

ОПРЕДЕЛЯНЕ НА БЕЗОПАСНИТЕ РАЗСТОЯНИЯ ЗА ОСТЪКЛЕНИЕТО НА СГРАДИ ПРИ ВЗРИВЯВАНЕ НА САМОДЕЛНИ ВЗРИВНИ УСТРОЙСТВА

Валери Митков¹, Генчо Генчев²

¹МГУ"Св.Иван Рилски", 1700 София, E-mail: valery.mitkov@gmail.com

²МВР, 1000 София

РЕЗЮМЕ. В статията са представени извършените теоретични изследвания и проведените научни експерименти за определяне на безопасните за остъкления на сградите разстояния по действието на ударната въздушна вълна (УВВ). Определени са действително безопасните за остъкляването разстояния, което позволява по-висока степен на безопасност, както при извършване на промишлени взривни работи, така и при охрана на сградите от несанкционирани, терористични действия.

DERERMINATION OF THE SAFE DISTANCES FOR WINDOW GLASSES OF BUILDINGS DURING DETONATION OF MAKESHIFT EXPLOSIVE DEVICES

Valery Mitkov¹, Gencho Genchev²

¹University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, e-mail valery.mitkov@gmail.bg

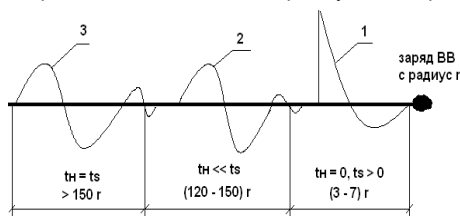
²Ministry of Interior, 1000 Sofia

ABSTRACT. The article presents accomplished theoretical researches and scientific experiments for determination of the safe distances for window glasses of buildings under the air-blast influence. Actually safe distances for the window glasses have been determined, which effects in achievement of a higher safety degree during the development of industrial blasting works, as well as in other operations such as building conservation, especially during terroristic attacks.

Въведение

Ударната вълна е мигновеното свиване на околната среда, при което параметрите на състояние на веществото се изменят скокообразно, а скоростта на неговото разпространение превишава скоростта на звука в дадената среда. Разпространението на ударната вълна е свързано с големи загуби на енергия и физически е възможно до тогава, докато налягането на фронта на ударната вълна превишава модула на обемното свиване на средата, която преминава в подвижно състояние.

Практически областта на разпространение на ударната вълна е ограничена в зона от $3 \div 7$ радиуса на заряда.



Фиг. 1. Зони на разпространение на ударните вълни (1); вълните на свиване (2) и сеизмичните вълни (3) (t_s е времето за спадане на напрежението от max до 0, t_h – време за нарастване на напрежението от 0 до max, r е радиуса на заряда)

В продължение на времето в средата се наблюдава превръщане на ударната вълна във вълна на свиване – фиг. 1. Вълната на свиване представлява нееластичното свиване на средата, при което параметрите се изменят достатъчно плавно, скоростта на разпространяване на свиването е равна на скоростта на звука в дадената среда, а времето за извеждане на веществото от състояние на покой е винаги по-малко от времето за връщането му в това състояние.

В областта на разпространение на вълните на свиване околната среда е нееластична, като в нея възникват остатъчни деформации, които водят до нарушаване на средата. Зоната на разпространение на тези деформации обхваща обем до $120 \div 150$ радиуса на заряда на взривната вълна. При по-нататъшното разпространяване на вълната на свиване в околната среда тя постепенно се превръща в сеизмична вълна. Сеизмична вълна е еластичното свиване на средата, като нейната скорост е равна на скоростта на звука в дадената среда, а времето на еластично свиване е равно на времето на връщане на средата в състояние на покой.

Областта на разпространение на еластичните колебания обикновено се определя от общата маса на заряда и еластично-пластичните свойства на средата и превишава 150 радиуса на заряда.

