по второму варианту.

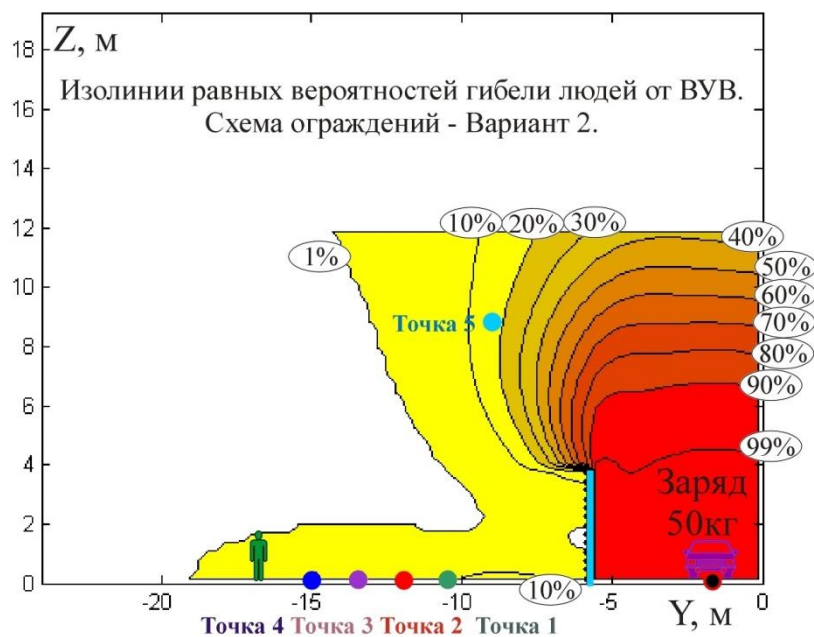


Рис. 6. Изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ.
Вариант 2

Из приведённого рисунка следует, что вероятность поражения людей вне парковки на расстояниях 15-20 м от ограждения будет более 1 %, а в некоторых местах будет доходить до 10 %, что неприемлемо с точки зрения взрывобезопасности.

Уровни максимальных давлений в ВУВ при использовании ограждения по варианту 2 для точек 1-5 соответственно равны: 63,7; 51,6; 42,7; 36,0; 59,1 кПа. Вероятности поражения человека в этих же точках 1-5 (при втором варианте ограждения) имеют следующие значения: 9,6; 7,2; 4,8; 3,2; 17,4 %.

Для большего снижения взрывного давления вне парковки можно при тех же его габаритах расположить ограждение под углом к горизонту (сделать наклонным). Вылет верхней точки должен составлять 1,5 м (**Вариант 3**).

На рис. 7 приведены изолинии равного давления взрыва в рассматриваемой области при третьем варианте ограждения.

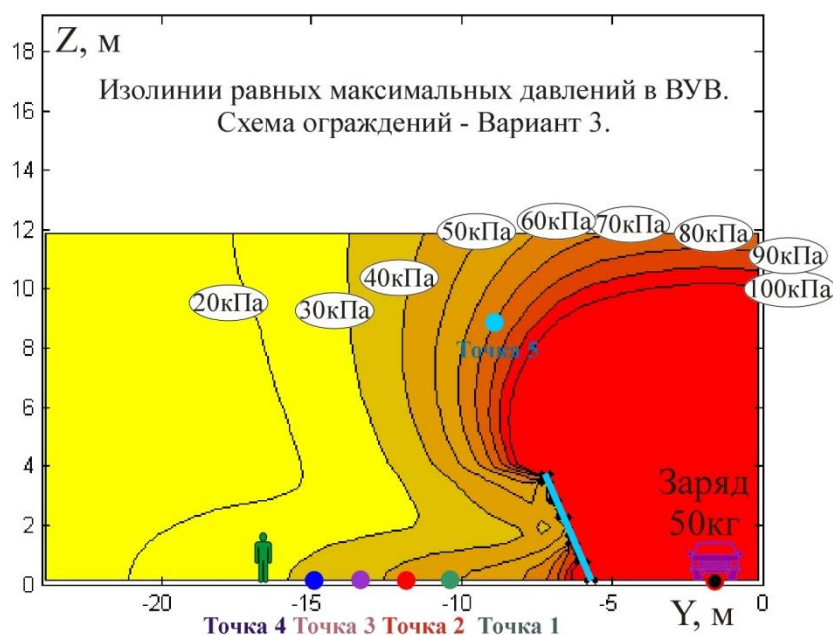


Рис. 7. Изолинии равного давления в ВУВ.
Вариант 3

Из приведённого рисунка видно, что незначительный наклон ограждения приводит к некоторому отражению ВУВ вверх, что снижает уровни ВУВ вне парковки.

