

УДК 699.8

## ОБЩАЯ ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ВЫБОРА РЕШЕНИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕНИЯ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

Воскобоев В.Ф., Рыбаков А.В., Иванов Е.В.

Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (Химки, Россия)

В статье в формализованном виде изложена постановка задачи выбора решений по повышению защищенности объектов жизнеобеспечения населения к воздействию воздушной ударной волны. Представлен алгоритм решения задачи. Основу алгоритма составляет многофакторная модель оценки защищенности объекта к воздействию ударной волны. Особенностью рассматриваемого алгоритма является учет особенностей ударно-волнового воздействия, конструктивных особенностей объекта жизнеобеспечения. Разработанная многофакторная модель позволяет осуществлять выбор мероприятий по повышению защищенности объектов экономики с учетом вклада независимых друг от друга управляемых параметров. Приведен пример расчета для блочной комплектной трансформаторной подстанции полной заводской готовности в железобетонной оболочке.

**Ключевые слова:** показатель защищенности, объект жизнеобеспечения, многофакторная модель, воздушная ударная волна.

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-79-87

В [1-3] были рассмотрены подходы и предложены решения для оценки защищенности объектов строительства различного назначения. В качестве оценки использовался подход, основанный на применении энергетических методов оценки воздействия ударно-волновой нагрузки на опасные производственные объекты. Из предложенного подхода вытекает возможность за счет выбора характеристик элементов конструкции объекта влиять на величину показателя защищенности. Вместе с тем, в указанных работах отсутствует общий подход к оценке мероприятий, направленных на повышение защищенности объекта. Особенно актуальным решением такой задачи становится при рассмотрении объектов жизнеобеспечения населения в условиях возрастающей террористической опасности.

Целью настоящей работы является формулировка задачи выбора решений, направленных на повышение защищенности объектов жизнеобеспечения населения к воздействию воздушной ударной волны.

### **Постановка задачи.**

При действии террористических формирований одной из групп объектов, на которые будет оказываться воздействие, являются объекты жизнеобеспечения населения. Такие воздействия могут быть результатом террористических актов как с применением самодельных взрывных устройств, так и табель-

ных средств поражения, оказавшихся в руках террористических групп. Далее будет рассматриваться сценарий, связанный с воздействием самодельных взрывных устройств.

При сделанных допущениях станут видны пути повышения защищенности объектов жизнеобеспечения населения от воздействия воздушной ударной волны. Имеется принципиально два пути решения задачи повышения защищенности [4].

Первый из них связан с изменением собственных характеристик конструктивных элементов, составляющих объект – использование более высокопрочных марок бетона, изменение характеристик армирования железобетона, выбор структур конструкций оптимальных с точки зрения повышения защищенности.

Второй путь связан с созданием внешних преград, применение которых должно уменьшить или полностью исключить воздействие поражающих факторов.

Исследование мероприятий по повышению защищенности как первым, так и вторым путями может ограничиваться рядом факторов, самым существенным из которых является выделенные ресурсы. Поэтому общая формулировка задачи может приниматься и как сочетание возможных мероприятий обоих направлений повышения защищенности, и как снижение затрачиваемых при этом ресурсов.

Рассмотрим объект жизнеобеспечения населения, который характеризуется:

- соответствующими основными конструкторскими объектами;
- набором возможных мер по изменению характеристик объекта;
- набором средств, обеспечивающих их возможную защиту, а также характеристиками этих средств;

$$\Psi = \Psi(X, E, h, \sigma_y, \rho, A, b, I, L, Z, \Phi_p, \Phi_i, \alpha_p, \alpha_i, \psi_p, \psi_i), \quad (1)$$

где  $X$  – половина короткого пролета плиты, м;  $E$  – модуль Юнга, Па;  $h$  – полная толщина, м;  $\sigma_y$  – предел текучести, Па;  $\rho$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – площадь поперечного сечения балки, м<sup>2</sup>;  $b$  – ширина балки, м;  $I$  – момент инерции поперечного сечения, м<sup>4</sup>;  $L$  – длина балки, м;  $Z$  – модуль пластического сопротивления, м<sup>3</sup>;  $\Phi_p, \Phi_i, \alpha_p, \alpha_i, \psi_p, \psi_i$  – безразмерные коэффициенты.