Теоретична постановка

Максималната величина на свръхналягането на фронта на УВВ ΔP_a (Pa) при взрив във въздуха може да се определи по формулата на М.А. Садовски, получена на базата на опитни наблюдения:

$$\Delta P = \left(6,5 + \frac{Q}{r^3} + 2,55 \frac{Q^{2/3}}{r^2} + 0,75 \frac{Q^{1/3}}{r} \right) \cdot 10^5 \quad (1)$$

При взрив на заряд от експлозив (тротил) на повърхността на земята, може да се използва същата формула ако величината на Q (масата на експлозива) се увеличава два пъти. Тогава за взрив на тротилови заряди на повърхността на земята имаме:

$$\Delta P = \left(13 + \frac{Q}{r^3} + 3,9 \frac{Q^{2/3}}{r^2} + 0,95 \frac{Q^{1/3}}{r} \right) \cdot 10^5 \quad (2)$$

$$S = 540 \cdot Q^{2/3} / r \quad (3)$$

$$r_+ = 1,1 Q^{1/6} \cdot r^{1/2} \cdot 10^{-3} \quad (4)$$

където:

ΔP - свръхналягане на фронта на УВВ, s.

S - импулс на фазата свиване, Pa.s

t_+ - време на действие на положителната фаза на УВВ, s.

Q - маса на заряда експлозив, кг.

r - разстояние от епицентъра до обекта, m.

Тези формули, обаче, са вярни единствено при $\Delta P > 10^4$ Pa. На големи разстояния от мястото на взрива, налягането във фронта на УВВ пада значително. В този случай имат място слаби ударни въздушни вълни. Към тях се отнасят такива вълни, налягането на които на фронта на УВВ $\Delta P < 10^4$ Pa.

На параметрите и условията на разпространяване на слабите УВВ оказват влияние ралични фактори, най-важни от които са: атмосферните условия в момента на взрива (температурните градиенти по височина, скоростта и посоката на вяръра), физико-механичните свойства на земната повърхност, наличие на различни прегради на пътя на УВВ, положението на заряда от ВВ относно обекта и т.н. Различните фактори оказват различно влияние на параметрите на УВВ и е практически невъзможно да се определи степента на влияние на всеки от тях, основен метод за установяване на количествените зависимости на параметрите на УВВ си остават преките експерименти.

На основата на обработката на експериментални данни за разчета на основните параметри на слабите УВВ при взрив на заряди от експлозив на повърхността на земята:

$$\Delta P = 4,7 \cdot 10^5 K_{\Pi} K_M \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{r} \right)^{1/5} \quad (5)$$

$$S = 160 \cdot K_{\Pi} \frac{Q^{2/3}}{r} \quad (6)$$

$$r_+ = 0,65 \cdot Q^{1/6} \cdot r^{1/2} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

където:

K_{Π} - коефициент, отчитащ влиянието на физико-механическите свойства на конкретната земна повърхност на интензивността на УВВ (значенията на K_{Π} са дадени в таблица 1).

K_M - коефициент на метеорологичните условия в момента на взрива.

Той отчита възможността за увеличаване на интензивността на УВВ, когато $K_M < 1$.

Значенията на K_M зависят от конкретните метеорологични условия и разстоянието между взрива и преградата.

На малки разстояния влиянието на метеорологичните условия оказва положително влияние на УВВ.

В резултат на статистическата обработка на данните за атмосферните условия при летните месеци са получени следните значения на коефициента K_M :

$K_M = 3$ при разстояние равно или по-голямо от 2000 m.

$K_M = 3(r/2000)^{1/2}$ в диапазона на разстояние от 1000 до 2000 m.

$K_M = 1 + \left(\frac{r}{1000} \right)^2$ в диапазона от 200 до 1000m.

$K_M = 1$ при разстояние по-малко от 200m.

През зимата значението на коефициента K_M следва да се увеличи до 1,7 пъти, ако разстоянието между мястото на взрива и преградата е по-голямо от 200 m.

Най-слабият конструктивен елемент от всички здания и съоръжения е остъкленето. При осигуряване целостта на остъкленето се гарантира липсата на разрушения на зданията и съоръженията от действието на ударната въздушна вълна на взрива.