Кроме этого, при наклонном расположении ограждения на него снижается ударная нагрузка, а конструкция опор более устойчива к ударным нагрузкам.

На рис. 8 приведены изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ при наличии ограждения по третьему варианту. Из приведённых на рис. 8 данных следует, что вероятность поражения людей вне парковки на расстояниях 10-12 м от ограждения снижается до 1 %.

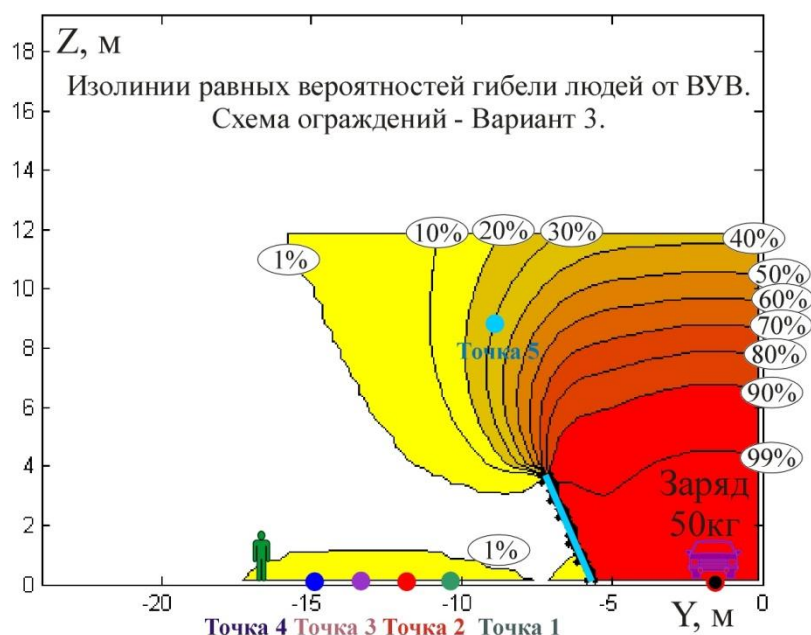


Рис. 8. Изолинии равных вероятностей поражения человека ВУВ.
Вариант 3

Уровни максимальных давлений в ВУВ при использовании ограждения по варианту 3 для точек 1-5 соответственно равны: 48,9; 43,0; 37,5; 32,6; 70,6 *кПа*. Вероятности поражения человека в этих же точках 1-5 (при третьем варианте ограждения) имеют следующие значения: 2,8; 3,0; 2,5; 1,9; 30,7 %.

Остановимся на **процедуре выбора необходимой схемы защитных сооружений** для рассматриваемой ситуации.

Как следует из приведённых расчётов, снижение вероятности поражения человека за ограждением до нуля приводит к определённым трудностям в использовании парковочных площадей и к определённым затратам при строительстве ограждений (Вариант 1). При этом заранее неизвестны параметры взрывного устройства и вероятность его появления на стоянке. Поэтому использовать тот или иной вариант защитного ограждения следует из соображений наличия в возможных зонах поражения людей. Например, если в зоны поражения попадают людские потоки, то имеет смысл использовать более затратный, но, соответственно, значительно более эффективный первый вариант планировки ограждений. В противном случае следует использовать ограждение по третьему варианту.

Выводы

Приведена общая методология определения эффективности защитных ограждений от взрывных устройств террористической направленности.

Приведён пример использования разработанной методологии для выработки наиболее оптимального решения по защитным ограждениям для конкретного объекта.