Для разрушаемых преград показатель защищенности описывается функцией  $\Delta$  от набора следующих величин:

$$\Delta = \Delta(h, \rho), \quad (2)$$

где  $h$  – толщина разрушаемой преграды, м;  $\rho$  – плотность материала разрушаемой преграды, кг/м<sup>3</sup>.

Каждая из указанных в (1) и (2) величин ограничена своим минимальным и максимальным значениями и изменяется в интервале  $[\alpha_{\min}; \alpha_{\max}]$ .

Введем соответствующие значения ресурсов на реализацию мер по повышению защищенности:

- для соответствующих характеристик в виде стоимости  $i$ -го мероприятия  $C(\Psi_i)$ ,  $i = 1 \dots I$ ;
- для защитных средств (разрушаемых преград) затраты на  $j$ -е средство  $C(\Delta_j)$ ,  $j = 1 \dots J$ .

Каждый из множества вариантов реализации террористического акта  $\{\theta\}$  характеризуется следующими величинами: избыточным давлением воздушной ударной волны  $P$ , Па; импульсом воздушной ударной волны  $i$ , Па·с.

Показатель защищенности можно представить в виде

$$K_z = F[\{\Psi(X_1)\}; \{\Delta(X_2)\}; \{\theta\}].$$

- затратами, связанные с выполнением изложенных в подходах мероприятий, направленных как на изменение характеристик объекта, так и на построение разрушаемых преград.

Повышение устойчивости функционирования за счет изменения соответствующих характеристик объекта описывается функцией  $\Psi$  от набора следующих величин:

Рассматривая более подробно параметры, указанные в (1) и (2), следует отметить, что их можно представить в виде двух совокупностей. Соответственно для набора  $\Psi$  имеется совокупность  $\{X_1\}$  и показатель  $K_1$ , для набора  $\Delta - \{X_2\}$  и  $K_2$ . Параметры, входящие в  $\{X_1\}$  и  $\{X_2\}$ , являются изменяемыми и могут быть использованы для изменения величины показателя защищенности. С учетом сказанного:

$$\Psi = \{\Psi[\{X_1\}_i, K_1]\}, \quad i = 1 \dots I;$$

$$\Delta = \{\Delta[\{X_2\}_j, K_2]\}, \quad j = 1 \dots J.$$

Затраты представим в виде:

$$C(\Psi_i) = C[\{X_1\}_i, K_1], \quad i = 1 \dots I;$$

$$C(\Delta_j) = C[\{X_2\}_j, K_2], \quad j = 1 \dots J.$$

Для заданных изменяемых параметров задача выбора мероприятий по защите объектов жизнеобеспечения примет вид:

выбрать такие наборы  $\{X_1\}^*$ ,  $\{X_2\}^*$ , при которых:

$$K_z = F[\Psi[\{X_1\}^*, K_1]; \Delta[\{X_2\}^*, K_2]; \{\theta\}] = \max F[\Psi[\{X_1\}_i, K_1]; \Delta[\{X_2\}_j, K_2]; \{\theta\}] \quad (3)$$

при условии

$$C = C[\{X_1\}_i, K_1] + C[\{X_2\}_j, K_2] \leq C_{\text{дон}}. \quad (4)$$

**Решение.**

Для получения решения задачи (3) при ограничениях (4) требуется определить вид функции  $F$ . Для этого воспользуемся формулой нахождения значений показателя защищенности, предложенной в [2]:

$$K_z = \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max}}{\langle P \rangle_p \langle i \rangle_p}, \quad (5)$$

где  $\langle P \rangle_p$  – рассчитанное значение приведенного давления;  $\langle i \rangle_p$  – рассчитанное значение приведенного импульса;  $\langle P \rangle_{\max}$  – асимптотическое значение приведенного давления;  $\langle i \rangle_{\max}$  – асимптотическое значение приведенного импульса.