Таблица 1

Класификация на почвите в зависимост от физико-механичните свойства и значения на коефициента K_{Π}

Група на почвата	Наименование на почвата	Коефициент на твърдост по скалата на проф. М. М. Протодяконов	Категория на почвата		Коефициент K_{Π}
			по СНиП	по взриваемост	
I	Пясъчници, варовици, доломит, серпентина и перидотити, замръзнали почви	До 8	До 6	I-II	0,5
II	Твърди варовици, гранодиорит, гранит, гранитогрес, талкокарбонатни почви, строителни материали (тухли, бетон)	8-12	6-8	III	1,0
III	Гранити, порфирити, кварц, базалт, диорит, серпентизиран перидотит	12-20	9-11	IV-V	1,6

Повреждането (счупването) на остъкления се получава като правило под въздействие на слаби УВВ. Разчета на основните параметри на слабите УВВ се извършва по формулите (5),(6) и (7). Според съществуващите в момента теории, счупването на остъкляването на зданията и съоръженията под въздействие на УВВ се наблюдава след достигане на фронта на вълната критични нива на налягането при импулса на фазата на свиване. При определяне на критерия на опасност, параметрите на ударната вълна и характера на натоварване зависят от съотношението на времето на действие на положителната фаза на УВВ. t_+ е собственият период на колебания на конструкцията T . При $t_+ \leq 0,25 T$ реакцията на натоварване е пропорционална на импулса на фазата на свиване S . В този случай критерии за опасност се явява импулса. При $t_+ > 10 \cdot T$ механическото свръхналягане ΔP на фронта на УВВ, а повреждането на остъкления се наблюдава при превишаване на критичното значение на свръхналягането ΔP .

Периода на собствени колебания на остъкления е в границите на 20÷40 s. Следователно за остъкления импулсен характер на натоварването ще има при $t_+ \leq (5 \div 10) s$.

Времето за действие на положителната фаза на УВВ е много малко (в рамките на няколко милисекунди).

Следователно, повреждане на остъкления на обектите в близката зона на взрива се наблюдава при превишаването на статистическото значение на импулса на фазата на свиване S .

На разстояние 200 m и повече (средната и далечна зона на взрива), критерии за опасност на остъкления е свръхналягането на УВВ – ΔP .

Експериментално е установено, че в близката зона на взрива повреждането на остъкления се наблюдава при въздействие на импулса на фазата на свиване на УВВ повече от 4,5 kPa.s. Като пределно допустимо се приема значението на импулса $S=2,5 Pa.s$. В средната (разстояние по-големи от 200 m) и далечната зона на взрива разрушаването на остъкления се наблюдава при налягане на фронта на УВВ – 1500 Pa.

Като пределно допустимо за остъкления (при обикновени стъкла) е прието значението на свръх налягането $\Delta P=500 Pa$.

Пределно допустимото значение на свръхналягането и импулса се определя изхождайки от приетата степен на безопасност (първа, втора или трета).

Пределно допустимото значение на свръхналягането и импулса в зависимост от степента на безопасност са дадени в таблица 2.

Както вече беше споменато по-горе, в средната и далечна зона на взрив, критерий за опасност на взрива (на разстояние до 200 m) е импулсът на фазата на свиване на УВВ.

При извеждане на формулите за разчет на радиуса на опасната зона трябва задължително да се отчита зависимостта на коефициента за метеоусловия K_m от озона и от разстоянията.

Таблица 2
Пределно допустимо значение на свръхналягането

Степен на безопасност	Възможни повреди на остъкления	Свръхналягане ΔP	Импулс на фаза на свиване S , Pa sec.
1	Отсъствие на повреди на остъкления	500	2,5
2	Случайни повреди на остъкления	1500	4,5
3	Пълно разрушаване на остъкления	5000	20,0

Тогава от формули (5 и 6) при $\Delta P_{\text{доп}}=500 Pa$ и $S=2,5 Pa.s$ за летния сезон, получаваме следните формули за определяне на радиуса на опасната зона (за летния период) по действието на УВВ на остъкления за първа степен на безопасност (отсъствие на повреди).