Литература

1. Садовский М.А. Механическое действие воздушных ударных волн взрыва по данным экспериментальных исследований // В кн. Физика взрыва. № 1. М.: изд. АН СССР, 1952.
2. Численное решение многомерных задач газовой динамики / Под ред. С.К. Годунова. М. Наука. 1976. 400 с.
3. Комаров А.А. Прогнозирование нагрузок от аварийных дефлаграционных взрывов и оценка последствий их воздействия на здания и сооружения: дисс. д-ра техн. наук. М.: МГСУ, 2001. 460 с.
4. Комаров А.А., Бажина Е.В. Определение параметров динамических нагрузок от аварийных взрывов, действующих на здания и сооружения взрывоопасных производств // Вестник МГСУ. 2013. № 12. С. 14-19.
5. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings // MATEC Web of Conferences. Vol. 86. Art. no. 04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029. <https://www.matec-conferences.org>.
6. Фан Туан Ань, Ковалевская С.А., Комаров А.А. Оценка эффективности ограждений для защиты от взрывов // Строительство – формирование среды жизнедеятельности: сб. трудов XX Международной межвузовской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых учёных. М.: МГСУ, 2017. С. 549-550.
7. Комаров А.А., Фан Туан Ань, Беликов А.К. Методика расчёта динамических параметров волновых потоков, формирующихся при дефлаграционных взрывах в атмосфере // Технологии техносферной безопасности. Вып. 2 (72). 2017. С. 33-41. <http://academygps.ru/ttb>.
8. Хуснутдинов Д.З., Мишуев А.В., Казеннов В.В., Комаров А.А., Громов Н.В. Аварийные взрывы газоздушных смесей в атмосфере. М.: НИУ МГСУ, 2014. 80 с.

Статья поступила в редакцию интернет-журнала 20 июля 2017 г.

Phan Tuan Anh (Vietnam)

DETERMINATION OF EFFECTIVENESS OF PROTECTIVE SCREENS FROM EXPLOSIONS OF TERRORIST NATURE

Protective screens (fences) are used in public places to reduce the probability of human injury by explosive devices used for terrorist purposes.

Existing methods for estimating the parameters of protective screens are based on the determination of integral characteristics describing their permeability and reflectivity for wave disturbances (shock waves, compression waves, etc.). Therefore, they are not very informative in determining the protective properties of screens designed to protect the public in places of mass congestion where specific territories are protected.

The article provides a general methodology for determining the effectiveness of protective fence against explosive devices of a terroristic nature. It also presents an example of using the developed methodology to create a more optimal solution for protective fence for a particular enclosure.

Key words: protective fences, explosion, pressure, blast shock wave, probability of human casualty.

References

1. Sadovsky M.A. *Mehanicheskoe dejstvie vozdukhnykh udarnykh voln vzryva po dannym jeksperimental'nyh issledovanij* [The mechanical impact of air shock waves of the explosion according to experimental studies – in the book "Fizika vzryva", No. 1]. Moscow, Academy of Sciences of the USSR Publ., 1952.

2. *Chislennoe reshenie mnogomernykh zadach gazovoj dinamiki* [Numerical solution of multidimensional problems of gas dynamics. Ed. by Godunov S.K.]. Moscow, Science Publ., 1976, 400 p.

3. Komarov A.A. *Prognozirovanie nagruzok ot avarijnykh deflagracionnykh vzryvov i ocenka posledstvij ih vozdejstvija na zdanija i sooruzhenija* [Predicting loads from emergency deflagration explosions and evaluation the consequences of their impact on buildings and structures. Grand PhD in Tech. Sci. diss.]. Moscow, 2001, 460 p.

4. Komarov A.A., Bazhina E.V. Determining the dynamic load caused by accidental explosions affecting buildings and structures of hazardous areas. *Vestnik MGSU*, 2013, № 12, pp. 14-19. (in Russ.).

5. Lyapin A., Korolchenko A., Meshalkin E. Expediency of application of explosion-relief constructions to ensure explosion resistance of production buildings. (2016) MATEC Web of Conferences, vol. 86, art. no. 04029. DOI: 10.1051/mateconf/20168604029. <https://www.matec-conferences.org>.

6. Phan Tuan Anh, Kovalevskaya S.A., Komarov A.A. *Ocenka jeffektivnosti ograzhdenij dlja zashhity ot vzryvov* [Evaluation of the effectiveness of fences for protection against explosions]. Proceedings of the XX International Interuniversity Scientific and Practical Conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists "Stroitel'stvo – formirovanie sredy zhiznedejatel'nosti", Moscow, Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2017, pp. 549-550.

7. Komarov A.A., Phan Tuan Anh, Belikov A.K. Method for calculating the dynamic parameters of wave flows during deflagration explosions in the atmosphere. *Tehnologii tehnosfernoj bezopasnosti*, vol. 2 (72), 2017, pp. 33-41. (in Russ.).

8. Husnutdinov D.Z., Mishuev A.V., Kazennov V.V., Komarov A.A., Gromov N.V. *Avarijnye vzryvy gazovozdukhnykh smesej v atmosfere* [Accidental explosions of gas-air mixtures in atmosphere]. Moscow Moscow State University of Civil Engineering Publ., 2014, 80 p.