Значения  $\langle P \rangle_p$  и  $\langle i \rangle_p$  могут быть выражены через характеристики  $\{X_1\}$  и  $\{X_2\}$  соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Формулы расчета приведенных давления и импульса для основных типов конструктивных элементов [5]

Элемент конструкции	Формулы для расчета	
	безразмерного давления	безразмерного импульса
Плита	$\langle P \rangle = \frac{PX^2}{\Phi_p \sigma_p h^2}$	$\langle i \rangle = \frac{i\sqrt{E}}{\Phi_i \sigma_y \sqrt{\rho h}}$
Колонна	$\langle P \rangle = \frac{PA_1 XL}{\alpha_p EI}$	$\langle i \rangle = \frac{iA_1 h \sqrt{E}}{\alpha_i \sigma_y \sqrt{mLI}}$
Балка	$\langle P \rangle = \frac{PbL^2}{\Phi_p \sigma_y ZbL^2}$	$\langle i \rangle = \frac{ib\sqrt{EI}}{\Phi_i \sigma_y Z \sqrt{\rho A}}$
Лента	$\langle P \rangle = \frac{PbLE^{0,5}}{A\sigma_y^{2,5}}$	$\langle i \rangle = \frac{ib\sqrt{E}}{A\sigma_y b \sqrt{\rho E}}$

Снижение давления за разрушаемой преградой в зависимости от плотности материала преграды и ее толщины описывается изображенной на рис. 1 зависимостью [6]

$$(\Delta p / \Delta p_0) \sim (\rho h / R_0),$$

где  $\Delta p$ ,  $\Delta p_0$  – избыточное давление воздушной ударной волны за преградой и перед преградой соответственно;  $R_0$  – эффективный радиус заряда.

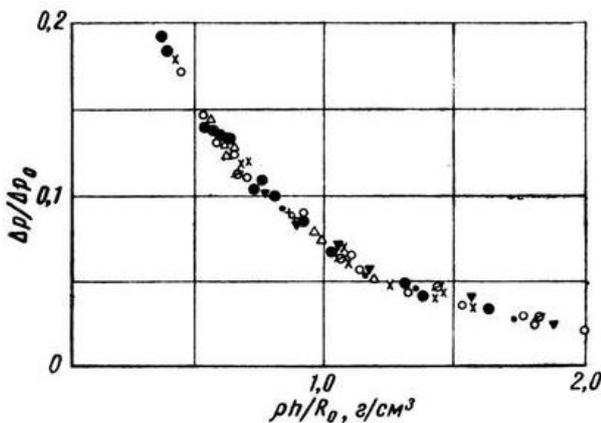


Рис. 1. Зависимость  $(\Delta p / \Delta p_0)$  от  $(\rho h / R_0)$  [6]

В качестве допущения примем, что для импульса указанная зависимость также будет справедлива. Подставляя значения из табл. 1 в (5), например, для плиты, получим:

$$K_{zX_1} = \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max}}{i\sqrt{E}} \times \frac{PX^2}{\Phi_p h^2 \sigma_y} =$$

$$= \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max} \Phi_i \Phi_p h^3 \sigma_y^2 \sqrt{\rho}}{PiX^2 \sqrt{E}}. \quad (6)$$

Учитывая зависимость  $P$  и  $i$  от свойств разрушаемых преград (рис.1), в случае их применения, получим:

$$K_{zX_2} = \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max} \Phi_i \Phi_p h^3 \sigma_y^2 h_{\text{прегр}}^2 \rho_{\text{прегр}}^2 \sqrt{\rho}}{3600 P_0 R_0^2 i_0 X^2 \sqrt{E}}.$$

Значения  $\langle P \rangle_{\max}$  и  $\langle i \rangle_{\max}$  берутся из графиков [5]. Выражение (6) определяет вид функции  $F$  в (3).

Дальнейшие пути решения задачи сводятся к следующему: на первом этапе определяется, какой из путей (1 или 2) является более эффективным. Для получения конкретных решений определяются значения характеристик в наборах  $\{X_1\}$  и  $\{X_2\}$ . Например, из всего пути (1) в качестве мероприятий выбираются меры, связанные с усилением балок, образующих каркас здания, т.е. значения  $A$  и  $L$ . Остальные величины табл. 1 будут оставаться константами. По аналогии следует производить выбор параметров для других конструктивных элементов или внешних средств защиты.