$$\begin{aligned} r &= 200 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}. \\ r &= 65 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} & \text{при} & \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}. \\ r &= 63 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}. \\ r &= 63 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} & \text{при} & \quad Q \leq 2 \text{ kg}. \end{aligned}$$

За втора степен на безопасност (случайни повреди на остъкления), при:

$\Delta P= 1500 Pa$ и $S=4,5 Pa.s$, се предлагат следните формули:

$$\begin{aligned} r &= 100 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}. \\ r &= 30 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} & \text{при} & \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}. \\ r &= 35 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}. \\ r &= 35 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} & \text{при} & \quad Q \leq 2 \text{ kg}. \end{aligned}$$

За трета степен на безопасност (пълно разрушаване на остъкления), при:

$\Delta P= 5000 Pa$ и $S=20.0 Pa.s$, се предлагат следните формули:

$$\begin{aligned} r &= 40 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad Q \geq 1000 \text{ kg}, \leq 10\,000 \text{ kg}. \\ r &= 8 \cdot K_T \cdot Q^{1/2} & \text{при} & \quad 125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}. \\ r &= 8 \cdot K_T \cdot Q^{1/3} & \text{при} & \quad 2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}. \\ r &= 8 \cdot K_T \cdot Q^{2/3} & \text{при} & \quad Q \leq 2 \text{ kg}. \end{aligned}$$

През зимния сезон, при наличието на отрицателни температури, получените разстояния трябва да се увеличат 1,5 пъти ако $Q > 2 \text{ kg}$.

Радиусите на опасната зона се изчисляват , съгласно формулите:

$$R = K_m \sqrt{Q} , m \tag{8}$$

$$R = K_p \sqrt[3]{Q} , m \tag{9}$$

където:

R – минимално допустимо разстояние от епицентъра на взрива до обекта (m)

Q – маса на заряда (тротилов еквивалент), kg.

K_M и K_P – коефициенти зависещи от масата на заряда и от характера на повредите. Стойностите на тези коефициенти за открит заряд се определят съгласно таблица 3.

- За открити заради по-големи от 10 тона при 1,2 и 3-та степен на безопасност се приема коефициент K_P и се използва формула (9)
- За всички останали степени на безопасност се използва коефициент K_M и формула (8)

Таблица 3
Значения на коефициентите K_M и K_P за открит заряд

Степен на безопасност	Възможни повреди	Открити параметри		
		Q, t	K_M	K_P
1	Отсъствие на повреди	<10t	50±150	-
		>10t	-	400
2	Случайни повреди на остъклениято	<10t	10±30	-
		>10t	-	60±100
3	Пълно разрушаване на остъклениято	<10t	5±8	-
		>10t	-	30±50

В таблица 4 са предложени нови формули и коефициенти за определяне на безопасните зони за остъкление на въздействието на УВВ за количества в експлозив до 10000 kg.

Таблица 4
Коефициенти за определяне на безопасните зони за остъкление от въздействието на УВВ за количества експлозив до 10000 kg.

Степен на безопасност	Възможни повреди	Открит заряд с маса до 10 t
1	Отсъствие на повреди	$r=200 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$, при $Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=65 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$, при $125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=63 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$, при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=63 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$, при $Q \leq 2 \text{ kg}$.
2	Случайни повреди на остъклениято	$r=100 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$ при $Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=30 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$ при $125 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=35 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$ при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=35 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$ при $Q \leq 2 \text{ kg}$.
3	Пълно разрушаване на остъклениято	$r=40 \cdot K_T^{2/3} \cdot Q^{1/3}$, при $Q \geq 1000 \text{ kg} \leq 10\,000 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/2}$, при $25 \leq Q \leq 1000 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{1/3}$, при $2 \leq Q \leq 125 \text{ kg}$. $r=8 \cdot K_T \cdot Q^{2/3}$, при $Q \leq 2 \text{ kg}$.