Далее необходимо определить приращение показателя защищенности, как при изменении выбранных собственных характеристик, так и при изменении параметров внешних средств защиты. Это достигается путем вычисления модуля градиента функции  $K_z$  в виде:

$$|grad K_z|_{X_1} = \sqrt{\sum_i \left( \frac{\partial K_z}{\partial X_{1i}} \right)^2}; \quad (7)$$

$$|grad K_z|_{X_2} = \sqrt{\sum_o \left( \frac{\partial K_z}{\partial X_{2o}} \right)^2}, \quad (8)$$

где  $X_{1i}$  – соответствующая изменяемая характеристика объекта жизнеобеспечения;  $X_{2j}$  – соответствующая изменяемая характеристика средств защиты.

Выбор изменяемых характеристик определяет число членов суммы как в (7), так и в (8).

Для выбранного выше конкретного состава изменяемых характеристик как объекта, так и внешних защитных средств необходимо определить требуемые затраты, т.е. оценить значения  $C(\Psi_i)$  и  $C(\Delta_j)$ :

$$d_1 = \frac{|grad K_z|_{X_2}}{C(\Psi_i)}; \quad (9)$$

$$d_2 = \frac{|grad K_z|_{X_2}}{C(\Delta_j)}. \quad (10)$$

Далее проводим проверку соблюдения условия (9) – является ли выбранный путь повышения защищенности объекта жизнеобеспечения допустимым с точки зрения выделенных ресурсов. В случае отрицательного ответа следует изменить ранее выбранный набор параметров, изменяя те, которые ранее рассматривались как константы, либо оценить эффективность второго пути обеспечения защищенности объекта, а затем повто-

рить операцию по оценке  $d_i$  при новых данных. При повторении данных операций возможен выбор набора мероприятий удовлетворяющих (3) и (4).

Один из возможных вариантов состоит в следующем. Как правило, затраты на первоначальное строительство объекта жизнеобеспечения являются наиболее значимыми и существенно превышают затраты на создание внешних защитных устройств. Поэтому в значениях  $C(\Psi_i)$  следует выбрать минимально возможную величину  $C_0$ , обусловленную типовым вариантом проекта объекта жизнеобеспечения. В этом случае задача повышения защищенности сводится к выбору характеристик внешних защитных устройств и установления соответствующего уровня затрат. Если новый выбранный вариант характеристик внешних преград требует затрат  $C(\Delta_j) > C_{don}$ , то следует выбрать такие характеристики внешних преград, для которых выполняется условие:

$$C = C_0 + C\{X_2\}_j, K_2 \leq C_{don}.$$

В качестве примера реализации алгоритма рассмотрим блочную комплектную трансформаторную подстанцию полной заводской готовности в железобетонной оболочке 35/10/0,4 (схема представлена на рис. 2). Характеристики конструктивных элементов трансформаторной подстанции представлены в табл. 2.

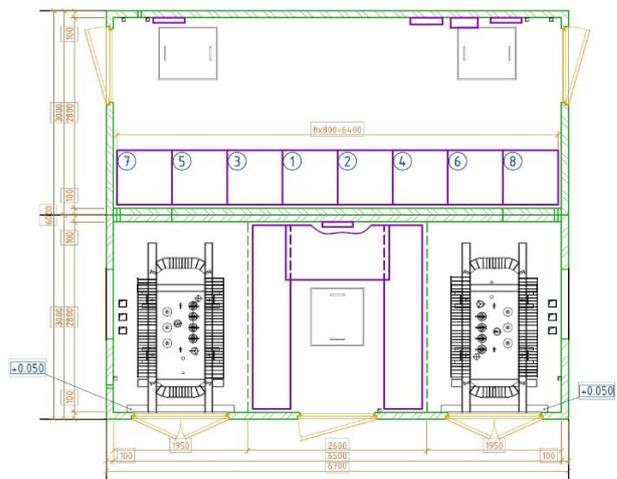


Рис. 2. Внешний вид трансформаторной подстанции и схема с размерами и размещением оборудования

Таблица 2

Характеристики конструктивных элементов трансформаторной подстанции

Наименование объекта	Размеры				Характеристики конструкции		
	Длина, м	Ширина, м	Высота, м	Материал и толщина	Модуль упругости, МПа	Предел текучести, МПа	Предел прочности, МПа
Конструкция подстанции	6,7	6	2,9	Железобетонные плиты 100 мм	$0,08 \cdot 10^5$	10	7,23
Стена фронтальная	6,7	0,1	2,9	Железобетонные плиты 100 мм	$0,08 \cdot 10^5$	10	7,23
Стена боковая	2*3	0,1	2,9				
Перекрытия	(6)						
Плиты тыльные малые		0,18	3			10	7,23
	6,7	0,1	2,9			10	7,23
Двери	0,42	0,002	2,15	Стальной лист	$2,07 \cdot 10^5$	228	-
	1,95						

Трансформаторная подстанция состоит из следующих конструктивных элементов:

1) стены: 3 вида железобетонных плит;

2) двери: 1 вид дверей;

- перекрытия: 1 вид железобетонных плит.

Указанные конструктивные элементы имеют следующие характеристики:

- для стен (плиты):

1-я плита -  $\Phi_i = 0,33$ ;  $\Phi_p = 0,17$ ;  $h = 0,1$  м;  $\sigma_y = 10$  МПа;  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;  $X = 1,38$  м;  $E = 8 \cdot 10^3$  МПа;

2-я плита -  $\Phi_i = 0,3$ ;  $\Phi_p = 0,16$ ;  $h = 0,1$  м;  $\sigma_y = 10$  МПа;  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;  $X = 0,21$  м;  $E = 8 \cdot 10^3$  МПа;

3-я плита -  $\Phi_i = 0,33$ ;  $\Phi_p = 0,17$ ;  $h = 0,1$  м;  $\sigma_y = 10$  МПа;  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;  $X = 1,38$  м;  $E = 8 \cdot 10^3$  МПа;

- для перекрытий (балка, работающая на изгиб):

$\Psi_p = 23,1$ ;  $\Psi_i = 0,86$ ;  $b = 3$  м;  $L = 6,7$  м;  $Z = 2,5 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>;  $\sigma_y = 10$  МПа;  $E = 8 \cdot 10^3$  МПа;  $I = 4,58 \cdot 10^{-5}$  м<sup>4</sup>;  $\rho = 1100$  кг/м<sup>3</sup>;  $A = 0,67$  м<sup>2</sup>;

- для дверей (гибкая лента):

$b = 1,95$  м;  $E = 8 \cdot 10^3$  МПа;  $\rho = 7000$  кг/м<sup>3</sup>;  $A = 0,0022$  м<sup>2</sup>;  $\sigma_y = 228$  МПа;  $L = 2,15$  м.

Характеристики воздействия ударно волновой нагрузки  $\{\theta\}$  определяются величинами избыточного давления и импульса, которые в свою очередь зависят от типа применяемых взрывных устройств и расстояния от эпицентра взрыва до объекта воздействия. Формулы для нахождения параметров воздушной ударной волны приведены в [7].

В качестве примера рассмотрим подрыв самодельного взрывного устройства с тротильным эквивалентом в 100 кг на расстоянии от объекта воздействия 20 метрам. Значения рассчитанных избыточного давления и импульса составят:  $P = 47638$  Па,  $i = 486$  Па·с. Фронтально обращена к эпицентру взрыва 3-я плита. При таких условиях значения  $K_z$  для 1-й плиты будут равны 12, для 2-й плиты - 4,5, для 3-й плиты - 0,05, для двери - 4, для потолочных перекрытий - 3,5.

Таким образом, прогнозируется разрушение только 3-й плиты, фронтально расположенной к эпицентру взрыва, для нее и будем проводить последующие расчеты. Подставив указанные исходные данные в формулу (6), получим  $K_z = 0,05$ .

В качестве изменяемых характеристик по первому пути примем  $\sigma_y$  и  $h$ , остальные будем считать постоянными. Стоимость изменения величин примем:

- увеличение предела текучести используемой арматуры на 1 МПа будет стоить 793 руб ( $C_{\sigma_y} = 7,93 \cdot 10^{-4}$  руб/Па);

- стоимость увеличения толщины стены на 1 см будет равна 18000 руб ( $C_h = 1,8 \cdot 10^6$  руб/м).