Според формулите и коефициентите от (1) за експлозив – тротил с маса 0,200 kg; 0,400 kg; 1 kg; 2 kg; 5 kg; 10 kg; 15 kg; 20 kg; 25 kg; 30 kg; 35 kg; 40 kg; 45 kg; и 50 kg; радиусът на опасната зона за 1,2 и 3 степени на безопасност са дадени в таблица 5.

Съгласно разработената разработка от авторите формулен апарат, радиусът на опасната зона за същото количество експлозив- тротил, за 1, 2 и 3-та степен на безопасност, при $K_T=1$ са дадени в таблица 6.

Таблица 5

Първа степен на безопасност	Втора степен на безопасност	Трета степен на безопасност
$R_1=(50 \div 150) \sqrt{0,200}=(20 \div 60) \text{ m}$	$R_1=(10 \div 30) \sqrt{0,200}=(4 \div 12) \text{ m}$	$R_1=(5 \div 8) \sqrt{0,200}=(2 \div 3,2) \text{ m}$
$R_2=(50 \div 150) \sqrt{0,400}=(30 \div 90) \text{ m}$	$R_2=(10 \div 30) \sqrt{0,400}=(6 \div 18) \text{ m}$	$R_2=(5 \div 8) \sqrt{0,400}=(3 \div 4,8) \text{ m}$
$R_3=(50 \div 150) \sqrt{1,00}=(50 \div 150) \text{ m}$	$R_3=(10 \div 30) \sqrt{1,00}=(10 \div 30) \text{ m}$	$R_3=(5 \div 8) \sqrt{1,00}=(5 \div 8) \text{ m}$
$R_4=(50 \div 150) \sqrt{2,00}=(70 \div 210) \text{ m}$	$R_4=(10 \div 30) \sqrt{2,00}=(14 \div 42) \text{ m}$	$R_4=(5 \div 8) \sqrt{2,00}=(7 \div 11,2) \text{ m}$
$R_5=(50 \div 150) \sqrt{4,00}=(100 \div 300) \text{ m}$	$R_5=(10 \div 30) \sqrt{4,00}=(20 \div 60) \text{ m}$	$R_5=(5 \div 8) \sqrt{4,00}=(10 \div 16) \text{ m}$
$R_6=(50 \div 150) \sqrt{6,00}=(122 \div 367) \text{ m}$	$R_6=(10 \div 30) \sqrt{6,00}=(24,5 \div 73,5) \text{ m}$	$R_6=(5 \div 8) \sqrt{6,00}=(12,2 \div 19,6) \text{ m}$
$R_7=(50 \div 150) \sqrt{8,00}=(141 \div 424) \text{ m}$	$R_7=(10 \div 30) \sqrt{8,00}=(28,3 \div 84,9) \text{ m}$	$R_7=(5 \div 8) \sqrt{8,00}=(14,1 \div 22,6) \text{ m}$
$R_8=(50 \div 150) \sqrt{10,00}=(160 \div 480) \text{ m}$	$R_8=(10 \div 30) \sqrt{10,00}=(32 \div 96) \text{ m}$	$R_8=(5 \div 8) \sqrt{10,00}=(16 \div 25,6) \text{ m}$
$R_9=(50 \div 150) \sqrt{15,00}=(195 \div 585) \text{ m}$	$R_9=(10 \div 30) \sqrt{15,00}=(39 \div 117) \text{ m}$	$R_9=(5 \div 8) \sqrt{15,00}=(19,5 \div 31,2) \text{ m}$
$R_{10}=(50 \div 150) \sqrt{20,00}=(225 \div 675) \text{ m}$	$R_{10}=(10 \div 30) \sqrt{20,00}=(45 \div 135) \text{ m}$	$R_{10}=(5 \div 8) \sqrt{20,00}=(22,5 \div 36) \text{ m}$
$R_{11}=(50 \div 150) \sqrt{25,00}=(250 \div 750) \text{ m}$	$R_{11}=(10 \div 30) \sqrt{25,00}=(50 \div 150) \text{ m}$	$R_{11}=(5 \div 8) \sqrt{25,00}=(25 \div 40) \text{ m}$
$R_{12}=(50 \div 150) \sqrt{30,00}=(215 \div 645) \text{ m}$	$R_{12}=(10 \div 30) \sqrt{30,00}=(55 \div 165) \text{ m}$	$R_{12}=(5 \div 8) \sqrt{30,00}=(27,5 \div 42) \text{ m}$
$R_{13}=(50 \div 150) \sqrt{35,00}=(300 \div 900) \text{ m}$	$R_{13}=(10 \div 30) \sqrt{35,00}=(60 \div 180) \text{ m}$	$R_{13}=(5 \div 8) \sqrt{35,00}=(30 \div 48) \text{ m}$
$R_{14}=(50 \div 150) \sqrt{40,00}=(315 \div 945) \text{ m}$	$R_{14}=(10 \div 30) \sqrt{40,00}=(63 \div 189) \text{ m}$	$R_{14}=(5 \div 8) \sqrt{40,00}=(31,5 \div 50,4) \text{ m}$
$R_{15}=(50 \div 150) \sqrt{45,00}=(335 \div 1005) \text{ m}$	$R_{15}=(10 \div 30) \sqrt{45,00}=(67 \div 201) \text{ m}$	$R_{15}=(5 \div 8) \sqrt{45,00}=(33,5 \div 53,6) \text{ m}$
$R_{16}=(50 \div 150) \sqrt{50,00}=(350 \div 1050) \text{ m}$	$R_{16}=(10 \div 30) \sqrt{50,00}=(71 \div 213) \text{ m}$	$R_{16}=(5 \div 8) \sqrt{50,00}=(35,5 \div 56,8) \text{ m}$