Остальные переменные оставим без изменений. В качестве ограничений, как было сказано ранее, рассмотрим ограничения по ресурсам. Допустимое их значение будем составлять 500 000 руб. Максимальные значения  $\sigma_y = 15$  МПа и  $h = 0,5$  м.

Решим задачу по определению оптимальных значений изменяемых величин, при

которых  $K_z$  будет принимать максимальные значения.

По результатам расчетов, полученных методом обобщенного приведенного градиента [8], значения показателя защищенности при такой постановке задачи удается увеличить до 5,6, при этом  $\sigma_y$  будет составлять 15 МПа, а  $h$  - 0,37 м. Все выделяемые ресурсы будут истрачены.

В качестве изменяемых характеристик по второму пути примем за изменяемую величину толщину разрушаемой преграды  $h_{прегр}$ . Значение эффективного радиуса заряда  $R_0$  при плотности ТНТ, равной 1,663 г/см<sup>3</sup>, и массой ТНТ, равной 66,5 кг, составит 21 см. Плотность материала  $\rho_{прегр}$ , из которого состоит преграда, примем 2,5 г/см<sup>3</sup>. Стоимость изменения величины  $h_{прегр}$  примем  $C_h = 1,8 \cdot 10^6$  руб/м. Ограничение по ресурсам, определим равным 500 000 руб, максимальное значение величины  $h_{прегр} = 1$  м.

Решим задачу по определению оптимальных значений изменяемой величины, при которых  $K_z$  будет принимать максимальные значения.

По результатам расчетов значения показателя защищенности при такой постановке задачи удастся увеличить до 143. При этом  $h_{прегр}$  будет составлять 0,27 м. Все выделяемые ресурсы будут истрачены. В том случае, если необходимо привести объект к тому же состоянию, что наблюдался и в первом случае, величина  $h_{прегр}$  будет составлять 0,06 м.

Ожидаемая экономия должна составить порядка 400 000 руб.

Для расчета значений градиента воспользуемся формулами (7) и (8). Подставив в них найденные оптимальные значения управляемых параметров, рассчитаем значения модулей градиентов:

$$|grad K_z|_{X_1} = \sqrt{\left(\frac{\partial K_z}{\partial \sigma_y}\right)^2 + \left(\frac{\partial K_z}{\partial h}\right)^2} =$$

$$= \left[ \left( 3 \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max} \Phi_i \Phi_p h^2 \sigma_y^2 \sqrt{\rho}}{\pi X^2 \sqrt{E}} \right)^2 + \left( 2 \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max} \Phi_i \Phi_p h^2 \sigma_y^2 \sqrt{\rho}}{\pi X^2 \sqrt{E}} \right)^2 \right]^{0,5} = 43,7;$$

$$|grad K_z|_{X_2} = \frac{\partial K_z}{\partial h_{прегр}} =$$

$$= 2 \frac{\langle i \rangle_{\max} \langle P \rangle_{\max} \Phi_i \Phi_p h^3 \sigma_y^2 \sqrt{\rho} h_{прегр} \rho_{прегр}^2}{0,0036 P_0 R_0^2 i_0 X^2 \sqrt{E}} = 1032.$$

Оценка значений требуемых затрат  $C(\Psi_i)$  и  $C(\Delta_j)$ , проведенная по формулам (9) и (10), показала:  $d_1 = 8,74 \cdot 10^{-5}$ ,  $d_2 = 2,06 \cdot 10^{-3}$ .