Експериментална част

С цел практическа проверка на получените резултати за радиуси на опасните зони за остъкляване при 1-ва и 3-та степени на безопасност беше проведен практически експеримент. Експериментът бе проведен на полигона на завод „Миджур“ с. Горни Лом, собственост на фирма ВИДЕКС АД и полигона Нови хан. Целта на експериментите бе да се потвърдят резултатите за радиусите на опасната зона, получени по теоретичен път. Бяха взривени тротилови заряди с маси: 1, 2, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 и 50 kg. За всяко количество експлозив бяха проведени три опита. Като мишена беше използван стандартен прозорец с размери 4x3 m и дебелина на стъклото 3 mm.

Изпитанието беше проведено на равна земна повърхност без налични прегради между заряда от

експлозив и мишената. В резултат от проведените експерименти бяха получени следните резултати, дадени в таблици 7 и 8.

Таблица 6

Първа степен на безопасност	Втора степен на безопасност	Трета степен на безопасност
$R_1=63 \sqrt[3]{0,200^2} = 21,5\text{m}$	$R_1=35 \sqrt[3]{0,200^2} = 12,0\text{m}$	$R_1=8 \sqrt[3]{0,200^2} = 2,7\text{m}$
$R_2=63 \sqrt[3]{0,400^2} = 34,0\text{m}$	$R_2=35 \sqrt[3]{0,400^2} = 19,0\text{m}$	$R_2=8 \sqrt[3]{0,400^2} = 4,3\text{m}$
$R_3=63 \sqrt[3]{1^2} = 63,0\text{m}$	$R_3=35 \sqrt[3]{1^2} = 35,0\text{m}$	$R_3=8 \sqrt[3]{1^2} = 8,0\text{m}$
$R_4=63 \sqrt[3]{2^2} = 79,4\text{m}$	$R_4=35 \sqrt[3]{2^2} = 44,0\text{m}$	$R_4=8 \sqrt[3]{2^2} = 10,1\text{m}$
$R_5=63 \sqrt[3]{4^2} = 100,0\text{m}$	$R_5=35 \sqrt[3]{4^2} = 55,6\text{m}$	$R_5=8 \sqrt[3]{4^2} = 12,7\text{m}$
$R_6=63 \sqrt[3]{6^2} = 114,5\text{m}$	$R_6=35 \sqrt[3]{6^2} = 63,6\text{m}$	$R_6=8 \sqrt[3]{6^2} = 14,5\text{m}$
$R_7=63 \sqrt[3]{8^2} = 126,0\text{m}$	$R_7=35 \sqrt[3]{8^2} = 70,0\text{m}$	$R_7=8 \sqrt[3]{8^2} = 16,0\text{m}$
$R_8=63 \sqrt[3]{10^2} = 135,7\text{m}$	$R_8=35 \sqrt[3]{10^2} = 75,4\text{m}$	$R_8=8 \sqrt[3]{10^2} = 17,2\text{m}$
$R_9=63 \sqrt[3]{15^2} = 155,4\text{m}$	$R_9=35 \sqrt[3]{15^2} = 83,6\text{m}$	$R_9=8 \sqrt[3]{15^2} = 19,7\text{m}$
$R_{10}=63 \sqrt[3]{20^2} = 171,0\text{m}$	$R_{10}=35 \sqrt[3]{20^2} = 95,0\text{m}$	$R_{10}=8 \sqrt[3]{20^2} = 21,7\text{m}$
$R_{11}=63 \sqrt[3]{25^2} = 184,2\text{m}$	$R_{11}=35 \sqrt[3]{25^2} = 102,3\text{m}$	$R_{11}=8 \sqrt[3]{25^2} = 23,4\text{m}$
$R_{12}=63 \sqrt[3]{30^2} = 195,8\text{m}$	$R_{12}=35 \sqrt[3]{30^2} = 108,8\text{m}$	$R_{12}=8 \sqrt[3]{30^2} = 24,9\text{m}$
$R_{13}=63 \sqrt[3]{35^2} = 206,1\text{m}$	$R_{13}=35 \sqrt[3]{35^2} = 114,5\text{m}$	$R_{13}=8 \sqrt[3]{35^2} = 26,2\text{m}$
$R_{14}=63 \sqrt[3]{40^2} = 215,5\text{m}$	$R_{14}=35 \sqrt[3]{40^2} = 119,7\text{m}$	$R_{14}=8 \sqrt[3]{40^2} = 27,4\text{m}$
$R_{15}=63 \sqrt[3]{45^2} = 224,1\text{m}$	$R_{15}=35 \sqrt[3]{45^2} = 124,5\text{m}$	$R_{15}=8 \sqrt[3]{45^2} = 28,5\text{m}$
$R_{15}=63 \sqrt[3]{50^2} = 232,1\text{m}$	$R_{15}=35 \sqrt[3]{50^2} = 129,0\text{m}$	$R_{15}=8 \sqrt[3]{50^2} = 29,5\text{m}$

Таблица 7

Получени резултати от проведените изпитания с тротилови заряди при първа степен на безопасност

Първа степен на безопасност (липсва разрушаване)						
Маса на експлозива, (kg)	Първи опит		Втори опит		Трети опит	
	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат
1	61	ЛР	63	ЛР	65	ЛР
2	77	ЛР	79	ЛР	81	ЛР
4	98	ЛР	100	ЛР	102	ЛР
6	112	ЛР	114	ЛР	116	ЛР
8	124	ЛР	126	ЛР	128	ЛР
10	133	ЛР	135	ЛР	138	ЛР
15	153	ЛР	155	ЛР	158	ЛР
20	169	ЛР	171	ЛР	173	ЛР
25	182	ЛР	184	ЛР	186	ЛР
30	193	ЛР	195	ЛР	197	ЛР
35	204	ЛР	206	ЛР	208	ЛР
40	213	ЛР	215	ЛР	217	ЛР
45	222	ЛР	224	ЛР	226	ЛР
50	220	ЛР	232	ЛР	234	ЛР

*Липсва разрушение (ЛР)

Таблица 8

Получени резултати от проведените изпитания с тротилови заряди при трета степен на безопасност

Трета степен на безопасност (пълно разрушаване на остъкленията)						
Маса на експлозива, (kg)	Първи опит		Втори опит		Трети опит	
	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат	Разстояние, (m)	Резултат
1	7	Р	8	Р	9	Р
2	9	Р	10	Р	11	Р
4	12	Р	13	Р	14	Р
6	14	Р	15	Р	16	Р
8	15	Р	16	Р	17	Р
10	16	Р	17	Р	18	Р
15	19	Р	20	Р	21	Р
20	21	Р	22	Р	23	Р
25	22	Р	23	Р	24	Р
30	24	Р	25	Р	26	Р
35	25	Р	26	Р	27	Р
40	26	Р	27	Р	28	Р
45	28	Р	29	Р	30	Р
50	29	Р	30	Р	31	Р