Найдем решения задачи по определению рациональных параметров стены трансформаторной подстанции при изменении значений ресурсов при прочих постоянных исходных данных. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Требуемые затраты  $d_1$  и  $d_2$

Ограничения ресурсов, руб	50000	100000	250000	500000	1000000
$ grad K_z _{X_1}$	5,02	7,5	17,8	44,9	79,6
$ grad K_z _{X_2}$	103,2	206,4	515,9	1031,9	1857,4
$d_1$	0,0001	$7,4 \cdot 10^{-5}$	$7,1 \cdot 10^{-5}$	$8,9 \cdot 10^{-5}$	$7,9 \cdot 10^{-5}$
$d_2$	0,002	0,0021	0,0021	0,0021	0,0018
Среднее значение $d_1$	$8,32 \cdot 10^{-5}$				
Среднее значение $d_2$	$2,02 \cdot 10^{-3}$				

Из табл. 3 видно, что наиболее предпочтительным способом повышения защищенности трансформаторной подстанции является постановка внешних защитных устройств.

На рис. 3 представлен график зависимости значений показателя защищенности от объема финансовых средств, выделяемых для повышения защищенности объекта. Он показывает, что предпочтительным путем

повышения защищенности объектов жизнеобеспечения является изменение управляемых параметров  $X_{2j}$ . При указанных ограничениях проведение защитных мероприятий целесообразно осуществлять путем применения разрушаемых преград.

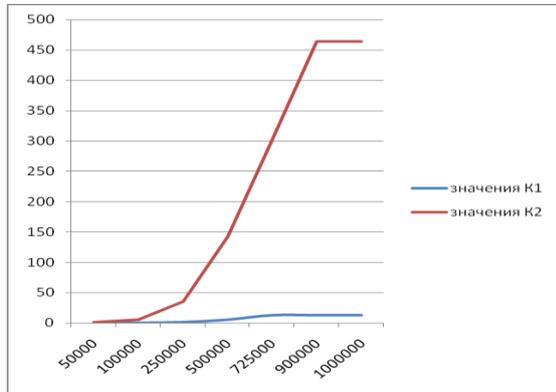


Рис. 3. График зависимости значений показателя защищенности от объема финансовых ограничений и вида выполняемых мероприятий защиты

### Заключение.

В работе изложены многофакторные модели и алгоритм методики повышения защищенности объектов жизнеобеспечения населения к воздействию воздушной ударной волны.

Особенностью рассматриваемого алгоритма является учет:

- сценариев ударно-волновых воздействий;
- конструктивных особенностей объекта жизнеобеспечения;
- различных способов повышения защищенности объектов жизнеобеспечения.

Разработанная многофакторная модель позволяет осуществлять выбор мероприятий по повышению защищенности объектов экономики с учетом вклада независимых управляемых параметров. Эта особенность может быть использована при обосновании комплекса мероприятий по повышению защищенности объекта экономики в случае возрастания террористической угрозы.

### Список литературы

1. Рыбаков, А.В. О подходе к определению показателя защищенности зданий и сооружений опасного производственного объекта / А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, А.М. Са-

винов, И.Я. Геккель // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2017. - №2 - С.33-40.

2. Рыбаков, А.В. О подходе к определению показателя и построение шкалы оценки защищенности опасного производственного объекта / А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, Д.С. Седов, Р.Е. Овсянников // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2017. - №3 – С. 344-352. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-344-352

3. Мухин, В.И. О методике оценки состояния потенциально опасных объектов при воздействии воздушной ударной волны от обычных средств поражения / В.И. Мухин, А.В. Рыбаков, Е.В. Иванов, Г.В. Панин // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2017. - №1 - С.7-15.

4. Рейхов, Ю.Н. Научное обоснование перечня и состава мероприятий по обеспечению устойчивости функционирования организаций, необходимых для выживания населения при военных конфликтах или вследствие этих конфликтов / Ю.Н. Рейхов, В.Ф. Воскобоев, К.В. Тугушов // Итоговый отчет о НИР. – 2017. – 233 с.

5. Бейкер, У. Взрывные явления. Оценка и последствия / У. Бейкер, П. Кокс, П. Уэстайн. - М.: Мир, 1986. – 319 с.

6. Физика взрыва. М.: Изд-во АН СССР, 1952. - 117 с.

7. Кочетков, К.Е. Аварии и катастрофы. Предупреждение и ликвидация последствий / К.Е. Кочетков, В.А. Котляревский, А.В. Забегаев А.В. // М.: Ассоциация строительных вузов, 1996. – 383 с.

8. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование / Д. Химмельблау.– М.: Мир, 1975. – 534 с.

### Об авторах

Воскобоев Виктор Федорович - доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры ФГБВОУ ВО «Академии гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», v.voskoboev@amchs.ru.

Рыбаков Анатолий Валерьевич - доктор технических наук, доцент, начальник лабо-

ратории информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС ФГБВОУ ВО «Академии гражданской защиты МЧС России», *anatoll\_rubakov@mail.ru*.

Иванов Евгений Вячеславович - адъюнкт научно-исследовательского центра ФГБВОУ ВО «Академии гражданской защиты МЧС России», *linia-zhizni@yandex.ru*.

## GENERAL STATEMENT OF THE CHALLENGE OF SELECTION OF DECISIONS TO IMPROVE THE PROTECTION OF OBJECTS OF LIFE SUPPORT FROM THE POPULATION FROM THE IMPACT OF AIR SHOCK WAVE

Voskoboev V.F., Rybakov A.V., Ivanov E.V.

Academy of Civil Defense of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Khimki, Russian Federation)

The formulation of the problem of choosing solutions to improve the security of life support facilities for the population to the effect of an air shock wave from conventional weapons is set forth in the article in a formalized form. An algorithm for solving the problem is presented. A multi-factor model for assessing the security of an object against the impact of a shock wave is the basis of the algorithm. Feature of the considered algorithm is the account of scenarios of application of various means of defeat, constructive features of object of life-support. The developed multifactor model allows to choose the measures for increasing the security of economic objects taking into account the contribution of independent controllable parameters. The example of calculation for the block complete transformer substation of the full factory readiness in the reinforced concrete shell is given.

**Keywords:** *index of security, life support facility, multi-factor model, air shock wave.*

**DOI:** 10.22281/2413-9920-2018-04-01-79-87

### References

1. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Savinov A.M., Haekel I.Ya. On the Approach to Determining the Index of Protection of Buildings and Structures of a Dangerous Production Object. *Scientific and Educational Problems of Civil Protection*, 2017, No.2, pp. 33-40. (In Russian)
2. Rybakov A.V., Ivanov E.V., Sedov D.S., Ovsyannikov R.E. On the approach to determining the indicator and the construction of a scale for assessing the security of a hazardous production facility. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2017, No. 3, pp. 344-352. DOI: 10.22281/2413-9920-2017-03-03-344-352 (In Russian)
3. Mukhin V.I., Rybakov A.V., Ivanov E.V., Panin G.V. About a technique of an estimation

of a condition of potentially dangerous objects at influence by an air shock wave from usual means of defeat. *Scientific and educational problems of a civil protection*, 2017, No.1, pp. 7-15. (In Russian)

4. Reykhov Yu.N., Voskoboev V.F., Tugushov K.V. Scientific substantiation of the list and composition of measures to ensure the sustainability of the functioning of organizations necessary for the survival of the population in military conflicts or as a consequence of these conflicts. Final report on R&D, 2017. 233 p. (In Russian)

5. Baker U., Cox P., Westin P. Explosive phenomena. Evaluation and consequences. Moscow, Mir, 1986. 319 p. (In Russian)

6. Physics of the explosion. Moscow, Izdatelstvo AN SSSR, 1952. 117 p. (In Russian)

7. Kochetkov K.E., Kotlyarevsky V.A., Zabegeev A.V. Accidents and disasters. Prevention and elimination of consequences. Moscow, Assotsiatsiya stroitelnykh vuzov, 1996. 383 p. (In Russian)

8. Himmelblau D. Applied nonlinear programming. Moscow, Mir, 1975. 534 p. (In Russian)

#### **Authors' information**

Viktor F. Voskoboev - Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Professor of the Department at Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,

*v.voskoboev@amchs.ru.*

Anatoliy V. Rybakov - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory of Information Support for the Population and Information Support Technologies of the ESIA FGGBU at Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, *anatoll\_rubakov@mail.ru.*

Evgeny V. Ivanov - adjunct of the Research Center at Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, *linia-zhizni@yandex.ru.*

Дата принятия к публикации  
(Date of acceptance for publication)  
07.03.2018

Дата публикации  
(Date of publication):  
25.03.2018