*Разрушение (Р)

Въз основа на експериментално проверените теоретични зависимости бе определен радиуса на опасната зона за 1,2 и 3-та степени на безопасност за коли бомби, които са дадени в таблици 9,10 и 11.

Таблица 9

Първа степен на безопасност		
Вид на колата бомба	Маса на експлозива, тротилов еквивалент, (kg)	Минимално разстояние за евакуация на лицата, (m)
Лек автомобил	180	872
Лек	360	1233
Бус	900	1950
Камион	2000	2520
Цистерна	6000	3634

Таблица 10

Втора степен на безопасност		
Вид на колата бомба	Маса на експлозива, тротилов еквивалент, (kg)	Минимално разстояние за евакуация на лицата, (m)
Лек автомобил	180	402
Лек автомобил	360	569
Бус	900	900
Камион	2000	1259
Цистерна	6000	1817

Таблица 11

Трета степен на безопасност		
Вид на колата бомба	Маса на експлозива, тротилов еквивалент, (kg)	Минимално разстояние за евакуация на лицата, (m)
Лек автомобил	180	107
Лек автомобил	360	152
Бус	900	240
Камион	2000	504
Цистерна	6000	727

ОСНОВНИ ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЯ

От извършените теоретични изследвания и тяхната експериментална проверка могат да се направят следните основни изводи:

1. Съгласно действащата нормативна уредба за определяне на безопасните разстояния за остъкленето на сградите, тези разстояния не могат да бъдат прецизно определени и границите им са в много широк диапазон. Това води до затруднения както при извършването на промишлени взривни работи, така и при определяне на безопасните от терористични нападения разстояния.

2. Формулирани са достатъчно точни математически зависимости, които експериментално бяха доказани. Същите с голяма точност определят безопасните разстояния за остъкленето на сградите.

3. Направените експериментални изследвания позволиха определянето на минималното разстояние за евакуация на хора при различните степени на безопасност, в зависимост от масата на експлозива, който би могъл да се помести в различни автомобили (коли бомби).

4. Извършените изследвания могат да бъдат използвани при разработването на методики за охрана на потенциално опасни обекти от националната инфраструктура.

Литература

- Правилник по безопасността на труда при взривните работи. 1997. С., Техника.
- Азаркович А.Е., Шуйфер М.И., Тихомиров А.П. Взрывные работы вблизи охраняемых объектов. — М.: Недра, 1984.
- Безопасность взрывных работ в промышленности / Под ред. Б.Н. Кутузова - М.: Недра, 1992.
- Богацкий В.Ф., Фридман А.Г. Охрана инженерных сооружений и окружающей среды от вредного воздействия промышленных взрывов. — М.: Недра, 1982.
- Галкин В.В., Гильманов Р.А., Дроговейко И.З. Взрывные работы под водой. — М.: Недра, 1987.
- Кутузов Б.Н. Разрушение горных пород взрывом (взрывные технологии в промышленности). Ч. II. — М.: Изд-во МГГУ, 1994.
- Матвейчук В.В., Чурсалов В.П. Взрывные работы. — М.: Академический Проект, 2002.
- Проектирование взрывных работ в промышленности / Э.Б. Башкуев, А.М. Бейсебаев, В.Ф. Богацкий и др. — М.: Недра, 1983.
- Цейтлин Я.И., Смолий Н.И. Сейсмические и ударные воздушные волны промышленных взрывов. — М.: Недра, 1981.
- Эткин М.Б., Азаркович А.Е. Взрывные работы в энергетическом и промышленном строительстве. — М.: Изд-во МГГУ, 2004.

*Препоръчана за публикуване от
Катедра „Подземно строителство“ МТФ*